

Instituto Politécnico Nacional

Secretaría de investigación y de Posgrado

**Centro Interdisciplinario de Investigaciones y
Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo
(CIIEMAD)**

Evaluación Ambiental de las Playas de Huatulco, Oaxaca, México

Tesis que presenta:

M. en C. Ivonne Retama Gallardo

Para obtener el grado de:

Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo

Directores de Tesis:

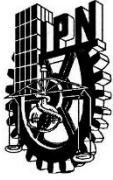
Dr. Jonathan Muthuswamy Ponniah

Dr. Pedro Francisco Rodríguez Espinosa



México, D.F.

Julio, 2016



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14-BIS

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México siendo las 16:00 horas del día 2 del mes de junio del 2016 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIEMAD-IPN para examinar la tesis titulada:

Evaluación ambiental de las playas de Huatulco, Oaxaca, México

Presentada por el alumno:

<u>RETAMA</u> Apellido paterno	<u>GALLARDO</u> Apellido materno	<u>IVONNE</u> Nombre(s)							
		Con registro: <table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>8</td> </tr> </table>	B	1	2	0	2	2	8
B	1	2	0	2	2	8			

aspirante de:

Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

DR. JONATHAN MUTHUSWAMY PONNIAH

DR. PEDRO FRANCISCO RODRIGUEZ ESPINOSA

DRA. NORMA PATRICIA MUÑOZ SEVILLA

DRA. MARÍA YOLANDA LEONOR ORDAZ GUILLÉN

DR. PRIYADARSI DEBAJYOTI ROY

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DRA. LAURA ARREOLA MENDOZA
CIEMAD
DIRECCIÓN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D.F. el día 2 del mes de Junio del año 2016, la que suscribe Ivonne Retama Gallardo alumna del Programa de Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo, con número de registro B120228, adscrita al CIEMAD - IPN, manifiesta que es la autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Jonathan Muthuswamy Ponniah y Dr. Pedro Francisco Rodríguez Espinosa y cede los derechos del trabajo titulado “Evaluación ambiental de las playas de Huatulco, Oaxaca, México”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso de la autora y/o directores del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección ennovi25@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ivonne', is positioned above the printed name and title.

Ivonne Retama Gallardo
Nombre y firma de la alumna

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por darme salud y fuerza.

Al **Instituto Politécnico Nacional** por ser la institución que me formo desde mis estudios de Nivel Medio Superior en el Cecyt 9 Juan de Dios Bátiz, la Licenciatura en ESIQIE, la Maestría en la ESIA, Zacatenco y finalmente el Doctorado en el CIEMAD.

Al **Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM**, por las facilidades para realizar mis estudios.

Al **Dr. Jonathan Muthuswamy Ponniah**, director de tesis, por su apoyo, paciencia, dedicación, orientación y enseñanza a lo largo del Doctorado.

Al **Dr. Pedro Francisco Rodríguez Espinosa**, director de tesis, por su apoyo, tiempo, guía, confianza y entusiasmo.

A la **Dra. Norma Patricia Muñoz Sevilla**, por sus acertadas observaciones y ejemplo.

A la **Dra. María Yolanda Leonor Ordaz Guillén**, por sus observaciones, su esfuerzo y simpatía.

Al **Dr. Priyadarsi Debajyoti Roy**, gracias por su apoyo, su mente prodigiosa, fue un elemento clave a lo largo de la elaboración de esta investigación.

Gracias a las personas que de una manera u otra, han sido piezas importantes en mi vida profesional y a los que me acompañaron en la realización de este trabajo, en especial en el laboratorio: A la **M. en C. Lorena Campos** por su apoyo y enseñanza, a **Sandy, Evanibaldo y Marce** por su ayuda, compañerismo y amistad.

A mis compañeras y amigas que han estado conmigo durante mi estancia en el CIEMAD, **Sujitha, Shruti, Denise y Jazmín**.

DEDICATORIA

Les dedico este trabajo:

A **Lucino Raymundo López**, por su apoyo incondicional, entusiasmo y amor.

A **Ulises Raymundo Retama**, por su paciencia y por ser parte fundamental de mi vida.

A mi papá **Arnulfo Jaime Retama Rivera** y mi mamá **Enedina Gallardo Peña** por su apoyo y confianza durante toda mi vida.

A **Nayeli Retama Gallardo**, mi hermana que siempre está conmigo, gracias por tus consejos.

Índice

ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FOTOS.....	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	3
1.2 Justificación.....	5
1.3 Hipótesis	5
1.4 Objetivo general.....	5
1.5 Objetivos específicos.....	6
2 ÁREA DE ESTUDIO	8
2.1 Características de la zona de estudio.....	8
2.1.1 Ubicación geográfica.....	8
2.1.2 Antecedentes y aspectos socioeconómicos.....	8
2.1.3 Características climáticas	17
2.1.4 Características hidrológicas	18
2.1.5 Características geológicas	19
2.1.6 Características oceanográficas.....	26
2.1.7 Flora y fauna	29
2.1.8 Importancia y problemática ambiental.....	30
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
3.1 Diseño del estudio.....	36
3.2 Métodos.....	40
3.2.1 Determinación de parámetros fisicoquímicos	40
3.2.2 Determinación del tamaño de sedimento	41
3.2.3 Determinación de la concentración de metales (análisis total y parcial) en sedimentos.....	44
3.2.4 Determinación de microplásticos	50

3.3	Procesamiento de datos.....	52
3.3.1	Análisis estadístico: Tamaño de sedimento	52
3.3.2	Análisis factorial: concentración de metales	58
3.3.3	Cálculos del enriquecimiento por metales	60
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN: PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA SUPERFICIAL DE MAR.....	63
4.1	Temperatura	64
4.2	pH	70
4.3	Porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto	72
4.4	Salinidad	75
4.5	Conductividad	76
4.6	Sólidos disueltos totales.....	78
4.7	Potencial óxido-reducción	81
4.8	Parámetros fisicoquímicos en el río Coyula	82
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN: SEDIMENTOS.....	85
5.1	Tamaño de sedimento.....	85
5.1.1	Media	88
5.1.2	Desviación estándar	90
5.1.3	Asimetría	92
5.1.4	Curtosis	93
5.1.5	Media vs desviación estándar	94
5.1.6	Media vs asimetría	97
5.1.7	Media vs curtosis	97
5.1.8	Asimetría vs desviación estándar.....	100
5.1.9	Desviación estándar vs curtosis	102
5.1.10	Asimetría vs curtosis	103
5.1.11	Funciones discriminantes	105
5.2	Concentración de metales (análisis total y parcial).....	108
5.2.1	Hierro	108
5.2.2	Manganeso	112
5.2.3	Cromo	116
5.2.4	Cobre.....	119
5.2.5	Níquel.....	122
5.2.6	Cobalto.....	124
5.2.7	Plomo.....	127
5.2.8	Zinc.....	129
5.2.9	Cadmio	132

5.2.10. Mercurio.....	134
5.2.11 Arsénico	136
5.3 Análisis estadístico	142
5.4 Fracción biodisponible	156
5.5 Índices de enriquecimiento	164
5.6 Relación del tamaño de sedimento y la concentración de metales.....	175
5.7 Microplásticos	176
5.8 Calidad ambiental de las bahías de Huatulco: Resumen	187
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	190
REFERENCIAS.....	195
PRODUCTO DE INVESTIGACIÓN	208

Índice de Figuras

Figura 2.1 Mapa de las Bahías de Huatulco. Elaborado a partir de carta topográfica. Santa María Huatulco D14B19 y Coyula D14B29 1:50 000, INEGI, 1999.....	9
Figura 2.2 Cartografía que describe la distribución del Parque Nacional Huatulco y el Sitio Ramsar 1321 Cuencas y corales de la zona costera de Huatulco. Fuente: Plan Municipal de Desarrollo 2014-2016, Santa María Huatulco.....	12
Figura 2.3 Distribución de la población en Santa María Huatulco 2005. Fuente: Huerta, 2011	13
Figura 2.4 Ocupación de la población económicamente activa en el municipio de Santa María Huatulco en 2000. Elaboración propia a partir de la información del Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, gobierno del estado de Oaxaca	13
Figura 2.5 Número de turistas que visitaron las Bahías de Huatulco por año (López, 2011).....	16
Figura 2.6 Turistas y embarcaciones por mes en bahías de Huatulco en el año 2000. Fuente: CONANP, 2003	16
Figura 2.7. Cartografía que representa los tipos de climas que predominan en el territorio de Santa María Huatulco. Fuente: Plan Municipal de Desarrollo 2014-2016, Santa María Huatulco	17
Figura 2.8 . Cartografía que representa el sistema hidrológico del territorio de Santa María Huatulco. Fuente: Plan Municipal de Desarrollo 2014-2016, Santa María Huatulco modificado a partir de datos de Gómez, et al., 2006 y las cartas topográficas Santa María Huatulco.....	19
Figura 2.9 Carta Geológico-Minera, Puerto Escondido D14-3, Servicio Geológico Mexicano, 2002.	20
Figura 2.10 Placas litosféricas principales en el territorio mexicano (SEMARNAT, INEC, 2013).25	
Figura 2.11 Formas de relieve del fondo oceánico mexicano 1) Fosas principales; 2) fosas secundarias; 3) escarpes mayores; 4) plataformas continentales estrechas; 5) montañas submarinas (SEMARNAT, INECC, 2013).	25
Figura 2.12 Carta Batimétrica. Elaborado a partir de la carta S.M. 622.2, Secretaría de Marina, México.....	26
Figura 2.13 Trayectoria de partículas de acuerdo a la dirección del viento en las bahías de Huatulco. La posición inicial de la partícula está indicada con un círculo (Reyes, et al., 2007)	28
Figura 2.14 Uso del territorio de la bahía Cacaluta. Fuente: Gómez et al., 2006	35
Figura 2.15 Principales residuos plásticos encontrados en las playas de Huatulco. Elaboración propia a partir de CPLH, 2013.	35
Figura 3.1 Diagrama general del diseño del estudio	36
Figura 3.2. Mapa de los puntos de muestreo en las Bahías de Huatulco, Oaxaca, México.	38
Figura 3.3 Diagrama del procedimiento para determinar el tamaño del sedimento.....	43
Figura 3.4. Diagrama del procedimiento para determinar la concentración de metales (análisis total) en sedimentos.....	46
Figura 3.5 Diagrama del procedimiento para determinar la concentración de metales parciales en sedimentos.....	49
Figura 3.6 Diagrama del procedimiento para identificar y cuantificar microplásticos en sedimentos.	51
Figura 3.7 Escala Udden-Wentworth para tamaño de granos de sedimento. Fuente: Boggs, 2009. 55	
Figura 4.1 Temperatura superficial del mar en cada punto durante los dos muestreos.....	64
Figura 4.2 Temperatura promedio de cada bahía de Huatualco y de playas a mar abierto en los dos periodos de muestreo.....	66

Figura 4.3 Velocidad y dirección del viento durante los días de muestreo. Fuente: wunderground.com.....	68
Figura 4.4 pH en cada punto durante los dos muestreos	70
Figura 4.5 Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto en cada punto durante los dos muestreos	72
Figura 4.6 Salinidad en cada punto durante los dos muestreos.....	75
Figura 4.7 Conductividad en cada punto durante los dos muestreos	77
Figura 4.8 Sólidos Disueltos Totales en cada punto durante los dos muestreos	78
Figura 4.9 Potencial óxido-reducción en cada punto durante los dos muestreos.....	82
Figura 5.1 Media.....	89
Figura 5.2 Desviación Estándar	91
Figura 5.3 Asimetría	93
Figura 5.4 Curtosis.....	94
Figura 5.5 Media vs Desviación Estándar.....	95
Figura 5.6 Desviación estándar vs media.....	96
Figura 5.7 Media vs Asimetría.....	97
Figura 5.8 Media vs asimetría (Moiola y Weiser, 1968)	98
Figura 5.9 Asimetría vs Media (Moiola y Weiser, 1968) y Hails y Hoyt (1969)	99
Figura 5.10 Media vs curtosis	99
Figura 5.11 Asimetría vs Desviación Estándar	101
Figura 5.12 Desviación estándar vs asimetría (Friedman, 1967 y Moiola y Weiser, 1968).	101
Figura 5.13 Asimetría vs desviación estándar (Friedman, 1967).....	102
Figura 5.14 Desviación estándar vs curtosis	103
Figura 5.15 Asimetría vs curtosis.....	104
Figura 5.16 Asimetría vs curtosis (Friedman, 1967).....	104
Figura 5.17 Determinación de ambientes de acuerdo a las funciones discriminantes según Sahu, 1964.....	107
Figura 5.18 Concentración de hierro (análisis total y parcial) durante los dos periodos de muestreo	109
Figura 5.19 Concentración de manganeso (análisis total y parcial) durante los dos periodos de muestreo	113
Figura 5.20 Concentración de cromo (análisis total y parcial) durante los dos periodos de muestreo	117
Figura 5.21 Concentración de cobre (análisis total y parcial) durante los dos periodos de muestreo	120
Figura 5.22 Concentración de níquel (análisis total y parcial) durante los dos periodos de muestreo	123
Figura 5.23 Concentración de cobalto (análisis total y parcial) durante los dos periodos de muestreo	125
Figura 5.24 Concentración de plomo (análisis total y parcial) durante los dos periodos de muestreo	128
Figura 5.25 Concentración de zinc (análisis total y parcial) durante los dos periodos de muestreo	130
Figura 5.26 Concentración de cadmio (análisis total y parcial) durante los dos periodos de muestreo	132

Figura 5.27 Concentración de mercurio (análisis total y parcial) durante los dos periodos de muestreo	135
Figura 5.28 Concentración de arsénico (análisis total y parcial) durante los dos periodos de muestreo	137
Figura 5.29 Gráfica de factor 1 contra factor 2 y 3 para metales (análisis total), abril, 2013.	145
Figura 5.30 Gráfica de factor 1 contra factor 2 y 3 para metales (análisis total), Diciembre, 2014.	147
Figura 5.31 Gráfica de factor 1 contra factor 2 y 3 para metales (análisis parcial), abril, 2013. ...	149
Figura 5.32 Gráfica de factor 1 contra factor 2 y 3 para metales (análisis parcial) diciembre, 2014	151
Figura 5.33 Porcentaje de fracción biodisponible de cada metal en las muestras durante el muestreo de abril, 2013.....	162
Figura 5.34 Porcentaje de la fracción biodisponible de cada metal en las muestras durante diciembre, 2014.....	163
Figura 5.35 Índice de geoacumulación para metales (análisis total) en general para todas las muestras.....	166
Figura 5.36 Índice de geoacumulación para metales (análisis parcial) en general para todas las muestras.....	167
Figura 5.37 Cantidad de microplásticos por cada 30g de sedimento superficial en las playas de Huatulco	182
Figura 5.38 Colores de las fibras de microplásticos durante los dos periodos de muestreo.	186

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Minerales encontrados en la región de Huatulco	22
Tabla 3.1 Playas muestreadas de acuerdo a la bahía	37
Tabla 3.2 Abertura de malla de los tamices	42
Tabla 3.3 Porcentaje de recuperación de acuerdo al material certificado	47
Tabla 3.4 Indicadores del tamaño de grano de acuerdo a la media	53
Tabla 3.5 Indicadores de desviación Estándar	54
Tabla 3.6 Indicadores de asimetría.....	54
Tabla 3.7 Indicadores de curtosis	56
Tabla 3.8 Características del sedimento de acuerdo a su Igeo	61
Tabla 3.9 Enriquecimiento de acuerdo a su factor para diferentes autores	62
Tabla 4.1 Parámetros Fisicoquímicos durante los dos periodos de muestreo	63
Tabla 4.2 Calidad del agua en función del Porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto	73
Tabla 4.3 Parámetros fisicoquímicos del Río Coyula	83
Tabla 5.1 Percentiles y parámetros estadísticos, según Folk & Ward, 1957 durante el muestreo de Abril, 2013.	86
Tabla 5.2 Percentiles y parámetros estadísticos, según Folk & Ward, 1957 durante el muestreo de Diciembre, 2014.....	87
Tabla 5.3 Funciones Discriminantes según Sahu, 1964.....	106
Tabla 5.4 Concentración de metales (análisis total) promedio (mg kg ⁻¹) por bahía durante el muestreo de abril, 2013.....	139
Tabla 5.5 Concentración de metales (análisis total) promedio (mg kg ⁻¹) por bahía durante el muestreo	139
Tabla 5.6 Concentración de metales (análisis parcial) promedio (mg kg ⁻¹) por bahía durante el muestreo de abril, 2013.....	140
Tabla 5.7 Concentración de metales (análisis parcial) promedio (mg kg ⁻¹) por bahía durante el muestreo de diciembre, 2014	140
Tabla 5.8 Matriz de correlación (análisis total).....	142
Tabla 5.9 Matriz de correlación (análisis parcial).....	143
Tabla 5.10 Valores propios (eigenvalues) extracción componentes principales metales (análisis total), abril, 2013	144
Tabla 5.11 Factores de carga de la concentración de metales (análisis total) durante abril, 2013 (factor loadings), varimax normalizado. Marked loadings > 0.5	145
Tabla 5.12 Valores propios (eigenvalues) extracción componentes principales metales (análisis total), diciembre, 2014	146
Tabla 5.13 Factores de carga de la concentración de metales (análisis total) durante diciembre, 2014 (factor loadings), varimax normalizado. Marked loadings > 0.5	147
Tabla 5.14 Valores propios (eigenvalues) extracción componentes principales metales (análisis parcial), abril, 2013	148
Tabla 5.15 Factores de carga de la concentración de metales (análisis parcial) durante abril, 2013 (factor loadings), varimax normalizado. Marked loadings > 0.5	149
Tabla 5.16 Valores propios (eigenvalues) extracción componentes principales metales (análisis parcial), diciembre, 2014.....	150

Tabla 5.17 Factores de carga de la concentración de metales (análisis parcial) durante diciembre, 2014 (factor loadings), varimax normalizado. Marked loadings > 0.5	151
Tabla 5.18. Porcentaje de fracción biodisponible promedio en cada bahía durante el muestreo de abril, 2013.	157
Tabla 5.19 Porcentaje de fracción biodisponible promedio en cada bahía durante el muestreo de diciembre, 2014.....	158
Tabla 5.20 Factor de enriquecimiento para metales (análisis total) en abril, 2013 para cada estación de muestreo.	169
Tabla 5.21 Factor de enriquecimiento para metales (análisis total) en diciembre, 2014 para cada estación de muestreo.	170
Tabla 5.22 Factor de enriquecimiento para metales (análisis parcial) en Abril, 2013 para cada estación de muestreo.	171
Tabla 5.23 Factor de enriquecimiento para metales (análisis total) en diciembre, 2014 para cada estación de muestreo.	172
Tabla 5.24 Comparación de la concentración de metales contra otros estudios en playas turísticas y valores ecotoxicológicos usados para evaluar ambientes acuáticos.....	174
Tabla 5.25 Características de Microplásticos en los sedimentos superficiales de las playas de Huatulco	177
Tabla 5.26 Cantidad de fibras de microplásticos encontradas en los sedimentos superficiales de las playas de Huatulco durante los dos periodos de muestreo	183
Tabla 5.27 Cantidad de Microplásticos en cada bahía durante los dos periodos de muestreo	184

Índice de Fotos

Foto 3.1 Algunas de las playas muestreadas en el estudio.....	40
Foto 3.2 Multiparamétrico y GPS utilizados para la determinación de parámetros fisicoquímicos.	41
Foto 3.3 Tamices utilizados para la determinación del tamaño de sedimento.....	42
Foto 3.4 Pulverizador Herzog y cuarteo de muestras	44
Foto 3.5 Técnica para determinar concentración de metales totales en sedimentos.....	45
Foto 3.6 Equipo microondas marca Perkin Elmer	45
Foto 3.7 Técnica para determinar concentración de metales parciales en sedimentos.....	48
Foto 3.8 Espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer.....	48
Foto 3.9 Técnica para identificar y cuantificar microplásticos en los sedimentos.....	50
Foto 4.1 Playa San Agustín.....	74
Foto 4.2 Playa Conejos.....	74
Foto 4.3 Playa El Violín	80
Foto 4.4 Playa Tornillo.....	81
Foto 4.5 Río Coyula.....	84
Foto 5.1 Microplásticos encontrados en los sedimentos de las playas de Huatulco.....	178
Foto 5.2 Longitud de fibra de microplástico.....	178
Foto 5.3 Espesor de Fibra de microplástico.....	179
Foto 5.4 Fibra de microplástico.....	180
Foto 5.5 Fibra de microplástico.....	180
Foto 5.6 Fibra de microplástico.....	181
Foto 5.7 Fraccionamiento de la fibra de microplástico.....	181

Resumen

En la presente investigación se determinaron distintos parámetros ambientales de las playas que constituyen el Desarrollo Turístico Bahías de Huatulco, Oaxaca, México, el objetivo del estudio fue realizar una evaluación ambiental de las playas, para identificar las posibles fuentes que pueden provocar su contaminación, para lo cual se realizaron dos muestreos, el primero en abril de 2013 y el segundo en diciembre de 2014, durante los cuales se muestrearon 30 playas y el río Coyula, obteniéndose 72 muestras de sedimento. Se midieron *in situ* los parámetros fisicoquímicos del agua superficial de mar encontrándose los siguientes promedios T (25.14°C), pH (8.29), % de saturación de Oxígeno Disuelto (95.64), Salinidad (33.23), Conductividad (50.63mS/cm), SDT (25.31 ppt) y ORP (83.16), en los 36 puntos de muestreo, se determinó el tamaño de grano, la concentración de metales (Fe, Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, Hg y As) contenidos en la matriz de sedimento (totales) y los que se encuentran en forma ambientalmente disponible (parciales), así también se identificaron y cuantificaron microplásticos, en los sedimentos superficiales de las playas. Se realizó el análisis estadístico del tamaño de sedimento obteniéndose la media, desviación estándar, asimetría, curtosis y las gráficas bivariantes de dispersión de los parámetros de tamaño de grano, en promedio el 55.5% de los sedimentos son arena gruesa y los sedimentos de las playas de Huatulco son derivadas de la mezcla de dos ambientes distintos: playas y ríos. Se realizó la asociación entre metales a través de la matriz de correlaciones y el análisis multifactorial, determinando que el Fe, Mn y Cu provienen de una fuente similar, posiblemente de la erosión de las rocas locales presentes. De acuerdo al cálculo del índice de geoacumulación (I_{geo}) y el factor de enriquecimiento (FE) presenta un enriquecimiento moderado de Mn (prom. fracción biodisponible 42.6%), Ni (prom. fracción biodisponible 20%), As (prom. fracción biodisponible 53.8%), Zn (prom. fracción biodisponible 23.4%) y Hg ((prom. fracción biodisponible 27.6). La cantidad de microplásticos se incrementó de 374 en abril, 2013 a 518 en diciembre de 2014 (en 1,080g de sedimento) probablemente derivado del aumento en la fragmentación de los plásticos y la inadecuada disposición de los residuos, el presente trabajo puede ser considerado como estudio de línea base para realizar futuras investigaciones principalmente en el seguimiento de la cantidad de microplásticos debido que es un estudio novedoso en la zona de estudio.

Abstract

The present study aims to investigate the environmental and potential contamination sources that affects the Huatulco's beaches, Oaxaca, Mexico. A total of 72 sediment samples were collected from the beaches in two different seasons (April 2013 & December 2014). In situ measurements of the physicochemical characteristics in the surface seawaters were measured and presented average values of temperature (25.14°C), pH (8.29), saturation Dissolved Oxygen (95.64%), Salinity (33.23), conductivity (50.63 mS / cm), SDT (25.31 ppt) and ORP (83.16). Statistical analysis of grain size (mean, standard deviation, skewness, kurtosis and bivariate scatterplots) revealed the fact that nearly 55.5 % of the studied samples were observed to be coarse sands, the sediments from the beaches of Huatulco are derived from mixing two different environments: beaches and rivers. Geochemical studies were also carried out to estimate the concentration of metals (Fe, Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, Hg and As) and to evaluate their total content (total analysis) in the sediment matrix and their bioavailable fraction (partial analysis) respectively. Correlation and multivariate analysis presented that Fe and Mn are the governing elements from a similar source, possibly due to the erosional activity of the local geological formations. Calculated geoaccumulation index (I_{geo}) and Enrichment Factor (EF) presented moderate enrichment of Mn (avg. bioavailable fraction 42.6%), Ni (avg. bioavailable fraction 20%), As (avg. bioavailable fraction 53.8%), Zn (avg. bioavailable fraction 23.4%), Hg (avg. bioavailable fraction 27.6%) clearly stating the risks posed to biological community. Microplastic studies were also carried out in the sediments and the results showed that there was an increase in its levels from 374 in April 2013 to 518 in December 2014 (in 1,080g of sediment) probably derived from the increasing fragmentation of plastics, improper disposal of waste and high tourist activity. Thus the present research work with its novelty in estimating microplastics can definitely be considered as a baseline study for understanding the pollution status of beaches for long term monitoring work and development of tourism.

CAPÍTULO 1

1 Introducción

Las playas son zonas de transición que reciben energía y materiales de la parte marina y continental. El aumento de la población, los asentamientos humanos y el desarrollo de actividades a lo largo de las zonas costeras como las actividades industriales, la construcción y mantenimiento de puertos (De Paula y Mozeto, 2001), la agricultura, los efluentes urbanos (Gavril and Angelidis, 2005; Buccolieri, 2006), el intensivo tráfico marino comercial y militar (Buccolieri, 2006) y el turismo (Jonathan, et al., 2011) originan su alteración. Para determinar la posible influencia de actividades antropogénicas en las playas de Huatulco, se determinaron los parámetros fisicoquímicos del agua de mar, las características de los sedimentos en específico su tamaño, la concentración de metales (Fe, Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, Hg y As) contenidos en la matriz de sedimento (análisis total) y los que se encuentran en forma ambientalmente disponible (análisis parcial) y la identificación de microplásticos, lo que en conjunto nos proporciona información ambiental de Huatulco.

Huatulco está conformado por nueve bahías y el área de Bajos de Coyula y el Arenal, dentro de éste se encuentra el Parque Nacional Huatulco (PNH) que incluye cinco de las nueve bahías de Huatulco: San Agustín, Chachacual, Cacaluta, Maguey y Órgano. Actualmente en México, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) administra 176 áreas naturales de carácter federal dentro de las cuales se encuentra el PNH (CONANP, SEMARNAT, 2014). El área de estudio se eligió porque el PNH alberga especies amenazadas, endémicas y con alto valor ecológico para su conservación, además en Huatulco predominan las selvas bajas caducifolias, dichas selvas han sido identificadas como de alta prioridad para su conservación debido al grado de alteración y pérdida de cobertura forestal al que se encuentran sometidas (Rivera, 2011), por esta razón, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad ha señalado a la zona como una de las regiones terrestres prioritarias para su conservación y como área clave en el mapa de la biodiversidad mexicana (CONABIO, 1996). Asimismo, los arrecifes de coral de las Bahías de Huatulco son reconocidos como uno de los sistemas coralinos más importantes del Pacífico Mexicano (Glynn y Leyte 1997, López-Pérez y López-García, 2009).

Por otra parte, Santa María Huatulco depende económicamente de los ingresos generados por las actividades turísticas. En el 2008, se registraron 317,560 turistas que visitaron Huatulco (Escamilla, 2011), la derrama económica anual del turismo en el municipio, es aproximadamente de 26 millones de dólares de Estados Unidos (Huerta y Sánchez, 2011), convirtiéndose la actividad turística como la principal actividad económica de la población, dicha actividad se concentra principalmente en Santa Cruz, La Crucecita y Tangolunda. Sin embargo en ciertas zonas se desarrollan actividades de agricultura y ganadería.

El turismo ha incrementado la concentración de metales en las playas por la construcción de hoteles, los pequeños botes, la disolución/precipitación de pinturas anti incrustantes y la reparación de buques como lo reporta (Jonathan, et al., 2011) en la zona de Acapulco. En el caso de Huatulco el Diario Oficial, 2002 menciona que el impulso de la actividad turística ha incrementado el deterioro de las zonas con coral, la concentración de embarcaciones, problemas de contaminación por el uso de cremas bronceadoras, bloqueadores solares, derrames de combustibles, aceites y detergentes. Por lo anterior se eligió como zona de estudio Huatulco y no solamente el área del PNH, el área tiene una gran biodiversidad en la que se desarrolla el turismo, la agricultura y ganadería, entre otras actividades.

En este trabajo se determinaron las características granulométricas del sedimento, la concentración de metales (Fe, Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As y Hg) contenidos en la matriz del sedimento (análisis total) y los que se encuentran en forma ambientalmente disponible (análisis parcial), con la finalidad de determinar la influencia de las actividades realizadas en la zona con el posible origen antropogénico del enriquecimiento de metales, así mismo se realizó la identificación de microplásticos en los sedimentos y se midieron los parámetros fisicoquímicos del agua de mar. Lo anterior con la finalidad de conocer parte de la situación ambiental de las diferentes playas que conforman el Desarrollo Turístico Bahías de Huatulco e identificar las posibles fuentes de contaminación.

1.1 Antecedentes

La determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua de mar proporciona información de puntos donde hay mezcla de agua dulce y salada dentro del área de estudio, nos habla de fenómenos involucrados como surgencias y en general de la calidad del agua, a través de la medición de la temperatura, pH, porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, salinidad, conductividad, sólidos disueltos totales y potencial óxido reducción. En Huatulco se han hecho estudios anteriores en los que ha determinado la temperatura superficial del mar (TSM) durante el periodo 1996-2006 (Rodríguez, 2006), en el Golfo de Tehuantepec (Stumpf, 1975; INAPESCA, 2014), Reyes, et al., 2007 además de la TSM en Huatulco determinó salinidad, pH, oxígeno disuelto, grasas y aceites, turbiedad, sólidos suspendidos totales, sólidos y sales disueltas y sustancias activas al azul de metileno durante el periodo 2005-2006, Estrada, 2008 reportó rangos de valores de pH y salinidad en la zona.

Con respecto a los sedimentos, estos se definen como partículas no consolidadas producidas por la meteorización y la erosión de rocas, por precipitación química de soluciones acuosas o por secreciones de organismos transportadas por el agua, el viento o los glaciares (Tarbuck, 2004, Pettijohn, 1975). Clásicamente, en los estudios de depósitos detríticos se han utilizado las diferentes características texturales de los sedimentos, para deducir aspectos relacionados con el origen, medio de transporte y sedimentación a través de los análisis de las distribuciones de poblaciones basados en el tamaño de los clastos (Devala, 2014; Suganraj, et al., 2013; Palomares, et al., 1990; Visher, 1969; Folk & Ward, 1957; Folk, 1954), lo que nos permite saber de su procedencia, en México se han hecho estudios como los de Estrada, 2007 y Cruz, 2007.

Los datos de procedencia derivados del análisis granulométrico son de ayuda para integrar la información con respecto al posible origen natural o antropogénico de los metales que se encuentran en una forma ambientalmente disponible. La importancia del estudio radica en que los metales pesados son considerados serios contaminantes debido a que son persistentes, bioacumulables y tóxicos (Nobi, et al., 2010; García, et al., 2008). En contraste con los contaminantes orgánicos, los metales pesados no pueden ser biológicamente o químicamente

degradados, por lo tanto pueden ser redistribuidos a través de la columna de agua, se pueden depositar o acumular en los sedimentos o ser transportados largas distancias siendo consumidos por la biota (Besada, et al., 2011), representando así un riesgo para los ecosistemas y a largo plazo para la salud pública (Gavriil and Angelidis, 2005; Nobi et al., 2010). Estudios sobre la concentración de metales en playas turísticas se ha llevado a cabo en varias regiones del mundo como en Venezuela (García, et al., 2008), Malaysia (Nagarajan, et al., 2013), India (Jayaprakash, et al., 2008), Pakistan (Siddique, et al., 2009), Croatia (Popadic, et al., 2013), Chile (Ramírez, et al., 2005). En México en Baja California (Muñoz-Barbosa & Huerta-Díaz, 2013), Acapulco (Jonathan, et al., 2011) y Huatulco (Estrada, 2008).

Otro problema para los ecosistemas son los plásticos, en el 2011 se produjeron 280 millones de toneladas de plásticos (Plastics Europe, 2012) éstos son materiales que utilizamos cotidianamente y que se convierten en residuos que contaminan a las zonas costeras. Comúnmente se encuentran en los desechos marinos, se determinó que a nivel mundial su proporción oscila entre 60 % a 80 % del total de los desechos en el mar, se estima que todos los océanos del mundo se encuentran contaminados con plásticos (Avery-Gomm, et al., 2012; Do Sul and Costa, 2009), lo que plantea uno de los más destacados problemas ecológicos a enfrentar (Farrell and Nelso, 2013; Derraik, 2002).

Los macroplásticos pueden someterse a fragmentación térmica, fotoquímica, química o física (Cooper and Corcoran, 2010) y finalmente, llegar a la etapa de microplástico que se define como el plástico con un diámetro inferior a 5 mm (Liebezeit and Dubaish, 2012). Actualmente han cobrado relevancia los microplásticos debido a su impacto sobre una amplia gama de especies y hábitats, la fauna marina más pequeña, como zooplancton, los mejillones, gusanos marinos y peces pueden ingerir partículas de plástico (Verlis, et al., 2013) y existe la posibilidad de la transferencia de microplásticos a través de la cadena alimenticia (Wright, 2013). El estudio de los plásticos en las zonas costeras está bien documentado, pero en el caso de microplásticos aparece el primer reporte alrededor de 40 años atrás y aumentó sólo a partir de los años 80's (Liebezeit and Dubaish, 2012) hay estudios del tema en el Pacífico (Moore, et al., 2001), en Hawaii (Cooper & Corcoran, 2010; McDermid &

McMullen, 2004) y Portugal (Martins & Sobral, 2011) entre otros, pero es un tema que falta por investigar y más aún en nuestro país.

1.2 Justificación

En México hay destinos turísticos consolidados como Acapulco, Cancún, Mazatlán y Puerto Vallarta pero Huatulco no es uno de éstos casos, debido a que su crecimiento ha sido menor al proyectado (López, 2011), por lo que es muy probable que se busquen proyectos donde se incentive el turismo, principal actividad económica de Huatulco, un ejemplo es el de Punta Maguey y el Corredor Ecoturístico Comunal Huatulco (Gómez, et al., 2006), por lo que la información ambiental derivada de la investigación resulta valiosa para el cuidado del medio ambiente, por ejemplo de la zona de corales y la toma de decisiones para fomentar dicha actividad económica, además, cabe resaltar la importancia del presente estudio porque realiza la identificación y cuantificación de microplásticos que no se ha realizado anteriormente en la zona y como se mencionó anteriormente son un problema ecológico debido a que son accesibles a un mayor número de especies marinas y probablemente se pueden incorporar a la cadena alimenticia.

1.3 Hipótesis

Mediante la determinación de parámetros fisicoquímicos del agua superficial de mar, el análisis granulométrico, la cuantificación e identificación de las posibles asociaciones entre metales, y la identificación de microplásticos, en los sedimentos superficiales de las playas, se podrán determinar las fuentes que contribuyen a su contaminación.

1.4 Objetivo general

Realizar una evaluación ambiental de las playas que conforman el desarrollo turístico Bahías de Huatulco a través de la determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua superficial del mar, el análisis granulométrico, la cuantificación de metales, sus posibles asociaciones y de la fracción biodisponible, así como de la identificación de microplásticos en los sedimentos superficiales.

1.5 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros fisicoquímicos del agua superficial del mar (T, pH, % de saturación de Oxígeno Disuelto, Salinidad, Conductividad, SDT y ORP) de 30 playas de Huatulco y del río Coyula durante dos periodos de muestreo (abril, 2013 y diciembre, 2014).
- Determinar el tamaño de sedimento de 30 playas de Huatulco y del río Coyula durante dos periodos de muestreo (abril, 2013 y diciembre, 2014).
- Cuantificar la concentración de metales (Fe, Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, Hg y As) en la matriz del sedimento (análisis total) y de forma ambientalmente disponible (análisis parcial) de los sedimentos superficiales de 30 playas de Huatulco y del río Coyula, durante dos periodos de muestreo (abril, 2013 y diciembre, 2014).
- Identificar y cuantificar microplásticos en los sedimentos superficiales de 30 playas de Huatulco, durante dos periodos de muestreo (abril, 2013 y diciembre, 2014).
- Realizar el análisis estadístico del tamaño de sedimento para identificar la posible procedencia del sedimento de las playas de Huatulco.
- Determinar la fracción biodisponible de los metales (Fe, Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, Hg y As) a través de su concentración (análisis total y parcial).
- Determinar la asociación entre los metales, con ayuda del análisis multifactorial, para determinar su posible origen natural o antropogénico.
- Obtener el Índice de geoacumulación y el Factor de Enriquecimiento de los metales (Fe, Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, Hg y As).
- Integrar los resultados de la medición de los parámetros fisicoquímicos del agua del mar, el análisis granulométrico, la determinación de la concentración de metales

(análisis total y parcial) y la cuantificación de microplásticos en los sedimentos, para realizar la evaluación ambiental de las playas de Hautulco.

CAPÍTULO 2

2 Área de estudio

2.1 Características de la zona de estudio

El Desarrollo Turístico Integral Bahías de Huatulco se localiza en el municipio Santa María Huatulco, en Oaxaca, México. Abarca 9 bahías: Conejos, Tangolunda, Chahué, Santa Cruz, Órgano, Maguey, Cacaluta, Chachacual y San Agustín, además la región de Bajos de Coyula y el Arenal (figura 2.1).

2.1.1 Ubicación geográfica

Las Bahías de Huatulco se localizan en la costa del Estado de Oaxaca, en la parte final de la Sierra Madre del Sur. Al norte 18°39', al sur 15°39' de latitud norte; al este 93°52', al oeste 98°32' de longitud oeste. Abarcan 35 kilómetros del Litoral del Pacífico Mexicano, entre los ríos de Coyula y Copalita. Situado a 277 km de la capital de Oaxaca. El estado de Oaxaca colinda al norte con Puebla y Veracruz-Llave; al este con Chiapas; al sur con el Océano Pacífico y al oeste con Guerrero.

2.1.2 Antecedentes y aspectos socioeconómicos

Antecedentes históricos

Durante los años setenta el gobierno mexicano implementó políticas para incentivar el turismo regional, con la finalidad de captar ingresos a la vez de propiciar la mejora económica y social de la población. Se identificó a la costa del Pacífico y Caribe mexicanos como una buena opción para impulsar al sector turístico por sus riquezas naturales y culturales, específicamente a Huatulco, Oaxaca y Cancún, Quintana Roo (CONANP, 2003).

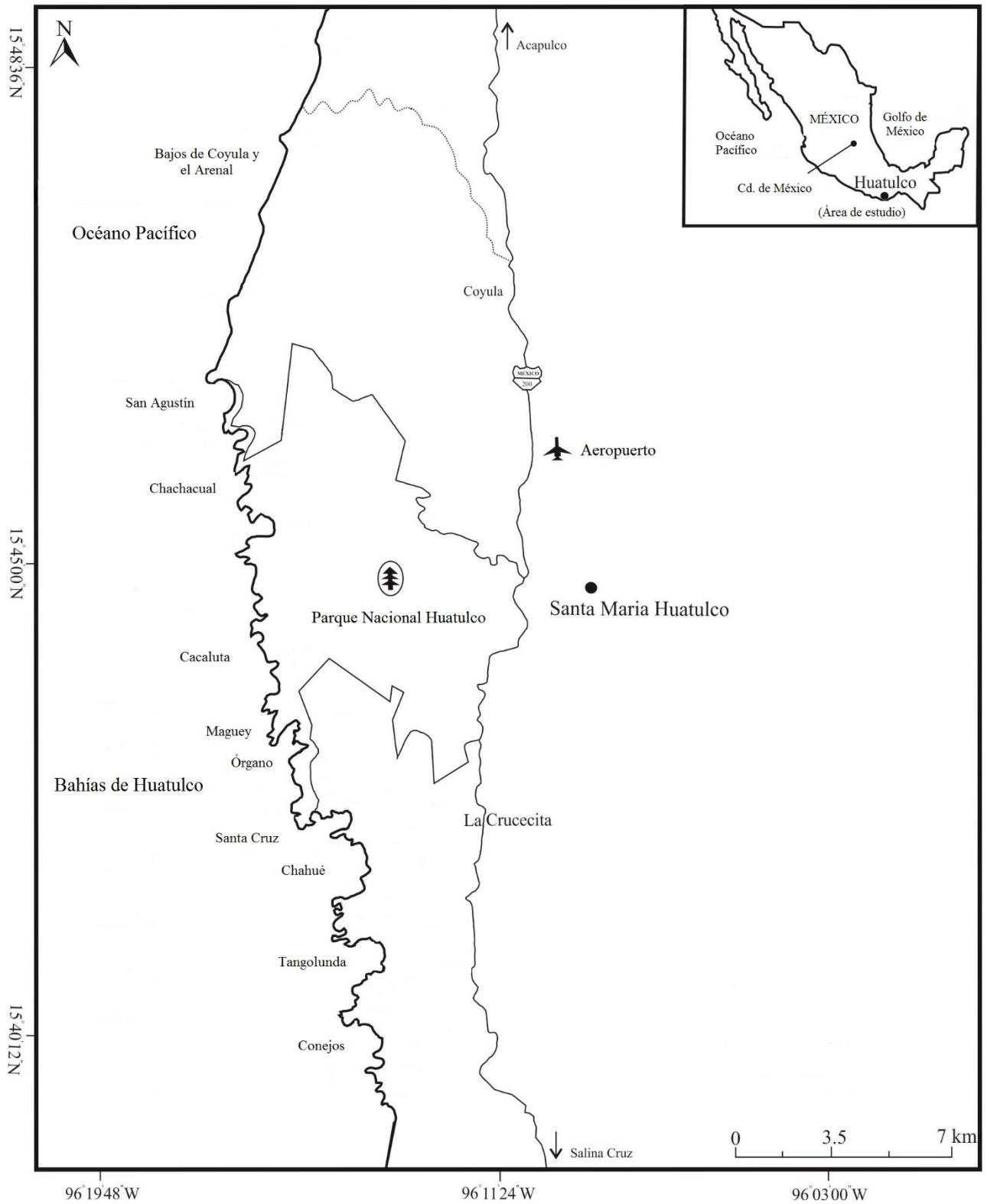


Figura 2.1 Mapa de las Bahías de Huatulco. Elaborado a partir de carta topográfica. Santa María Huatulco D14B19 y Coyula D14B29 1:50 000, INEGI, 1999

En el caso de Huatulco, con la conclusión de las carreteras Puerto Escondido-Salina Cruz y la de Oaxaca Pochutla, en 1983, el 29 de mayo de 1984 se decretó la expropiación de los Bienes Comunales de Santa María Huatulco con un total de 21,163 hectáreas; superficie correspondiente a poco más de la mitad de las tierras que en ese mismo año les habían sido reconocidas por resolución presidencial a los habitantes del lugar. En junio del mismo año son puestos a disposición del Fondo Nacional de Fomento al Turismo (FONATUR) los terrenos expropiados, para iniciar la construcción del Desarrollo Turístico Integral Bahías de Huatulco (CONANP, 2003, INEGI, SECTUR, 2002). Aunado al Desarrollo Turístico se inició la construcción del aeropuerto internacional en 1985 que culminó en 1987 (Ramírez, 2005).

El 24 de julio de 1998 se declara parte de la porción central del territorio y su correspondiente zona marina, como Área Natural Protegida bajo la categoría de Parque Nacional; abarcando una superficie total de 12,000 hectáreas de las cuales 5,000 son marinas y 7,000 son de selva mixta (Ramírez, 2005).

De acuerdo a Huerta y Sánchez, 2011, varios aspectos influyeron en la creación del Parque Nacional Huatulco (PNH):

El crecimiento estaba por debajo de las estimaciones contempladas por FONATUR y posiblemente se estableció por un lado, para evitar invasiones a los terrenos por parte de organizaciones sociales, establecer un escudo verde que separara el desarrollo turístico de alto nivel con las zonas marginadas de bienes comunales y la zona de Bajos, y por el otro diversificar la oferta turística, además de ser el resultado del interés de académicos y organizaciones de la sociedad civil ecológicas, establecidas en el lugar, para evitar la degradación de los recursos naturales.

Después, el 27 de noviembre del 2003, la Convención sobre los Humedales o Convención Ramsar, designó internacionalmente gran parte del municipio de Santa María Huatulco (41,323 ha terrestres y 3,077 ha marinas para un total de 44,400 Ha) como Sitio Ramsar 1321: “Cuencas y Corales de la Zona Costera de Huatulco” (figura 2.2). En el año 2005 se certifica

como la primera comunidad turística sustentable del continente americano bajo el sistema de administración ambiental EarthCheck, obteniendo en el 2013 el distintivo bajo la modalidad “Oro”; el 26 de octubre del 2006 la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, La Ciencia y la Cultura (UNESCO) designó al municipio de Santa María Huatulco y al Parque Nacional Huatulco como Reserva de la Biosfera Huatulco, del programa Man and Biosphere, en el año 2010 se certifica la playa Chahué como playa limpia bajo la modalidad de uso recreativo y a la bahía el Órgano en la modalidad de conservación, y más recientemente en el 2013 la Fundación Europea de Educación Ambiental concedió a la playa Chahué su “Bandera Azul” por cumplir con los requisitos de calidad del agua, seguridad, prestación de servicios generales y de ordenamiento del medio ambiente (Plan Municipal de Desarrollo 2014-2016, Santa María Huatulco).

Aspectos socioeconómicos

Durante la construcción del Desarrollo Turístico Integral Bahías de Huatulco se incrementaron fuertemente las tasas de inmigración, producto del desplazamiento de numerosos solicitantes de empleos y sus familias; se presentó una creciente alza en la demanda de terrenos urbanos para vivienda y de dotación de servicios, lo que propició asentamientos irregulares (CONANP, 2003). Además del cambio de ocupación de los pobladores de Huatulco.

En el año 2010 Santa María Huatulco contaba con 38 629 habitantes de los cuales 18 726 son hombres y 19 903 mujeres (Censos y Conteos de Población y Vivienda, Series Históricas, INEGI 2011). Como se observa en la figura 2.3 hay un alto número de asentamientos pero la población se concentra en La Crucecita, cerca de la bahía Santa Cruz.

En la figura 2.4 se aprecia que la población económicamente activa se dedica principalmente al turismo, comercio y servicio, lo cual representa un cambio a las actividades económicas que se realizaban antes del desarrollo turístico que eran fundamentalmente la agricultura y pesca.

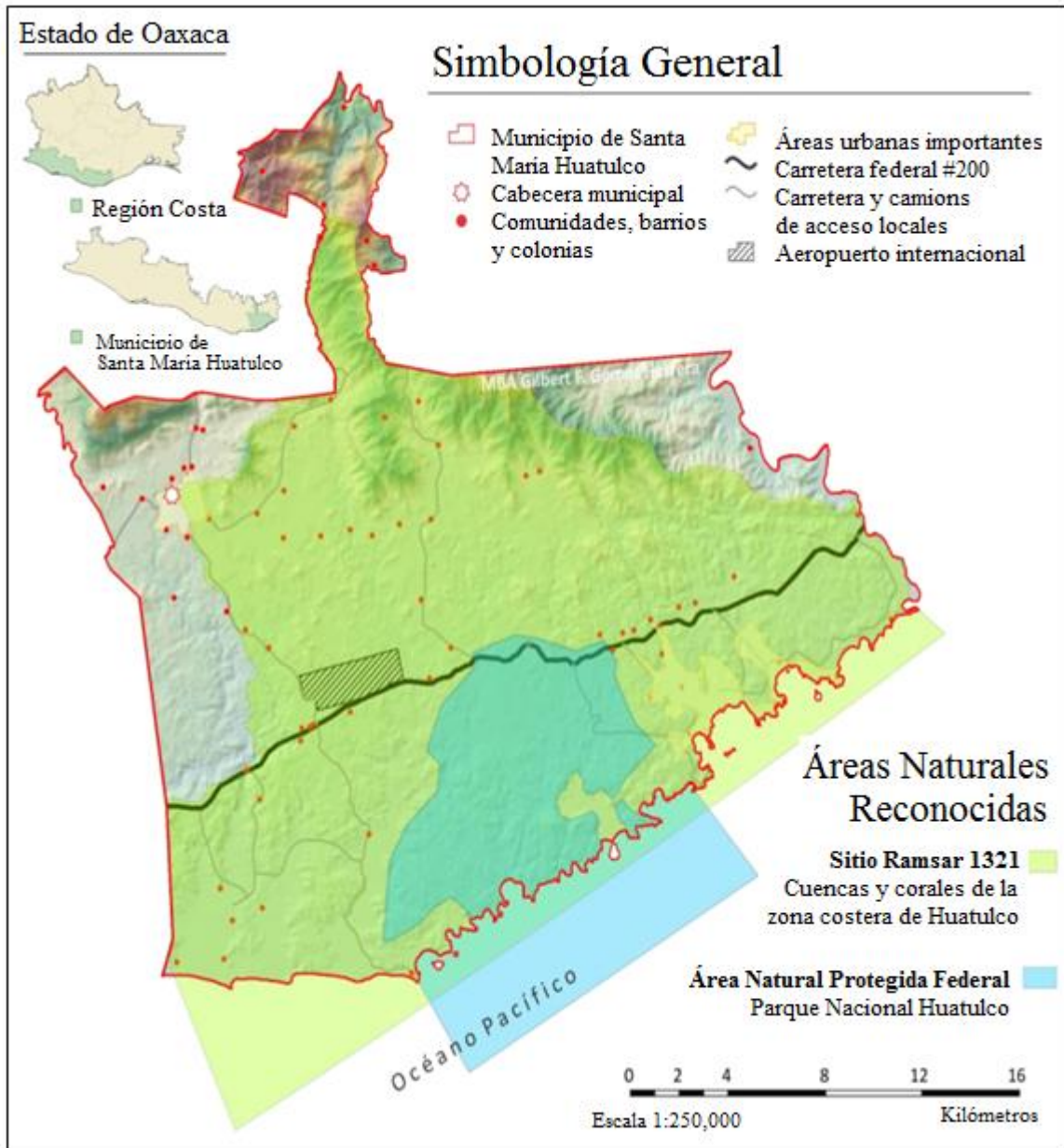


Figura 2.2 Cartografía que describe la distribución del Parque Nacional Huatulco y el Sitio Ramsar 1321 Cuencas y corales de la zona costera de Huatulco. Fuente: Plan Municipal de Desarrollo 2014-2016, Santa María Huatulco.

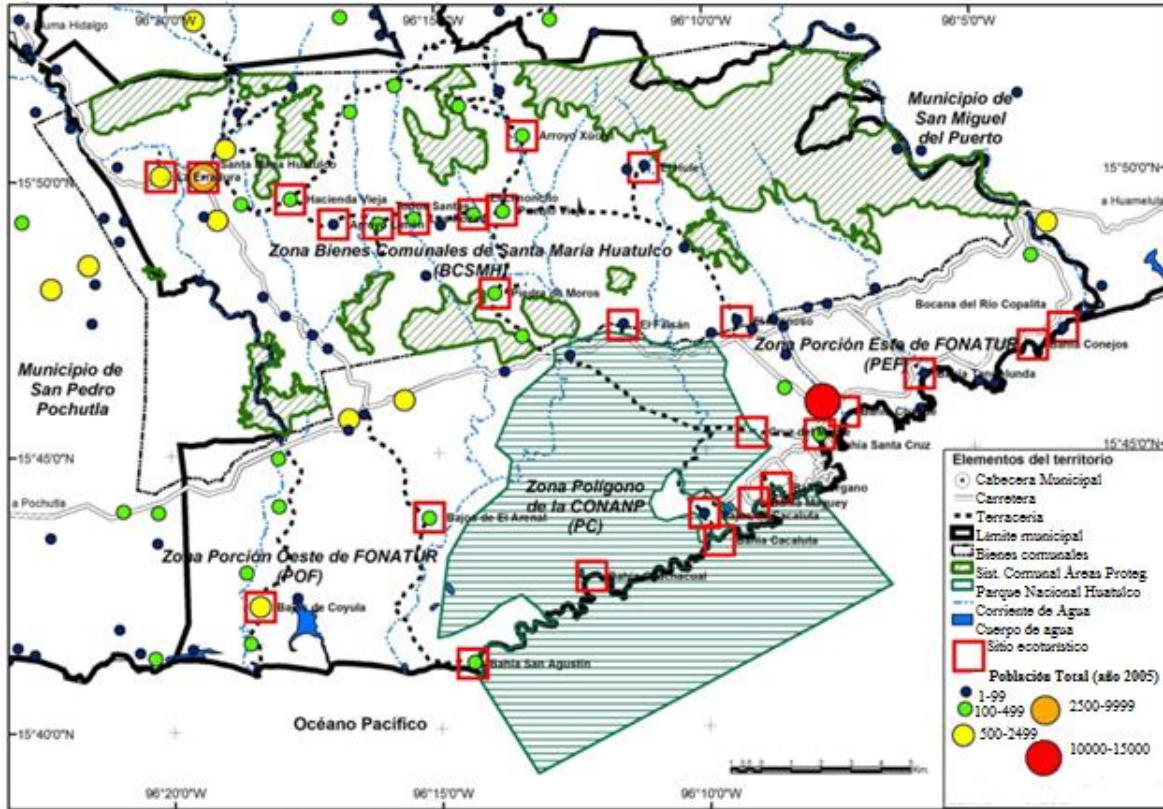


Figura 2.3 Distribución de la población en Santa María Huatulco 2005. Fuente: Huerta, 2011

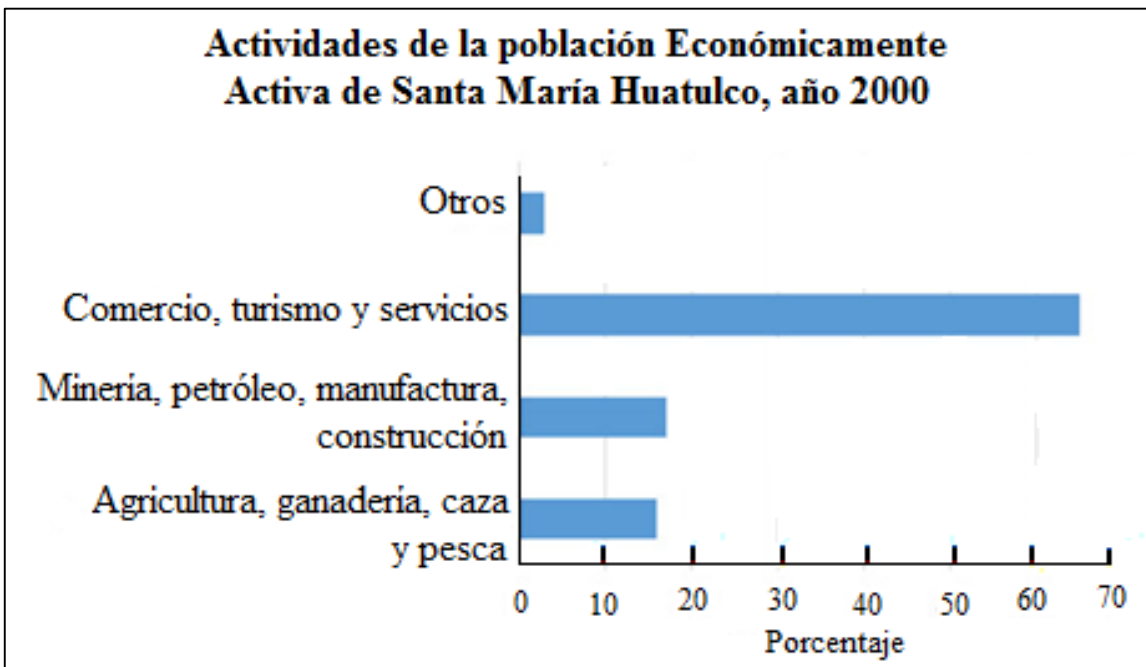


Figura 2.4 Ocupación de la población económicamente activa en el municipio de Santa María Huatulco en 2000. Elaboración propia a partir de la información del Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, gobierno del estado de Oaxaca

Sector primario

Actualmente en la parte alta de las cuencas de Huatulco y dentro de los bienes comunales de Santa María Huatulco se generan actividades agrícolas basadas en la siembra de ajonjolí, maíz, frijol y café, además de la ganadería básicamente extensiva, aunque también se realizan actividades de conservación; lugares con importante actividad agropecuaria son San Agustín, Bajos del Arenal y Puente Xuchilt (Rivera, 2011). Gómez, et al., 2006 reportan actualmente en la zona de Cacaluta 13ha de uso agrícola y Escalona, et al., 2003 reportan zonas agrícolas de mayor desarrollo comercial asociadas al río Coyula.

Con respecto a los pescadores generalmente se encuentran equipados con lanchas de fibra de vidrio de aproximadamente 7 m de eslora, con motor fuera de borda de 40 a 75 Hp, para la extracción de peces, moluscos y crustáceos utilizan anzuelos, ganchos, barretas, atarrayas, redes agalleras o trasmallos y arpones, los cuales se encuentran registrados en el Registro Nacional de la Pesca (CONANP, 2003).

Sector secundario

Con respecto al sector secundario se concentra en pequeños talleres de artesanías regionales realizadas en barro, madera y bejuco; talleres textiles en pequeña escala; expendios con destilación de mezcal, además de tortillerías y procesadoras de café, entre las más sobresalientes, también una planta de tratamiento de aguas residuales por parte de FONATUR (CONANP, 2003).

Sector terciario

Con el Desarrollo Turístico Bahías de Huatulco se incrementó la actividad turística (figura 2.5), registrándose en el 2008 317,560 turistas, principalmente nacionales (Escamilla, 2011), la actividad turística se concentra principalmente en tres áreas: Santa Cruz, La Crucecita y Tangolunda.

La Crucecita es el centro donde se ubican muchos de los servicios al turista y a la población en general, la plaza principal está rodeada por restaurantes, boutiques, y tiendas de artesanías. Tangolunda es el lugar donde se localiza la zona hotelera y de gran turismo, centros comerciales y un campo de golf. La bahía alberga a hoteles de alta densidad turística como el Camino Real Zaashila, Dreams Huatulco, Quinta Real Huatulco y Barceló. En la bahía Santa Cruz se encuentra la Playa Santa Cruz que cuenta con servicio de restaurante, renta de lanchas turísticas, acuamotos y equipo para buceo libre (*snorkel*); además hay tiendas de ropa y artículos de playa. Dentro de la misma bahía se encuentra la playa La Entrega que también es concurrida por los turistas. En la Bahía San Agustín hay restaurantes y renta de equipo de *snorkel*. La navegación es posible, contratando el servicio de embarcaciones del lugar.

La CONANP, 2003 obtuvo información de la Capitanía de Puerto de Bahías de Huatulco, en la que se reportó que en el transcurso del año 2000, visitaron el área marina (concentrándose las rutas principales hacia el PNH) 9,342 embarcaciones y un total de 175,809 turistas. Respecto a las embarcaciones, el promedio mensual fue de 779 y el promedio diario fue de 25.6; el mes de diciembre se encontró por arriba de la media mensual con 1,594. Con respecto a los turistas, el promedio mensual fue de 14,651 y el promedio diario de 481.7; nuevamente el mes de diciembre se encontró por arriba de la media mensual con 29,078 (figura 2.6). En la parte terrestre, aunque es menor la actividad, se llevan cabo campamentos turísticos (de forma improvisada en las playas que carecen de los servicios elementales y que generan una elevada cantidad de basura) sobre todo en las bahías de Órgano, Cacaluta y Chachacual-La India; y recorridos turísticos bajo la modalidad de caminata, bicicleta y cuatrimoto, sobre todo transitan por el camino viejo a Santa María Huatulco que atraviesa de sureste a noroeste el PNH. Las cuatrimotos durante su recorrido, provocan el desplazamiento de animales por el intenso ruido producido por sus motores y representan un riesgo de atropellamiento a la fauna debido a que a veces se realizan a gran velocidad, tanto en el día como en la noche, lo cual ocasiona una perturbación a especies animales de importancia ecológica por encontrarse bajo un estatus de conservación.

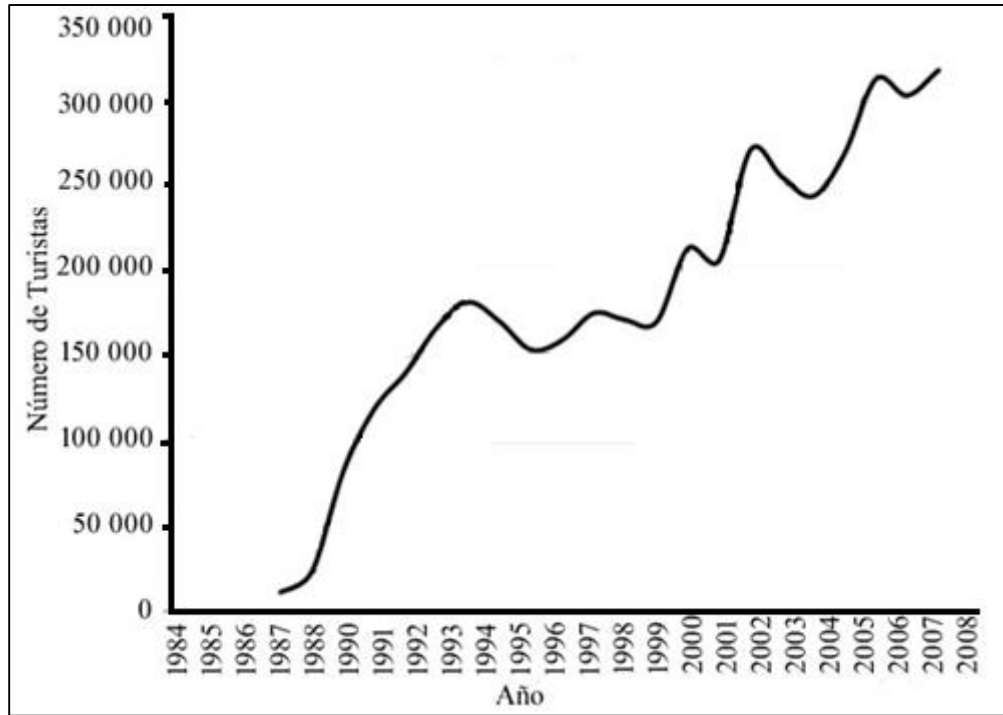


Figura 2.5 Número de turistas que visitaron las Bahías de Huatulco por año (López, 2011).

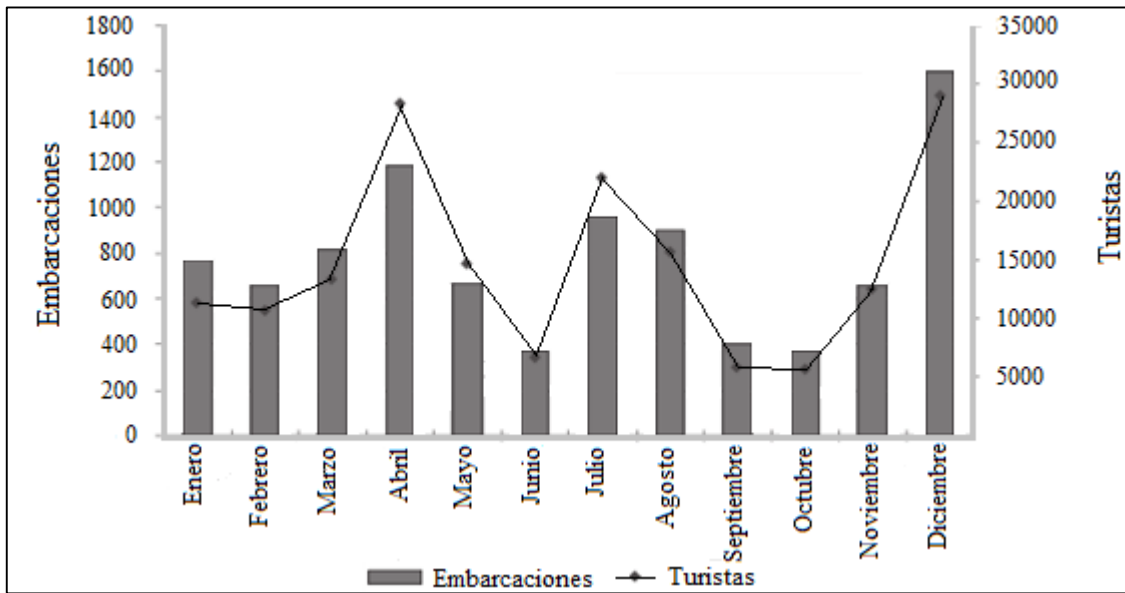


Figura 2.6 Turistas y embarcaciones por mes en bahías de Huatulco en el año 2000. Fuente: CONANP, 2003

2.1.3 Características climáticas

La temperatura media anual registrada en los últimos diez años es del orden de 27.6°C, la máxima variación se presenta en enero con 25.6°C y en mayo con 29.8°C (Ramírez, 2005).

Presenta un clima cálido subhúmedo (según Köppen, modificado por García, 1973), una precipitación media anual de entre 1,000 y 1,500 mm, de los cuales casi el 97 % se presentan durante el verano (junio-octubre), presentándose una canícula entre los meses de julio y agosto (CONANP, 2003).

En la figura 2.7 se observa el tipo de clima, de acuerdo a Soto, et al., 2001, Aw₀ se refiere a una temperatura menor a 43.2, Aw₁ entre 43.2 y 55.3 y Aw₂ mayor a 55.3.

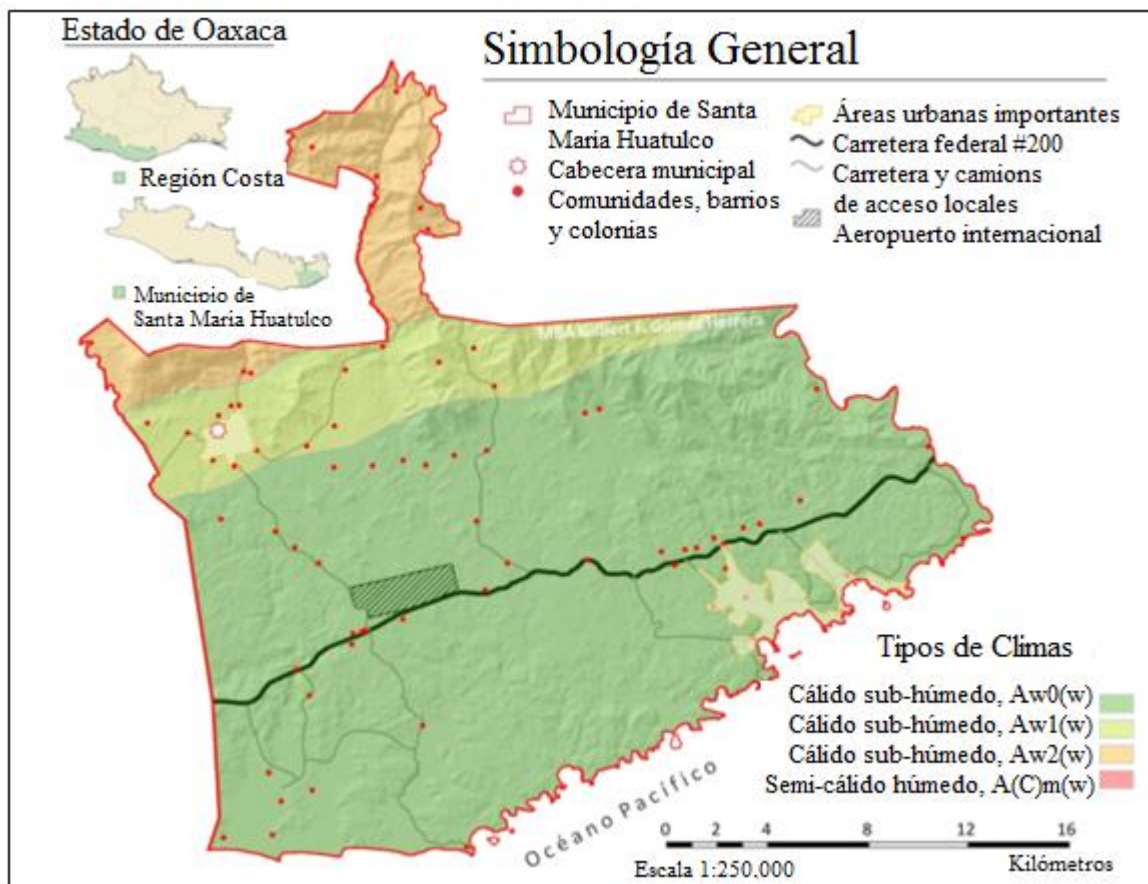


Figura 2.7. Cartografía que representa los tipos de climas que predominan en el territorio de Santa María Huatulco. Fuente: Plan Municipal de Desarrollo 2014-2016, Santa María Huatulco

2.1.4 Características hidrológicas

El sistema hidrológico está constituido de redes de drenaje dendrítico y subdendrítico bien desarrollados, donde la disponibilidad de agua está dada por los escurrimientos que bajan de las montañas medias (franja del cultivo del café de 600 a 1200 msnm), donde se originan las lluvias orográficas de la costa de Oaxaca. Debido al tipo de sustrato geológico que conforma la región, la infiltración dentro del sistema de drenaje es muy baja y se caracteriza por presentar cuencas de tipo intermitente, con mucha susceptibilidad a la erosión. Los arroyos intermitentes de longitud mediana son: al Oeste el arroyo Cuajinicuil-Xúchilt-Arenal (figura 2.8), con un área aproximada de drenaje de 178 km y cuyo origen se encuentra dentro de los terrenos comunales de Santa María Huatulco, en el cerro Cimarrón. Destaca la presencia de lagunas intermitentes que en ocasiones llegan a permanecer todo el año, entre éstas encontramos a la laguna Culebra (dividida por la poligonal del Parque); La Poza y laguna Cacaluta, así como dos pequeñas lagunas salobres de menos de media hectárea, alimentadas por escurrimientos y por la marea, ubicadas en las playas de Chachacual y Cacaluta. La única estación hidrométrica localizada en el río Copalita reporta para el periodo 1972-1980 un volumen de escurrimiento anual de 986 millones de m³ y un gasto medio de 31.3 m³/s, situado entre un mínimo de 3.6 y un máximo de 1,208 m³/s, lo cual muestra claramente las importantes variaciones de caudal en este río de un año a otro. Datos del mismo periodo indican que el volumen de escurrimiento mensual mínimo se presenta en el mes de abril y refieren un escurrimiento de 18.5 millones de m³, mientras que para septiembre se reporta el máximo escurrimiento con 250.2 millones de m³, esto es 13.52 veces más elevado que dentro del estiaje (CONANP, 2003).

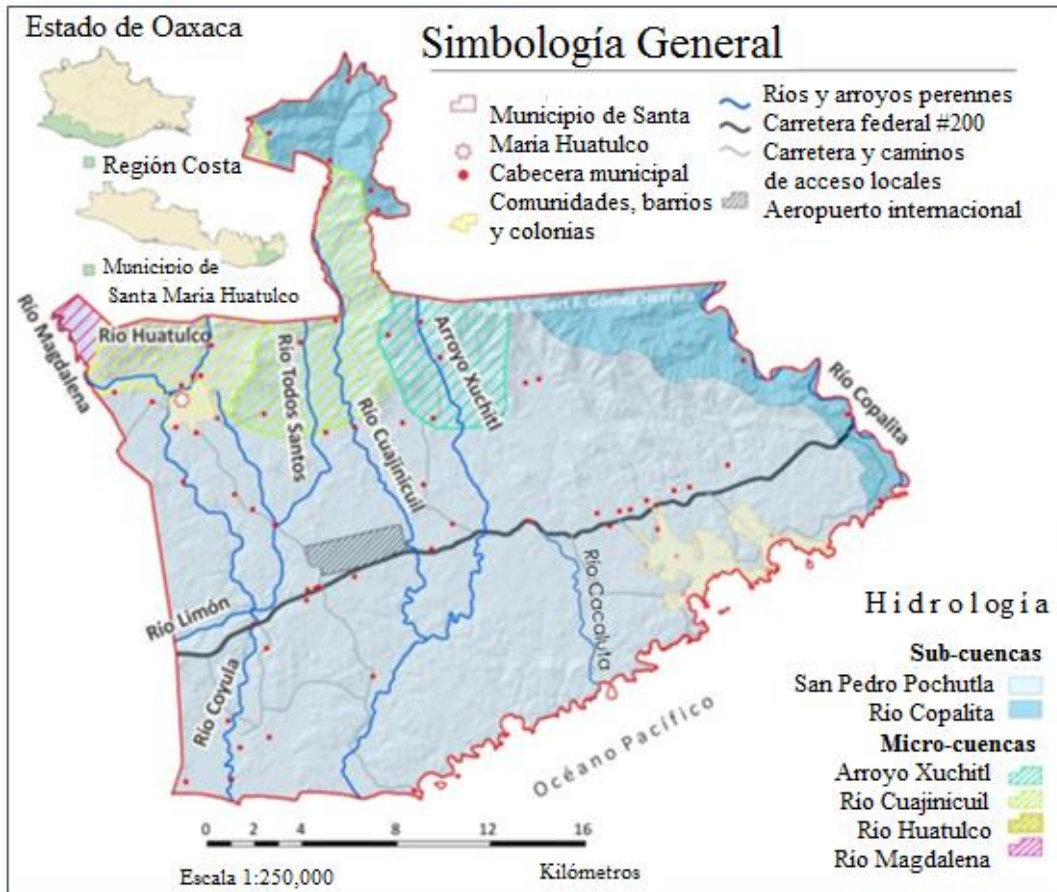


Figura 2.8 . Cartografía que representa el sistema hidrológico del territorio de Santa María Huatulco. Fuente: Plan Municipal de Desarrollo 2014-2016, Santa María Huatulco modificado a partir de datos de Gómez, et al., 2006 y las cartas topográficas Santa María Huatulco.

2.1.5 Características geológicas

De acuerdo a Ramírez, 2005, la región está representada por una cadena montañosa que ocupa la parte meridional de las tierras altas centrales. Localmente afloran rocas ígneas y metamórficas, predominando los gneisses, granitos, esquistos, cuarcitas y filitas, las cuales son las rocas más antiguas que pertenecen al Complejo Basal Metamórfico del Paleozoico, con una edad que fluctúa entre 1 y 13 millones de años (FONATUR 1984) ver figura 2.9. En general, las rocas en el área corresponden a diversos períodos geológicos: Precámbrico: Esta secuencia de rocas es de gneisses bandeados en facies de granulita o transición granulita-anfibolita. Se advierten cambios laterales de gneisses y granitos en distancias de sólo unos metros (Carranza-Edwards, 1975; FONATUR 1984).

Paleozoico: Se presentan esquistos cloríticos con pequeñas variaciones a esquistos con textura en forma de talco, es una secuencia de rocas meta-sedimentarias con pequeñas foliaciones y de color pardo oscuro lustroso. Estas rocas se conocen como Formación Acatlán encontrándose discordantemente sobre los gneisses que forman el basamento Precámbrico, las cuales se localizan en los macizos cerriles, siendo sumamente intemperizadas, fracturadas e intrusionadas por diques de diferentes materiales (Carranza-Edwards, 1975; FONATUR 1986).

Relacionado lateralmente con la formación Acatlán se encuentran rocas de tipo esquistos y gneisses de biotita, del Paleozoico Inferior por lo que recibe el nombre de Complejo Xolapa. Discordante sobre el Complejo Xolapa, descansa la formación Ixcuintoyac que consiste principalmente de cuarcitas y filitas impuras, constituyendo éstas últimas, el cuerpo principal de la formación. Estas rocas se encuentran muy plegadas y metamorizadas (Carranza-Edwards, 1975; FONATUR 1984, 1986).

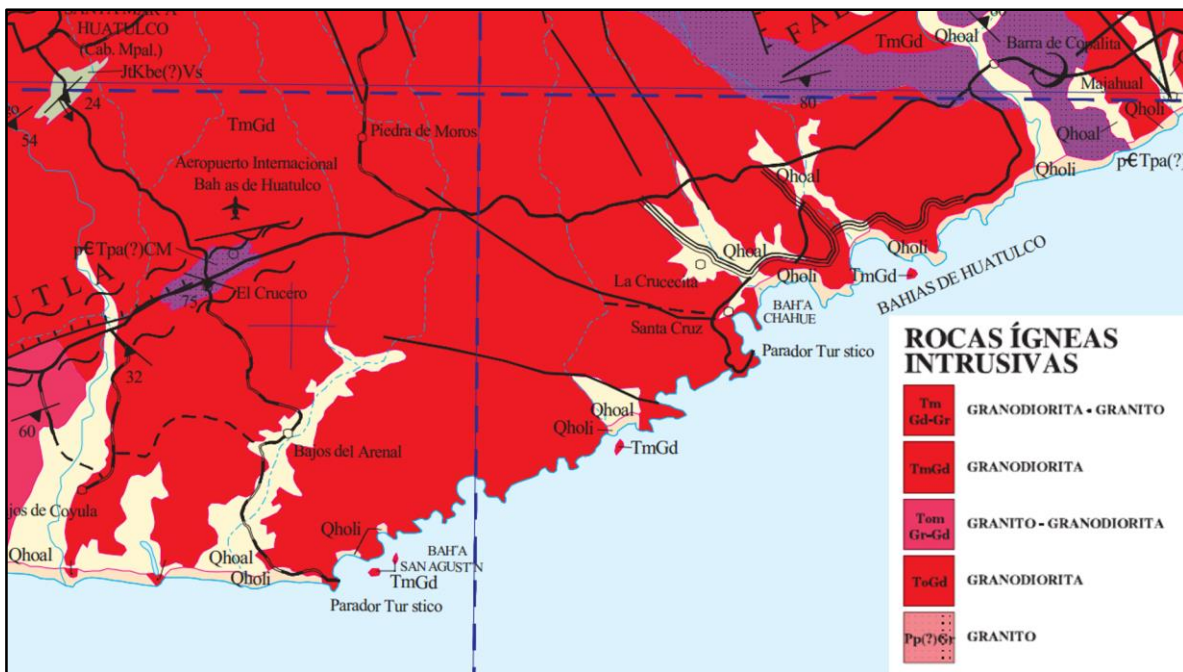


Figura 2.9 Carta Geológico-Minera, Puerto Escondido D14-3, Servicio Geológico Mexicano, 2002.

Reciente: La formación más joven de la zona está representada por sedimentos clásticos (arenas y gravas) que se encuentran depositadas sobre las terrazas marinas o como rellenos aluviales de algunos valles reducidos (Carranza 1975). Localmente afloran los gneisses,

esquistos y cuarcitas así como filitas desde la bahía de Cacaluta, hasta la de Tangolunda produciéndose un cambio lateral de facies en ésta parte hacia granitos los cuales se encuentran alterados y fracturados en los afloramientos cercanos al río Copalita (Carranza-Edwards, 1975; FONATUR 1981).

En el cordón litoral las rocas existentes pertenecen a la era Mesozoica, generalmente son metamórficas e ígneas intrusivas ácidas (granitos) y tienen una edad de 1 a 13 millones de años. Los granitos son permeables y constituyen las fronteras laterales e inferiores de los acuíferos, están formados por granodioritas, tonalitas, y un cuerpo granuloso con características de batolito, asociado con pequeños diques con formas abruptas. Las rocas sedimentarias clásticas están formadas por areniscas y argilitas y las rocas metamórficas del Paleozoico son las más antiguas de la región (FONATUR 1986). En el complejo Xolapa, se encontró hornblenda, anfíboles, micas, magnetita, entre otros, en la tabla 2.1 se observa los minerales que se han encontrado en la región.

El litoral donde se ubica Huatulco, es de emersión sujeto a una intensa dinámica, tanto tectónica, por las fuerzas geológicas internas que levantan, deforman y rompen las morfoestructuras, como erosiva, por las acciones de la abrasión marina provocada por el impacto del oleaje que libera una elevada energía cinética directamente sobre las rocas (FONATUR 1984). Todo el litoral de la Sierra Madre del Sur está sujeto a levantamientos diferenciales motivados por la subducción de la gran Placa de Cocos que se subdivide en microplacas continentales denominadas: Tamayo, Siqueiros, Clipperton, Orozco y Rivera (FONATUR 1984; SEMARNAT, INNECC, 2013), en la figura 2.10 se observa la ubicación de la Placa de Cocos y la Norteamericana.

Tabla 2.1 Minerales encontrados en la región de Huatulco

Autor	Localidad	Mineral	Fórmula
Carranza- Edwards, et al., 1987	Huatulco (playa Conejo)	Magnetita	$Fe^{2+}(Fe^{3+})_2O_4$
		Cuarzo	SiO_2
		Feldespatos	$(K,Na,Ca,Ba,NH_4)(Si,Al)_4O_8$ La composición de feldespatos corresponde a un sistema ternario compuesto de ortoclasa ($KAlSi_3O_8$), albita ($NaAlSi_3O_8$) y anortita ($CaAl_2Si_2O_8$). Feldespatos con una composición química entre anortita y albita se llaman plagioclasas, en cambio los feldespatos con una composición entre albita y ortoclasa se llaman feldespatos potásicos.
		Anfíboles	$(Si_4O_{11})_n$ con cationes: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} y Fe^{3+} también OH^-
Morán- Zenteno, et al., 1996	Huatulco (Xolapa)	Piroxenos	$(Ca,Mg,Fe,Mn,Na,Li)(Al, Mg, Fe, Mn,Cr,Sc,Ti)(Si, Al)_2O_6$
		Ilmenita	$Fe^{2+}Ti^{4+}O_3$
		Anfíboles	$(Si_4O_{11})_n$ con cationes: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} y Fe^{3+} también OH^-
		Mica	Moscovita cuya fórmula es $Al Si_3O_{10}Al_2(OH)_2K$, y la segunda de colores oscuros o biotita de fórmula $Al Si_3O_{10}Al_2 (Mg,Fe)_3(OH)_2K$.
		Mármol	$CaCO_3$
		Granito	El granito es una roca formada por: cuarzo (SiO_2) Feldespatos: plagioclasa($(Ca,Na)AlSi_3O_8$) ortosa ($KAlSi_3O_8$) Mica $K(Al,Cr)_2AlSi_3O_{10}(OH,F)_2$
		Granodiorita	cuarzo (SiO_2) plagioclasa($(Ca,Na)AlSi_3O_8$) ortosa ($KAlSi_3O_8$) en menor proporción biotita ($Si_3AlO_{10}(Mg,Fe)_3(OH)_2K$) hornblenda ($Ca_2(Fe,Mg)_5Si_8O_{22}(OH)_2$)
		Titanita	$CaTiSiO_5$
		Magnetita	$Fe^{2+}(Fe^{3+})_2O_4$
		Zircón	$ZrSiO_4$
Apatita	$Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)$		
Hornblenda	$Ca_2(Mg,Fe,Al)_5(Al,Si)_8O_{22}(OH)_2$ Análisis de hornblenda en Huatulco (%): SiO_2 43.79, TiO_2 1.15, Al_2O_3 10.05, Cr_2O_3 0.0, Fe_2O_3 5.20, FeO 15.29, MnO 0.62, NiO 0.0		

Tabla 2.1. Minerales encontrados en la región de Huatulco (continuación)

Autor	Localidad	Mineral	Fórmula
Morán-Zenteno, et al., 1999	Huatulco	Cuarzo	SiO ₂
		graniodiorita	cuarzo (SiO ₂) plagioclasa((Ca,Na)AlSi ₃ O ₈) ortosa (KAlSi ₃ O ₈) en menor proporción biotita (Si ₃ AlO ₁₀ (Mg,Fe) ₃ (OH) ₂ K) hornblenda (Ca ₂ (Fe,Mg) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂)
		Granito	El granito es una roca formada por: cuarzo (SiO ₂) Feldespatos: plagioclasa((Ca,Na)AlSi ₃ O ₈) ortosa (KAlSi ₃ O ₈) Mica K(Al,Cr) ₂ AlSi ₃ O ₁₀ (OH,F) ₂ Ca ₂ (Mg,Fe,Al) ₅ (Al,Si) ₈ O ₂₂ (OH) ₂
Alaniz y Ortega, 1997	Complejo Xolapa	hornblenda	Ca ₂ (Mg,Fe,Al) ₅ (Al,Si) ₈ O ₂₂ (OH) ₂
		plagioclasa-biotita-cuarzo	(Na,Ca)(Si,Al) ₃ O ₈ -K(Mg,Fe ²⁺)(Al,Fe ³⁺) Si ₃ O ₁₀ (OH,F) ₂ -SiO ₂
		Estauroлита	(Fe ²⁺ ,Mg, Zn) ₂ Al ₉ (Si,Al) ₄ O ₂₂ OH ₂
		Diabasa	Esenciales: plagioclasa (labradorita (Ca,Na)(Si,Al) ₄ O ₈) y piroxeno (augita (Ca,Mg,Fe) ₂ (Si,Al) ₂ O ₆). Accesorios: biotita, magnetita (Fe ²⁺ (Fe ³⁺) ₂ O ₄), ilmenita (Fe ²⁺ Ti ⁴⁺ O ₃) y apatito (Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F, Cl, OH).
		Anfiboles	A ₀₋₁ B ₂ C ₅ (Si,Al,Ti) ₈ O ₂₂ D ₂ donde: A = Na, K, Ca, Pb ²⁺ B = Li, Na, Mg, Fe ²⁺ , Mn ²⁺ , Ca C = Li, Na, Mg, Fe ²⁺ , Mn ²⁺ , Zn, Co, Ni, Al, Fe ³⁺ , Cr ³⁺ , Mn ³⁺ , V ³⁺ , Ti, Zr D = OH, F, Cl, O
		Feldespatos	(K,Na,Ca,Ba,NH ₄)(Si,Al) ₄ O ₈
		Epidota	Ca ₂ Fe ³⁺ Al ₂ (Si ₂ O ₇)(SiO ₄)O(OH)
		Clinozoisita	Ca ₂ Al ₃ (Si ₂ O ₇)(SiO ₄)O(OH) suele llevar como impurezas Ti, Fe, Mn o ,Mg
		Clinopiroxeno	Piroxenos (Ca,Mg,Fe,Mn,Na,Li)(Al, Mg, Fe, Mn,Cr,Sc,Ti)(Si, Al) ₂ O ₆
		Zircón	ZrSiO ₄
Esfena	CaTiSiO ₅ impurezas de hierro y aluminio. Contiene rutilo TiO ₂ , ilmenita Fe ²⁺ Ti ⁴⁺ O ₃ y leucoxeno (mineral con Ti) como inclusiones		
Clorita	(Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ *(Mg,Fe) ₃ (OH) ₆		

Tabla 2.1. Minerales encontrados en la región de Huatulco (continuación)

Autor	Localidad	Mineral	Fórmula
Alaniz y Ortega, 1997	Complejo Xolapa	Microclina	$KAlSi_3O_8$ impurezas: Fe, Ca, Na, Li, Cs, Rb, H_2O o Pb
		Calcita	$(CaCO_3)$
		hematita	Fe_2O_3
		oligoclasa	$(Na,Ca)(Si,Al)_4O_8$
		Estaurolita	$(Fe^{2+},Mg, Zn)_2Al_9(Si,Al)_4O_{22}OH_2$ y almandino
		almandino	$(Fe^{2+})_3Al_2(SiO_4)_3$.
		muscovita	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
		Sillimanita	Al_2SiO_5
		granate	$(Ca,Fe,Mg,Mn)_3(Al,Fe,Mn,Cr,Ti,V)_2(SiO_4)_3$.
		turmalina	$(Na, Ca)(Al, Fe, Li)(Al, Mg,Mn)_6(BO_3)_3(Si_6O_{18}) \cdot (OH, F)_4$.
		sericita (saururita)	$KAl_2(OH)_2(AlSi_3O_{10})$.
		Micas	$XY_{2-3}Z_4O_{10}(OH,F)_2$ o $XY_3Si_4O_{12}$ Con X = Ba, Ca, Cs, (H_3O) , K, Na, (NH_4) Y = Al, Cr^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Li, Mg, Mn^{2+} , Mn^{3+} , V^{3+} , Zn Z = Al, Be, Fe^{3+} , Si
		allanita	$CaCeFe^{2+}Al_2(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$
		Augita	$(Ca,Mg,Fe)_2(Si,Al)_2O_6$
		Aegirina	$NaFeSi_2O_6$

Fuente: Elaboración propia a través de la información de los autores mencionados en la tabla.

La Sierra Madre del Sur es compleja en cuanto a su constitución litológica y a la variedad de edades de las rocas, desde cerca del millón de años a más de 600 millones de años, debe tener una actividad de ascenso vertical por su vecindad con la trinchera Mesoamericana y los ascensos bruscos locales que se han producido debido a sismos en la costa (SEMARNAT, INECC, 2013) en la figura 2.11 se muestran algunas formas del relieve del fondo oceánico y en la figura 2.12 la batimetría de la zona.

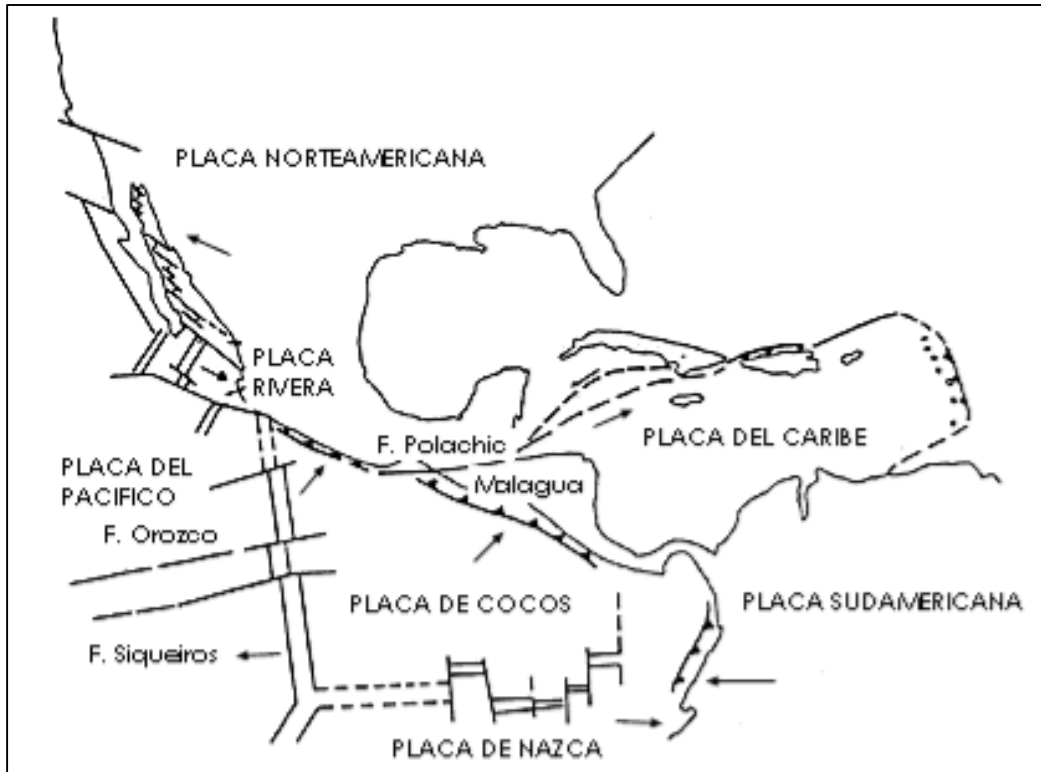


Figura 2.10 Placas litosféricas principales en el territorio mexicano (SEMARNAT, INEC, 2013).

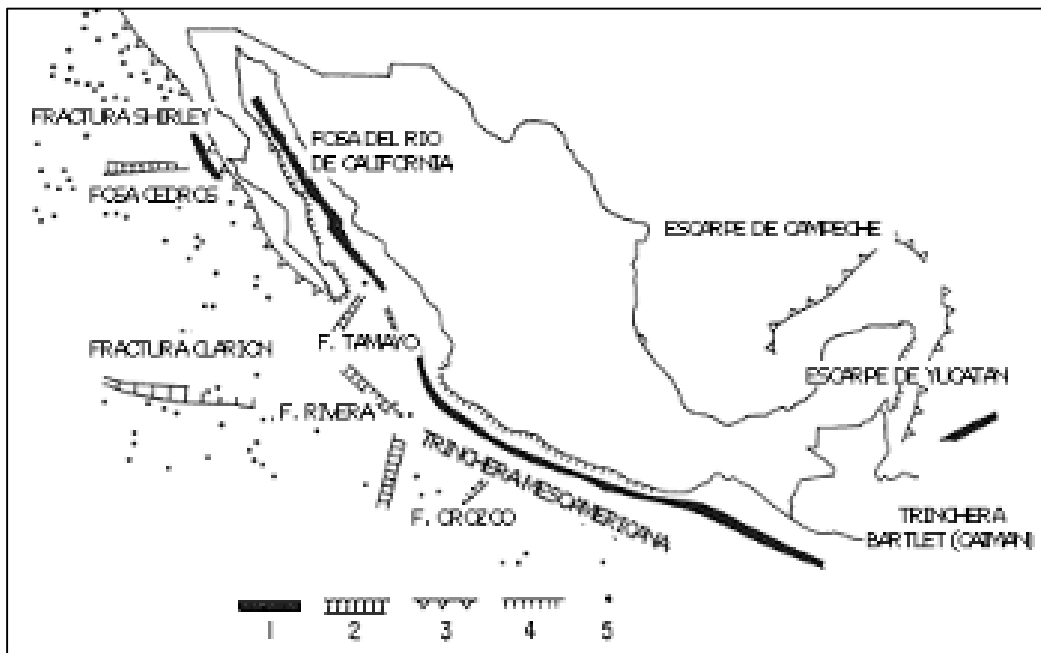


Figura 2.11 Formas de relieve del fondo oceánico mexicano 1) Fosas principales; 2) fosas secundarias; 3) escarpes mayores; 4) plataformas continentales estrechas; 5) montañas submarinas (SEMARNAT, INECC, 2013).

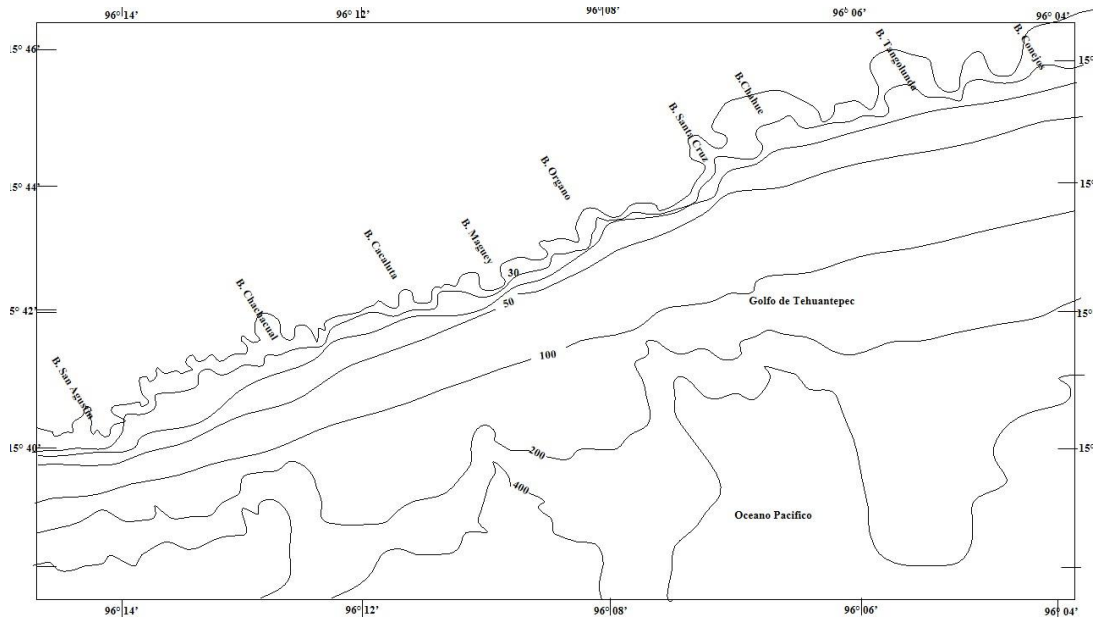


Figura 2.12 Carta Batimétrica. Elaborado a partir de la carta S.M. 622.2, Secretaría de Marina, México.

2.1.6 Características oceanográficas

En la parte marina de Huatulco, en condiciones normales, la estructura térmica se caracteriza por tener una temperatura más o menos homogénea de 25 a 30°C en los primeros 30 metros de profundidad (CONANP, 2003). FONATUR, 1981 reporta un promedio anual de la temperatura del agua del mar en la superficie de 26.4°C, la mínima de 22.4°C en diciembre y 29°C en agosto. La salinidad es alta pero con pocas variaciones, oscila entre los 33.5 a 34.5 ppm (Escalona, et al., 2003).

En general esta región presenta una alta incidencia de tormentas tropicales las cuales suelen convertirse en huracanes, situación que hasta ahora favorece en gran medida la precipitación pluvial en la zona (Escalona, et al., 2003).

El litoral del Pacífico Mexicano se encuentra enclavado en el Océano Pacífico Centro-Oriental (Santana-Hernández, 2001). Los límites de la zona tropical (temperatura y salinidad) permiten encontrar dos zonas de mezcla de aguas de origen ecuatorial y templado que colindan al norte con la corriente de California y al sur con la contracorriente Norecuatorial. El impacto de las dos corrientes, así como la intensidad de la contracorriente Norecuatorial, varía según el período del año. En el Pacífico Centro-Oriental, esta última corriente alcanza

su máxima influencia en septiembre-octubre, cuando su extensión hacia el este sobrepasa los 90° longitud Oeste y contrarresta el avance de la corriente de California hacia el sur, más allá de Bahía Magdalena. Al mismo tiempo se desarrolla una fuerte corriente costera, la Corriente Costera de Costa Rica que fluye hacia el norte. En abril, en cambio, la Contracorriente Norecuatorial apenas alcanza los 120° longitud Oeste y se observa claramente un avance hacia el sur de la zona de influencia de la Corriente de California, junto con la inversión de la Corriente Costera a lo largo del suroeste de México (SEMARNAT, INECC, 2013). De acuerdo al INE, 1994 la Corriente Norecuatoriana superficial tiene una temperatura alta 25°C y salinidad de 35‰ y bajo contenido de oxígeno disuelto, y la Corriente de California tiene temperatura y salinidad baja y alto contenido de oxígeno disuelto.

Huatulco pertenece al Golfo de Tehuantepec, los procesos meteorológicos más importantes en este golfo son los vientos tehuantepecanos que se presentan en la época de sequía de mayo a octubre, el sistema de Tehuantepec es forzado por sistemas subtropicales de alta presión originados en Norteamérica que se desplazan hacia el sur sobre el Mar Caribe, creando grandes diferencias de presión entre el Golfo de México y las masas de aire más caliente y de menor presión que residen en el Pacífico, los vientos producen un arrastre del agua hacia el sur que determina importantes surgencias y una mezcla considerable a lo largo del eje del viento, esto ocasiona un descenso de la temperatura superficial, el aumento de la salinidad y cambios en la circulación, cuando los vientos tehuantepecanos pierden fuerza se reinicia el calentamiento progresivo del agua superficial, desaparece la surgencia eólica y se restablece la circulación superficial del Golfo de Tehuantepec y de las agua adyacentes (Lara-Lara, et al., 2008; SEMARNAT, INNECC, 2013).

Estudios de (Reyes, et al. 2007) muestran la influencia de la dirección del viento en la trayectoria de circulación de partículas en las bahías de Huatulco, como se muestra en la figura 2.13, cuando el viento sopla en dirección SO las partículas se dirigen a las bahías (Tangolunda y Chahué), en los demás casos hacia el océano; cuando el viento tiene una dirección NO en todos los casos las partículas se dirigen hacia el océano y cuando la dirección es NE se dirigen hacia las bahías.

Con respecto a las mareas, éstas son mixtas con dominancia semidiurna y con respecto al oleaje, el 92.5% de las olas llegan a alturas entre los 0.3 a 2.4m; las corrientes son débiles y variables (Escalona, et al., 2003).

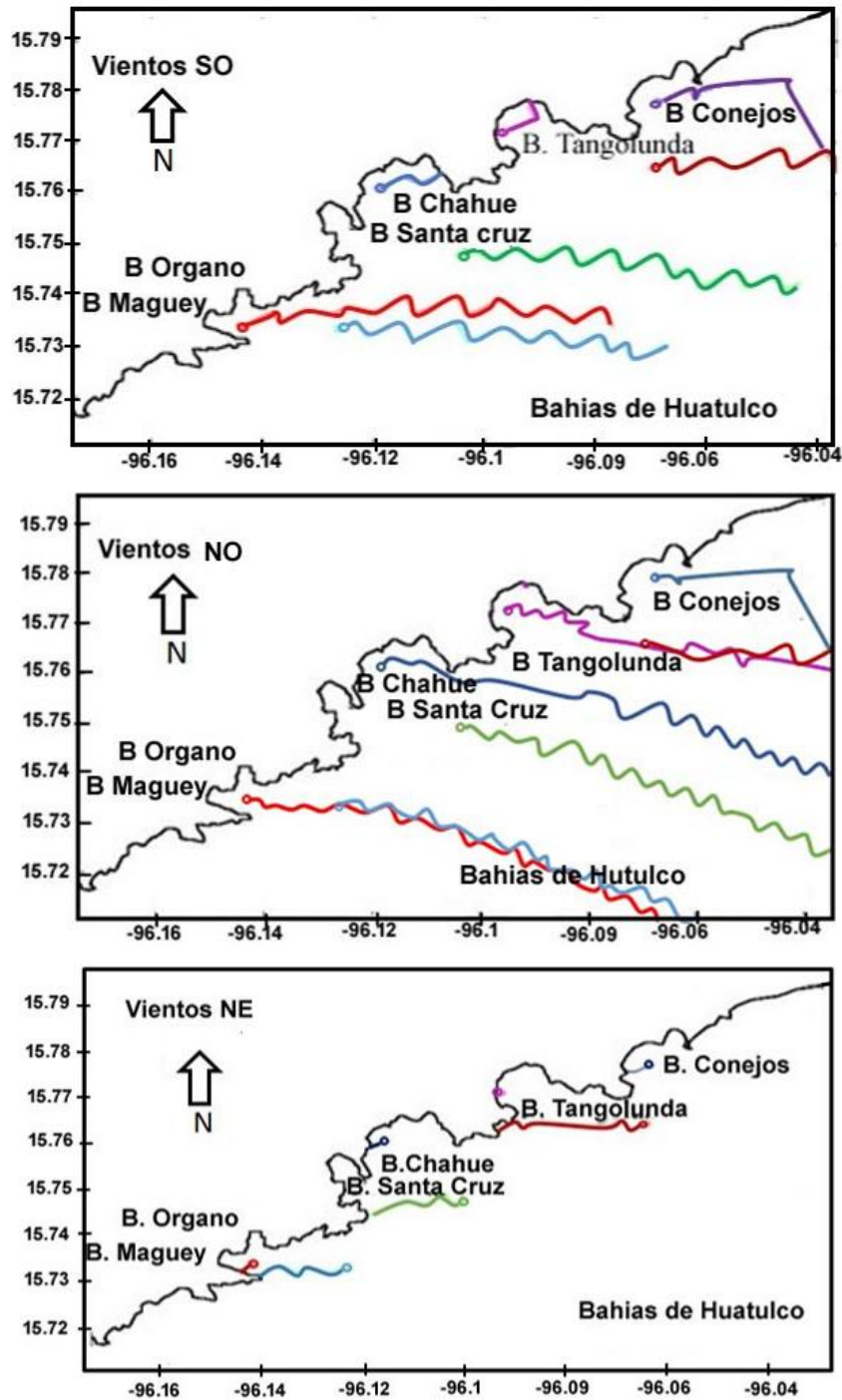


Figura 2.13 Trayectoria de partículas de acuerdo a la dirección del viento en las bahías de Huatulco. La posición inicial de la partícula está indicada con un círculo (Reyes, et al., 2007)

2.1.7 Flora y fauna

Destacan nueve tipos de vegetación (selva baja caducifolia, dunas costeras, riparia, secundaria, selva baja caducifolia de dunas costeras, manzanillar, sabana, manglar y humedales) donde la selva baja caducifolia es la más característica en extensión e importancia ya que presenta variaciones en el tamaño de los elementos que la caracterizan, principalmente en las zonas más húmedas, las cuales no son comunes en otras áreas de México. Las especies sobresalientes son: el cuachalalate (*Amphipterygium adstringens*), palo de arco (*Apoplanesia paniculata*) y papelillo (*Bursera simaruba*), entre otras. Dentro del Parque Nacional Huatulco, se reportan un total de 78 familias, 289 géneros y 429 especies de plantas para el área circundante. Las familias mejor representadas son las leguminosas con 72 especies, euforbiáceas con 34 especies, gramíneas con 19 especies y compuestas con 18 especies. Esta vegetación sirve de refugio y alimento para al menos 282 especies de aves, 71 especies de reptiles, 15 especies de anfibios y 130 de mamíferos, también es posible encontrar especies de distribución y población muy restringida a nivel nacional como lo es el caracol púrpura (*Plicopurpura pansa*) (Escalona, et al., 2003). Habitan mamíferos menores, como: ardilla, tlacuache, zorrillo, mapache, coatí, cacomixtle, armadillo, ocelote y venado cola blanca, entre otros, también abundan las aves, principalmente gaviotas, pelícanos, garzas, halcones y gavilanes (INEGI, SECTUR, 2002). Las zonas rocosas del litoral y lagunas costeras, son lugares importantes para la anidación de varias especies de aves, asimismo, la zona es prioritaria para las colonias de anidación de aves acuáticas, que desde el punto de vista regional conforma un conjunto delimitado de zonas de reproducción.

Arrecifes de coral

Los arrecifes de coral de las Bahías de Huatulco son reconocidos como uno de los sistemas coralinos más importantes del Pacífico Mexicano (Glynn y Leyte 1997, López-Pérez y López-García, 2009). (Glynn and Leyte, 1997) ubicaron 15 arrecifes de coral en Huatulco: en San Agustín, Isla San Agustín, Riscalilo (coral vivo y muerto), La Prima, Jicaral-Chachacual, Las Dos Hermanas, La India, Cacaluta, La Entrega, Dársena, Manzanilla, Mixteca, Montañosa, Ricón Sabroso y Tejoncito.

La superficie coralina en San Agustín es de 9.3Ha, Riscalillo tiene una superficie de 2.1Ha, mientras que Violín de 0.8Ha y La Entrega 3.24Ha. (CONANP, 2003). Las comunidades coralinas se componen de 12 especies destacando el género *Pocillopora*. Se reportan un total de 121 especies de peces, algunos de ellos juegan un papel muy importante en el balance energético de los arrecifes de coral, en su gran mayoría son carnívoros, pocos se alimentan de plancton y algas, una gran variedad se alimentan de coral como la especie *Prionurus punctatus*, regulando la composición y estructura de la comunidad algal permitiendo la recuperación del coral (Ramos, 2003).

Las comunidades coralinas de Bahías de Huatulco sirven como puente de acceso a las especies que han logrado atravesar la brecha faunística del Pacífico centroamericano, ofreciéndoles protección y alimento. Siete especies de moluscos entre ellos *Jenneria pustulata* y *Quoyula monodonta* se alimentan del coral, *Cantharus sanguinolentus* lo utiliza como refugio durante su etapa juvenil, cuando es adulto se encuentra frecuentemente cerca de él y *Muricopsis zeteki* es un simbiote de algunas especies de coral (Barrientos y Ramírez, 2000). Según lo investigado por Escalona, et al., 2003 en algunas playas de las costas de Huatulco como la de Cacaluta llegan a desovar cuatro especies de tortugas marinas (que se encuentran en peligro de extinción), tortuga blanca (*Chelonia mydas*), tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata imbricata*), tortuga golfinia (*Lepidochelys olivacea*) y aunque no es su zona de anidación también se tienen reportes de la tortuga laúd (*Dermochelys coriacea coriacea*). Es además una región importante para especies de mamíferos marinos como la ballena jorobada y varias especies de delfines debido al fenómeno temporal de surgencias

2.1.8 Importancia y problemática ambiental

Importancia socioeconómica de Huatulco

- El turismo ha generado empleos directos e indirectos

Según datos del INEGI, 1997, para 1990, el 46 % de la población económicamente activa ocupada del municipio de Santa María Huatulco se empleaba en actividades relacionadas con el sector servicios, lo que representaba un total de 1,825 personas. Por su parte, información

del FONATUR (CONANP, 2003) muestra que para 1997 el empleo generado por las inversiones en hotelería ascendió a un total de 7,382 puestos, tanto directos como indirectos.

Datos del año 2010 muestran que el 13.52% de la Población Económicamente Activa Ocupada (PEAO) se inserta en las actividades relacionadas con la transformación de los recursos naturales, equivalente a dos mil 183 personas en el sector primario. Para el caso de las actividades que se registran en la transformación de materias primas se suman dos mil 254 personas (13.96% de la PEAO) y en referencia a las actividades que engloban los servicios materiales no productores de bienes o el comercio, se registran tres mil 142 personas que representan al 19.46% de la PEAO, pero el grupo más grande se registra en el rubro de los servicios con ocho mil 426 personas, lo que representa el 52.19% de la población económicamente activa ocupada ver figura 2.4 (Plan Municipal de Desarrollo 2014-2016, Santa María Huatulco).

Santa María Huatulco depende económicamente de los ingresos generados por las actividades turísticas. La derrama económica anual del turismo en el municipio, es aproximadamente de 26 millones de dólares (Huerta y Sánchez, 2011).

- El Golfo de Tehuantepec como zona pesquera

El Golfo de Tehuantepec tiene una gran importancia en el ámbito nacional por ser una región tradicionalmente pesquera, ocupa el cuarto lugar en producción de camarón y presenta el fenómeno de surgencias que contribuye a una producción pesquera alta (Lara-Lara, et al., 2008).

Importancia ambiental de Huatulco

Las comunidades coralinas tienen gran importancia biológica, ya que albergan un gran porcentaje de la biodiversidad marina del Pacífico, proveen un nicho ecológico que resguarda a un mayor número de especies de peces en comparación con cualquier otro ecosistema marino, les brinda espacio y refugio para la reproducción y crianza; así mismo, mantienen un gran interés económico ya que proporcionan un número importante de especies alimenticias, al igual que constituyen un hábitat muy atractivo desde el punto de vista

turístico, donde actualmente se realizan actividades acuáticas y subacuáticas alternativas (Escalona, et al., 2003).

Las selvas secas de Huatulco forman parte de una de las nueve áreas de máxima prioridad para la conservación en América Central (Sur de México, Belice, Guatemala, Honduras, Costa Rica, Nicaragua, Panamá, El Salvador). Adicionalmente es una Región Terrestre Prioritaria para el país con valores altos de conservación por endemismos en vertebrados terrestres y riqueza específica en su vegetación (selvas bajas, dunas costeras y manglares) y fauna (reptiles, aves y fauna marina) según Arriaga et al, 1998.

Problemática ambiental en las Bahías de Huatulco

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP, 2003) ha detectado los siguientes problemas:

- El coral se encuentra en su mayoría en buen estado, sin embargo, está parcialmente deteriorado debido al elevado número de turistas en algunas zonas; asimismo, las comunidades coralinas están ligeramente dañadas por fenómenos naturales.
- La zona litoral de intermareas ha sido severamente impactada por la extracción y recolección de moluscos de interés comercial, por lo que es importante su protección ya que además de la importancia ecológica, se lleva a cabo la ordeña del caracol púrpura por los tintoreros mixtecos de Pinotepa de Don Luis, Oaxaca.
- Se han encontrado montículos considerables con conchas de lapa "lengua de perro" (*Chiton spp.*) en bahía Cacaluta.
- Inadecuada disposición de residuos orgánicos y materiales sólidos.

Algunos de los efectos potenciales derivados de la actividad turística son:

- a. Daño de la comunidad arrecifal con embarcaciones turísticas, ahuyentando de las diferentes especies de organismos, extracción de corales, moluscos, etc. por parte de los turistas.
- b. Contaminación con basura y falta de infraestructura, mantenimiento, electricidad y drenaje en zonas turísticas (Maguey y San Agustín), aunado al descontrol de “acarreadores” y tráfico de automóviles y autobuses en estacionamientos, y de lanchas, acuamotos y bananas en zonas de natación, poniendo en riesgo la seguridad de los bañistas.
- c. La apertura de nuevos senderos por cuatrimotos en deterioro de flora y fauna.
- d. Recolección de especies vegetales y animales (terrestres y marinas) por los turistas y algunos prestadores de servicios turísticos.

La presencia de coral muerto es un indicador de afectaciones en los ecosistemas y suele estar relacionado a zonas turísticas con poca regulación en el número de visitantes, maltrato, quebrantamiento, sedimentación, incremento en la basura, contaminación por químicos y extracción de organismos provocada por el turismo; en Huatulco se presentó un daño parcial en San Agustín y La Entrega los cuales coincidentemente son los de mayor afluencia turística (Escamilla, 2011). La estructura ecológica de las áreas coralinas está determinada principalmente por las interacciones entre organismo y las respuestas a perturbaciones, se ha encontrado que sitios con mayor diversidad registran nula sedimentación (Alvarado, et al., 2004; Vázquez-Domínguez, 2003). La turbidez reduce la intensidad de la luz y utilización de la energía solar disponible por los corales, fuentes de incremento de la turbidez son el tráfico de botes que puede remover el barro o sedimento del fondo, la propulsión de las hélices levanta el sedimento en la columna de agua, otra fuente de liberación de sedimentos es el dragado utilizado para hacer canales más profundos para los botes.

La expansión irregular de los asentamientos humanos, el cambio de uso de suelo, actividades agropecuarias inadecuadas, la extracción ilegal e intensiva de especies de flora y fauna, tala clandestina, incendios forestales, el inadecuado manejo de residuos sólidos y el mal funcionamiento de las plantas de tratamiento de agua, entre otras afectaciones, que provocan la pérdida de los recursos naturales (Plan Estatal de Desarrollo de Oaxaca 2011-2016).

Otras actividades que afectan los ecosistemas marinos son el arrastre de materiales y desechos provenientes de construcciones, de ríos y arroyos, así como por descargas de aguas negras desde núcleos urbanos de la zona, en específico existe un problema con el basurero municipal de Santa María Huatulco, que se ubica en el límite de la micro-cuenca Cacaluta y dentro del PNH, en este basurero se concentran lodos provenientes de las plantas tratadoras de agua, los lixiviados que se desprenden de este tiradero generan un foco de contaminación de los suelos y posiblemente de los mantos freáticos que son usados en las actividades agrícolas (Gómez et al., 2006). Ver figura 2.14.

La Comisión de Playas Limpias de Huatulco (CPLH, 2013) reporta las siguientes cantidades de residuos sólidos encontrados durante un solo día de limpieza en las playas de Huatulco: 42,013 piezas de residuos como botellas, bolsas de plásticos, etc. en el año 2008, 20,267 piezas en 2009, 33,391 piezas en 2010, 28,405 piezas en 2011, y 34,605 piezas en 2012, durante el periodo 2008-2010 encontró que el 28% corresponde a bolsas de plástico, 19% botellas de vidrio, 10% a vasos y platos desechables, 31% a colillas y el 12% a botellas de PET. En la figura 2.15 se muestra la cantidad de los principales residuos plásticos encontrados en las playas de Huatulco.

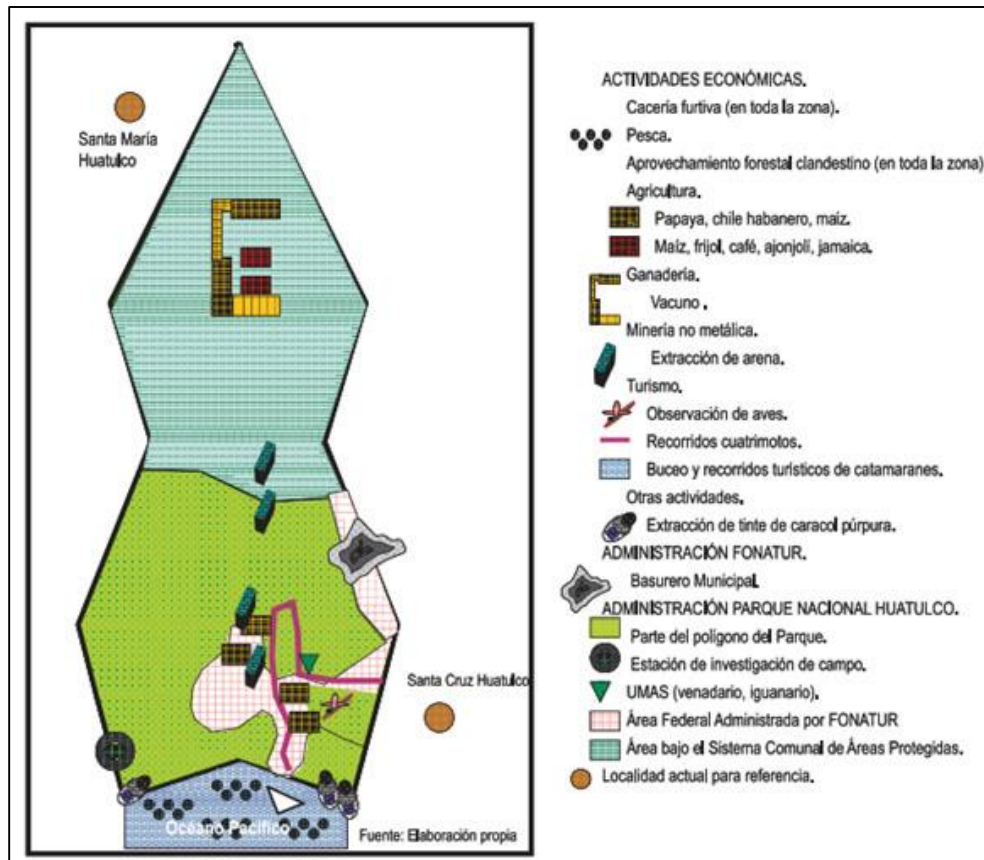


Figura 2.14 Uso del territorio de la bahía Cacaluta. Fuente: Gómez et al., 2006

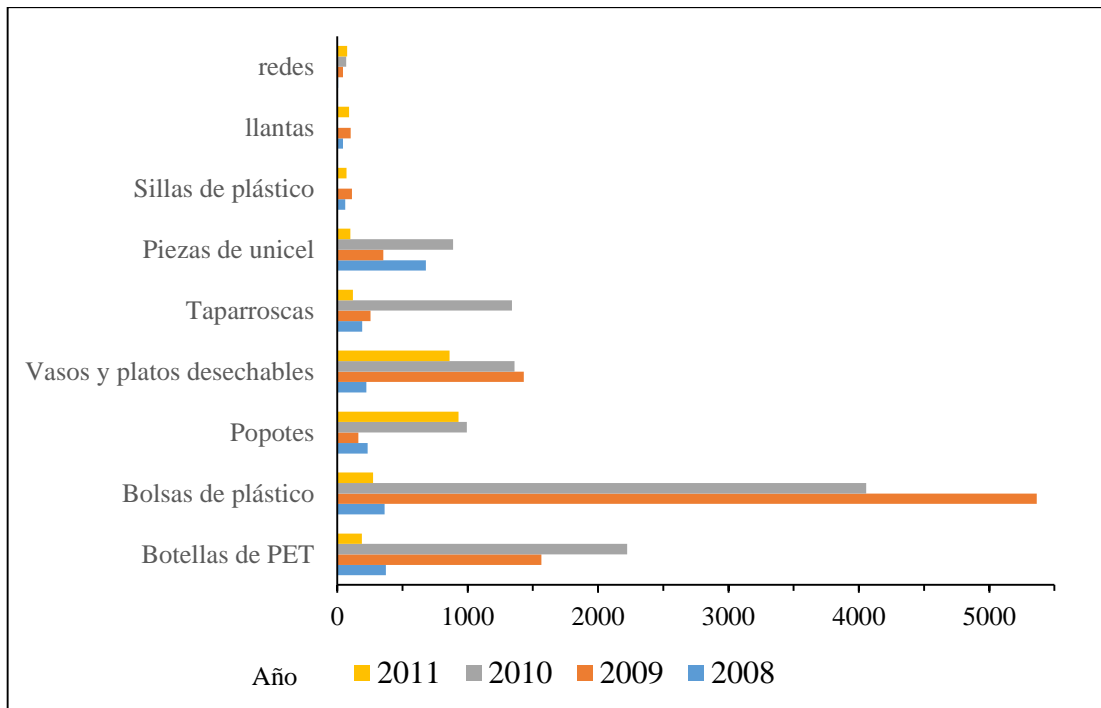


Figura 2.15 Principales residuos plásticos encontrados en las playas de Huatulco. Elaboración propia a partir de CPLH, 2013.

CAPÍTULO 3

3 Materiales y métodos

3.1 Diseño del estudio

Para determinar el posible origen natural o antropogénico del enriquecimiento de metales en los sedimentos superficiales de las playas de Huatulco y la identificación de microplásticos en éstos, se procedió a realizar dos muestreos, para la determinación de la concentración de metales (análisis total y parcial), la separación de los microplásticos del sedimento y su identificación y finalmente el procesamiento de los datos con el correspondiente análisis de los resultados, a continuación se muestra el diagrama general del diseño del estudio (figura 3.1.).

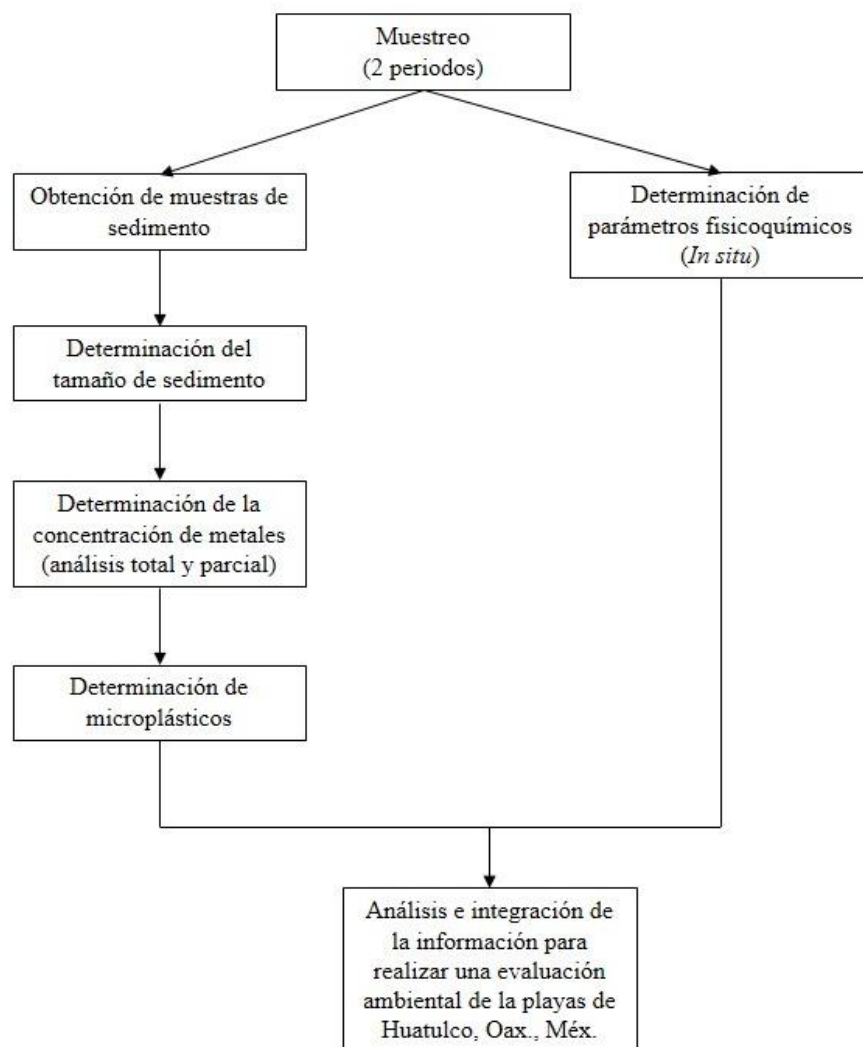


Figura 3.1 Diagrama general del diseño del estudio

Muestreo

Se realizaron dos muestreos en el desarrollo turístico Bahías de Huatulco. El primero durante la primera semana de Abril de 2013 y el segundo en la tercera semana de Diciembre de 2014, que son temporadas donde hay una mayor afluencia turística. En la figura 3.2 se observa el mapa donde indica los puntos de muestreo.

Se recolectaron 36 muestras de sedimento superficial en cada muestreo correspondientes a 30 playas del desarrollo turístico Bahías de Huatulco y del río Coyula, Las muestras de acuerdo a las bahías se muestran en la tabla 3.1. Para la recolección de muestras se utilizaron palas pequeñas de plástico, las muestras de sedimento se colocaron en bolsas de plástico, que fueron llevadas al laboratorio para su análisis. En Abril de 2013 se tomaron muestras de rocas que se utilizaron como referencias locales en la playa Chahué y en playa Punta Paraíso, y en Diciembre de 2014 se tomó una muestra de roca en la playa el Arenal.

Tabla 3.1 Playas muestreadas de acuerdo a la bahía

Número de muestra	Playa	Número de muestra	Playa
Bahía Conejos		Bahía Órgano	
1	Magueyito	21	Órgano
2	Conejos	Bahía Maguey	
3	Arena	22	Maguey
4	Punta Arena	Bahía Cacaluta	
5	Tejoncito	23	Cacaluta
6	La Mixteca	Bahía Chachacual	
Bahía Tangolunda		24	La India
7	Tangolunda	25	Chachacual
8	Rincón Sabroso	26	Jicaral
9	Tornillo	27	Riscalillo
10	Manzanilla	Bahía San Agustín	
11	Arrocito	28	San Agustín
Bahía Chahué		29	San Agustín
12	Tejón	30	San Agustín
13	Esperanza	31	San Agustín
14	Consuelo	Bajos de Coyula y el Arenal	
15	Chahué	32	El Arenal
Bahía Santa Cruz		33	El Arenal
16	Santa Cruz	34	Boca Vieja
17	Santa Cruz	35	Cuatonalco
18	Punta Paraíso	Río Coyula	
19	La Entrega	36	Río Coyula
20	El Violín		

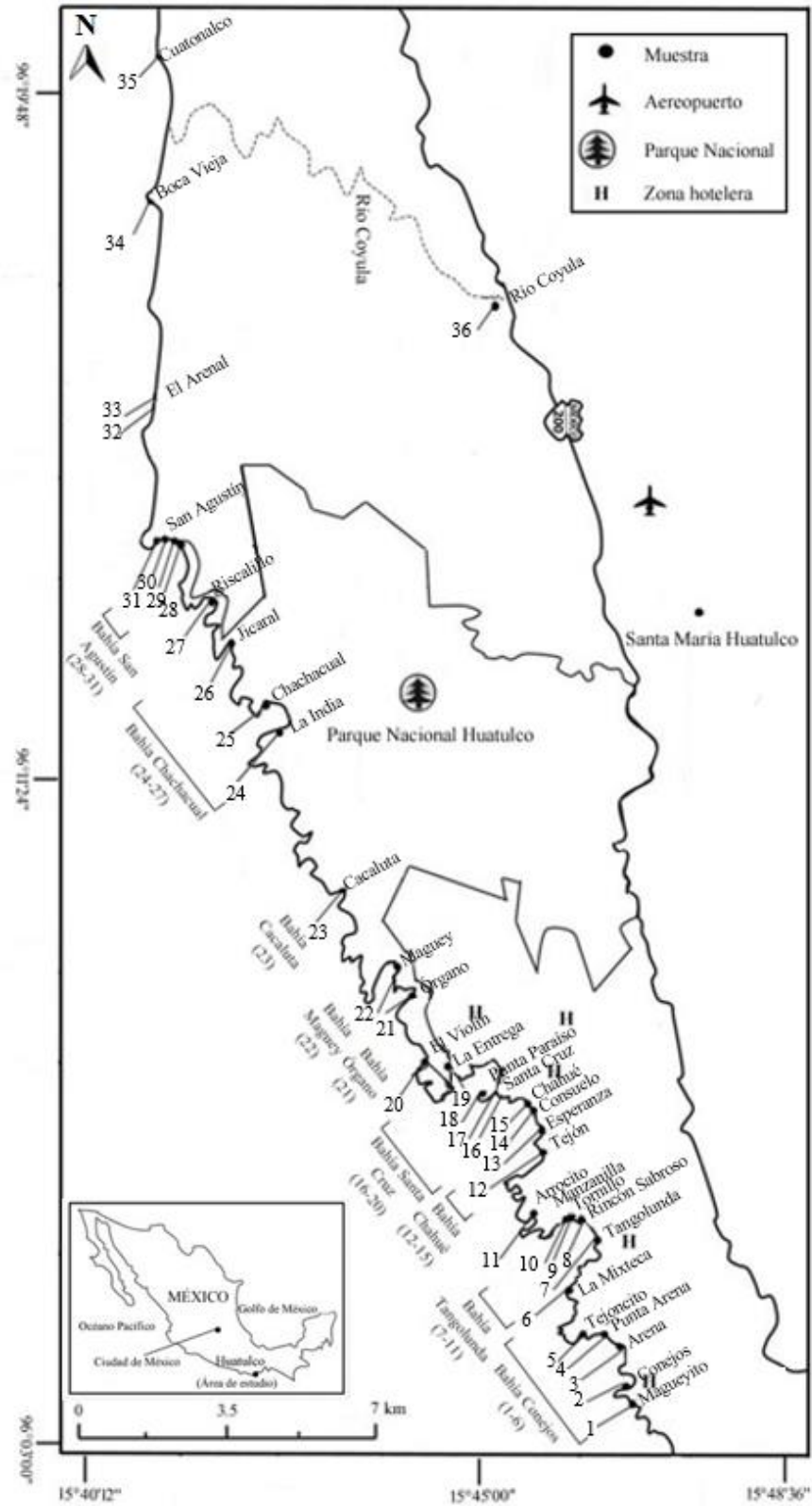


Figura 3.2. Mapa de los puntos de muestreo en las Bahías de Huatulco, Oaxaca, México.

A continuación se muestran algunas de las playas muestreadas.





Foto 3.1 Algunas de las playas muestreadas en el estudio.

3.2 Métodos

A continuación se describe la metodología seguida para determinar los parámetros fisicoquímicos del agua superficial de mar y las técnicas empleadas para la determinación del tamaño de grano, metales parciales, metales totales y microplásticos de los sedimentos.

3.2.1 Determinación de parámetros fisicoquímicos

Durante el muestreo *In situ* se midieron los siguientes parámetros fisicoquímicos: oxígeno disuelto, pH, temperatura, presión, sólidos disueltos totales, salinidad y potencial óxido-reducción, mediante un medidor multiparamétrico marca Hanna HI9828 y un GPS Garmin Etrex Venture (foto 3.2) para determinar las coordenadas geográficas. El equipo fue calibrado durante cada muestreo para el pH se calibró a tres puntos con solución estándar de

pH (4.01; 7.01; 10.01), el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto con agua destilada, la conductividad con solución estándar (HI7034L) y el ORP con solución estándar (HI7021L).



Foto 3.2 Multiparamétrico y GPS utilizados para la determinación de parámetros fisicoquímicos

3.2.2 Determinación del tamaño de sedimento

Para la determinación del tamaño de sedimento se realizó el procedimiento descrito en la figura 3.3. se utilizó un equipo de agitación mecánica de tamices, las aberturas de malla son mostrados en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Abertura de malla de los tamices

Abertura de malla	
mm	phi (\emptyset)
2.000	-1.00
1.700	-0.75
1.410	-0.5
1.180	-0.25
1.000	0.00
0.850	0.25
0.710	0.50
0.600	0.75
0.500	1.00
0.425	1.25
0.355	1.50
0.300	1.75
0.250	2.00
0.212	2.25
0.180	2.50
0.150	2.75
0.125	3.00
0.106	3.25
0.900	3.5
0.075	3.75
0.041	4.00
< .001	>4.0

**Foto 3.3** Tamices utilizados para la determinación del tamaño de sedimento

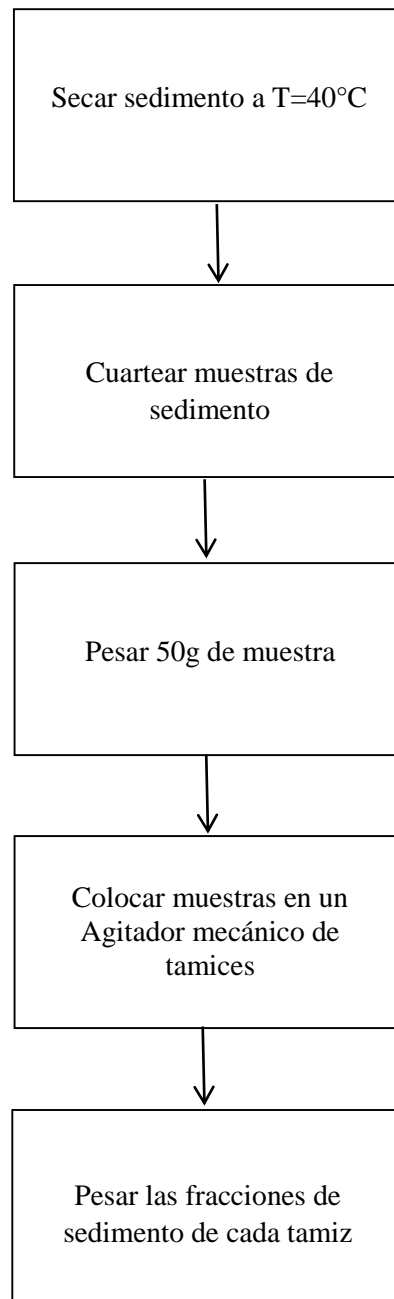


Figura 3.3 Diagrama del procedimiento para determinar el tamaño del sedimento

3.2.3 Determinación de la concentración de metales (análisis total y parcial) en sedimentos

Para determinar la concentración de metales contenidos en la matriz del sedimento (análisis totales) y los que se encuentran en forma ambientalmente disponible (análisis parcial), primero se secaron las muestras de sedimento en una estufa a una temperatura de 40°C, se cuartearon las muestras, se tomaron 100g de sedimento seco y se pulverizaron con ayuda de un pulverizador Shaterbox, Herzog en el Instituto de Geología, UNAM, a continuación se cuartearon nuevamente las muestras (foto 3.4).

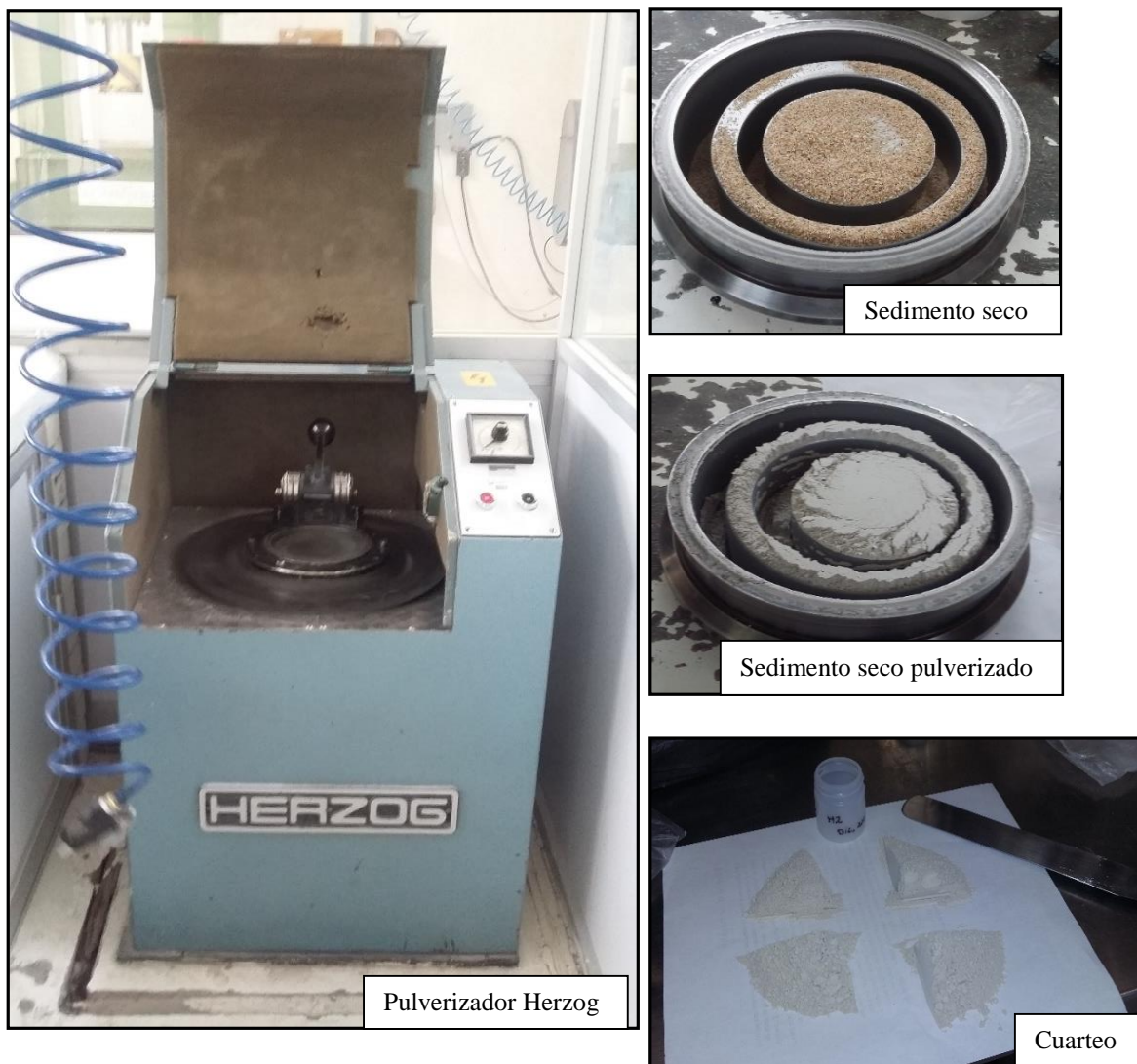


Foto 3.4 Pulverizador Herzog y cuarteo de muestras

3.2.3.1 Determinación de la concentración de metales (análisis total) en sedimentos

La figura 3.4. describe el procedimiento para determinar la concentración de metales contenidos en la matriz del sedimento (análisis total) en los sedimentos para lo cual se pesaron 0.25g de sedimento seco pulverizado y se realizó la digestión con 1.5 mL de HNO₃ Baker, Ultrex II, 0.6mL de HCl Baker, Ultrex II, 3mL de HF Fermont al 48% y 18mL de H₃BO₄ Fermont (foto 3.5.). El equipo utilizado para realizar la digestión fue un microondas marca Perkin Elmer (foto 3.6.), para filtrar se utilizó papel filtro marca Wathman no. 41. Las lecturas se realizaron con un espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer.



Foto 3.5 Técnica para determinar concentración de metales totales en sedimentos.



Foto 3.6 Equipo microondas marca Perkin Elmer

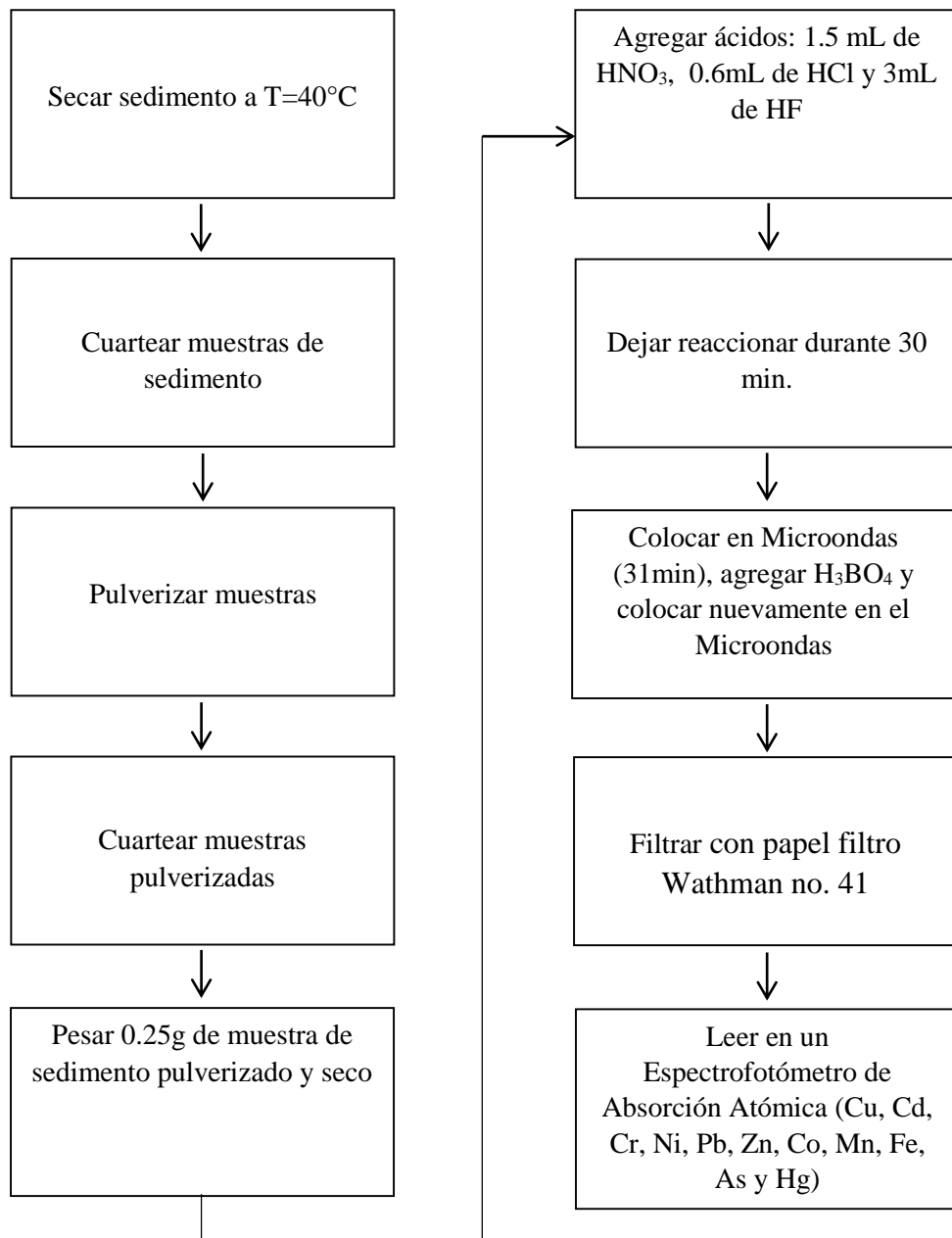


Figura 3.4. Diagrama del procedimiento para determinar la concentración de metales (análisis total) en sedimentos.

3.2.3.2 Determinación de la concentración de metales (análisis parcial) en sedimentos

La determinación de la concentración de metales lixiviables o que se encuentran en forma ambientalmente disponibles (análisis parcial) en los sedimentos, se realizó de acuerdo al método 3050, USEPA, 1996. El procedimiento se describe en el diagrama de la figura 3.5.

Se tomó una muestra de 5g de sedimento seco, para digerir la muestra se utilizó 1mL de HNO₃ Baker, Ultrex II, 3mL de HCl Baker, Ultrex II, y 5mL de H₂O₂ al 30% Baker, se filtró utilizando filtros Wathman no. 40 (foto 3.7.).

Se utilizó un espectrofotómetro de Absorción Atómica marca Perkin Elmer (foto 3.8.) para leer la concentración de metales en las muestras.

La determinación de metales parciales y totales se realizó en las instalaciones del Laboratorio del CIEMAD el cual se encuentra acreditado como Laboratorio de Ensayos de acuerdo a la NMX-EC-17025-IMNC-2006 (ISO/IEC 170 25:2005) para las actividades de evaluación de la conformidad en la rama: Investigación.

Se determinó el porcentaje de recuperación obtenido en la técnica (tabla 3.3.) con ayuda de una muestra de sedimento marino certificada MRC 2702.

Tabla 3.3 Porcentaje de recuperación de acuerdo al material certificado

Porcentaje de recuperación de MRC 2702							
Elemento	Metal Certificado (mg L ⁻¹)	Análisis parcial				Análisis total	
		Resultados mg kg ⁻¹ Abril, 2013	Recuperación (%) Abril, 2013	Resultados mg kg ⁻¹ Diciembre, 2014	Recuperación (%) Diciembre, 2014	Resultados mg kg ⁻¹	Recuperación (%)
Fe	7.91			8.41	106.32	8.25	104.33
Mn	1757±58	1729.158	98.41	1616.5	92	1628.2	92.67
Cr	352			326	92.61	373.2	106.03
Cu	177.7			157	88.35	159.45	89.73
Ni	75.4			68.2	90.45	97.62	129.48
Co	27.76±0.58	25.529	91.96	28.8	103.75	26.17	94.3
Pb	132.8±1.1	124.053	93.41	131.1	98.72	162.01	122
Zn	485±4.3	415.636	85.69	518	106.74	399.83	82.44
Cd	0.817±0.011	0.798	97.67	0.78	95.47	0.81	99.63
Hg	0.438±0.024	0.4587	104.72	0.362	82.65	0.36	83.04
As	45.3±1.8	41.8827	92.45	48	105.96	33.98	75.02



Foto 3.7 Técnica para determinar concentración de metales parciales en sedimentos.



Foto 3.8 Espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer

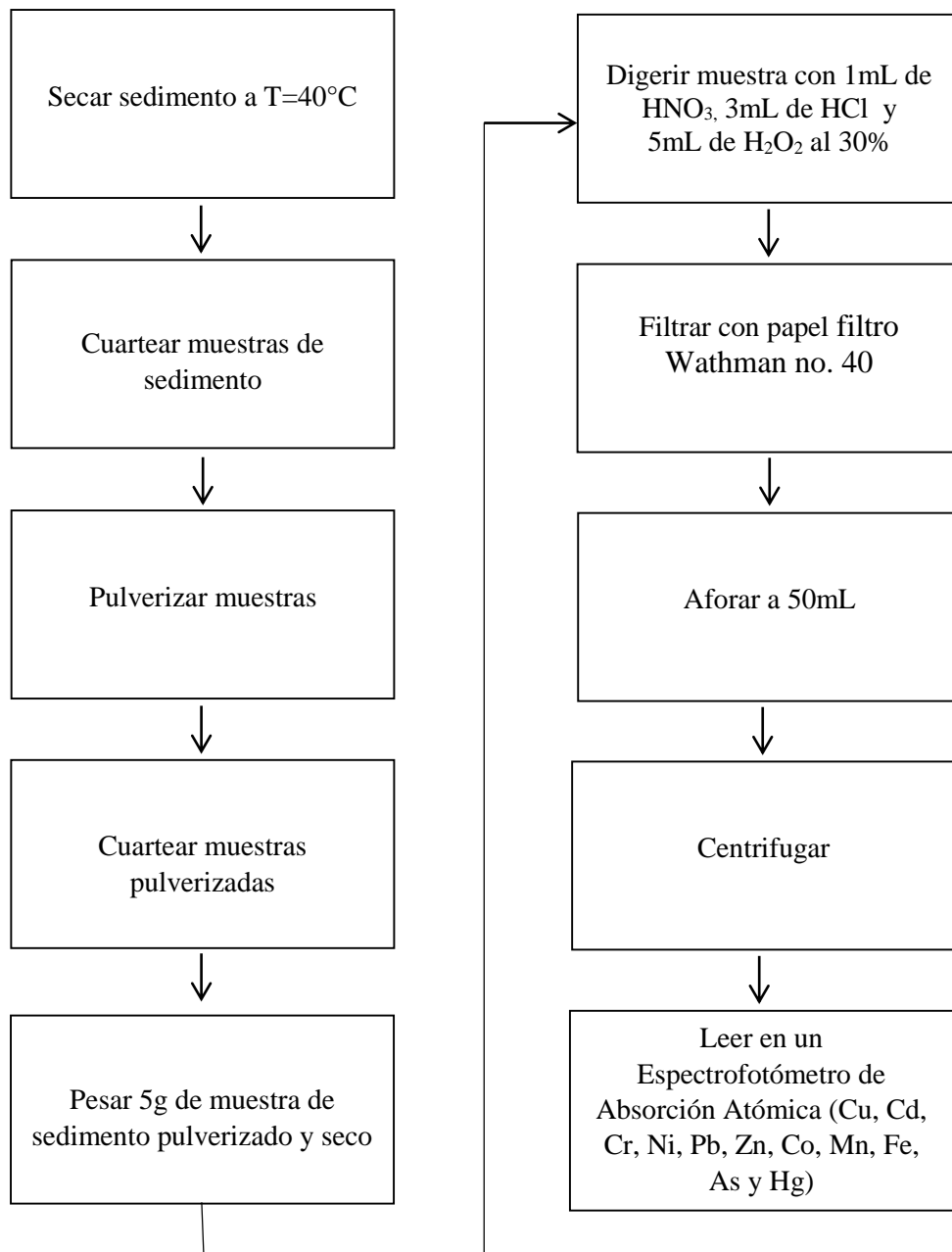


Figura 3.5 Diagrama del procedimiento para determinar la concentración de metales parciales en sedimentos.

3.2.4 Determinación de microplásticos

Para la identificación y cuantificación de microplásticos en los sedimentos se realizó el procedimiento descrito en la figura 3.6.

Los reactivos utilizados fueron peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 30% marca J.T.Baker, cloruro de cinc (ZnCl_2) marca Fermont al 97.5% con el cual se preparó una solución con densidad de 1.5g/cm^3 , para filtrar se utilizaron membranas de nitrocelulosa de $1.2\mu\text{m}$ marca Millipore. Para identificar y cuantificar los microplásticos se utilizó un microscopio estereoscópico marca Zeiss de 8 a 36X y se tomaron algunas fotografías con un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM) en las instalaciones del CINVESTAV, IPN (foto 3.9.).

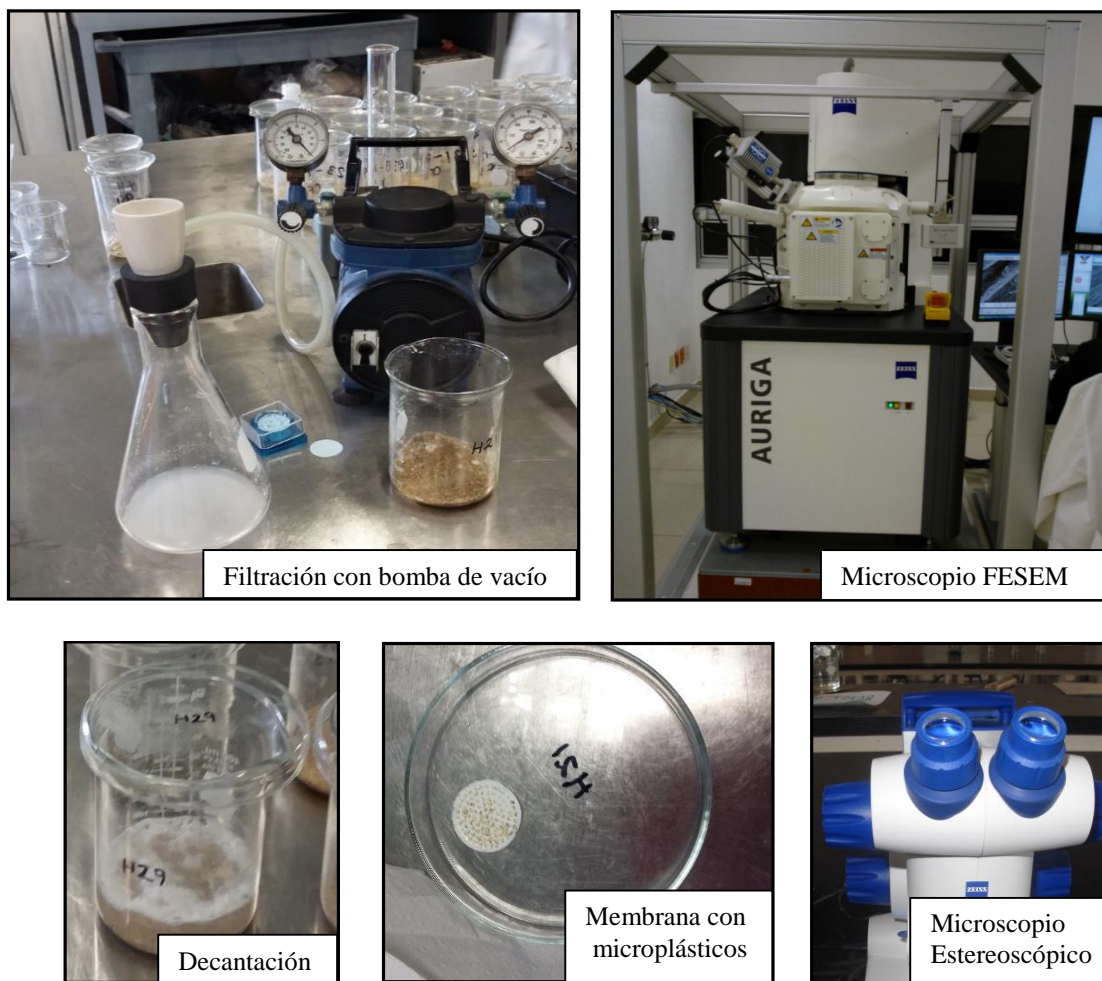


Foto 3.9 Técnica para identificar y cuantificar microplásticos en los sedimentos

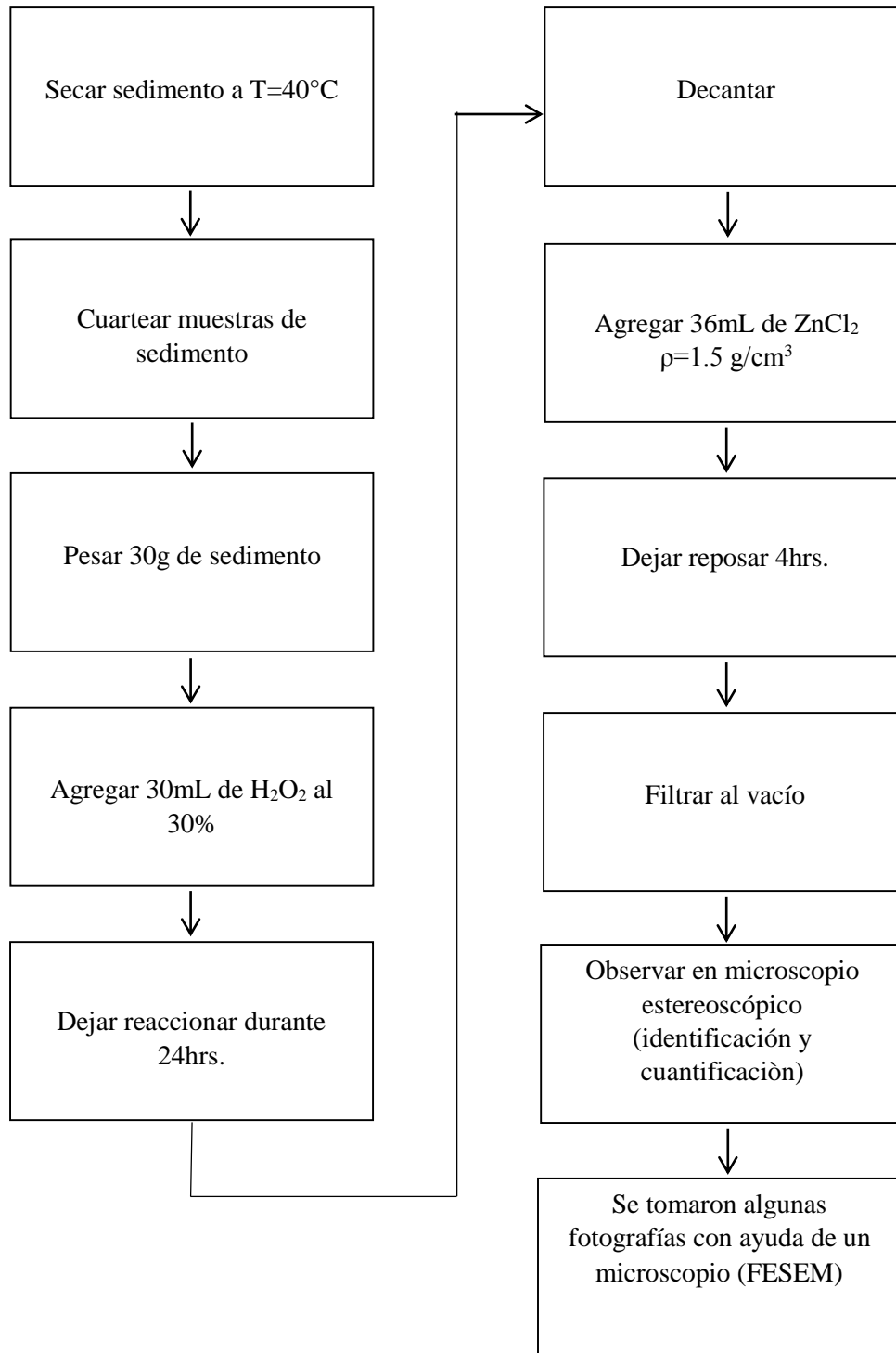


Figura 3.6 Diagrama del procedimiento para identificar y cuantificar microplásticos en sedimentos.

Las fotografías de microplásticos presentadas en el capítulo de Resultados y Discusión fueron seleccionadas de las muestras de sedimento que presentaron un mayor número de piezas de microplásticos.

3.3 Procesamiento de datos

A continuación se describe el marco teórico del análisis estadístico que se llevó a cabo para realizar el análisis de resultados del tamaño y la concentración de metales totales y parciales de los sedimentos.

3.3.1 Análisis estadístico: Tamaño de sedimento

El tamaño de grano es una propiedad fundamental de las partículas del sedimento porque afecta su arrastre, transporte y deposición, por lo tanto, el análisis del tamaño de grano proporciona información sobre la procedencia de los sedimentos (naturaleza de la roca generadora), la historia del transporte y las condiciones de deposición (Blott and Pye, 2001; Arias-Madrid et al., 2012; Suganraj et al., 2013).

De las muestras recolectadas en el mes de abril de 2014, se obtuvieron los pesos de cada fracción de sedimento que paso por las aberturas de malla correspondientes a: 2mm ($\phi=-1$), 1.7mm ($\phi=-0.75$), 1.41mm ($\phi=-0.5$), 1.18mm ($\phi=-0.25$), 1mm ($\phi=0$), 0.85mm ($\phi=0.25$), 0.71mm ($\phi=0.5$), 0.6mm ($\phi=0.75$), 0.5mm ($\phi=1$), 0.425mm ($\phi=1.25$), 0.355mm ($\phi=1.5$), 0.3mm ($\phi=1.75$), 0.25mm ($\phi=2$), 0.212mm ($\phi=2.25$), 0.18mm ($\phi=2.5$), 0.15mm ($\phi=2.75$), 0.125mm ($\phi=3$), 0.106mm ($\phi=3.25$), 0.9mm ($\phi=3.5$), 0.075mm ($\phi=3.75$), 0.041mm ($\phi=4$) y <0.001 mm ($\phi=>4$). Cabe mencionar que el valor de ϕ es igual a $-(\log d/\log 2)$, donde d es el tamaño en milímetros, así los valores de una escala geométrica están representados en una escala aritmética (Blott and Pye, 2001; Alonso, 2010) como se observa en la figura 3.7.

Con los datos se construyeron las curvas de frecuencias relativas acumuladas y se calculó los percentiles ϕ_5 , ϕ_{16} , ϕ_{25} , ϕ_{50} , ϕ_{75} , ϕ_{84} y ϕ_{95} , que expresan el tamaño de clastos correspondiente a una proporción concreta de individuos de tamaño superior a él, por ejemplo en el caso de

ϕ_5 corresponderá a aquél tamaño que tiene un 5% de individuos superiores a él y así sucesivamente (Alonso, 2010). Se calcularon los estadísticos de centralización y dispersión: media, desviación estándar, grado de asimetría y curtosis.

Media. Se calculó la media con la siguiente expresión (Folk y Ward, 1957; Alonso, 2010; Suganraj et al., 2013)

$$M_Z = \left(\frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3} \right)$$

De acuerdo con la Escala Udden-Wentworth (figura 3.7) se describe el tamaño de grano de acuerdo a la media de cada muestra (tabla 3.4).

Tabla 3.4 Indicadores del tamaño de grano de acuerdo a la media

Media	Descripción
< -1.0	Grava
-0.75 a 4.0	Arena
4.25 a 8.0	Limo
> 8.0	Arcilla

La **Desviación estándar** (σ) representa el grado de selección de la muestra que sirve para definir la procedencia del sedimento, esta cualidad nos indica qué tan similares son los tamaños de partícula que componen la muestra, si las partículas son de dimensiones muy parecidas, se dice que la muestra se encuentra muy bien seleccionada, así sucesivamente a medida que los tamaños van variando (Arias-Madrid, et al., 2012), tabla 3.5. La desviación estándar se calculó de acuerdo a la siguiente expresión (Folk y Ward, 1957; Suganraj et al., 2013):

$$\sigma = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} - \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$$

En función del resultado se clasifican las muestras como:

Tabla 3.5 Indicadores de desviación Estándar

Desviación Estándar	Descripción
$\sigma < 0.35$	Muy bien seleccionada o distribuida
$0.35 < \sigma < 0.50$	Bien seleccionada
$0.50 < \sigma < 0.71$	Moderadamente bien seleccionada
$0.71 < \sigma < 1.0$	Moderadamente seleccionada
$1.0 < \sigma < 2.0$	Pobrementemente seleccionada
$2.0 < \sigma < 4.0$	Mal seleccionada
$\sigma > 4.0$	Muy mal seleccionada

Fuente: Alonso, 2010.

Simetría o sesgo (S_k). Es el grado de asimetría de una distribución, establece la relación entre las mezclas gruesas y las finas. Se determina por la siguiente expresión (Folk y Ward, 1957):

$$S_k = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

La asimetría de una distribución indica el exceso, carencia, o buena distribución de partículas, de un determinado tamaño en el sedimento. Una asimetría negativa significa un exceso de partículas de tamaño grueso en la muestra, así como una asimetría positiva indica el exceso de partículas de grano fino en la misma (Arias-Madrid, et al., 2012), tabla 3.6.

Los indicadores de asimetría según el resultado son:

Tabla 3.6 Indicadores de asimetría

Asimetría	Descripción
$> +0.30$	Muy asimétrico hacia finos
$+0.30$ a $+0.10$	Asimétrico hacia finos
$+0.10$ a -0.10	Casi simétrico
-0.10 a -0.30	Asimétrico hacia gruesos
< -0.30	Muy asimétrico hacia gruesos

Fuente: Boggs, 2009.

	Modelo americano de tamiz de malla	Milímetros	Unidades Phi (ϕ)	Clase de tamaño Según Wentworth		
Grava		4096	-12	Peñasco		
		1024	-10			
		256	256	-8		
		64	64	-6		
		1			Matatena	
		16		-4		
	5	4	4	-2	Guijarro	
	6	3.36		-1.75		
	7	2.83		-1.5	Gránulo	
	8	2.38		-1.25		
	10	2	-1			
Lodo	Limo	270	0.053	4.25	Limo grueso	
		325	0.044	4.5		
			0.037	4.75		
			0.031	1/32		5
			0.0156	1/64		6
	Arcilla		0.0078	1/128	7	Limo medio
			0.0039	1/256	8	Limo muy fino
			0.0020		9	
			0.00098		10	
			0.00049		11	Arcilla
			0.00024		12	
			0.00012		13	
			0.00006		14	
		Arena	12	1.68		-0.75
14	1.41			-0.5		
16	1.19			-0.25		
18	1.00		1	0		
20	0.84			0.25	Arena gruesa	
25	0.71			0.5		
30	0.59			0.75		
35	0.50		1/2	1		
40	0.42			1.25	Arena media	
45	0.35			1.5		
50	0.30			1.75		
60	0.25		1/4	2		
70	0.210			2.25	Arena fina	
80	0.177			2.5		
100	0.149			2.75		
120	0.125		1/8	3		
140	0.105			3.25	Arena muy fina	
170	0.088			3.5		
200	0.074			3.75		
230	0.0625		1/16	4		

Figura 3.7 Escala Udden-Wentworth para tamaño de granos de sedimento. Fuente: Boggs, 2009.

Curtosis. Es una característica la cual proporciona información acerca de la concentración y distribución de los pesos alrededor de los valores centrales, es decir, acerca de las mallas correspondientes a tamaños medios de las partículas. Es una medida comparativa entre la selección en el centro de la distribución y en los extremos o colas (Arias-Madrid, et al., 2012).

La distribución leptocúrtica posee mejor selección en el centro que en las colas de la distribución, lo inverso sucede con la distribución platicúrtica.

El coeficiente de Curtosis se expresa por la siguiente fórmula (Folk y Ward, 1957):

$$K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$$

Para una curva normal $K_G=1.00$. Los siguientes valores son intervalos de clasificación (tabla 3.7.) con el criterio del coeficiente de Curtosis:

Tabla 3.7 Indicadores de curtosis

Curtosis	Clasificación
<0.67	Fuertemente platicúrtica
0.67 a 0.90	Platicúrtica
0.90 a 1.11	Mesocúrtica
1.11 a 1.50	Leptocúrtica
1.50 a 3.00	Fuertemente leptocúrtica
>3.00	Extremadamente leptocúrtica

Fuente: Rivera et al., 2005.

Funciones discriminantes

La determinación de funciones discriminantes fue introducido a los estudios granulométricos y más específicamente a la combinación de los coeficientes estadístico por Sahu, 1964, este autor ha empleado la media, variancia, asimetría y curtosis de Folk & Ward (1957) en la separación de arenas de playa y eólicas (I), playa y marinas poco profundas (II), marinas poco profundas y fluviales (III), y fluviales y turbidíticas (IV), cada una de ellas con sus correspondientes λ_s para cada Y (Spalletti, 1979).

$$Y_1 = \lambda^1 X_1 + \lambda^2 X_2 + \dots + \lambda^p X_p$$

Para la discriminación entre arenas eólicas y de playa (Y_1) se utilizó la ecuación I (Gaafar, et al., 2014):

$$Y_1 = -3.5688M_Z + 3.7016\sigma - 2.0766S_k + 3.1135K_G$$

Si $Y_1 > -2.7411$ se sugiere un ambiente de playa, si $Y_1 < -2.7411$ corresponde a un proceso eólico.

Para la discriminación entre arenas de playa y marinas poco profundas (Y_2) se utilizó la ecuación II (Cupul-Magaña, et al., 2006):

$$Y_2 = 15.6534M_Z + 65.709\sigma + 18.1071S_k + 18.5043K_G$$

Si $Y_2 < 65.365$ se sugiere un depósito de playa, si $Y_2 > 65.365$ éste corresponde a un depósito de mar somero agitado.

Para discriminar entre arenas marinas poco profundas y fluviales (Y_3) se utilizó la ecuación III (Cupul-Magaña, et al., 2006):

$$Y_3 = 0.2852M_Z - 8.7604\sigma - 4.8932S_k + 0.0483K_G$$

Si $Y_3 < -7.419$ la muestra se identifica como depósito fluvial (deltaico) y si $Y_3 > -7.419$ ésta corresponde a un depósito marino somero.

Para discriminar entre arenas fluviales y turbidíticas (Y_4) se utilizó la ecuación IV (Restrepo, et al., 2013):

$$Y_4 = 0.7215M_Z - 0.4030\sigma + 6.7322S_k + 5.2927K_G$$

Si $Y_4 > 9.8433$ la muestra corresponde a un depósito fluvial (deltaico) y si $Y_4 < 9.8433$ ésta corresponde a corrientes de turbidez, que son avalanchas submarinas de barro y rocas.

Donde Mz es el tamaño medio de grano, σ es la desviación estándar, S_k es la asimetría y K_G es la curtosis.

3.3.2 Análisis factorial: concentración de metales

Para analizar los datos de la concentración de metales (análisis total y parcial) se realizó un procesamiento estadístico bivariado y multivariado para establecer las asociaciones entre las variables y el posible origen natural o antropogénico, utilizando el software STATISTICA Versión 8.0.

El análisis multifactorial es un método multivariante que expresa n variables observables como una combinación lineal de m variables hipotéticas o latentes denominadas factores. Es una técnica para examinar la interdependencia de variables, los factores se seleccionan para explicar las interrelaciones entre las variables. Las variables observables juegan el papel de dependientes que se explican por factores que no son observables (Rodríguez y Mora, 2001).

El resultado de aplicar componentes principales a un conjunto de variables P , permite obtener los factores si se cumple que el número de factores sea menor o igual a $[(P+1)/2]-1$, de no cumplirse, las variables obtenidas son componentes principales explicativos del mayor porcentaje de varianza, los factores son variables incorrelacionadas, los componentes principales no se garantiza que lo sean (Calvo et al., 2013).

La ejecución del análisis factorial se resume en tres etapas fundamentales: cálculo de la matriz de correlaciones, extracción de los factores y rotación de los mismos para proceder a su interpretación. Las variables deben estar relacionadas entre sí para que el modelo factorial sea el apropiado, por esta razón la matriz de correlaciones constituye el primer paso para determinar la pertinencia del análisis, ésta debe ser distinta de una matriz identidad (García, 2005).

3.3.2.1 Análisis de correlación

El análisis de correlación lineal permite determinar el grado de asociación entre dos variables. Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson que es el cociente entre la covarianza de las dos variables y el producto de sus desviaciones típicas, toma valores entre -1 y 1, donde 0 implica la ausencia de correlación, si es positivo implica una relación directa entre las dos variables y si es negativo una relación inversa (Restrepo y González, 2007, García, 2012).

Se realizó la matriz de correlación utilizando el grado de significación estadística para valores de $p = 0.05$, 0.01 y 0.001. Generalmente se adopta el valor de $p = 0.05$ por debajo del cual se considera que se dispone de suficientes evidencias para decir que el resultado es estadísticamente significativo, si el valor es superior a 0.05 se considera que la probabilidad de que los resultados obtenidos sean debidos al azar es muy elevada y se concluye que no son estadísticamente significativos (Argimon, 2002), en una correlación significativa al nivel de 0.05, la probabilidad de error es de cinco en cada 100 y así sucesivamente (Anastasi y Urbina, 1998).

3.3.2.2 Extracción de factores

La extracción de los factores se apoya en el indicador que recoge los valores propios o “eigenvalues” de cada variable y puede ser interpretado como la variabilidad total explicada por el factor, el primer factor explica la mayor cantidad de varianza posible (mayor cantidad de información), el segundo factor explica la mayor cantidad de varianza residual no explicada por el primer factor (Rodríguez y Mora, 2001; García, 2005). Se debe seleccionar el número de factores de forma que se produzca la reducción de los datos con una pérdida de información razonable, el nivel idóneo de varianza total explicada puede oscilar entre el 60% y el 85% (García, 2005), en general mayor al 60% (Frías-Navarro y Pascual, 2012). Uno de los criterios más utilizados para seleccionar el número de factores es el de escoger aquellos cuyo valor propio sea mayor de 1 (Kaiser, 1960; García, 2005). Otro criterio es el de la gráfica screenplot, también denominado del talud o de la falda de la montaña, según el mismo, el número de componentes lo determina la llegada a un punto de inflexión de la curva (valores propios contra factores) que se origina (Cattell, 1966; Calvo et al., 2013), además de

los anteriores hay otros métodos como el de mínimo promedio parcial (Velicer, 1976) o el de análisis paralelo (Horn, 1965).

3.3.2.3 Rotación de factores

En algunos casos la matriz factorial inicial es difícil de interpretar y en casi todos los casos donde se extrae más de un factor, es indispensable obtener una matriz adicional de factores rotados con la finalidad de eliminar las correlaciones negativas importantes, reducir el número de correlaciones de cada variable en los diversos factores y facilitar la interpretación de los factores, un método empleado es el Varimax (Pérez y Medrano, 2010; Calvo et al., 2013).

3.3.3 Cálculos del enriquecimiento por metales

Para evaluar el posible enriquecimiento de metales en los sedimentos se calculó el índice de geoacumulación y el factor de enriquecimiento.

3.3.3.1 Índice de geoacumulación

En el presente estudio se obtuvo el Índice de Geoacumulación definido por (Müller, 1979) para evaluar la contaminación de los sedimentos, donde C_n es la concentración de los elementos “n” en el sedimento, B_n el valor de la concentración de fondo de n equivalente a sedimento no contaminado (Ridgway and Shimmiel, 2002), el factor de 1.5 es usado por las posibles variaciones en el ambiente en el valor de la concentración de fondo para un metal dado, como pequeñas influencias antropogénicas (Buccolieri et al., 2006) o efectos litogénicos (Muñoz-Barbosa y Huerta-Díaz, 2013) . Se calculó con la siguiente expresión:

$$I_{geo} = \log_2 [(C_n / (1.5 B_n))]$$

La tabla 3.8. muestra el grado de contaminación de acuerdo a la clase determinada por el valor del Igeo (Müller, 1981; Buccolieri et al., 2006; Alagarsamy, 2006).

Tabla 3.8 Características del sedimento de acuerdo a su Igeo

Valor de Igeo	Clase	Descripción del sedimento
>5	6	Extremadamente contaminado
4-5	5	De fuertemente a extremadamente contaminado
3-4	4	Fuertemente contaminado
2-3	3	De moderadamente a fuertemente contaminado
1-2	2	Moderadamente contaminado
0-1	1	De No contaminado a moderadamente contaminado
<0	0	No contaminado

3.3.3.2 Factor de enriquecimiento

El Factor de Enriquecimiento (EF) informa la dinámica de un contaminante inorgánico o elemento químico de la corteza terrestre que puede ser transportado por la lluvia, viento o por fuentes antropogénicas por lo que ha sido utilizado en estudios de ecotoxicología y química ambiental (Juárez, 2005; Nobi, et al., 2010).

Las concentraciones elementales pueden ser comparadas con metales abundantes de forma natural en suelos y/o rocas de la corteza, por normalización contra marcadores geoquímicos por ejemplo Al, Fe, Cs, Rb, Li, Si, Carbono Orgánico Total y tamaño de grano, de las fases mineralógicas naturales predominantes (Juárez, 2005; Pekey, 2006). El utilizar Fe como marcador geoquímico se debe a que (Siddique et al., 2009): la presencia de Fe en los sedimentos se produce principalmente a partir de procesos de meteorización natural y ha sido ampliamente utilizado para normalizar las concentraciones de metales a fin de reducir la influencia del tamaño de grano de partículas (Zhang et al., 2007). El Fe puede ser un mejor predictor de los niveles de fondo, debido a las similitudes en la geoquímica de Fe y otros metales pesados en condiciones óxicas y anóxicas (Schiff y Weisberg, 1999). La concentración natural de Fe es más uniforme que Al (Goldberg et al, 1979; Trefry et al., 1985). En nuestro estudio se consideró como referencia el hierro.

$$EF=(C_n/C_{ref})/(B_n/B_{ref})$$

Donde:

C_n es el contenido del elemento examinado en el suelo.

C_{ref} es el fondo geoquímico del elemento examinado (Fe).

B_n es el contenido del elemento de referencia en el ambiente examinado.

B_{ref} es el fondo geoquímico del elemento de referencia (Fe).

La siguiente tabla muestra el grado de enriquecimiento del sedimento de acuerdo al valor de su factor, según diferentes autores.

Tabla 3.9 Enriquecimiento de acuerdo a su factor para diferentes autores

Enriquecimiento	FE			
	Berrezueta y Domínguez-Cuesta, 2011; Morales, 2013	Lu et al., 2005; Muñoz-Barbosa y Huerta-Díaz, 2013	Pekey, 2006	Del Aguila et al., 2005
Concentración de fondo	< 1	< 1	< 10	< 10
Mínimo	1-2	>1		
Moderado	2-5	Enriquecido	10 < EF < 100	10-500
Significativo	5-20	antropogénica-		
Muy alto	20-40	mente, biológica o	> 100	> 500
Extremadamente alto	< 40	digenéticamente		

CAPÍTULO 4

4 Resultados y discusión: parámetros fisicoquímicos del agua superficial de mar

En el siguiente capítulo se describen y discuten los resultados de los parámetros fisicoquímicos del agua superficial del mar: temperatura, pH, porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (% Saturación de OD), salinidad, conductividad, sólidos disueltos totales (SDT) y potencial óxido-reducción (ORP) de las playas que se encuentran en las bahías de Huatulco y de las que están a mar abierto. La descripción está basada en dos periodos de muestreo el primero en abril de 2013 y el segundo en diciembre de 2014. La localización de los puntos de muestreo se indica en el mapa de la figura 3.2.

A continuación se muestran los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua superficial del mar en las playas de Huatulco, se reporta el valor mínimo, máximo, promedio y el lugar donde se registraron dichos valores.

Tabla 4.1 Parámetros Fisicoquímicos durante los dos periodos de muestreo

Periodo de muestreo	2 y 3 de Abril de 2013			16 y 17 de Diciembre de 2014		
	Mín.	Máx.	Promedio	Mín.	Máx.	Promedio
T (°C)	20.75	28.61	23.52	24.32	29.22	26.77
Lugar	San Agustín	Santa Cruz		Conejos	El Arenal	
pH	7.30	8.96	8.41	7.81	8.33	8.17
Lugar	Punta Arena	Jicaral		Magueyito	El Arenal	
% Saturación de OD	71.10	122.80	96.39	75.70	109.80	94.88
Lugar	Rincón Sabroso	Órgano		San Agustín	La Entrega	95.63
Salinidad (psu)	30.61	33.58	32.60	29.61	36.32	33.86
Lugar	Conejos	El Violín		Boca Vieja	La Mixteca	
Conductividad (mS/cm)	46.80	51.10	49.79	45.72	52.94	51.48
Lugar	Conejos	El Violín, Órgano Chachacual		Boca Vieja	Chahué	
SDT (ppt)	23.52	25.55	24.85	22.86	26.45	25.77
Lugar	Conejos	Maguey		Boca Vieja	Chahué	
ORP (mV)	40.00	169.90	92.55	-3.20	152.60	73.77
Lugar	El Arenal	Conejos		Cuatonalco	Chachacual	

De acuerdo a la tabla 4.1 se reportan los siguientes promedios de los parámetros fisicoquímicos medidos durante los dos muestreos realizados T (25.14 °C), pH (8.29), % de Saturación de OD (95.63%), salinidad (33.23 psu), conductividad (50.63 mS/cm), SDT (25.31 ppt) y ORP (83.16 mV), a continuación se discutirá cada parámetro fisicoquímico del agua superficial del mar.

4.1 Temperatura

Los valores de Temperatura (T) en cada punto de muestreo se observan en la figura 4.1. Durante el muestreo de abril de 2013 la temperatura mínima fue de 20.75 °C en la Playa San Agustín, la máxima fue de 28.61 °C en Santa Cruz, presentó un promedio de 23.52 °C. En Diciembre de 2014 la temperatura mínima fue de 24.32 °C en playa Conejos, la temperatura máxima de 29.22 °C en la Playa el Arenal, con un promedio de 26.77 °C.

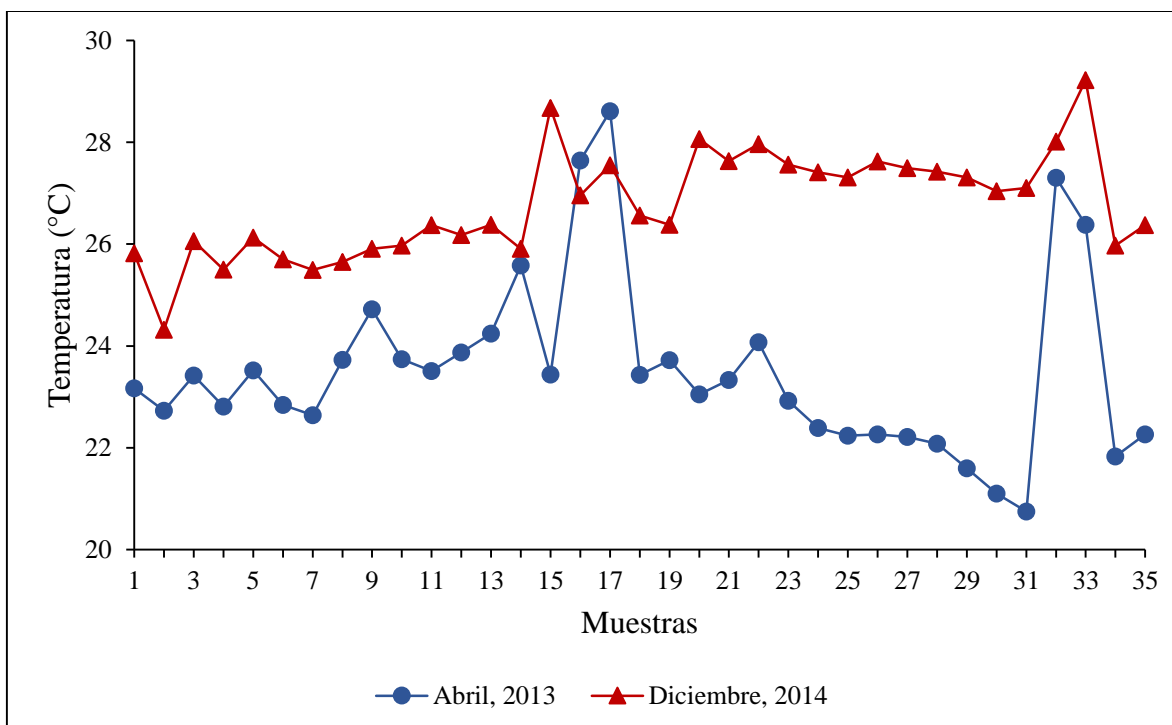


Figura 4.1 Temperatura superficial del mar en cada punto durante los dos muestreos

De acuerdo a Rodríguez, 2006 en las Bahías de Huatulco se aprecia un periodo frío que abarca de Enero a Marzo, un mes de transición de frío a cálido en Abril, un periodo cálido que va desde Mayo a Noviembre y un mes de transición de cálido a frío en Diciembre, en su estudio reportó un promedio mensual de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en las bahías de Huatulco durante el periodo (1996-2006) en el mes de abril 26.78 °C y en Diciembre de 26.74 °C, también indica que durante el periodo de su estudio, el año más cálido fue 1997, donde la temperatura promedio del mes de abril fue mayor a la de diciembre; temperatura promedio de abril 29.05 °C y la temperatura registrada en diciembre fue de 28.49 °C y el año más frío fue 2005 en donde la temperatura promedio del mes de abril fue menor a la de diciembre, temperatura promedio del mes de abril 25.86 °C y la de diciembre de 26.87 °C.

Otra referencia de la TSM es el Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA) que reportó durante el mes de abril de 2013 una temperatura entre 27 y 28 °C en el Golfo de Tehuantepec, valores que se encuentra dentro del rango observado en el presente estudio durante el muestreo de abril de 2013 (20.75-28.61 °C), en específico en Bahías Conejos (promedio 23.08 °C), Tangolunda (promedio 23.66 °C), Bahía Chahué (promedio 24.28 °C), bahías Santa Cruz (promedio 25.29 °C), Órgano (23.33 °C), Maguey (24.07 °C), Cacaluta (22.92 °C), Chachacual (promedio 22.27 °C) y San Agustín (promedio 21.38 °C) y las playas a mar abierto de El Arenal, Boca Vieja y Cuatonalco (promedio 24.44 °C). INAPESCA reportó en el mes de Diciembre de 2014 en el Golfo de Tehuantepec específicamente al suroeste y sur de Salina Cruz entre 23 y 26 °C encontrando que las temperaturas más altas se observaron al sur de las Bahías de Huatulco. En nuestro estudio en el mes de Diciembre de 2014 se encontró una temperatura aproximada menor a 26°C en las Bahías Conejos (promedio 25.58 °C), Tangolunda (promedio 25.87 °C) y superiores a los 26°C en la Bahía Chahué (promedio 26.78 °C), bahías Santa Cruz (promedio 27.10 °C), Órgano (27.63 °C), Maguey (27.96 °C), Cacaluta (27.56 °C), Chachacual (promedio 27.45 °C) y San Agustín (promedio 27.21 °C) y las playas a mar abierto de El Arenal, Boca Vieja y Cuatonalco (promedio 27.39 °C) ver figura 4.2.

De acuerdo a Castellanos, 2002 la variación temporal y espacial de la TSM está influenciada principalmente por las surgencias estimuladas por el incremento de los vientos, las corrientes superficiales y la batimetría de la plataforma continental. Un aumento de los vientos durante el primer semestre del año (enero-abril) forma focos de agua más frías, donde el agua que emerge en la superficie es más fría y más salina (Castellanos, 2002; Cisneros y Barrientos, 2008).

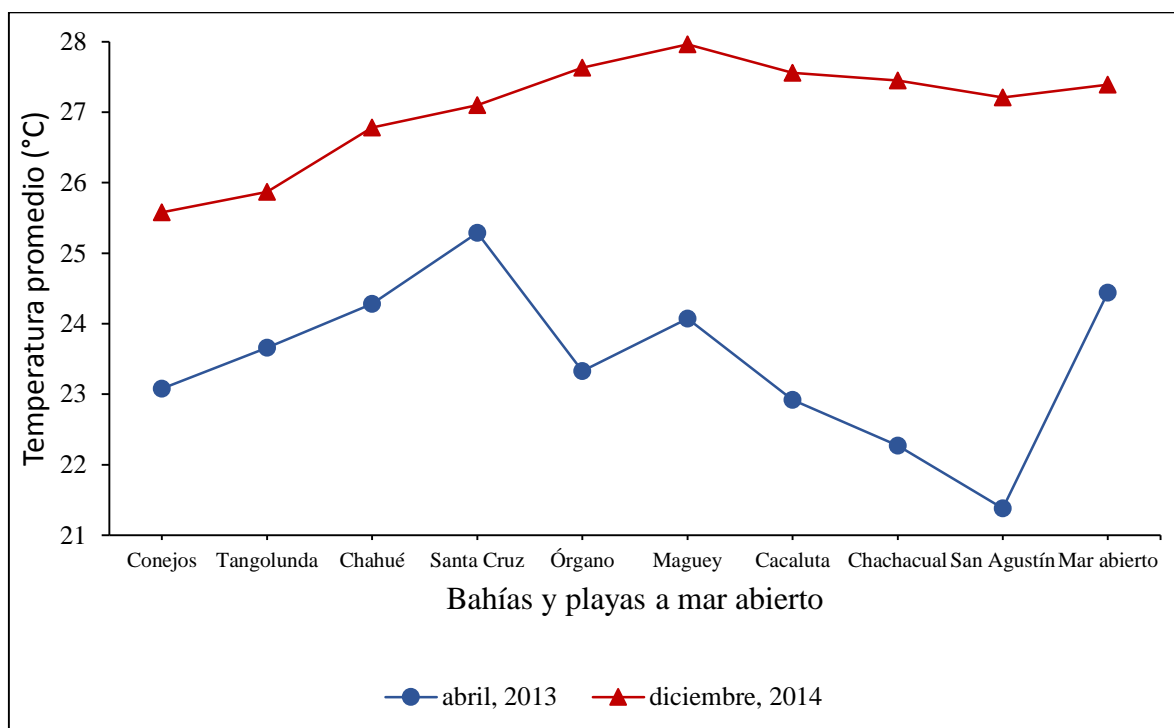


Figura 4.2 Temperatura promedio de cada bahía de Huatulco y de playas a mar abierto en los dos periodos de muestreo.

Las Bahías de Huatulco forman parte del Golfo de Tehuantepec, que se encuentra inmediatamente al sur del Istmo de Tehuantepec, una ruptura importante en la Sierra Madre de México meridional, en el punto más estrecho del Istmo con apenas 220 km de ancho hay una brecha de casi 40 km en la cordillera de la montaña, esta zona tiene una elevación máxima de aproximadamente 250 m sobre el nivel del mar, durante la estación seca y ventosa de noviembre a abril, los vientos fríos anticiclónicos procedentes del Golfo de México se canalizan por esta característica topográfica a través del Istmo sobre el Océano Pacífico tropical oriental, estos fuertes nortes regionales, conocidos localmente como tehuantepecos

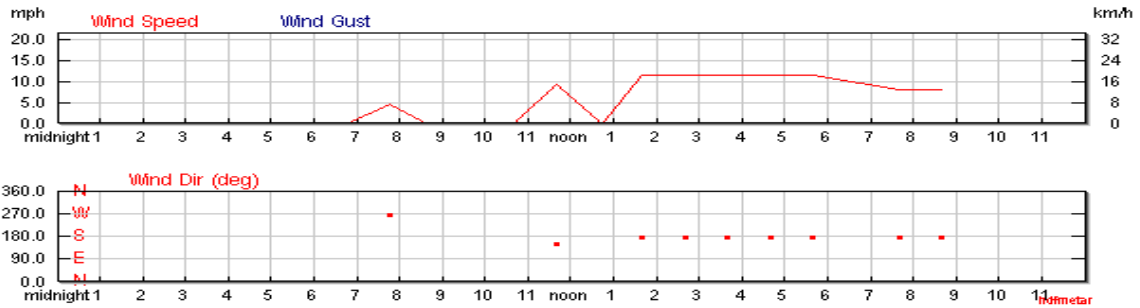
son llevados varios cientos de kilómetros hacia el mar, efectuando un movimiento del agua superficial al sur provocando surgencias, esto conduce a una marcada disminución de las temperaturas superficiales en el Golfo de Tehuantepec en comparación con las aguas circundantes (Stumpf, 1975).

La circulación costera del Golfo de Tehuantepec está dominada en buena parte del año por la Corriente Costera de Costa Rica (CRCC) que se dirige a los polos, se sugiere que la corriente gira a altamar entre Noviembre y Abril, pero continúa hacia el noroeste a través de ella durante el resto del año, la CRCC presenta un rango de temperatura de 27.5-29 °C (Barton, et al., 2009).

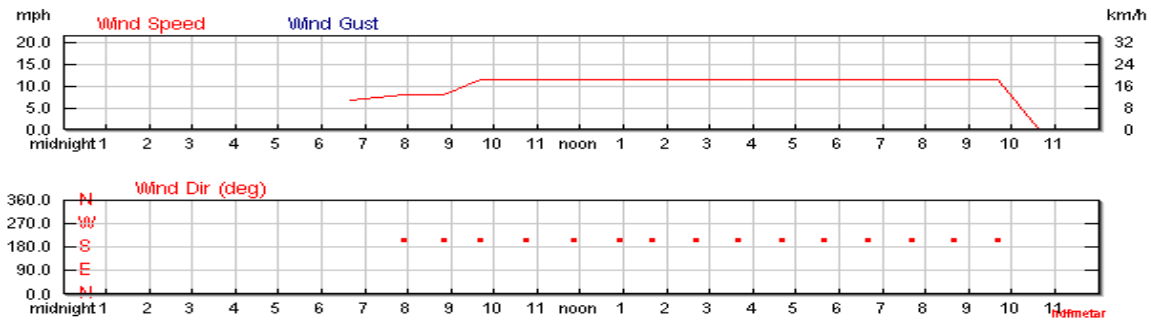
Stumpf, 1975 reporta surgencias en el Golfo de Tehuantepec con una TSM de 17-22 °C en diciembre e indica que la TSM normal en este mes del año es de 25-30 °C las que encontró cercanas a zonas aledañas a la surgencia, también reporta en su investigación vientos tehuantepecos en promedio de 10 ms⁻¹, donde las velocidades máximas frecuentemente excedieron los 20ms⁻¹. Herrera y Febres, 1975 indican que los vientos con velocidades superiores a 6m/s ocasionan surgencias.

En el caso de nuestro estudio durante el muestreo de abril de 2013 en las bahías de Conejos, Tangolunda, Chahué, parte de Santa Cruz y de las playas a mar abierto el rango de la velocidad del viento fue de 2.1ms⁻¹ a 18.5kmh⁻¹ (promedio de 3.06 ms⁻¹ a 16.03 kmh⁻¹) con varios periodos sin viento. En las bahías San Agustín, Chachacual, Cacaluta, Maguey, Órgano y parte de Santa Cruz y de las playas a mar abierto el rango de la velocidad del viento fue de 3.1 ms⁻¹ a 18.5kmh⁻¹ (promedio de 4.47 ms⁻¹ a 16.2 kmh⁻¹). Durante el muestreo de diciembre de 2014 en las bahías de Conejos, Tangolunda, Chahué, parte de Santa Cruz y las playas a mar abierto el rango de la velocidad del viento fue de 3.6 ms⁻¹ a 14.8 kmh⁻¹ (promedio de 3.8 ms⁻¹ a 13.7 kmh⁻¹) con varios periodos sin viento. En las bahías San Agustín, Chachacual, Cacaluta, Maguey, Órgano y parte de Santa Cruz el rango de la velocidad del viento fue de 2.6 ms⁻¹ a 18.5 kmh⁻¹ (promedio de 4.47 ms⁻¹ a 16.2 kmh⁻¹) con varios periodos sin viento, de acuerdo a la hora en que se muestreo ver figura 4.3 (wunderground.com).

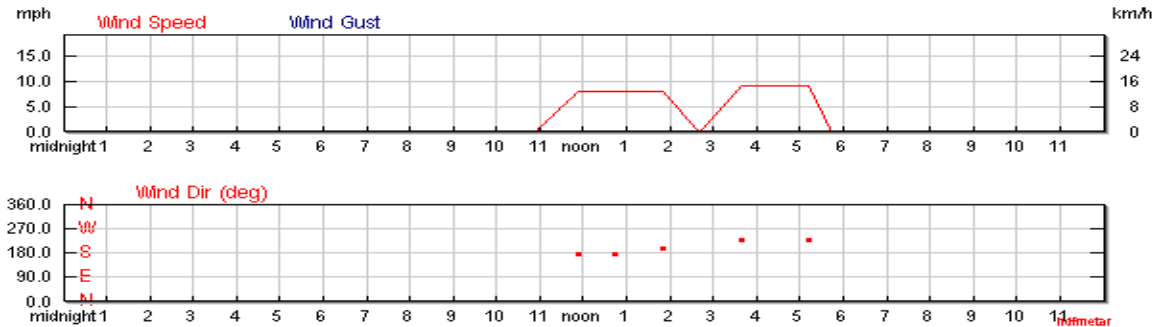
2 de Abril de 2013. Bahías de Huatulco



3 de Abril de 2013. Bahías de Huatulco



16 de Diciembre de 2014. Bahías de Huatulco



17 de Diciembre de 2014. Bahías de Huatulco

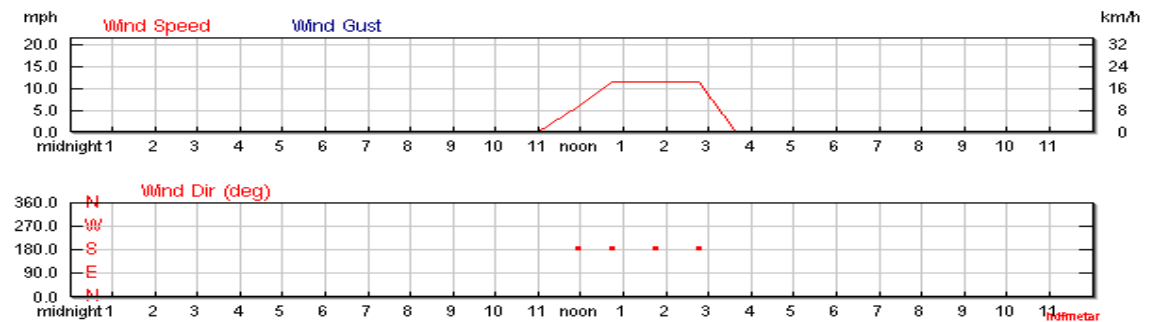


Figura 4.3 Velocidad y dirección del viento durante los días de muestreo. Fuente: wunderground.com

Durante todas las horas en que se realizó el muestreo de las bahías de San Agustín, Chachacual, Cacaluta, Maguey, Órgano, parte de Santa Cruz y de las playas a mar abierto, en abril de 2013 se presentó viento (promedio de 4.47 ms^{-1} a 16.2 kmh^{-1}), dicha condición no se tuvo durante los otros días de muestreo sea en abril de 2013 o diciembre de 2014, lo que puede ser causa de que se observe una disminución de la TSM en la región de las bahías de Santa Cruz ($25.29 \text{ }^\circ\text{C}$) hasta San Agustín ($21.38 \text{ }^\circ\text{C}$), la dirección del viento fue SSO, ver figura 4.3.

Con respecto a la batimetría de las bahías de Huatulco hay una mayor distancia entre la bahía Conejos a la plataforma continental (aproximadamente 91.3m), después se hace más estrecha la distancia en la playa Violín, correspondiente a la bahía Órgano (aproximadamente 46.73m), nuevamente aumenta la distancia (aproximadamente 60.9m) al inicio de la bahía Cacaluta (de este a oeste) y disminuye al final de la misma (aproximadamente 48.9 m), la distancia de la playa La India (bahía Chachacual) registra aproximadamente 40.2 m la cual no varía mucho a la distancia registrada para la bahía San Agustín (aproximadamente 38 m), ver figura 2.12. De lo anterior se observa que hay dos puntos donde la batimetría puede influenciar en la disminución de la TSM al fomentar surgencia que es en la bahía Órgano y Cacaluta debido a que en esos dos puntos la distancia entre la costa y la plataforma continental es menor. De acuerdo a (Castellanos, 2002) el tener puntos con una plataforma estrecha que después se ensanche favorece los movimientos ascendentes del agua de mar.

Los muestreos en el presente estudio se realizaron durante meses de transición, el primer muestreo se realizó en los primeros días de abril de 2013 en el que la transición va de frío a cálido, el segundo muestreo fue a mediados del mes de diciembre de 2014 que va de cálido a frío. Durante abril de 2013 se presentó una mayor influencia de los vientos tehuantepecos que aunado a la batimetría del lugar, probablemente influya en la formación de surgencias y a que el rango de temperaturas en diciembre ($24.32\text{-}29.22^\circ\text{C}$) sea mayor que en abril ($20.75\text{-}28.61^\circ\text{C}$), se puede apreciar que el rango de temperatura registrado en diciembre de 2014 es más cercano al reportado para la CRCC ($27.5\text{-}29.5^\circ\text{C}$).

Cabe considerar que la variación de temperatura entre los diferentes puntos también está influenciada por el diferente horario en que se muestreó, coincidentemente las temperaturas mínimas (20.75 y 24.32°C) durante los dos periodos de muestreo están registradas en los primeros puntos donde se muestreó, por la mañana (bahía Conejos y bahía San Agustín) y las temperaturas máximas (28.61 y 29.22°C) en los últimos puntos donde se muestreó, por la tarde (bahía Santa Cruz y El Arenal). (Castellanos, 2002) reporta diferencias de la TSM entre el día y la noche al sur del Mar Caribe, en los meses de marzo a julio menores de 1.4°C y de 1 a 2.8°C en los últimos meses del año.

4.2 pH

Los valores de pH en cada punto de muestreo se observan en la figura 4.4. Durante el muestreo de abril de 2013 el pH mínimo fue de 7.30 en la Playa Punta Arena, el máximo fue de 8.96 en Jicaral, con un promedio de 8.4, en diciembre de 2014 el pH mínimo fue de 7.81 en playa Magueyito y el pH máximo de 8.33 en la Playa el Arenal, con promedio de 8.17.

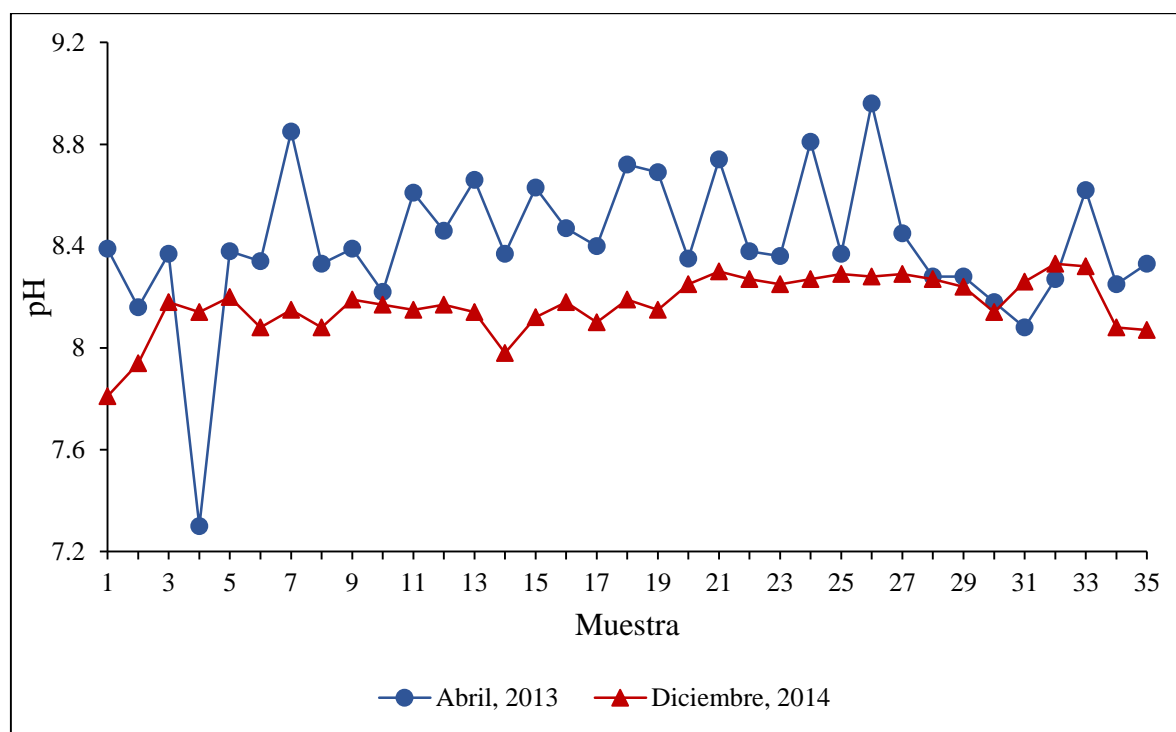


Figura 4.4 pH en cada punto durante los dos muestreos

De acuerdo a (Gianguzza et al., 2002) el pH promedio del agua de mar es de 8.1. (Estrada, 2008) reportó en Huatulco un rango de pH de 7.4 a 8.7. En nuestro estudio el rango de pH en

abril 2013 de 7.3-8.96 y el de diciembre, 2014 de 7.81-8.33 que es aproximado al reportado anteriormente por Estrada, 2008. El promedio de pH de los dos muestreos es de 8.29, dicho valor no se aleja del mencionado en las referencias.

La diferencia máxima entre los valores de pH de los dos muestreos fue de 0.84 en la playa de Punta Arena y la diferencia mínima fue de 0.01 en playa San Agustín. El pH mínimo tanto en abril 7.3 como en diciembre 7.81 se registró en la bahía Conejos, probablemente el pH sea influenciado por su cercanía al Río Copalita, que de acuerdo a (Sánchez et al., 2014) registro un pH de 6.3 a 8.81. En este río aguas arriba, se vierten aguas residuales municipales, drenaje agrícola y residuos del proceso de lavado del grano de café, que es una práctica común en la zona cafetalera de la región (Sánchez et al., 2012).

(Zirino et al., 1986) menciona que en ausencia de procesos biológicos el valor del pH del océano llega a ser 8.1 independientemente de la temperatura. En la zona eufótica, el pH y la temperatura del agua, se correlacionan de manera directa en aguas tropicales superficiales, a mayor calentamiento del agua se incrementa el pH debido a la relación $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CO}_2 + \text{OH}^-$, y la precipitación del CaCO_3 , en periodos sin surgencia, donde ésta relación se basa más en procesos biológicos que en fisicoquímicos (Cisneros y Barrientos, 2008). Hernández-Ayón et al., 2003 plantea que el pH del agua de mar es una función del CO_2 inorgánico total, la alcalinidad total, la temperatura, salinidad y la presión, también que cuando aumenta la salinidad y disminuye el pH, los procesos físicos (mezcla, salidas de CO_2 y surgencias) predominan sobre los procesos biológicos.

Al comparar la gráfica de temperatura figura 4.1 con la de pH figura 4.4 se observa que en general al aumentar la temperatura el pH disminuye, por lo que se puede decir que el fenómeno de surgencia durante el mes de abril de 2013, contribuye para presentar dicha tendencia, de acuerdo a lo planteado por los autores anteriormente citados.

4.3 Porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto

Los valores de % de Saturación de Oxígeno Disuelto (% de Saturación de OD) en cada punto de muestreo se observan en la figura 4.5. Durante el muestreo de abril de 2013 el % de Saturación de OD mínimo fue de 71.10 en la Playa Rincón Sabroso, el máximo fue de 122.80 en Órgano, presentó un promedio de 96.39, en diciembre de 2014 el % de Saturación de OD mínimo fue de 75.70 en playa San Agustín y el % de Saturación de OD máximo de 109.80 en la Playa el La Entrega, con un promedio de 94.88. El promedio del % de Saturación de OD de los dos muestreos es de 95.63%.

La diferencia máxima entre los valores del % de Saturación de OD de los dos muestreos fue de 35.3% en la playa Tornillo y la diferencia mínima fue de 0.2 en la playa Consuelo.

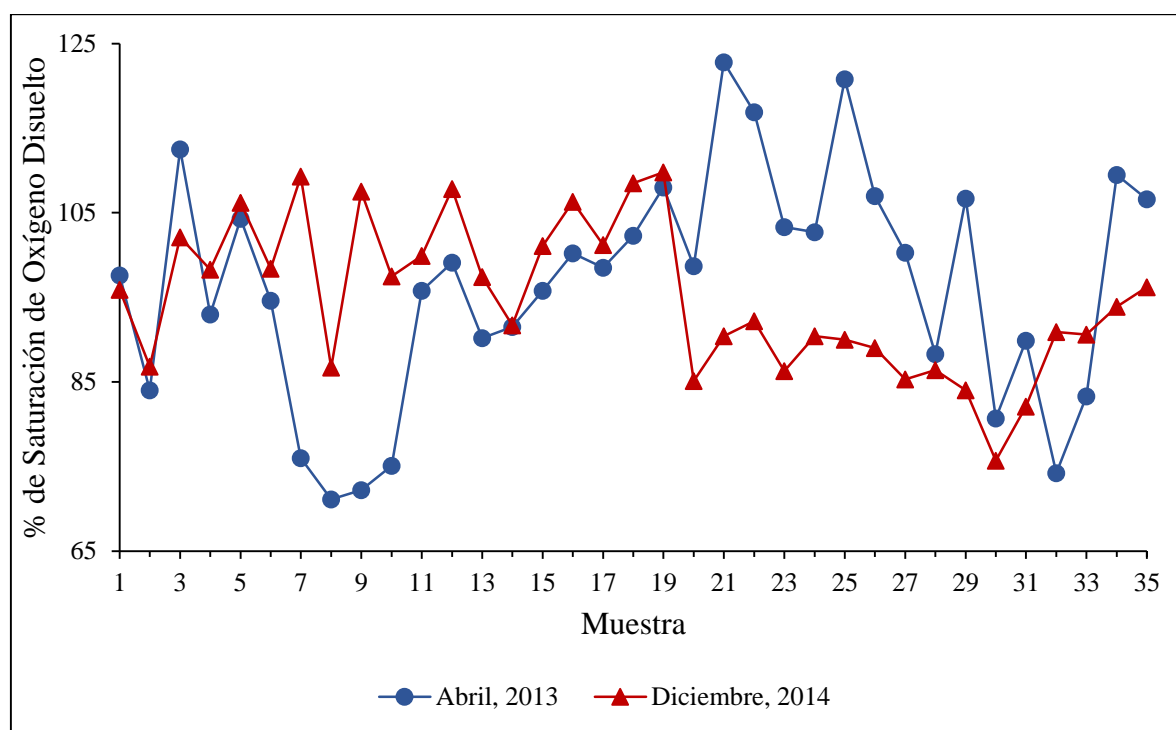


Figura 4.5 Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto en cada punto durante los dos muestreos

De la figura 4.5. se observa que hay puntos donde el % de Saturación de OD es mayor a 100%, esto se debe a que hay una adición de oxígeno desde la atmósfera y pérdida hacia ella, provocada por la presencia de viento que causa la oxigenación de la columna de agua (Roldán

y Ramírez, 2008). Se observa en general que en las primeras muestras 1-19 (de playa Magueyito a La Entrega), los valores del % de Saturación de OD entre los dos muestreos son muy cercanos o el valor correspondiente a diciembre de 2014 es mayor que el de abril de 2013, pero desde la muestra 20 playa El Violín hasta la 31 playa San Agustín, al igual que en las playas a mar abierto, muestra 34 (Boca Vieja) y 35 (Cuatun Alco) se invierte y se presenta un mayor % de Saturación de OD en abril de 2013, que está relacionado a la mayor presencia de viento y disminución de la TSM durante el muestreo, originando un aumento de la oxigenación en el agua e incremento del % de Saturación de OD. De acuerdo a Jiménez, 2005 el oxígeno disuelto disminuye al aumentar la salinidad y la temperatura (50% entre 0 y 35°C). La tabla 4.2. muestra la calidad del agua en función del % de Saturación de OD.

Tabla 4.2 Calidad del agua en función del Porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto

Calidad	% de saturación de OD (a la T y salinidad prevaeciente en el ambiente)
Buena	>90
Regular	89-75
Dudosa	74-50
Contaminada	<50

Criterio de Lynch y Poole (1979), citado por Betancourt, et al., 2009.

De acuerdo al criterio de (Lynch y Poole, 1979), en el mes de abril de 2013 las playas que presentaron una calidad regular de acuerdo al % de Saturación de OD fueron: Conejos (84%), Tangolunda (76%), Manzanilla (75.1%), 3 muestras de las 4 en la playa San Agustín (promedio 86.3%) y 1 muestra de El Arenal (83.3%) y en diciembre de 2014: Conejos (86.8%), Rincón Sabroso(86.7%), El Violín (85.1%), Cacaluta (86.3%), Jicaral (89%), Riscalillo (85.3%) y San Agustín (promedio 82.05%). De dudosa calidad se presentaron Rincón Sabroso (71.1%), Tornillo (72.2%) y 1 muestra de El Arenal (74.2%) durante el mes de abril de 2013. De lo anterior se observa que en la playa Conejos y San Agustín presentaron una calidad regular tanto en abril como en diciembre.

En las playas San Agustín (foto 4.1.) y Conejos (foto 4.2.) se realizan actividades turísticas, en ésta última playa también se observó espuma tipo detergente, (Velázquez, 2015) menciona

que plantas de tratamientos de aguas residuales que utiliza el centro turístico en La Entrega, Conejos, Tangolunda y Copalita conservan vertederos cuyo destino final es el mar.

La contaminación por desechos domésticos o industriales puede agotar el oxígeno en el agua, debido a la descomposición de la materia orgánica, lo que puede ser dañino para la mayoría de los organismos acuáticos (Roldán, 2003).



Foto 4.1 Playa San Agustín



Foto 4.2 Playa Conejos

4.4 Salinidad

Los valores de salinidad en cada punto de muestreo se observan en la figura 4.6. Durante el muestreo de abril de 2013 la salinidad mínima fue de 30.61 psu en la Playa Conejos, la máxima fue de 33.58 psu en El Violín, presentó un promedio de 32.60 psu, en diciembre de 2014 la salinidad mínima fue de 29.61 psu en playa Boca Vieja y la salinidad máxima de 36.32 psu en la Playa La Mixteca, con un promedio de 33.86 psu.

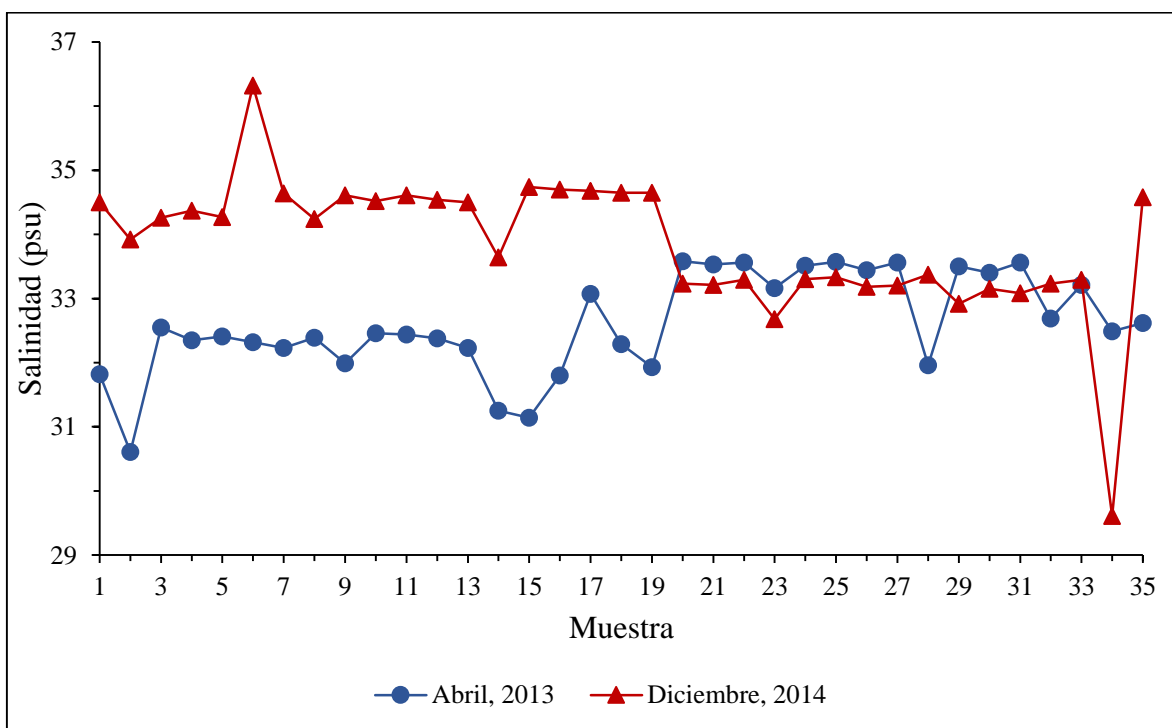


Figura 4.6 Salinidad en cada punto durante los dos muestreos

De acuerdo a (Gianguzza, et al., 2002) la salinidad promedio del agua de mar es de 35 psu, (Barton, 2009) registró en la CRCC una salinidad de 33.4 psu, (Estrada, 2008) reportó en Huatulco un rango de salinidad de 32.6 psu a 32.9 psu. En nuestro estudio el rango de salinidad en abril 2013 es de (30.61 psu - 33.58 psu) y el de diciembre, 2014 de (29.61 psu - 36.32 psu), como se observa, el presente estudio reporta un rango más amplio de salinidad debido a que la cantidad de puntos de muestreo es mayor (30 playas) que el reportado por (Estrada, 2008) donde se muestrearon las zonas de arrecifes de coral. La salinidad promedio

de los dos muestreos es de 33.21 psu, dicho valor no se aleja del mencionado en las referencias.

La diferencia máxima entre los valores de salinidad de los dos muestreos fue de 4 psu en la playa La Mixteca y la diferencia mínima fue de 0.08 psu en la playa El Arenal. De la figura 4.6, se aprecia que el valor más bajo de salinidad en el mes de abril se registró en la playa Conejos en la Bahía Conejos y en Diciembre en Boca Vieja, en Bajos de Coyula y el Arenal.

Los puntos de valores mínimos de pH durante los dos muestreos y de salinidad en el muestreo de abril se encuentran en Bahía Conejos, cerca de una zona hotelera y del río Copalita, cercana a zona de agricultura (INEGI, 2005; Sánchez et al., 2012) y el valor mínimo de salinidad registrado en el muestreo de Diciembre de 2014 se presentó en Boca Vieja punto cercano al río Coyula.

Se observa la misma tendencia en la gráfica 4.4 y 4.5. En general en las primeras muestras 1-19 (de playa Magueyito a La Entrega), los valores salinidad correspondiente a Diciembre de 2014 es mayor que el de Abril de 2013, pero desde la muestra 20 playa El Violín hasta la 31 playa San Agustín, al igual que en la playa a mar abierto Boca Vieja (muestra 34) se invierte y se presenta una mayor salinidad en Abril de 2013 que en Diciembre 2014. De acuerdo a (Castellanos, 2002), en los focos de surgencia, emerge a la superficie agua más fría y más salina lo que explica dicha tendencia.

4.5 Conductividad

Los valores de conductividad en cada punto de muestreo se observan en la figura 4.7. Durante el muestreo de abril de 2013 la conductividad mínima fue de 46.80 mS/cm en la playa Conejos, la máxima fue de 51.10 mS/cm en El Violín, Órgano y Chachacual, presentó un promedio de 49.79 mS/cm, en diciembre de 2014 la conductividad mínima fue de 45.72 mS/cm en playa Boca Vieja y la conductividad máxima de 52.94 mS/cm en la Playa Chahué, con un promedio de 51.48 mS/cm.

La diferencia máxima entre los valores de conductividad de los dos muestreos fue de 5.14 mS/cm en la playa Chahué y la diferencia mínima fue de 0.08 mS/cm en la playa Maguey.

El rango de conductividad en el muestreo de abril de 2013 (46.80 mS/cm - 51.10 mS/cm) y el del muestreo de diciembre (45.72 mS/cm - 52.94 mS/cm) no se alejan de los reportado por (Estrada, 2008), quien registro en Huatulco un rango de conductividad de 50.1 a 54.9 mS/cm.

Como se puede observar en la figura 4.7. se sigue la misma tendencia que en las figuras 4.5 y 4.6. En general en las primeras muestras 1-19 (de playa Magueyito a La Entrega), los valores de salinidad correspondiente a diciembre de 2014 son mayores que el de abril de 2013, pero desde la muestra 20 (El Violín) hasta la 31 (San Agustín) y la playa a mar abierto 34 (Boca Vieja), se invierte y se presenta una mayor salinidad en Abril de 2013 que en diciembre 2014, con excepción de la muestra 28 (San Agustín), que posiblemente puede deberse a un error o a la descarga de agua derivada del área de restaurante en la zona, debido a que en la playa San Agustín se tomaron 4 muestras (28-31) de las cuales solamente la muestra 28 no sigue la misma tendencia.

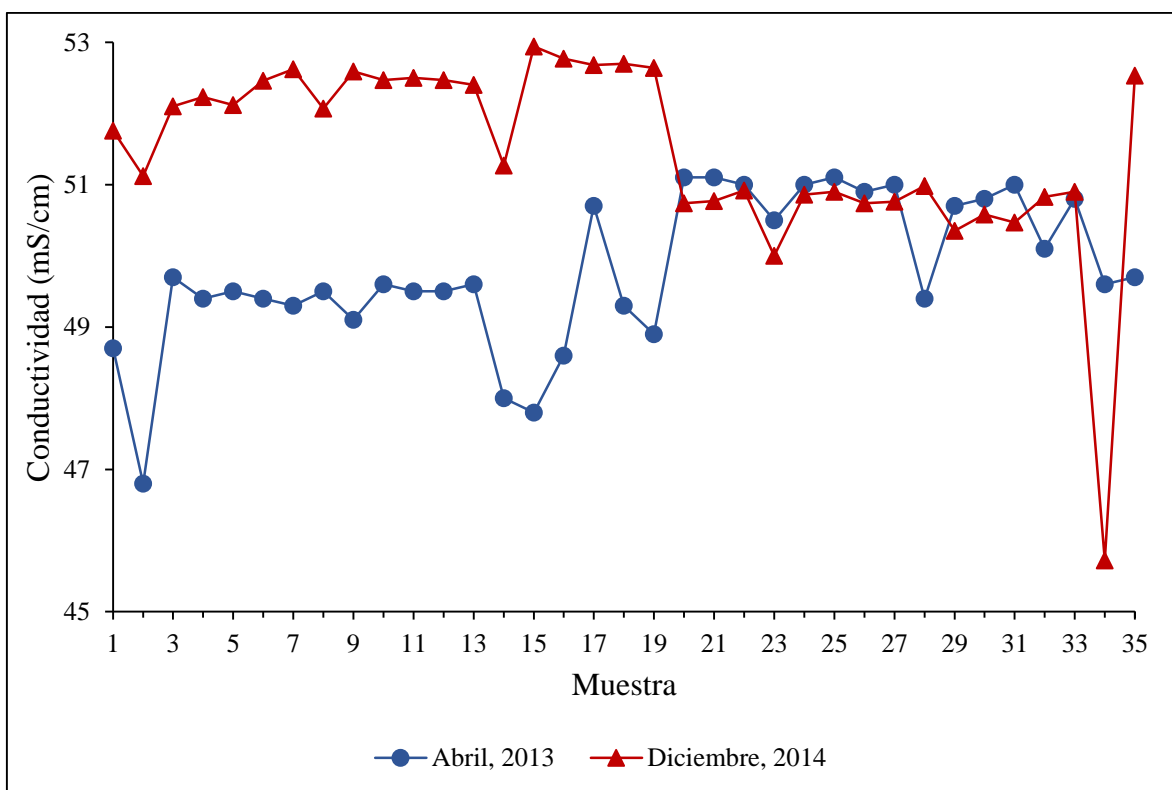


Figura 4.7 Conductividad en cada punto durante los dos muestreos

La salinidad y la conductividad eléctrica están relacionadas debido a que un método físico para determinar la salinidad del agua de mar consiste en medir la conductividad eléctrica, llamándola salinidad práctica, experimentalmente los equipos o sensores que miden salinidad, en realidad miden la conductividad eléctrica y luego calculan la salinidad por medio de la parameterización, comparando la muestra con la conductividad eléctrica de una muestra patrón (UNESCO, 1984; Mook y Vries, 2002; Taiz y Zeiger, 2006; Royero, 2015). La relación conductividad-salinidad depende de la naturaleza de las sales presentes, en general, la salinidad en gL^{-1} es igual a la conductividad en forma expresada, multiplicada por un factor entre 0.00055 y 0.0009 (Roldán y Ramírez, 2008).

4.6 Sólidos disueltos totales

Los valores de Sólidos Disueltos Totales (SDT) en cada punto de muestreo se observan en la figura 4.8. Durante el muestreo de abril de 2013 los SDT mínimos fueron de 23.52ppt en la Playa Conejos, la máxima fue de 25.55ppt en Maguey, presentó un promedio de 24.85ppt, en Diciembre de 2014 los SDT mínimos fueron de 22.86ppt en playa Boca Vieja y los SDT máximos de 26.45ppt en la Playa Chahué, con un promedio de 25.77ppt. El promedio de los SDT de los dos muestreos es de 25.31ppt.

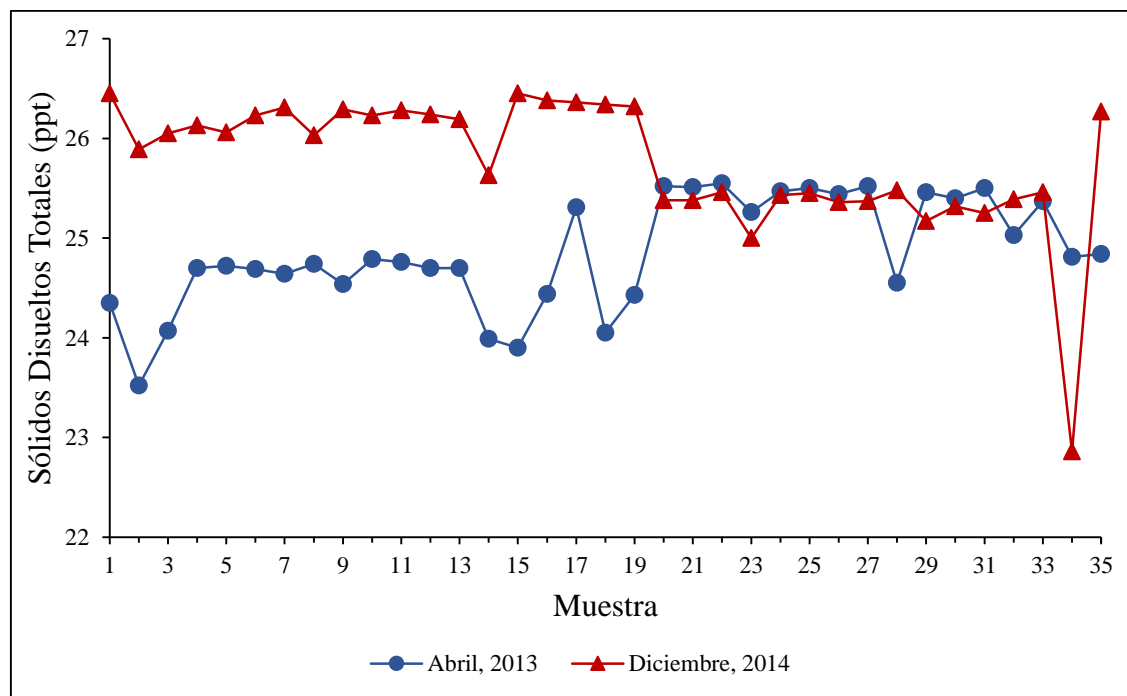


Figura 4.8 Sólidos Disueltos Totales en cada punto durante los dos muestreos

La diferencia máxima entre los valores de los SDT de los dos muestreos fue de 2.55 ppt en la playa Chahué y la diferencia mínima fue de 0.04 ppt en la playa La India. Como se puede observar en la figura 4.8. se sigue la misma tendencia que en las figuras 4.5 -4.7. En general en las primeras muestras 1-19 (de playa Magueyito a La Entrega), los valores SDT correspondiente a diciembre de 2014 son mayores que el de abril de 2013, pero desde la muestra 20 (El Violín) hasta la 31 (San Agustín) y la playa a mar abierto 34 (Boca Vieja) se invierte y se presenta una mayor salinidad en abril de 2013 que en diciembre 2014, con excepción de la muestra 28 (San Agustín), que posiblemente puede deberse a la descarga de agua derivada del área de restaurante en la zona, debido a que en la playa San Agustín se tomaron 4 muestras (28-31) de las cuales solamente la muestra 28 no sigue la misma tendencia, como sucedió anteriormente en los datos de conductividad.

Los SDT están formado por materiales tanto orgánicos como inorgánicos, son una medida indirecta de las sales inorgánicas disueltas, una manera rápida y simplificada de medir los SDT de una muestra de agua es la conductividad eléctrica, basándose en la capacidad de una solución para conducir una corriente eléctrica en función de la concentración de iones presentes en ella, se espera que soluciones con mayor concentración iónica presenten mayores conductividades, también se debe considerar la composición iónica porque aguas de diferente composición iónica mostrarán una relación variable entre la concentración iónica y conductividad por ejemplo, un agua dominada con iones Na^+ y Ca^{2+} poseen una conductividad de $112\mu\text{Scm}^{-1}$ y en otra donde domina el Ca^{2+} y HCO_3^- tiene una conductividad de $10\mu\text{Scm}^{-1}$. A causa de la estrecha relación existente entre la salinidad, sólidos disueltos y conductividad, se pueden construir tablas donde se encuentra el equivalente de cada uno de ellos (Roldán y Ramírez, 2008).

Se observa que el valor mínimo en abril de 2013, tanto de salinidad, conductividad y SDT se encuentra en playa Conejos y en diciembre de 2014 éstos tres parámetros presentaron el punto mínimo en playa Boca Vieja que son puntos extremos cercanos al río Copalita y Coyula respectivamente, los valores máximos en abril de 2013 son puntos cercanos (muestras 20-22) playas: El Violín, Órgano y Maguey, los valores máximos en diciembre de 2014 son los puntos (15 y 16) Chahué y La Mixteca, cabe resaltar que Chahué esta considerada como

playa Limpia, El Violín, Órgano y Maguey se encuentran dentro del PNH, donde no hay una “fuerte” actividad turística ni de agricultura, aunque reciben la visita de algunos turistas, además de los SDT se observó durante el muestreo sólidos suspendidos en la playa El Violín (muestra 20) como se observa en la foto 4.3.

En la playa Tornillo muestra 9 (foto 4.4.) se observa un canal en el que posiblemente se descargue agua al mar, lo que puede influir en los parámetros fisicoquímicos del lugar, aunque durante los muestreos reportados en el presente trabajo no se registraron cambios radicales en este punto, si bien, presentó una calidad dudosa con respecto al % de Saturación de OD, se debe continuar su estudio durante periodo de lluvia.



Foto 4.3 Playa El Violín



Foto 4.4 Playa Tornillo

4.7 Potencial óxido-reducción

Los valores del potencial óxido-reducción (ORP) en cada punto de muestreo se observan en la figura 4.9. Durante el muestreo de abril de 2013 el ORP mínimo fue de 40 mV en la Playa El Arenal, el máximo fue de 169.90 mV en Conejos, presentó un promedio de 92.55 mV, en diciembre de 2014 el ORP mínimo fue de -3.20 mV en playa Cuatonalco y el ORP máximo de 152.60 mV en Chachacual, con un promedio de 152.60 mV. El promedio del ORP de los dos muestreos es de 83.16 mV.

La diferencia máxima entre los valores de los ORP de los dos muestreos fue de 115.2 mV en la playa Boca Vieja y la diferencia mínima fue de 1.2 mV en la playa Tejón.

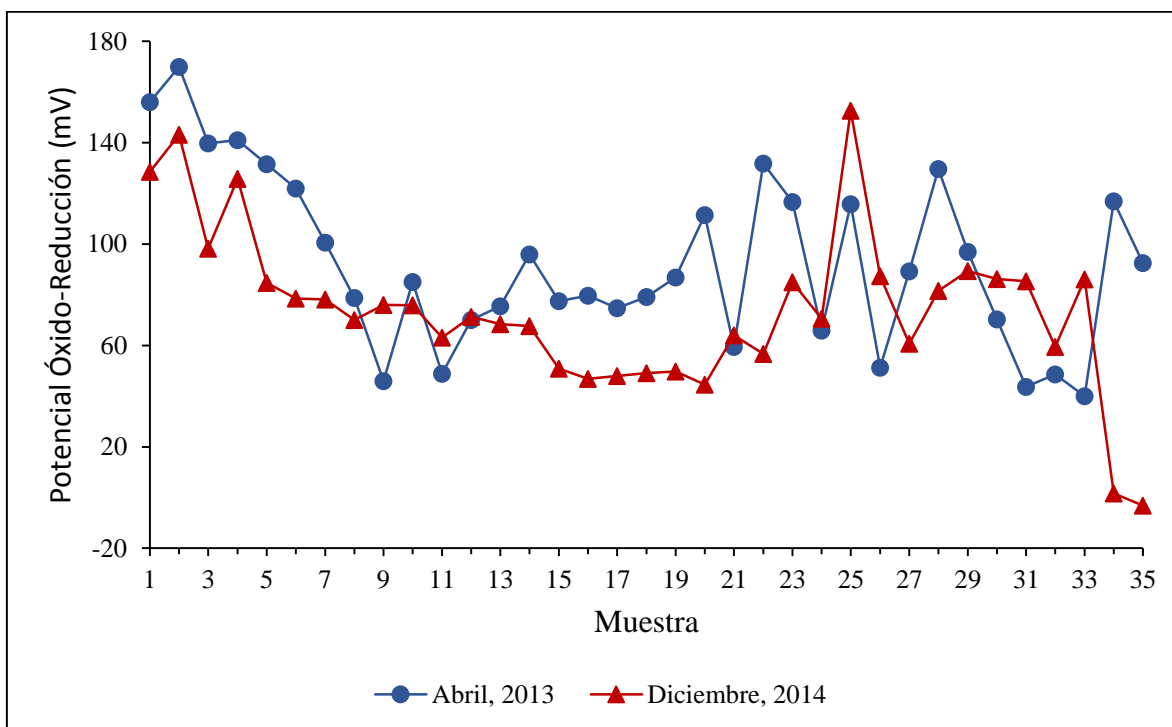


Figura 4.9 Potencial óxido-reducción en cada punto durante los dos muestreos

Se observa que en el muestreo de diciembre se obtuvieron valores muy bajos de ORP en las dos últimas playas e incluso en la última con un valor negativo. Cuando el valor es positivo la materia tiende a oxidarse y si es negativo tiende a reducirse. El ORP determina la habilidad para oxidar o reducir sustancias en el medio. Una reducción de los iones hace que se ganen electrones por lo que el electrodo da una lectura negativa, durante la oxidación de los iones se pierden electrones, en consecuencia el electrodo da una lectura positiva. El potencial del electrodo neto resultante está relacionada con la concentración de los iones oxidantes y reductores en solución (Liu and Lipták, 1999). El proceso redox juega un papel clave en la formación y disolución de fases de minerales, control de la especiación química, biodisponibilidad, toxicidad y movilidad de muchos de los principales elementos traza.

4.8 Parámetros fisicoquímicos en el río Coyula

En la tabla 4.3. se muestran los datos de los parámetros fisicoquímicos registrados en el río Coyula (foto 4.5.) durante los dos muestreos.

Tabla 4.3 Parámetros fisicoquímicos del Río Coyula

Parámetro	2 de Abril de 2013	17 de Diciembre de 2014
T (°C)	33.17	27.57
pH	9.32	8.88
% de Saturación de OD	135.9	101.5
Salinidad (psu)	0.22	0.15
Conductividad (mS/cm)	0.5	0.31
SDT (ppm)	237	159
ORP (mV)	93.1	-5.1

La temperatura durante abril de 2013 registro un valor mayor que en diciembre de 2014, lo que resulta contrario a lo presentado en el agua de mar, que como se dijo anteriormente puede ser debido a surgencias.

El pH registrado es básico, de acuerdo a (Roldán y Ramírez, 2009) para aguas naturales el rango de pH varía de 6 a 9, en nuestro estudio se midió un valor máximo de 9.32 en abril de 2013, que es mayor al reportado por (Sánchez et al., 2014) pH de 6.3 a 8.81 en el Río Copalita. El valor de pH puede ser influenciado porque la gente lava su ropa en el río, generalmente los detergentes que se utilizan mantienen una solución de jabón al pH alrededor de 10.5-11 agregan silicato sódico, carbonato sódico o fosfato tetrasódico (Bailey, 1984).

El promedio del % de Saturación de OD es de 118.7%, de acuerdo al criterio de (Lynch y Poole, 1979), la calidad del agua es buena según éste parámetro (mayor del 90%).

La salinidad (promedio 0.18 psu) y conductividad (promedio 400 μ S/cm) tienen un valor bajo comparado con el de las bahías y playas a mar abierto por tratarse de agua dulce. En general la conductividad en los ríos se debe principalmente a la geología de área por la cual drenan, los ríos que corren sobre un cauce de granito suelen tener menor conductividad que los que corren en terrenos arcillosos o calcáreos, ya que el granito está constituido por materiales inertes que no se ionizan en el agua, en general la conductividad del agua en los ríos puede variar entre los 50 y 1800 μ S/cm según sea el terreno por el que drenen (Ruvalcaba, et al., 2004).

El promedio de SDT para los ríos de todo el mundo ha sido estimado en alrededor de 120 ppm (Livingston, 1963) en nuestro estudio fue de 198 ppm, lo cual puede ser influenciado además de la geología del lugar, por el uso agrícola y público urbano del río (González-Mora, 2013), los valores de ORP registrados tienen una gran variación entre los dos muestreos (de -5.1 a 93.1 mV).



Foto 4.5 Río Coyula

CAPÍTULO 5

5 Resultados y discusión: sedimentos

En el siguiente capítulo se describen y discuten los resultados de las características de los sedimentos superficiales de las playas que se encuentran en el desarrollo turístico bahías de Huatulco: el tamaño del sedimento, la concentración de metales (análisis total y parcial), el análisis estadístico, la determinación del índice de geoacumulación y factor de enriquecimiento, la identificación y cuantificación de microplásticos, y por último se realizó una comparación con otros estudios. La localización de los puntos de muestreo se indica en el mapa de la figura 3.2.

5.1 Tamaño de sedimento

El tamaño de grano del sedimento depende de la naturaleza de la roca madre y los agentes de transporte por lo tanto el tamaño de los sedimentos reflejan la depositación y transporte (Cupul-Magaña, et al., 2006; Suganraj et al., 2013).

A continuación se muestran los percentiles $\phi_5, \phi_{16}, \phi_{25}, \phi_{50}, \phi_{75}, \phi_{84}$ y ϕ_{95} , calculados a través de las curvas de frecuencias relativas acumuladas, elaboradas con los pesos de cada fracción de sedimento superficial que pasó por los tamices. Para el análisis de los sedimentos superficiales del mes de abril de 2013 se utilizaron tamices con aberturas de malla $\phi=-1, -0.75, -0.5, -0.25, 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 1.75, 2, 2.25, 2.5, 2.75, 3, 3.25, 3.5, 3.75, 4$ y >4 , y en el caso de los sedimentos superficiales correspondientes al mes de diciembre de 2014 se utilizaron aberturas de malla $\phi=-1, -0.5, 0, 0.5, 1, 2, 2.5, 3, 4$ y >4 de las muestras de las playas de las bahías de Huatulco, las playas que se encuentran a mar abierto y del río Coyula. También se muestran los resultados de la media (M_z), desviación estándar (σ), asimetría (S_k) y curtosis (K_G), ver tabla 5.1. y 5.2. calculados con las ecuaciones 3.3.1 - 3.3.4.

Tabla 5.1 Percentiles y parámetros estadísticos, según Folk & Ward, 1957 durante el muestreo de Abril, 2013.

Muestra	M_z	σ	Sk	K_G	M_z	σ	Sk	K_G
1	0.73	0.54	0.42	1.36	grueso	Moderadamente bien clasificado	Muy asimétrico hacia finos	Leptocúrtico
2	0.14	0.22	-0.32	0.82	grueso	Muy bien clasificado	Muy asimétrico hacia gruesos	Platicúrtico
3	0.06	0.29	-0.14	0.78	grueso	Muy bien clasificado	Asimétrico hacia gruesos	Platicúrtico
4	0.22	0.29	-0.22	0.91	grueso	Muy bien clasificado	Asimétrico hacia gruesos	Mesocúrtico
5	1.21	0.66	0.11	0.92	media	Moderadamente bien clasificado	Asimétrico hacia finos	Mesocúrtico
6	-0.38	0.77	-0.12	0.80	muy grueso	Moderadamente clasificado	Asimétrico hacia gruesos	Platicúrtico
7	0.60	0.44	0.16	1.20	grueso	Bien clasificado	Asimétrico hacia finos	Leptocúrtico
8	1.15	0.74	-0.18	0.98	media	Moderadamente clasificado	Asimétrico hacia gruesos	Mesocúrtico
9	2.29	0.60	-0.17	1.00	fina	Moderadamente bien clasificado	Asimétrico hacia gruesos	Mesocúrtico
10	1.58	0.61	-0.15	1.00	media	Moderadamente bien clasificado	Asimétrico hacia gruesos	Mesocúrtico
11	0.03	0.85	-0.52	1.23	grueso	Moderadamente clasificado	Muy asimétrico hacia gruesos	Leptocúrtico
12	0.35	0.23	-0.30	1.60	grueso	Muy bien clasificado	Asimétrico hacia gruesos	Muy leptocúrtico
13	0.21	0.26	-0.40	1.10	grueso	Muy bien clasificado	Muy asimétrico hacia gruesos	Mesocúrtico
14	-0.09	0.50	-0.28	1.32	muy grueso	Bien clasificado	Asimétrico hacia gruesos	Leptocúrtico
15	0.48	0.23	-0.20	1.44	grueso	Muy bien clasificado	Asimétrico hacia gruesos	Leptocúrtico
16	1.07	0.96	0.15	0.94	media	Moderadamente clasificado	Asimétrico hacia finos	Mesocúrtico
17	-0.46	0.74	-0.21	1.06	muy grueso	Moderadamente clasificado	Asimétrico hacia gruesos	Mesocúrtico
18	1.42	0.42	0.14	1.12	media	Bien clasificado	Asimétrico hacia finos	Leptocúrtico
19	0.74	0.55	0.02	1.11	grueso	Moderadamente bien clasificado	Casi simétrico	Mesocúrtico
20	0.57	0.56	-0.09	0.30	grueso	Moderadamente bien clasificado	Casi simétrico	Muy platicúrtico
21	0.13	0.50	0.08	0.89	grueso	Moderadamente bien clasificado	Casi simétrico	Platicúrtico
22	1.56	0.76	0.10	0.81	media	Moderadamente clasificado	Asimétrico hacia finos	Platicúrtico
23	-0.36	0.20	0.02	1.30	muy grueso	Muy bien clasificado	Casi simétrico	Leptocúrtico
24	0.93	0.45	-0.02	0.89	grueso	Bien clasificado	Casi simétrico	Platicúrtico
25	0.32	0.31	-0.23	1.11	grueso	Muy bien clasificado	Asimétrico hacia gruesos	Mesocúrtico
26	0.31	0.29	0.07	1.97	grueso	Muy bien clasificado	Casi simétrico	Muy leptocúrtico
27	0.17	1.26	-0.29	1.06	grueso	Mal clasificado	Asimétrico hacia gruesos	Mesocúrtico
28	-0.04	0.26	0.13	0.82	muy grueso	Muy bien clasificado	Asimétrico hacia finos	Platicúrtico
29	1.18	0.67	0.14	1.14	media	Moderadamente bien clasificado	Asimétrico hacia finos	Leptocúrtico
30	1.16	0.62	0.17	1.09	grueso	Muy bien clasificado	Casi simétrico	Platicúrtico
31	0.00	0.29	0.09	0.86	media	Moderadamente bien clasificado	Asimétrico hacia finos	Mesocúrtico
32	1.07	0.87	0.10	1.06	media	Moderadamente clasificado	Casi simétrico	Mesocúrtico
33	0.87	0.88	0.13	0.90	grueso	Moderadamente clasificado	Asimétrico hacia finos	Mesocúrtico
34	1.24	0.59	0.10	1.11	media	Moderadamente bien clasificado	Casi simétrico	Leptocúrtico
35	0.82	0.58	-0.08	1.05	grueso	Moderadamente bien clasificado	Casi simétrico	Mesocúrtico
36	-0.36	1.61	-0.19	0.88	muy grueso	Mal clasificado	Asimétrico hacia gruesos	Platicúrtico

Tabla 5.2 Percentiles y parámetros estadísticos, según Folk & Ward, 1957 durante el muestreo de Diciembre, 2014

Muestra	Mz	σ	Sk	KG	Mz	σ	Sk	KG
1	0.74	0.39	0.04	1.39	gruesa	bien clasificado	casi simétrico	Leptocúrtico
2	0.31	0.67	0.14	1.20	gruesa	moderadamente bien clasificado	Asimétrico hacia finos	Leptocúrtico
3	-0.03	0.33	0.03	1.07	muy gruesa	muy bien clasificado	casi simétrico	Mesocúrtico
4	0.06	0.27	-0.06	1.18	gruesa	muy bien clasificado	casi simétrico	Leptocúrtico
5	0.15	0.40	-0.14	1.28	gruesa	bien clasificado	Asimétrico hacia gruesos	Leptocúrtico
6	1.07	0.67	0.13	1.10	media	moderadamente bien clasificado	Asimétrico hacia finos	Mesocúrtico
7	0.61	0.36	-0.15	1.31	gruesa	bien clasificado	Asimétrico hacia gruesos	Leptocúrtico
8	2.21	0.89	-0.56	1.45	fina	moderadamente clasificado	Muy asimétrico hacia gruesos	Leptocúrtico
9	-0.42	0.59	0.29	1.15	muy gruesa	moderadamente bien clasificado	Asimétrico hacia finos	Leptocúrtico
10	1.54	0.43	0.07	1.18	media	bien clasificado	casi simétrico	Leptocúrtico
11	0.13	1.12	0.16	1.17	gruesa	mal clasificado	Asimétrico hacia finos	Leptocúrtico
12	0.51	0.38	0.11	1.08	gruesa	bien clasificado	Asimétrico hacia finos	Mesocúrtico
13	0.30	0.29	-0.08	1.09	gruesa	muy bien clasificado	casi simétrico	Mesocúrtico
14	0.38	0.43	0.13	1.15	gruesa	bien clasificado	Asimétrico hacia finos	Leptocúrtico
15	0.17	0.38	-0.13	0.94	gruesa	bien clasificado	Muy asimétrico hacia gruesos	Mesocúrtico
16	1.46	0.66	0.01	1.21	media	moderadamente bien clasificado	casi simétrico	Leptocúrtico
17	0.20	1.67	-0.70	1.29	gruesa	mal clasificado	Muy asimétrico hacia gruesos	Leptocúrtico
18	1.37	0.39	-0.07	1.15	media	bien clasificado	casi simétrico	Leptocúrtico
19	0.90	1.05	-0.21	0.79	gruesa	moderadamente clasificado	Muy asimétrico hacia gruesos	Platicúrtico
20	0.85	0.68	0.06	1.15	gruesa	moderadamente bien clasificado	casi simétrico	Leptocúrtico
21	0.30	0.67	0.18	1.17	gruesa	moderadamente bien clasificado	Asimétrico hacia finos	Leptocúrtico
22	2.22	0.62	-0.42	0.97	fina	moderadamente bien clasificado	Muy asimétrico hacia gruesos	Mesocúrtico
23	-0.31	0.23	0.05	1.09	muy gruesa	muy bien clasificado	casi simétrico	Mesocúrtico
24	1.32	0.33	-0.02	0.83	media	muy bien clasificado	casi simétrico	Platicúrtico
25	0.56	0.33	-0.03	1.16	gruesa	muy bien clasificado	casi simétrico	Leptocúrtico
26	0.50	0.41	0.04	1.18	gruesa	bien clasificado	casi simétrico	Leptocúrtico
27	0.74	0.86	0.05	1.25	gruesa	moderadamente clasificado	casi simétrico	Leptocúrtico
28	0.28	0.29	-0.05	1.06	gruesa	muy bien clasificado	casi simétrico	Mesocúrtico
29	0.45	0.34	0.09	1.18	gruesa	muy bien clasificado	casi simétrico	Leptocúrtico
30	0.14	0.25	-0.09	1.20	gruesa	muy bien clasificado	casi simétrico	Leptocúrtico
31	1.07	0.43	0.01	1.04	media	bien clasificado	casi simétrico	Mesocúrtico
32	0.10	0.41	0.10	1.06	gruesa	bien clasificado	casi simétrico	Mesocúrtico
33	-0.28	0.63	0.37	2.16	muy gruesa	moderadamente bien clasificado	muy asimétrico hacia finos	Muy leptocúrtico
34	1.82	0.52	0.04	0.92	media	moderadamente bien clasificado	casi simétrico	Mesocúrtico
35	-0.77	1.36	-0.10	0.88	muy gruesa	mal clasificado	Asimétrico hacia gruesos	Platicúrtico
36	-0.07	1.61	-0.34	0.91	muy gruesa	mal clasificado	Muy asimétrico hacia gruesos	Platicúrtico

5.1.1 Media

En la figura 5.1. se muestra el tamaño de grano de acuerdo a la media, como se observa todas las muestras son arenas (tienen una media en el intervalo de phi de -1 a 4.0), también se clasificó como arena fina, media, gruesa y muy gruesa de acuerdo a la Escala Udden-Wentworth (figura 3.7.).

En los resultados de abril de 2013, el 2.7% de las muestras son de arena fina, 27.7% arena media, 52.7% arena gruesa y el 16.6% arena muy gruesa. En diciembre de 2014, el 5.5% de las muestras son de arena fina, 19.4% arena media, 58.3% arena gruesa y el 16.6% arena muy gruesa.

Como se observa en la figura 5.1. en la bahía Conejos la mayoría de las muestras presentaron un tamaño de arena gruesa tanto en el mes de abril de 2013 como en diciembre de 2014, la playa Arena en abril presento arena gruesa y en diciembre arena muy gruesa, la playa Tejoncito en Abril presento arena media y en diciembre arena gruesa y la playa que presentó una mayor variación del tamaño de sedimento entre los dos muestreos fue La Mixteca en abril fue de arena muy gruesa y en diciembre arena media.

La bahía Tangolunda presento un tamaño de arena que va desde arena gruesa a fina, la muestra que presentó mayor variación de tamaño fue Tornillo que en abril mostró un tamaño fino y en diciembre muy grueso, derivado probablemente de la influencia de un canal que se encuentra en dicha playa.

La bahía Chahué presentó un tamaño homogéneo de arena gruesa, solamente la playa Consuelo presento un tamaño ligeramente muy grueso en el mes de abril.

La bahía Santa Cruz generalmente mostró un tamaño medio a grueso, únicamente la playa Santa Cruz en abril presentó un tamaño muy grueso.

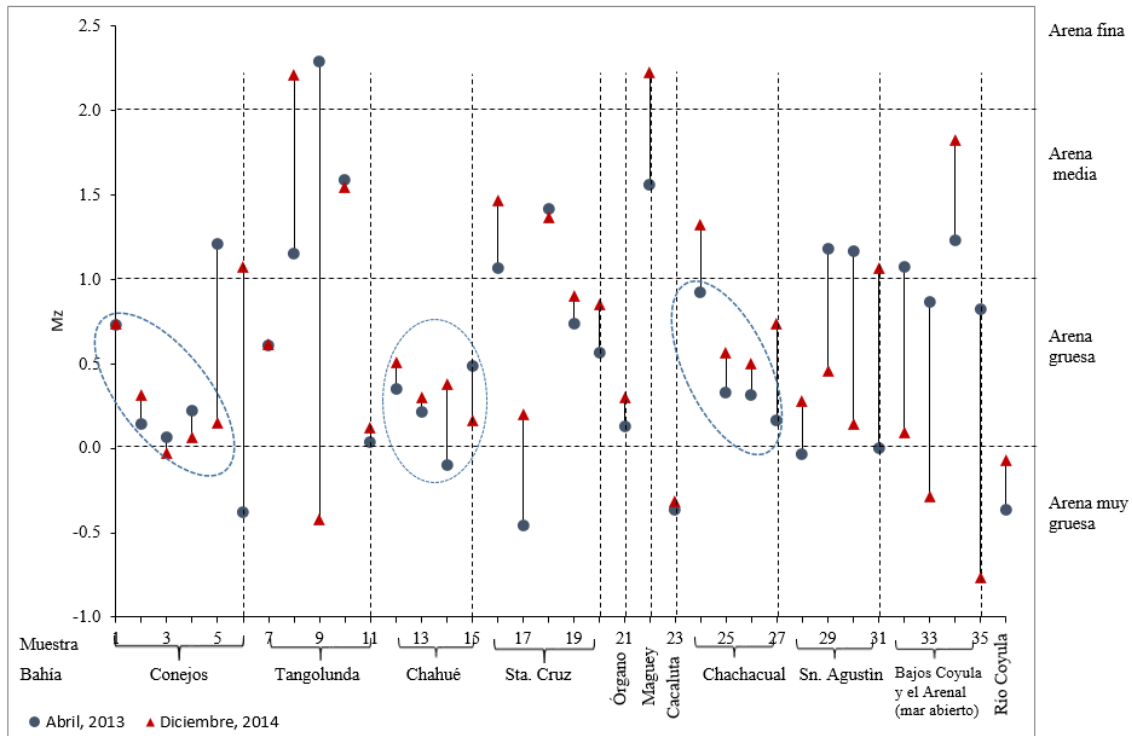


Figura 5.1 Media

La bahía Órgano presentó un tamaño grueso, la bahía Maguay en abril un tamaño medio y en diciembre fino, Cacaluta arena muy gruesa posiblemente influenciada por el Río Cacaluta.

La bahía Chachacual tuvo arena gruesa solamente La India en diciembre mostró arena media. En bahía San Agustín va de media a gruesa.

Las playas a mar abierto varían desde muy gruesa a media y el Río Coyula presentó arena muy gruesa tanto en abril como en diciembre.

La variación de la media indica la variación en la energía cinética en el tiempo de deposición (Devala, 2014). La naturaleza de sedimentos de grano fino indica condiciones moderadamente de baja energía (Restrepo, et al., 2013; Suganraj, et al., 2013), teniendo un tamaño de grano mayor a mayor energía en el agua que transporta a los sedimentos (Estrada, 2007) debido a que si el sedimento es más grande, la cantidad de energía impartida para el transporte debe ser mayor (Ashok and Patterson, 2008) de acuerdo a (Cupul-Magaña, et al., 2006) el sedimento de tamaños de grano fino es más susceptible de ser contaminadas por

substancias tóxicas, por lo que hay que tener un mayor monitoreo en la bahía Tangolunda que tiene afluencia turística y la bahía Maguey que presentaron un tamaño de arena fina.

5.1.2 Desviación estándar

En la figura 5.2. se muestran los resultados de la desviación estándar para cada muestra, se dividen en mal clasificado, moderadamente clasificado, moderadamente bien clasificado, bien clasificado y muy bien clasificado, ver Tabla 3.4.

La Desviación estándar nos indica el grado de selección de la muestra, qué tan similares son los tamaños de partícula que componen la muestra, como se observa de la figura 5.2. en abril de 2013 el 5.5% corresponde a muestras mal clasificadas (27 playa Riscalillo y la 36 que es el Río Coyula), el 22.2% a muestras moderadamente clasificadas, 30.51% muestras moderadamente bien clasificadas, 11.1% muestras bien clasificadas y por último 30.5% muestras muy bien clasificadas. En diciembre de 2014 el 11.1% corresponde a muestras mal clasificadas (17 playa Santa Cruz, 35 Cuatunco y la 36 que es el Río Coyula), el 8.3% a muestras moderadamente clasificadas, 25% muestras moderadamente bien clasificadas, 30.5% muestras bien clasificadas y por último 25% muestras muy bien clasificadas.

Las bahías Conejos, Chahué, Órgano, Cacaluta, Chachacual (excepto playa Riscalillo que en Abril de 2013 presentó una mala clasificación y en diciembre de 2014 moderadamente clasificado), San Agustín y la playa a mar abierto Boca Vieja presentan una buena a muy buena clasificación de sus sedimentos.

En la bahía Tangolunda los sedimentos se encontraron de bien clasificados a moderadamente clasificados solamente la playa Arroquito presento en diciembre de 2014 una mala clasificación.

La bahía Santa Cruz presentó de buena clasificación a mala clasificación. En diciembre de 2014 en las playas Santa Cruz y La Entrega mostraron mala clasificación, la primera playa está influenciada por el embarcadero y la actividad turística y en la segunda también presenta actividades turísticas y de comercio.

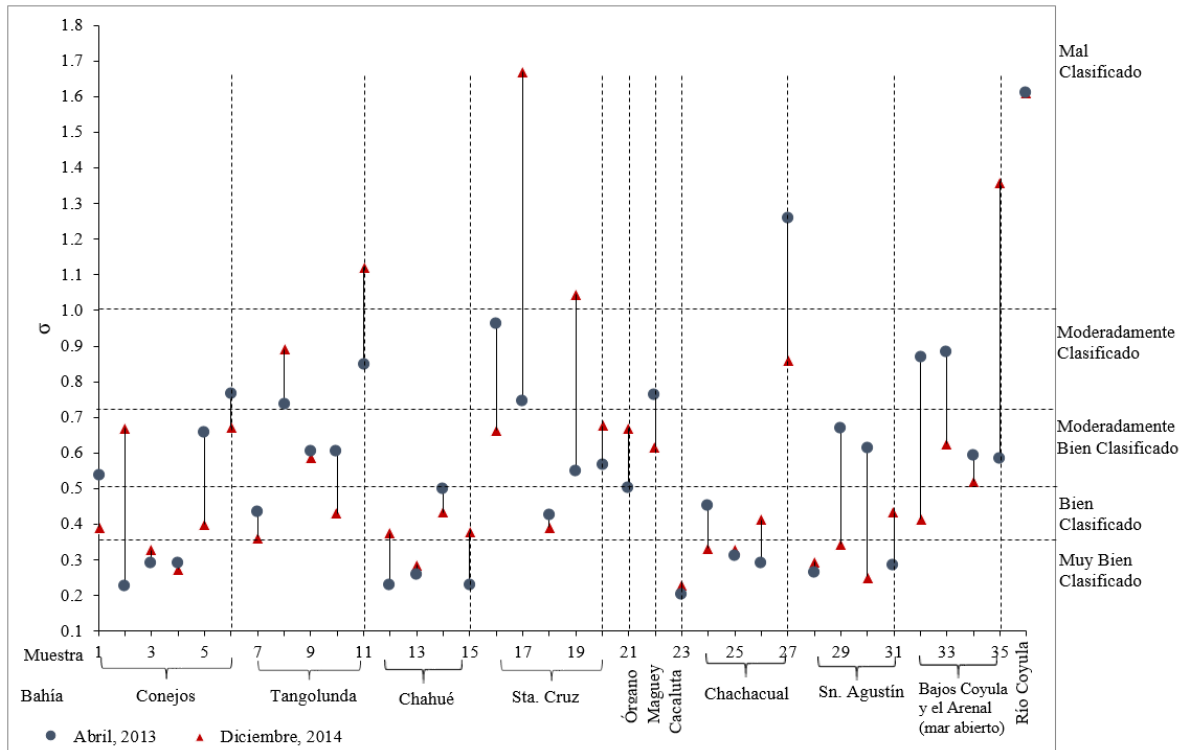


Figura 5.2 Desviación Estándar

En la playa a mar abierto Cuatonalco en abril de 2013 mostro una clasificación moderadamente buena y en diciembre de 2014 una mala clasificación.

El Río Coyula presentó una mala clasificación en los dos periodos de muestreo. Lo que coincide con lo mencionado por (Folk and Ward, 1957), que dice que las arenas de playa son mejor clasificadas que las de río donde hay pocas oportunidades para su clasificación, en cambio en la playa los sedimentos tienden a ser rastrillados hacia atrás y adelante con el movimiento continuo de las olas produciendo láminas casi paralelas con la pendiente de la playa lo que resulta en una buena clasificación. La naturaleza moderadamente bien clasificada indica el efecto de ascenso y descenso de flujos de agua originadas por el rompimiento de olas (Suganraj, et al., 2013).

5.1.3 Asimetría

En la figura 5.3. se muestran los resultados de la asimetría para cada muestra, se dividen en asimetría fuertemente fina, asimetría fina, cercana a la simetría, asimetría gruesa y asimetría fuertemente gruesa, ver Tabla 3.5.

De la figura 5.3. se observa que en el muestreo de abril de 2013 se registró el 2.7% de muestras con una fuertemente asimetría hacia finos, el 25% fue asimétrico hacia finos, 27.7% casi simétrico, 36.1% asimétrico hacia gruesos y 8.3% muy asimétrico hacia gruesos. En el muestreo de diciembre de 2014 se reporta con una muy asimetría hacia finos el 2.7% de las muestras, el 19.4% es asimétrico hacia finos, 52.7% casi simétrico, 8.3% asimétrico hacia gruesos y 16.6% fuertemente asimetría hacia gruesos.

En general durante los dos muestreos se presenta una distribución casi simétrica, una tendencia positiva (asimetría hacia finos) o una tendencia negativa (asimetría hacia gruesos). En abril de 2013 solamente una muestra (número 1, Magueyito) es muy asimétrica hacia finos y en diciembre de 2014 la número 33, El Arenal también fue muy asimétrica hacia fino, con valores de asimetría positivos lo que indica posiblemente la adición de sedimentos finos por la actividad eólica y ambientes tranquilos durante la depositación, lo que se relaciona con la mayor intensidad de los vientos en diciembre de 2014.

En el caso de las muestras muy asimétricas hacia gruesos se presentaron en el mes de abril de 2013 en las playas: Conejos, Arrocito y Esperanza, en diciembre de 2014 en las playas: Rincón Sabroso, Santa Cruz, Maguey y en el Río Coyula, lo que nos indica condiciones de mayor energía y según (Duane, 1964) los valores negativos de asimetría revelan (Estrada, 2007) áreas de erosión o no depósito y de acuerdo a (Ashok Kumar and Patterson, 2008), cuando la asimetría es muy negativa se debe a zonas de transición debido a la mezcla de granos finos y más gruesos.

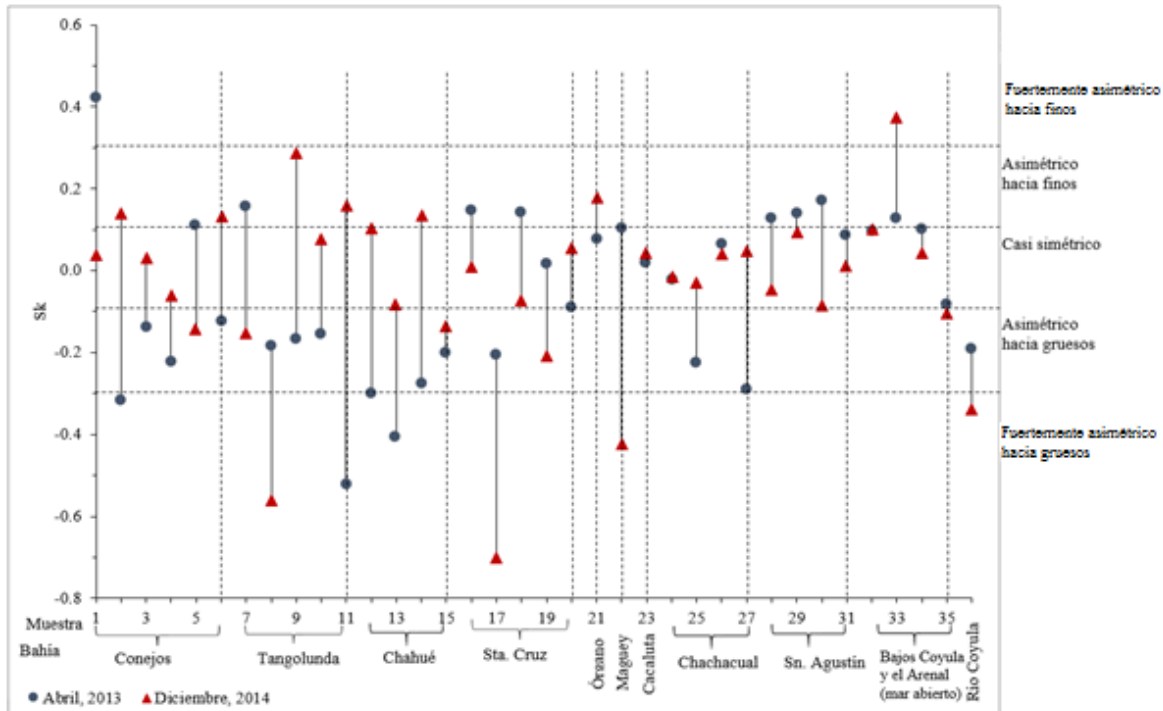


Figura 5.3 Asimetría

5.1.4 Curtosis

En la figura 5.4. se muestran los resultados de la curtosis para cada muestra, se dividen en fuertemente leptocúrtico, leptocúrtico, mesocúrtico, platicúrtico y fuertemente platicúrtico, ver Tabla 3.6.

De la figura 5.4. en abril de 2013 se observa que solamente dos muestras son fuertemente leptocúrticas (12, Tejón y 26 Jicaral) que forman el 5.5%, el 25% son leptocúrticas, 41.6% mesocúrticas, 25% platicúrticas y solamente la muestra 20 el Violín (2.7%) es fuertemente platicúrtica. En diciembre de 2014 se reportó que solamente una muestra es muy leptocúrtica (33 El Arenal) que forma el 2.7%, el 55.5% son leptocúrticas, 30.5% mesocúrticas, 11.1% platicúrticas.

Los valores extremos ya sea altos o bajos de curtosis implican que parte del sedimento logró su clasificación en otro lugar en un ambiente de alta energía y que fue transportado esencialmente con sus características de tamaño no modificados a otro entorno en el que se

mezcló con otro tipo de material (Folk and Ward, 1957) lo que se presenta en las muestras: 12 Tejón, 26 Jicaral, 33 El Arenal y 20 el Violín.

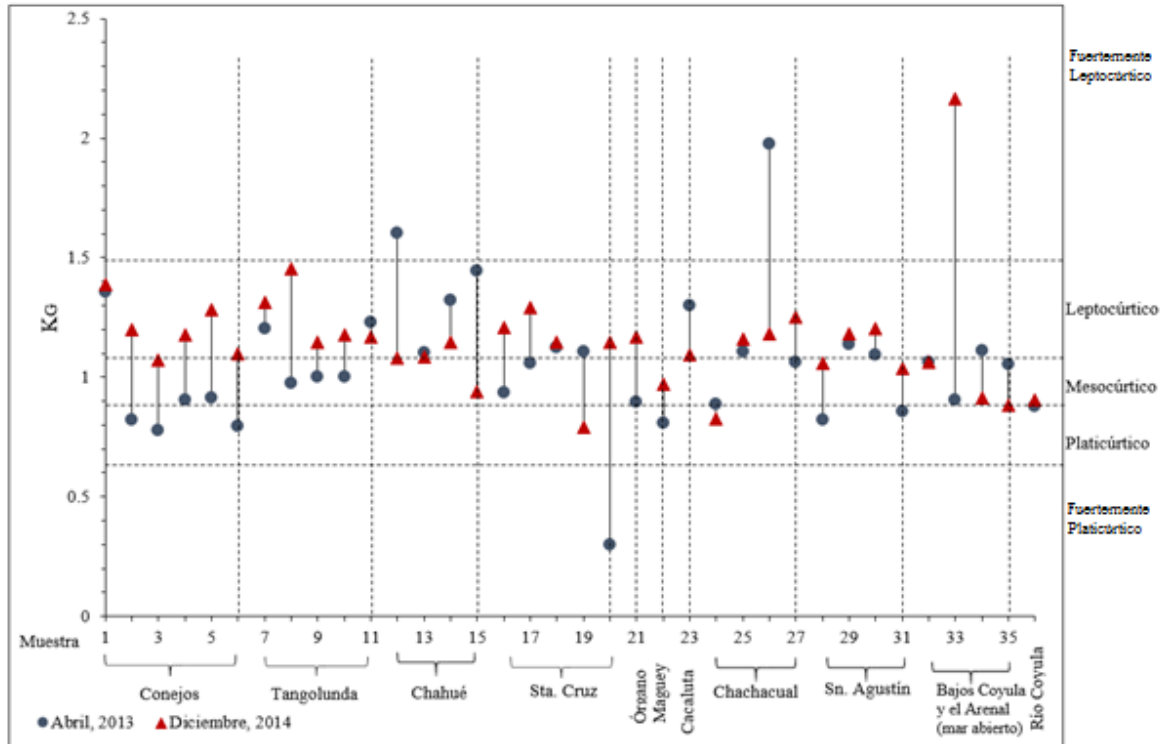


Figura 5.4 Curtosis

Gráficas bivariantes de dispersión de los parámetros de tamaño de grano

Aunque en teoría las medidas de los parámetros de tamaño de grano son geoméricamente independientes en la práctica por lo general se encontró que para un conjunto determinado de muestras las medidas están vinculadas por alguna relación matemática, las relaciones y las tendencias pueden ser señales de la deposición y añadirán un criterio más para la identificación de entornos por el análisis de tamaño (Folk and Ward, 1957).

5.1.5 Media vs desviación estándar

Como se observa en la figura 5.5 la mayoría de las muestras tanto en abril de 2013 como diciembre de 2014 presentaron un tamaño grueso, dentro de este tamaño hay dos grupos de

muestras, uno que se encuentra muy bien clasificado y bien clasificado y el otro que esta moderadamente bien clasificado a moderadamente clasificado, la muestra 11 Arrocito esta moderadamente clasificado en abril a mal clasificado en diciembre.

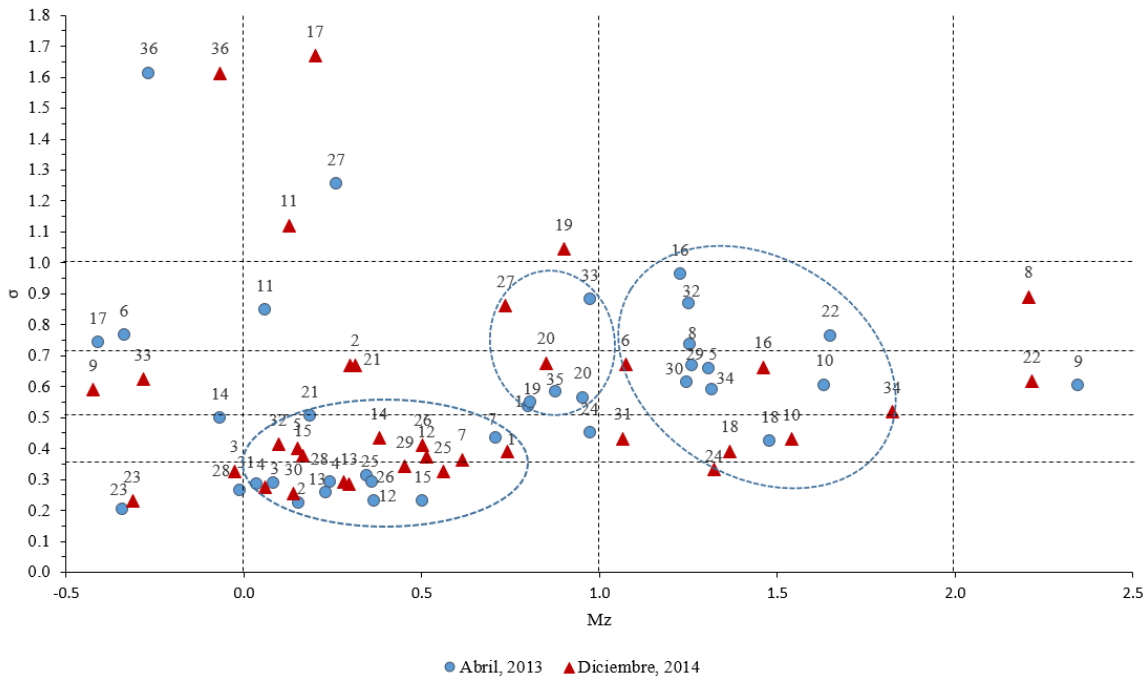


Figura 5.5 Media vs Desviación Estándar

De acuerdo a (Suganraj, et al., 2013) el tamaño de grano se incrementa con el decremento de clasificación, lo que no se apreció en algunas muestras de tamaño grueso que presentaron muy buena clasificación, pero al compararse con la arena del Río Coyula se observa que tiene un tamaño de arena muy gruesa y una mala clasificación lo que coincide con el autor.

La media graficada contra la desviación estándar (figura 5.6.) se considera ser un discriminador eficaz entre las arenas de río, playa y duna. De acuerdo a la clasificación de (Friedman, 1961 y de Moiola y Weiser, 1968; Estrada, 2007) los sedimentos de las playas de Huatulco son derivadas principalmente de la mezcla de dos ambientes distintos: playas y ríos, por lo que se percibe la influencia del río Coyula principalmente. Se observa que la muestra 36 (río Coyula) es la que presentó una mayor desviación estándar y un tamaño de grano muy grueso, también se observa la influencia del río durante el muestreo de diciembre, 2014 por

ejemplo en la muestra 17 (Santa Cruz), 11 (Arrocito), 19 (La Entrega) y en otras muestras durante los dos periodos de muestreo como la 16 (Santa Cruz) y 27 (Riscalillo). Las muestras de la bahía Conejos (1-6) que son las más cercanas al río Copalita, en general presentan el ambiente de playa.

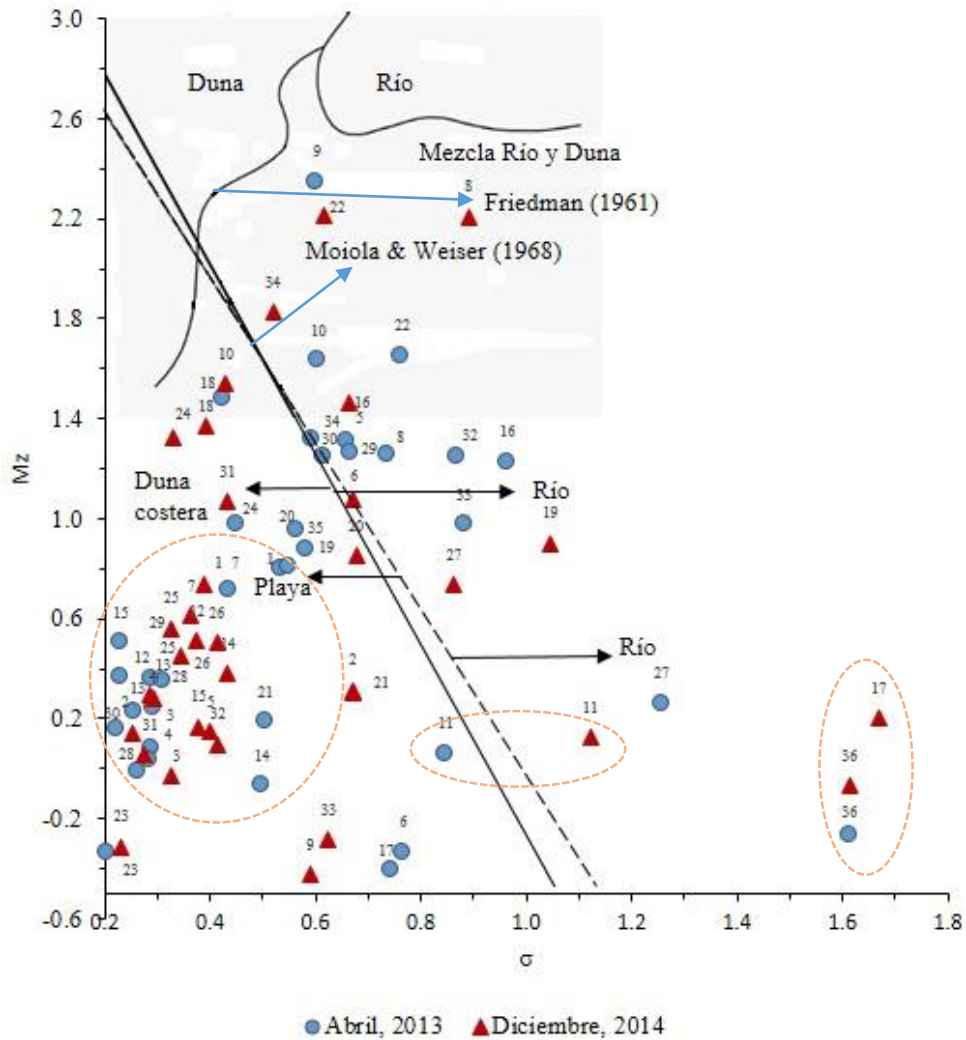


Figura 5.6 Desviación estándar vs media

5.1.6 Media vs asimetría

En la figura 5.7. se observa que la mayoría de las muestras son casi simétricas, con una asimetría positiva hacia finos, lo que quiere decir que hay más materiales de grano fino cuando la media indica un tamaño principalmente medio o grueso y asimetrías negativas hacia gruesos, lo que quiere decir que hay más arenas de grano grueso generalmente cuando su tamaño es grueso y muy grueso.

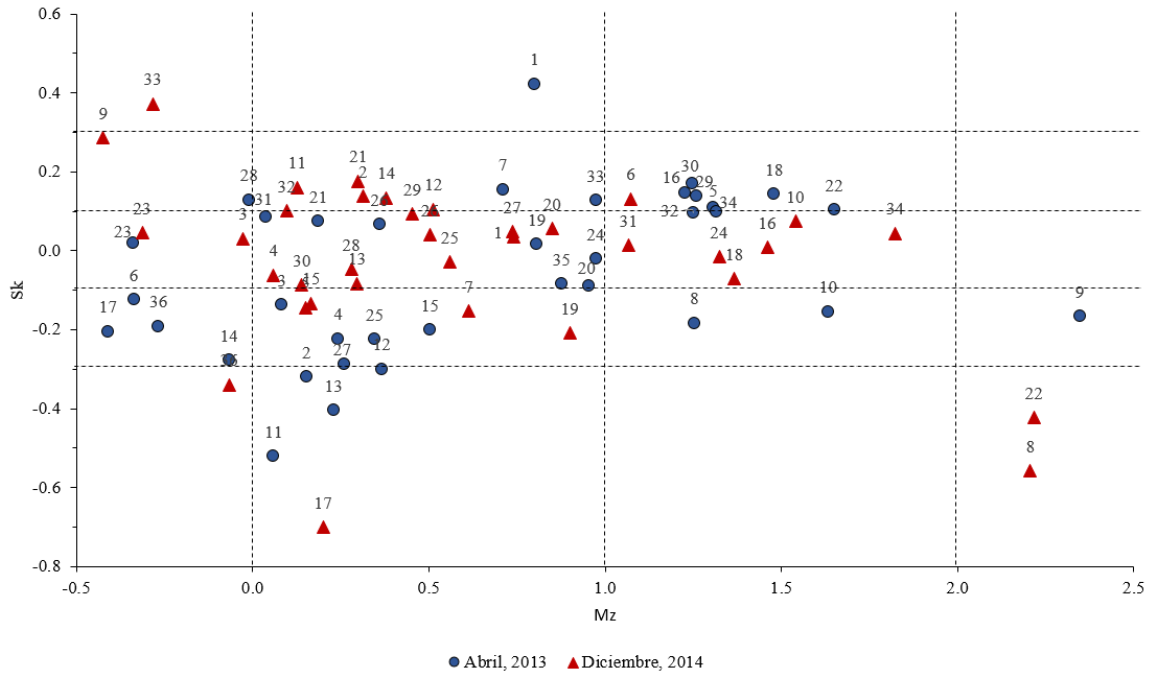


Figura 5.7 Media vs Asimetría

En la figura 5.8 se distingue entre ambientes de playa y duna (Moiola y Weiser, 1968), en este diagrama se observa que ambiente sedimentario es el de playa, solamente la muestra 9 (Tornillo) registro un ambiente de duna en el mes de abril de 2013 y considerando la propuesta de (Hails y Hoyt, 1969) (figura 5.9) todas las muestras caen en el ambiente de playa.

5.1.7 Media vs curtosis

En la figura 5.10 se observa que la mayoría de las muestras durante los dos periodos de muestreo presentan una curtosis leptocúrtica, mesocúrtica y platicúrtica, solamente durante el mes de abril de 2013 las muestras (12 Tejón y 26 Jicaral) presentaron una curtosis muy

leptocúrtica y la muestra (20 El Violín) mostró ser muy platicúrtica. En diciembre de 2014 la muestra 33 (El Arenal) presentó una curtosis muy leptocúrtica. De acuerdo a Folk and Ward, 1957, si se tienen muestras solamente de arena o grava dan curvas casi normales con curtosis = 1 pero la adición de cantidades muy pequeñas (de 3 a 10%) de sedimento de otro tamaño hace que la clasificación en las colas se incremente mientras que la clasificación en la parte central sigue siendo buena, por lo tanto las curvas se vuelven muy leptocúrticas con una curtosis mayor a 1, la mayoría de las muestras (26, 12 y 20) fuertemente leptocúrticas o platicúrticas se presentaron durante el muestreo de abril, 2013 donde la velocidad del viento fue mayor y probablemente se presente la adición de sedimento con otro tamaño de grano.

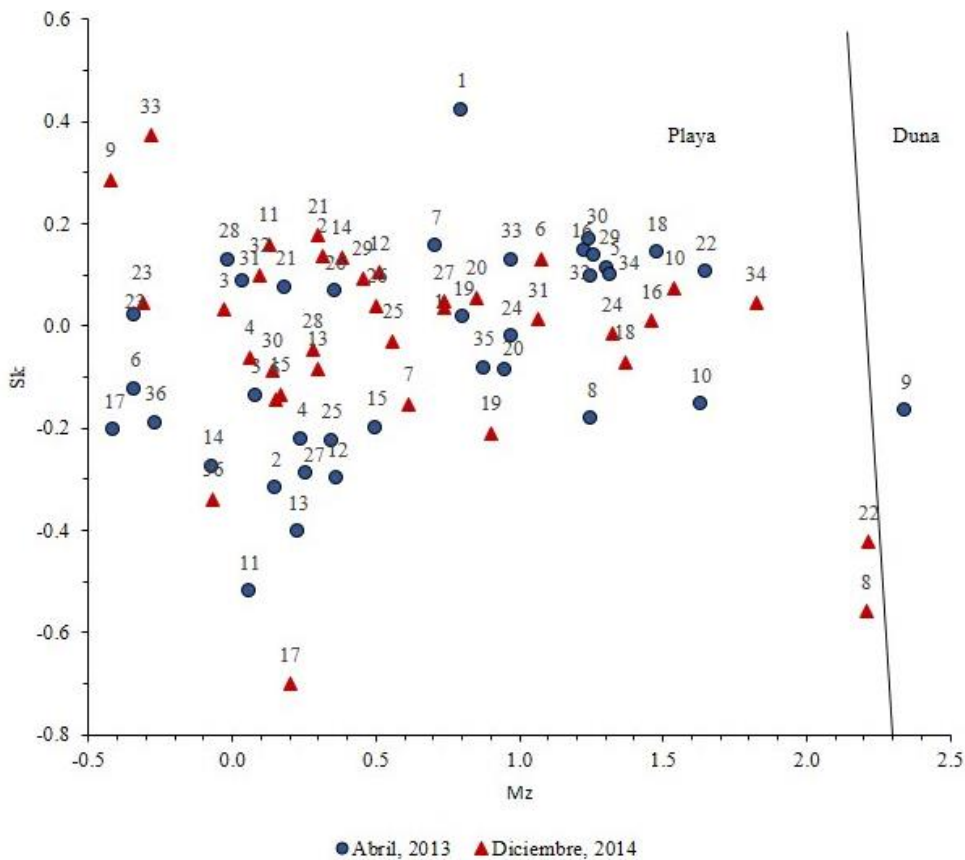


Figura 5.8 Media vs asimetría (Moiola y Weiser, 1968)

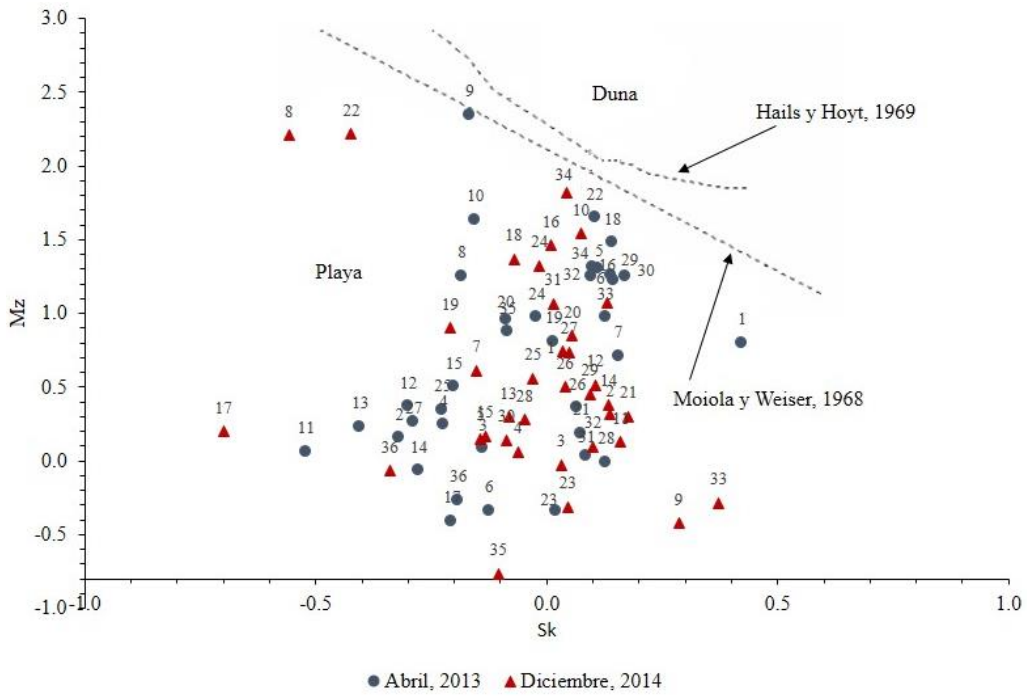


Figura 5.9 Asimetría vs Media (Moiola y Weiser, 1968) y Hails y Hoyt (1969)

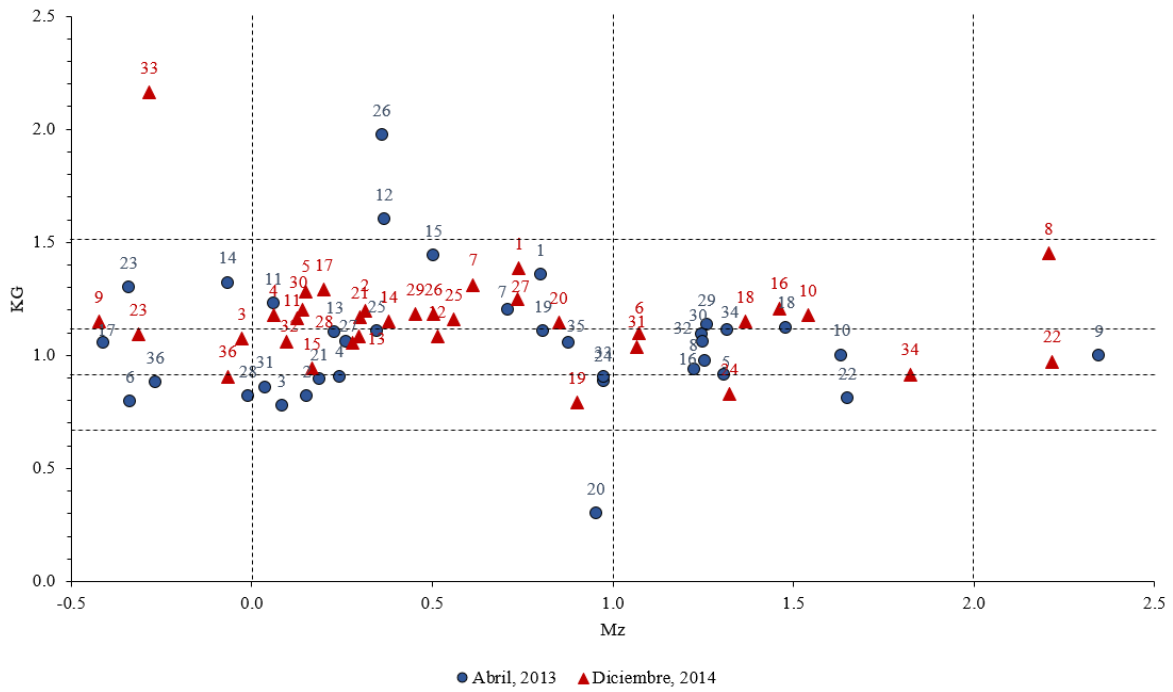


Figura 5.10 Media vs curtosis

5.1.8 Asimetría vs desviación estándar

En la figura 5.11. se observa que hay un concentrado de muestras que son casi simétricas (hay el mismo número de elementos a la derecha y a la izquierda de la media) presentando una muy buena clasificación, buena clasificación a moderadamente buena clasificación.

De acuerdo a (Ashok Kumar and Patterson, 2008) los sedimentos con asimetrías negativas caracterizan ambientes intermareales, las distribuciones simétricas y mal clasificadas indican asentamientos de sedimentos finos permanentes lo que no se presentó en nuestro estudio, mientras que una asimetría positiva, sedimentos más gruesos y mejor ordenados apuntan a la extensión ocasional de plumas de materia en suspensión, lo que ocurre en bahía Conejos: 1 Magueyito (diciembre, 2014), 3 Arena (diciembre, 2014); bahía Tangolunda: 7 Tangolunda (abril, 2013); bahía Chahué: 12 Tejón (diciembre, 2014), 14 Consuelo (diciembre, 2014); bahía Santa Cruz: 18 Punta Paraíso (abril, 2013); bahía Cacaluta: 23 Cacaluta (abril, 2013 y diciembre 2014); bahía Chachacual: 26 Jicaral (abril, 2013 y diciembre 2014); bahía San Agustín: 28 San Agustín (abril, 2013), 29 San Agustín (diciembre, 2014), 31 San Agustín (abril, 2013), Bajos de Coyula y el Arenal: 32 El Arenal (diciembre de 2014). Lo que puede ser originado por la influencia de los restaurantes que están dando el servicio a los turistas. En el caso de Cacaluta y El Arenal probablemente influenciado por las actividades de agricultura y de los ríos Cacaluta y Coyula respectivamente, lo que puede propiciar sólidos en suspensión.

Del diagrama de asimetría contra desviación estándar (figura 5.12) con los campos propuestos por (Friedman, 1967 y Moiola y Weiser, 1968) se observa que las muestras tienen un ambiente sedimentario de playa pero se puede apreciar mejor en la figura 5.13 en además del ambiente de playa es de río.

De la figura 5.13 de acuerdo al diagrama de Friedman, 1967 se observa como la muestra 1 (Magueyito, bahía Conejos) en abril de 2013 recibe la influencia de sedimento proveniente del río Copalita, la muestra 33 (El Arenal, playa a mar abierto) está influenciada por el arroyo Cuajuincuil y la laguna Majahual, se denota una tendencia de la influencia de sedimento proveniente del río Coyula (muestra 36) en muestras como la 35 (Cuatonalco, playa a mar

abierto), o en el caso de la muestra 11 (Arrocito, bahía Tangolunda) por el arroyo Tangolunda.

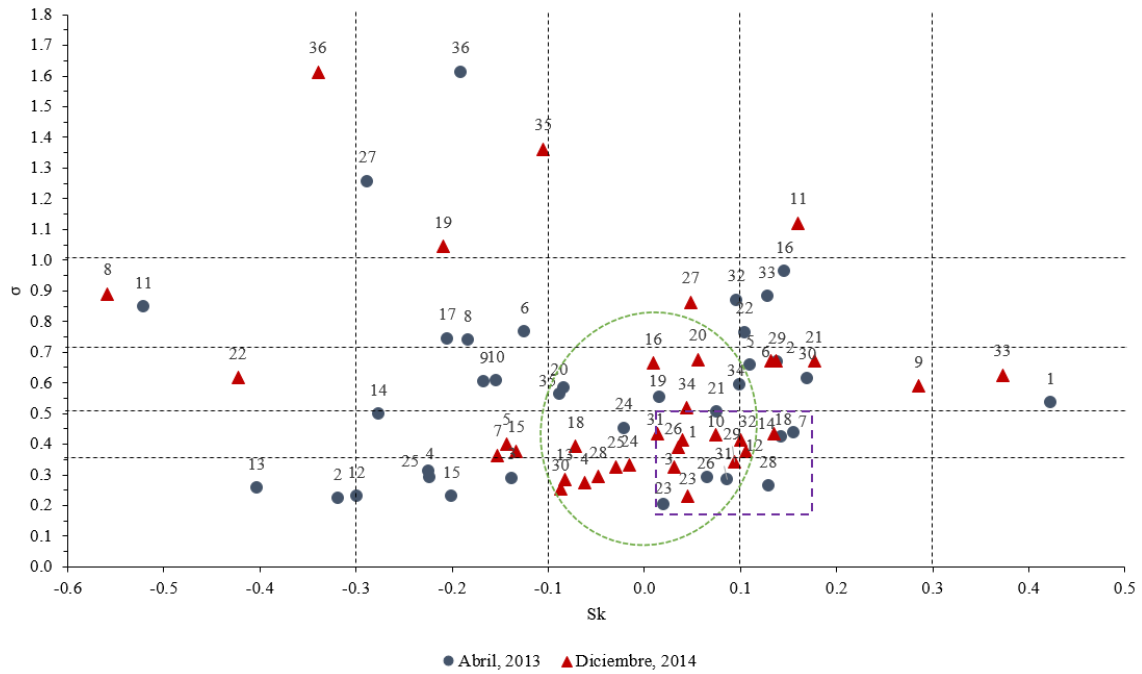


Figura 5.11 Asimetría vs Desviación Estándar

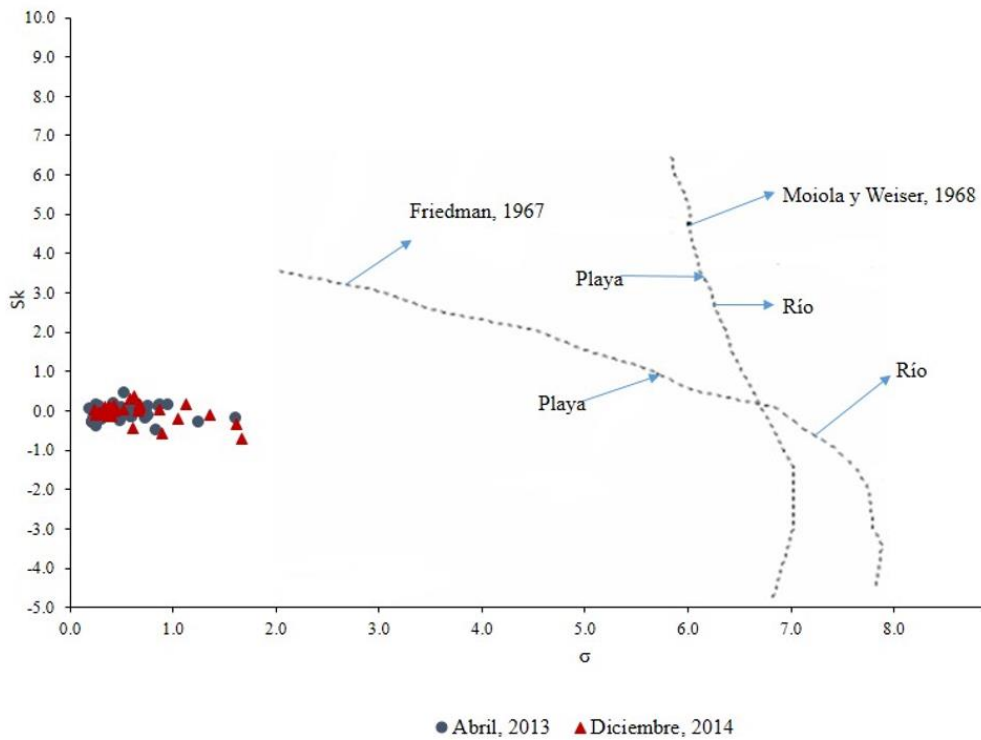


Figura 5.12 Desviación estándar vs asimetría (Friedman, 1967 y Moiola y Weiser, 1968).

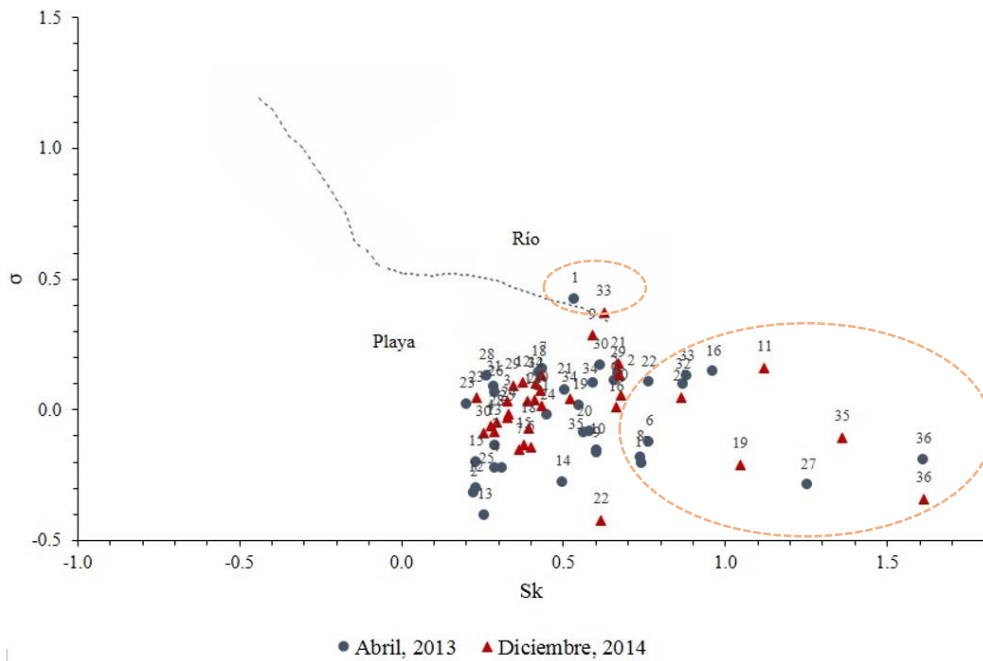


Figura 5.13 Asimetría vs desviación estándar (Friedman, 1967).

5.1.9 Desviación estándar vs curtosis

De la figura 5.14 se observa que en general las muestras que tienen una muy buena, buena y moderadamente buena clasificación presentan una curtosis leptocúrtica, mesocúrtica y platicúrtica.

Las muestras 33 El Arenal (diciembre, 2014) y 20 El Violín (abril, 2013) presentan valores extremos de curtosis y una moderadamente buena clasificación probablemente derivado a que parte del sedimento logró su clasificación en otro lugar en un ambiente de alta energía y fue transportado a otro entorno de menor eficacia de clasificación, dando lugar a un sedimento mixto bimodal (Folk and Ward, 1957).

Al analizar la tendencia de la figura 5.14 se observa que es semejante a la discutida para el caso de la asimetría contra la desviación estándar (figura 5.13) de acuerdo a (Friedman, 1967), donde se observa la influencia de sedimentos provenientes de ríos o arroyos en

muestras como 36 (Río Coyula), 35 (Cuatonalco), 32 (El Arenal), 27 (Riscalillo), 11(Arrocito), 19 (La Entrega), 16 y 17 (Santa Cruz).

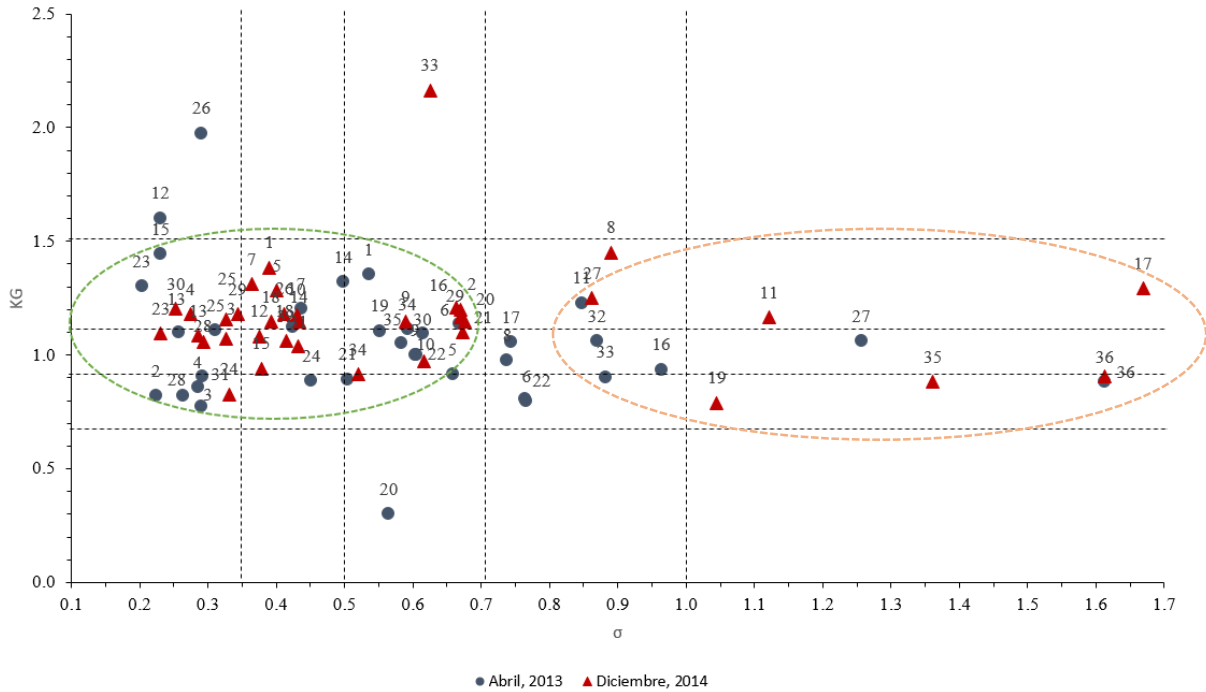


Figura 5.14 Desviación estándar vs curtosis

5.1.10 Asimetría vs curtosis

En la figura 5.15 se nota que las muestras que son casi simétricas principalmente son mesocúrticas y leptocúrticas, las que son asimétricas hacia finos y hacia gruesos son leptocúrticas, mesocúrticas y platicúrticas.

(Friedman, 1967) propuso el diagrama de asimetría contra curtosis para distinguir entre ambientes de playa y río (figura 5.16) se observa que en nuestro estudio los sedimentos son derivados tanto de ambientes de playa como de río.

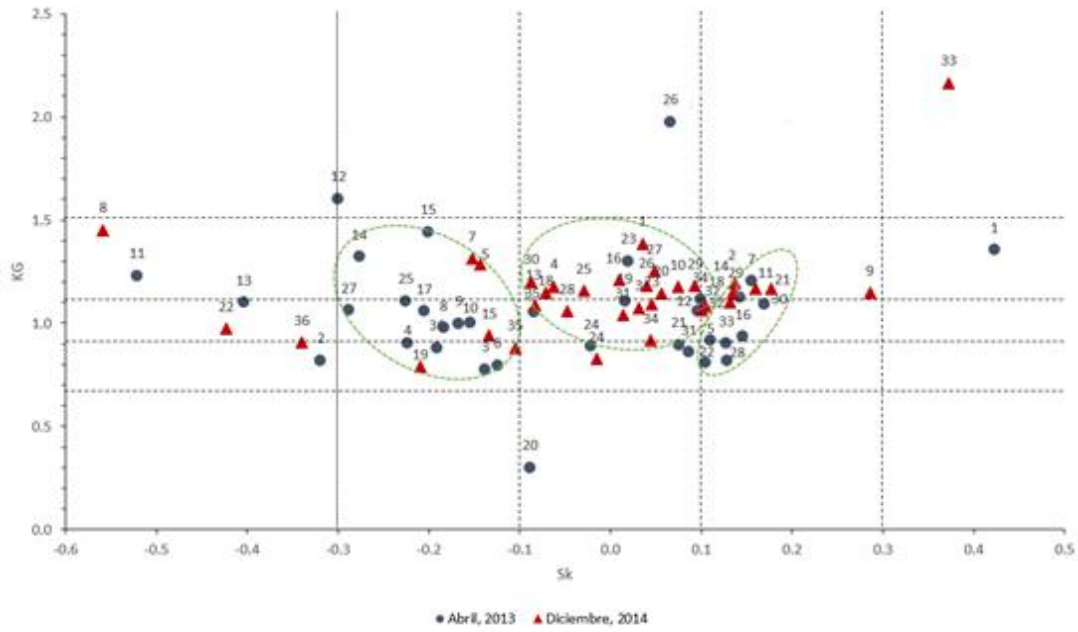


Figura 5.15 Asimetría vs curtosis

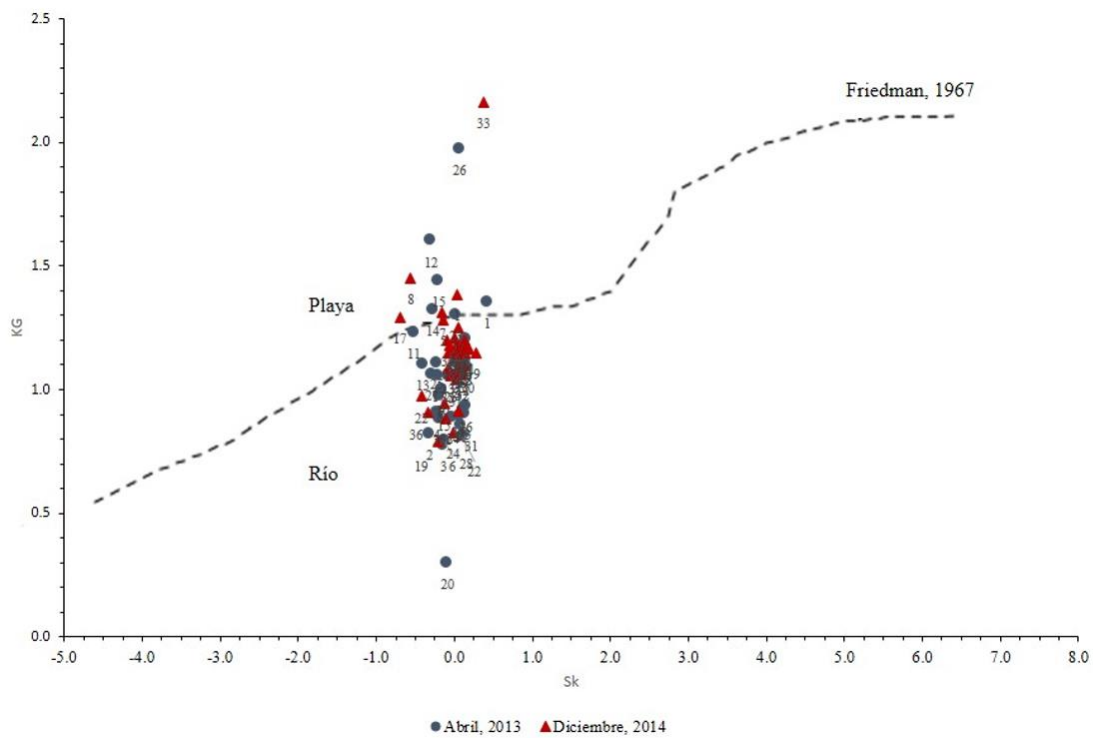


Figura 5.16 Asimetría vs curtosis (Friedman, 1967)

5.1.11 Funciones discriminantes

De acuerdo a (Sahu, 1964) se calculó la Y_1 para determinar el ambiente de playa o eólico de los sedimentos, de los resultados de Y_1 (tabla 5.3), tanto en abril de 2013 y diciembre de 2014 todas las muestras de sedimento corresponden al ambiente de playa y ninguna a un proceso eólico.

De acuerdo a las características ambientales (playa, marino poco profundo y fluvial) del área de estudio se utilizaron las funciones discriminantes Y_2 y Y_3 , en donde Y_2 diferencia entre arenas de playa y marinas poco profundas y Y_3 entre marinas poco profundas y fluviales.

De la ecuación Y_2 se obtuvo que las muestras que pertenecen a un ambiente marino poco profundo en Abril son: bahía Conejos (1, Magueyito; 5, Tejoncito); bahía Tangolunda (8, Rincón Sabroso; 11, Arrocito); bahía Santa Cruz (16, Santa Cruz; 18, Punta Paraíso; 19, La Entrega); bahía Maguey (22, Maguey); bahía Chachacual (27, Riscalillo); bahía San Agustín (29 y 30, San Agustín); Bajos Coyula y el Arenal (32 y 33, El Arenal; 34, Boca Vieja y 35 Cuantonalco) y el Río Coyula (36). En Diciembre, 2014 bahía Conejos (2, Conejos; 6, La Mixteca); bahía Tangolunda (8, Rincón Sabroso; 10, Manzanilla; 11, Arrocito); bahía Santa Cruz (16-20); bahía Órgano (21); bahía Maguey (22); bahía Chachacual (27); Bajos Coyula y el Arenal (33, El Arenal; 34, Boca Vieja; 35, Cuantonalco) y el Río Coyula (36). Las demás corresponden al de playa.

De los resultados de Y_3 para discriminar entre un ambiente marino poco profundo y uno fluvial nos indica que en Abril de 2013 los que corresponden a un ambiente fluvial, esto es que son depositados por la actividad de los ríos son: bahía Santa Cruz (16, Santa Cruz); bahía Chachacual (27, Riscalillo); Bajos de Coyula y Arenal (32, El Arenal; 33, El Arenal, 34, Boca Vieja; y 35 Cuatonalco) y el Río Coyula (36). En diciembre, 2014 bahía Tangolunda (11, Arrocito); Santa Cruz (17, Santa Cruz; 19, La Entrega); bahía Chachacual (27, Riscalillo); Bajos Coyula y el Arenal (35, Cuatonalco) y el Río Coyula (36). De lo anterior se observa la influencia del río Coyula en el ambiente sedimentario principalmente en la

región de Bajos de Coyula y el Arenal en abril, 2013, periodo donde se presentó una mayor influencia del viento.

Tabla 5.3 Funciones Discriminantes según Sahu, 1964.

Muestra	Y1		Y2		Y3	
	Abril, 2013	Dic., 2014	Abril, 2013	Dic., 2014	Abril, 2013	Dic., 2014
1	2.7067	3.0439	79.4036	63.5014	-6.4862	-3.3132
2	3.5440	4.8084	26.3104	73.6126	-0.3235	-6.3978
3	3.5488	4.5814	31.9071	41.4755	-1.8106	-2.9704
4	3.5640	4.5989	35.3627	39.6500	-1.3544	-2.0264
5	0.7515	5.2452	81.0777	49.8746	-5.9176	-2.7083
6	6.9429	1.8074	56.8502	83.7208	-6.1775	-6.1779
7	2.8872	3.5584	63.1903	55.0201	-4.3501	-2.2034
8	2.0377	1.0987	81.3009	109.7803	-5.1921	-4.3661
9	-2.4939	6.6727	91.0020	58.5116	-3.7649	-6.6265
10	0.0259	-0.3961	80.2897	75.4612	-4.0497	-3.6323
11	7.9273	6.9971	69.5122	100.1479	-4.8041	-10.5152
12	5.2133	2.7064	44.8356	54.6021	-0.3752	-3.6012
13	4.4603	3.5514	33.3534	42.0240	-0.1697	-1.9634
14	6.8661	3.5416	50.7269	58.0905	-2.9750	-4.2901
15	4.0374	4.0108	45.7985	42.4402	-0.8337	-2.5652
16	2.3711	0.9889	99.9773	88.9806	-8.8066	-5.3829
17	8.1012	10.9401	57.5734	124.0082	-5.5904	-11.0726
18	-0.2961	0.2953	73.4709	67.1000	-3.9549	-2.6404
19	2.8125	3.5492	68.5747	93.5853	-4.6429	-7.8378
20	1.1864	2.9218	49.9342	79.9650	-4.3390	-5.9014
21	4.0196	4.6807	53.1490	73.5657	-4.7070	-6.5965
22	-0.4233	-1.7232	91.4606	85.5439	-6.7247	-2.6526
23	6.0570	5.2824	32.0906	31.3343	-1.9179	-2.2845
24	1.1734	-0.8900	60.2329	57.5033	-3.5462	-2.4091
25	3.9151	2.8748	41.9531	51.0926	-1.4823	-2.4982
26	5.9685	3.3283	61.7357	57.5628	-2.6842	-3.6050
27	7.9621	4.3561	99.6096	92.2195	-9.4981	-7.5225
28	3.4032	3.4773	34.2044	42.3591	-2.9130	-2.2060
29	1.5242	3.1356	85.8615	53.1928	-6.1419	-3.2776
30	1.1872	4.3620	81.8781	39.5059	-5.8366	-1.6950
31	3.5521	1.0009	36.2367	64.5982	-2.8855	-3.5031
32	2.4928	4.2896	95.3186	50.2361	-7.7311	-4.0444
33	2.7187	9.2886	90.5618	83.4195	-8.0637	-7.2741
34	1.0388	-1.8271	80.6498	80.4118	-5.2638	-4.2036
35	2.6972	10.7372	69.0403	91.8682	-4.4084	-11.5901
36	10.3938	9.7372	113.1800	115.5663	-13.2543	-12.4422

Al utilizar las funciones discriminantes para distinguir entre los ambientes sedimentarios, se observa que tiene una tendencia similar figura 5.17 a la observada al discutir la asimetría contra la desviación estándar y la desviación estándar contra la curtosis con respecto a la influencia del río Coyula (ambiente fluvial/agitado) en muestras cercanas a dicho río. De acuerdo a (Sahu, 1964) cada ambiente de depósito tiene un rango de condiciones de energía en función de la localidad y el tiempo, sin embargo, dichas condiciones ambientales no sólo

pueden reflejar los procesos naturales, sino también procesos inducidos por la actividad humana como la construcción de presas, estructura de protección costera, aporte de aguas residuales, etc. que afectarían las condiciones ambientales (Cupul-Magaña, 2006), como probablemente sea el caso de la muestra 17 (Santa Cruz), donde se encuentra el embarcadero.

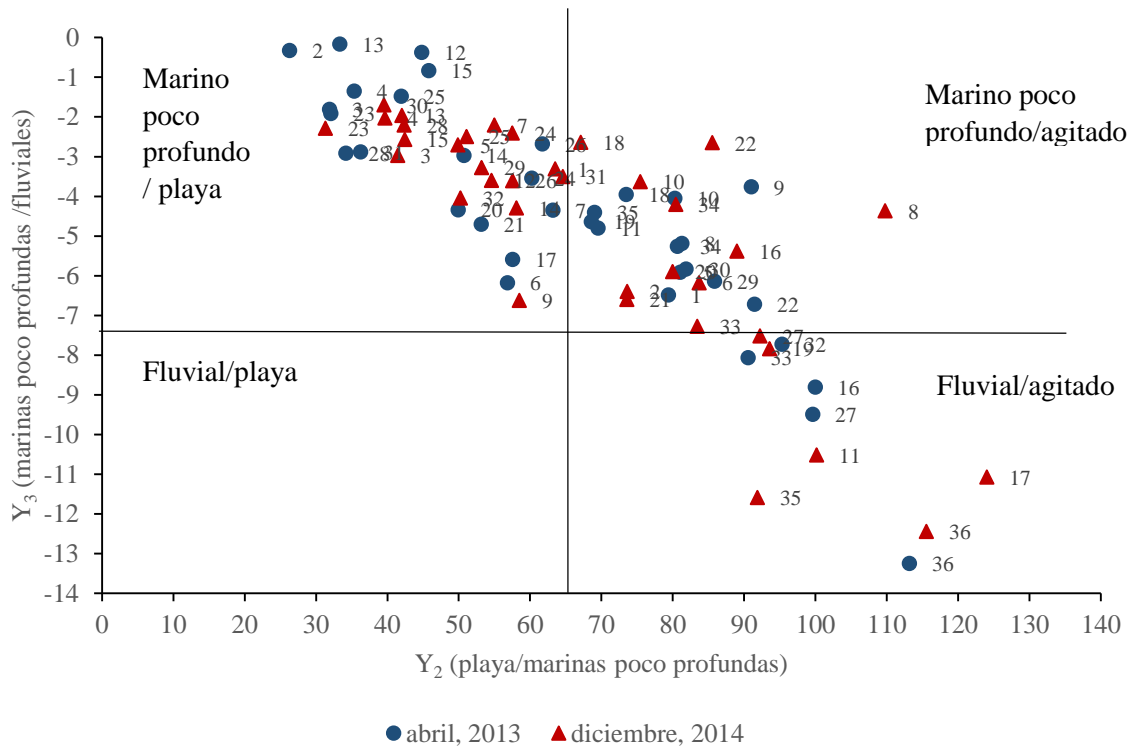


Figura 5.17 Determinación de ambientes de acuerdo a las funciones discriminantes según Sahu, 1964.

5.2 Concentración de metales (análisis total y parcial)

En el siguiente apartado se presentan los resultados de la concentración de metales contenidos en la matriz del sedimento (análisis total) y los que se encuentran en una forma ambientalmente disponible (análisis parcial) en cada playa y el promedio en cada bahía (tabla 5.4.-5.7.) de hierro (Fe), manganeso (Mn), cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni), cobalto (Co), plomo (Pb), zinc (Zn), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y del metaloide arsénico (As), que presentaron los sedimentos superficiales de las playas de Huatulco durante los dos periodos de muestreo Abril de 2013 y Diciembre de 2014. A continuación se discutirán los resultados de la concentración de éstos elementos con respecto a la geología y características de la localidad.

5.2.1 Hierro

Concentración de hierro (análisis total) en abril, 2013. De la figura 5.18. (a) se observa que la mínima concentración de hierro se presentó en el punto 19 La Entrega, bahía Santa Cruz ($3,656 \text{ mg kg}^{-1}$) y la máxima en la muestra 5 Tejoncito, bahía Conejos ($84,143 \text{ mg kg}^{-1}$). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de hierro (análisis total) fue Chahué ($6,631 \text{ mg kg}^{-1}$), el río Coyula presento una mayor concentración de hierro ($51,622 \text{ mg kg}^{-1}$), seguido por Bajos de Coyula y el Arenal ($36,827 \text{ mg kg}^{-1}$).

Concentración de hierro (análisis parcial) en abril, 2013. De la figura 5.18. (b) se observa que la mínima concentración de hierro se presentó en el punto 19 La Entrega, bahía Santa Cruz ($2,047 \text{ mg kg}^{-1}$) y la máxima en la muestra 5 Tejoncito, bahía Conejos ($82,297 \text{ mg kg}^{-1}$). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de hierro parcial fue Cacaluta ($3,311 \text{ mg kg}^{-1}$), la bahía que presento una mayor concentración de hierro parcial fue Conejos ($18,677 \text{ mg kg}^{-1}$).

Concentración de hierro (análisis total) en diciembre de 2014. De la figura 5.18. (a) se observa que la mínima concentración de hierro se presentó en el punto 19 La Entrega, bahía Santa Cruz ($2,261 \text{ mg kg}^{-1}$) y la máxima en la muestra 22 Maguey, bahía Maguey ($34,490$

mg kg⁻¹). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de hierro fue Cacaluta (3,415 mg kg⁻¹), y la que presentó una concentración mayor fue Maguey (34,490 mg kg⁻¹).

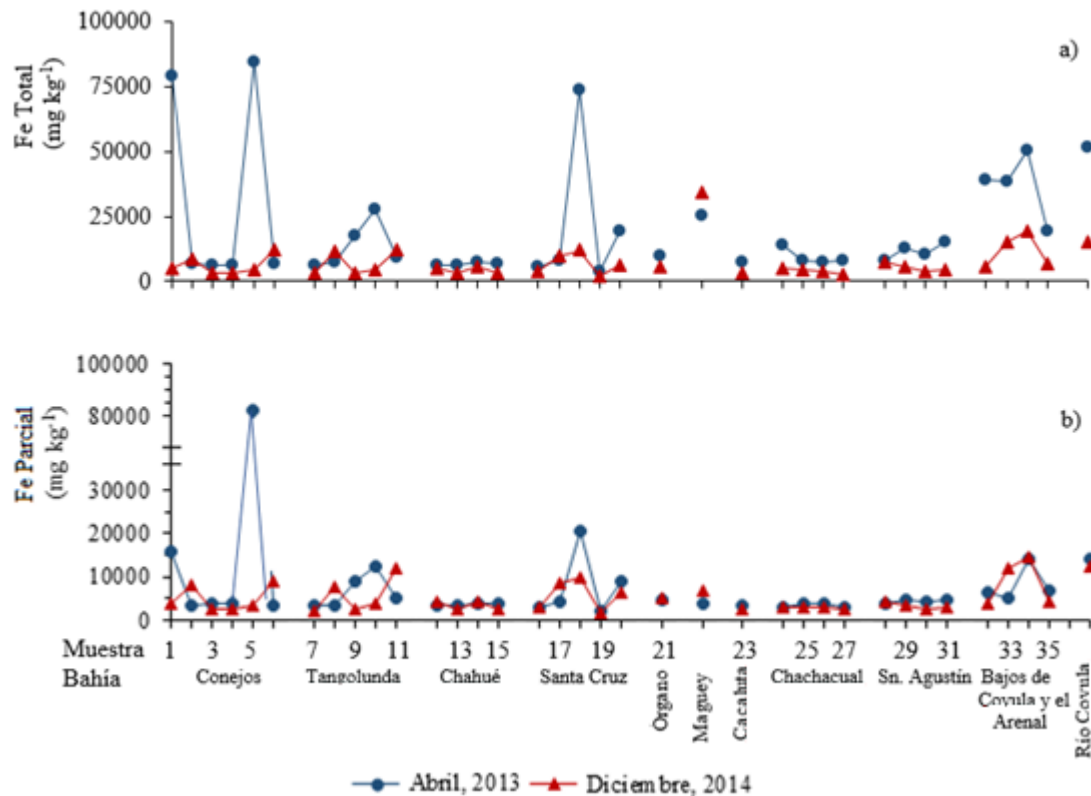


Figura 5.18 Concentración de hierro (análisis total y parcial) durante los dos periodos de muestreo

Concentración de hierro (análisis parcial) en Diciembre, 2014. De la figura 5.18. (b) se observa que la mínima concentración de hierro se presentó en el punto 19 La Entrega, bahía Santa Cruz (1,866 mg kg⁻¹) y la máxima en la muestra 34 Boca Vieja, en Bajos de Coyula y el Arenal (14,553 mg kg⁻¹). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de hierro fue Cacaluta (2,704 mg kg⁻¹), el río Coyula presentó una mayor concentración de hierro (12,457 mg kg⁻¹), seguido por las playas a mar abierto de Bajos de Coyula y el Arenal (8,724).

En general la concentración de hierro (análisis total) (figura 5.18. a) durante abril, 2013 es mayor a la de diciembre, 2014 excepto en la bahía Maguey. La concentración mínima de hierro tanto en el análisis total como parcial en abril de 2013 y diciembre de 2014 se presentó en la playa La Entrega (bahía Santa Cruz). En promedio la bahía Cacaluta en abril de 2013

presentó una menor concentración de hierro (análisis parcial) y en diciembre 2014 una mínima concentración tanto en el análisis total como parcial. En abril de 2013 la concentración máxima en el análisis total y parcial se presentaron en la playa Tejoncito (Bahía Conejos) y en diciembre, 2014 la bahía que presentó una concentración mayor en el análisis total fue Maguey.

En Huatulco hay una alta concentración de hierro derivada de magnetita, anfíboles, piroxenos, ilmenita (Carranza-Edwards, et al., 1987; Morán-Zenteno, et al., 1996; Alaniz y Ortega, 1997), micas, biotita y hornblenda (Morán-Zenteno, et al., 1996; Alaniz y Ortega, 1997), además este último autor también identificó estaurólita, epidota, clinzoisita, clinopiroxeno, clorita, microclina, hematita, almandino, granate, plagioclasa, turmalina, pegmatita, allanita, augita, trazas de óxido de hierro y aegirina.

(Tolson, 2005), menciona que en la zona el contenido de cuarzo es variable desde trazas hasta un 30% y la ilmenita se encuentra diseminada. (Carranza-Edwards, et al., 1987), realizó un análisis de sedimento en la bahía Conejos encontrando el 1% de hierro. (Morán-Zenteno, et al., 1996) realizó el análisis de hornblenda en Huatulco encontrando el 5.20% de Fe_2O_3 y el 15.29% de FeO.

En el complejo Xolapa (Alaniz y Ortega, 1997), realizaron un análisis modal con más de 2,500 puntos contados, encontrando hornblenda en: esquisto de plagioclasa-hornblenda con una moda de 29, esquisto de biotita y hornblenda con moda de 11.97, en la gneis de hornblenda 25.47 y en la anfíbolita el 37.91; de biotita reportó en el análisis modal en el esquisto de plagioclasa-hornblenda 15 y en el esquisto de biotita y hornblenda 39.27; reporta epidota en el esquisto de biotita y hornblenda con un valor de 2.12; en la gneis de hornblenda encontró una moda de 5.98 de clinzoisita y una moda de 4.02 de clinopiroxeno; en la anfíbolita reportaron una moda de 3.41 de clorita. También los autores analizaron una muestra traquita donde encontraron de su análisis modal el 15% de plagioclasa, 16% de óxidos y magnetita, además analizaron un muestra de plagioclasa con un microscopio electrónico de barrido encontrando el 0.15% de FeO.

En nuestro estudio se analizaron tres muestras de rocas, en abril de 2013 en la playa Chahué, bahía Chahué donde se registró una concentración de hierro en el análisis total de 18,472 mg kg⁻¹ y en el parcial de 9,816 mg kg⁻¹, en la playa Punta Paraíso, bahía Santa Cruz su concentración en análisis total fue de 34,567 mg kg⁻¹ y parcial de 21,335 mg kg⁻¹, durante diciembre de 2014 se analizó una muestra de roca en la playa el Arenal, en Bajos de Coyula y el Arenal su concentración de hierro en análisis total fue de 42,577 mg kg⁻¹ y en parcial de 31,941 mg kg⁻¹.

La concentración de hierro que se encuentra en la localidad de forma natural se puede incrementar por algunas actividades antropogénicas como actividades de construcción, manufactura de máquinas, transporte, uso de hierro forjado, acero y aleaciones (Bradl, 2005; Kabata-Pendias and Mukherjee, 2010).

En Santa María Huatulco hay varios talleres que se dedican a elaborar productos de herrería principalmente en La Crucecita (Santa Cruz). La industria de la construcción tuvo un impulso fuerte a principios del decenio de 1990 motivado por la urbanización y desarrollo turístico, fundamentalmente, por la construcción de hoteles, sin embargo, éste ha tenido una desaceleración (SEMARNAT, 2002).

La playa Tejoncito perteneciente a la bahía Conejos, ésta presentó un máximo de hierro en el análisis total y parcial en abril, 2013, dicha bahía es la más cercana al río Copalita y en ella se encuentra la sección hotelera Bahía de Conejos, donde hay hoteles como el Secrets Huatulco Resort & Spa, Celeste Beach Residences & Spa, Villas Fa-Sol y Agua Azul la Villa, entre otros.

De la figura 5.18. (a y b) también se observa que la playa 18 Punta Paraíso, bahía Santa Cruz presenta un máximo en la concentración de hierro en análisis total y parcial (abril, 2013) aunque en la playa La Entrega que se encuentra en la misma bahía se presentó la concentración mínima de hierro tanto en análisis total como parcial en abril de 2013 y diciembre de 2014.

En la región de El Arenal se cultiva papaya, para lo cual se utilizan fertilizantes y pesticidas, los principales fertilizantes utilizados son 17-17-17 (triple diecisiete), 18-46-00 (fosfato de amonio), nitrato de amonio, bayfolan forte, packard, foliare, cal y humiplex, entre otros, los cuales proporcionan una cantidad de 4 a 9 kg/ha de Fe a las huertas de papaya durante un periodo de 2 años (Ramírez-Fuentes y Trujillo-Tapia, 2012).

Otra fuente antropogénica de hierro son las pilas desechables de litio bisulfato de hierro que se ocupan principalmente para cámaras digitales, juguetes y aplicaciones electrónicas, etc., la composición promedio de las pilas Usadas en México es del 24 al 35% en peso de bisulfato de hierro (Román, 2008).

La comisión de playas limpias de Huatulco (CPLH) realiza una limpieza antes y una posterior a la temporada de lluvias, ha reportado para un día de limpieza los siguientes resultados de la cantidad de pilas recolectadas: en el año 2008 se encontraron 89 pilas (en 14 playas, 4 miradores, la marina Chahué y el risco del faro), en el 2009 se recolectaron 1,131 pilas (en 14 playas, 4 miradores, la marina Chahué y el risco del faro), en el 2010 112 pilas (en 15 playas, la ribera del río Copalita, el risco del faro, el parque central de la Crucecita, el parque Central de Santa Cruz y el Canal desde el U2 hasta la Marina Chahué), en 2011 81 pilas (en 16 playas, 2 miradores, el risco del faro, la ribera del río Copalita), en 2012 98 pilas (en 16 playas, 2 miradores, el risco del faro y la ribera del río Copalita).

La (CPLH, 2009) reportó que el 5% de los residuos sólidos costeros en la playa Tangolunda son residuos peligrosos conformados por pilas, jeringas y botes de insecticidas.

5.2.2 Manganeso

Concentración de manganeso (análisis total) en abril de 2013. De la figura 5.19. (a) se observa que la mínima concentración de manganeso se presentó en el punto 13 Esperanza, bahía Chahué (54 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 5 Tejoncito, bahía Conejos ($1,736 \text{ mg kg}^{-1}$). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de manganeso fue Chahué

(74 mg kg⁻¹), el río Coyula presento una concentración mayor (1,026 mg kg⁻¹) seguida de Bajos de Coyula y el Arenal (623 mg kg⁻¹).

Concentración de Manganeso (análisis parcial) en abril, 2013. De la figura 5.19. (b) se observa que la mínima concentración de manganeso se presentó en el punto 13 Esperanza, bahía Chahué (20 mg kg⁻¹) y la máxima en la muestra 5 Tejoncito, bahía Conejos (388 mg kg⁻¹).

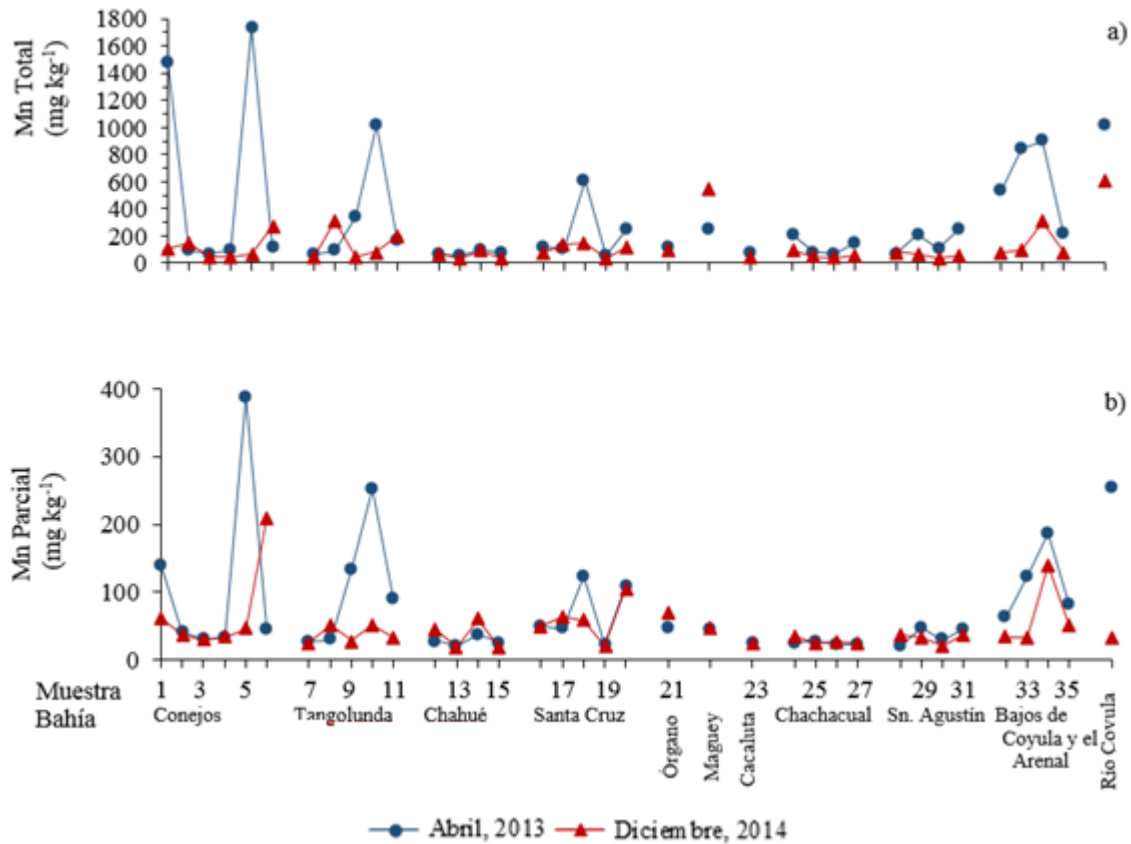


Figura 5.19 Concentración de manganeso (análisis total y parcial) durante los dos periodos de muestreo

La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de manganeso en el análisis parcial fue Chachacual (25 mg kg⁻¹), el río Coyula presentó una mayor concentración de manganeso (análisis parcial) (254 mg kg⁻¹), seguido de Bajos de Coyula y el Arenal con 114 mg kg⁻¹.

Concentración de Manganeso (análisis total) en diciembre de 2014. La mínima concentración de manganeso se presentó en el punto 13 Esperanza, bahía Chahué (31 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra del Río Coyula (606 mg kg^{-1}) seguida de la muestra 22 Maguey, bahía Maguey (549 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de manganeso fue Cacaluta (40 mg kg^{-1}), y el Río Coyula presento una concentración máxima de 606 mg kg^{-1} , seguida de Maguey (549 mg kg^{-1}).

Concentración de Manganeso (análisis parcial) en Diciembre, 2014. De la figura 5.19. (b) se observa que la mínima concentración de manganeso se presentó en el punto 15 Chahué, bahía Chahué (19 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 6 La Mixteca, bahía Conejos (210 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de manganeso en el análisis parcial fue Cacaluta (24 mg kg^{-1}), y la bahía que presento una mayor concentración fue Órgano (70 mg kg^{-1}).

En abril, 2013 coincidieron los puntos donde se encontró la menor y mayor concentración de manganeso tanto en el análisis total como parcial, la menor se encontró en Esperanza (muestra 13) y la concentración máxima se registró en la muestra Tejoncito (muestra 5). El río Coyula y el área de Bajos de Coyula y el Arenal presentaron en promedio las mayores concentraciones de manganeso en análisis total y parcial.

En diciembre de 2014 también la playa Esperanza presentó la mínima concentración de manganeso (análisis total) y en promedio la bahía que presento una menor concentración de manganeso tanto en análisis total como parcial fue Cacaluta.

El manganeso de forma natural que se encuentra en los sedimentos superficiales es un derivado de los piroxenos (Carranza-Edwards, et al., 1987), hornblenda (Morán-Zenteno, et al., 1996), anfíboles, clinzoisita, clinopiroxenos, granate, turmalina y micas (Alaniz y Ortega, 1997). (Carranza-Edwards, et al., 1987), encontró en el sedimento de la bahía Conejos 0.02% de manganeso y en el estudio de (Morán-Zenteno, et al., 1996) en la hornblenda de Huatulco registro un 0.62% de MnO. Como se mencionó anteriormente (Alaniz y Ortega, 1997) reportan en su análisis modal hornblenda en: esquistos de plagioclasa-

hornblenda con una moda de 29, esquistos de biotita y hornblenda con moda de 11.97, en la gneis de hornblenda 25.47 y en la anfibolita el 37.91; en la gneis de hornblenda encontró una moda de 5.98 de clinozoisita y una moda de 4.02 de clinopiroxeno.

Del análisis de rocas en nuestro estudio se encontraron las siguientes concentraciones de manganeso: en la playa Chahué, bahía Chahué 357 mg kg⁻¹ (análisis total) y 161 mg kg⁻¹ (análisis parcial), en la playa Punta Paraíso, bahía Santa Cruz 727 mg kg⁻¹ (análisis total) y 458 mg kg⁻¹ (análisis parcial), en la playa el Arenal, en Bajos de Coyula y el Arenal su concentración fue de 596 mg kg⁻¹ (análisis total) y 58 mg kg⁻¹ (análisis parcial).

El manganeso puede ser introducido de forma antropogénica al ambiente a través del uso de fertilizantes y fungicidas (Bradl, 2005; Kabata-Pendias and Mukherjee, 2010; Fernández-Cano e Hidalgo, 2011). En Oaxaca 11,802 unidades de producción utilizan herbicidas, 95.7 % de éstas utilizan herbicidas de origen químico y 6.6 % de origen orgánico. De los insecticidas, 98% de las unidades de producción emplea los de origen químico y 3.1 % de origen orgánico (INEGI, 2013).

La playa Tejoncito (bahía Conejos) además de presentar la máxima concentración en análisis total y parcial de hierro también la presentó de manganeso, esta bahía es la más cercana al río Copalita y en ella se desarrolla la agricultura (INEGI, 2005). En promedio el río Coyula y el área de Bajos de Coyula y el Arenal presentaron las mayores concentraciones de manganeso en análisis total y parcial, en esta región también se desarrolla actividades agrícolas (INEGI, 2005).

En los cultivos de papaya de la región del Arenal los fertilizantes pueden aportar de 2 a 4 kg/ha de Mn durante un periodo de 2 años (Ramírez-Fuentes y Trujillo-Tapia, 2012).

Otra fuente antropogénica son las pilas desechables utilizadas en cámaras digitales, juguetes, aplicaciones electrónicas, relojes, controles remotos, linternas, radios, relojes de pulsera, etc. La composición promedio en porcentaje de peso de dióxido de manganeso de las pilas Usadas en México es la siguiente: las pilas alcalinas tienen un 30-45%, las de carbón-zinc 15-31%,

la alcalina miniatura 15-30%, la de litio dióxido de manganeso 12-42%, la de óxido de mercurio 0-15%, las de óxido de plata 0-20% y en las pilas recargables de níquel hidruro de metal < 3% de peso de manganeso, éstas últimas pilas se utilizan para calculadoras, cámaras digitales, computadoras portátiles, grabadoras, lámparas, vehículos eléctricos, aparatos médicos, telefonía celular, etc. (Román, 2008).

5.2.3 Cromo

Concentración de cromo (análisis total) en abril de 2013. De la figura 5.20. (a) se observa que la mínima concentración de cromo se presentó en el punto 24 La India, bahía Chachacual (110 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 13 Esperanza, bahía Chahué (566 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de cromo durante el análisis total fue Maguey (148 mg kg^{-1}), y la que presentó una concentración mayor fue Chahué (511 mg kg^{-1}).

Concentración de Cromo (análisis parcial) en abril, 2013. De la figura 5.20. (b) se observa que la mínima concentración de cromo parcial se presentó en el punto 24 La India, bahía Chachacual (10 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 3 Arena, bahía Conejos (150 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de cromo fue Maguey (28 mg kg^{-1}), y la que presentó la máxima concentración fue Chahué (128 mg kg^{-1}).

Concentración de Cromo (análisis total) en diciembre de 2014. La mínima concentración de cromo se presentó en el punto 10 Manzanilla, bahía Tangolunda (49 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 3 Arena, bahía Conejos (209 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de cromo total fue Santa Cruz (106 mg kg^{-1}), y la que presentó una concentración mayor fue Cacaluta (197 mg kg^{-1}).

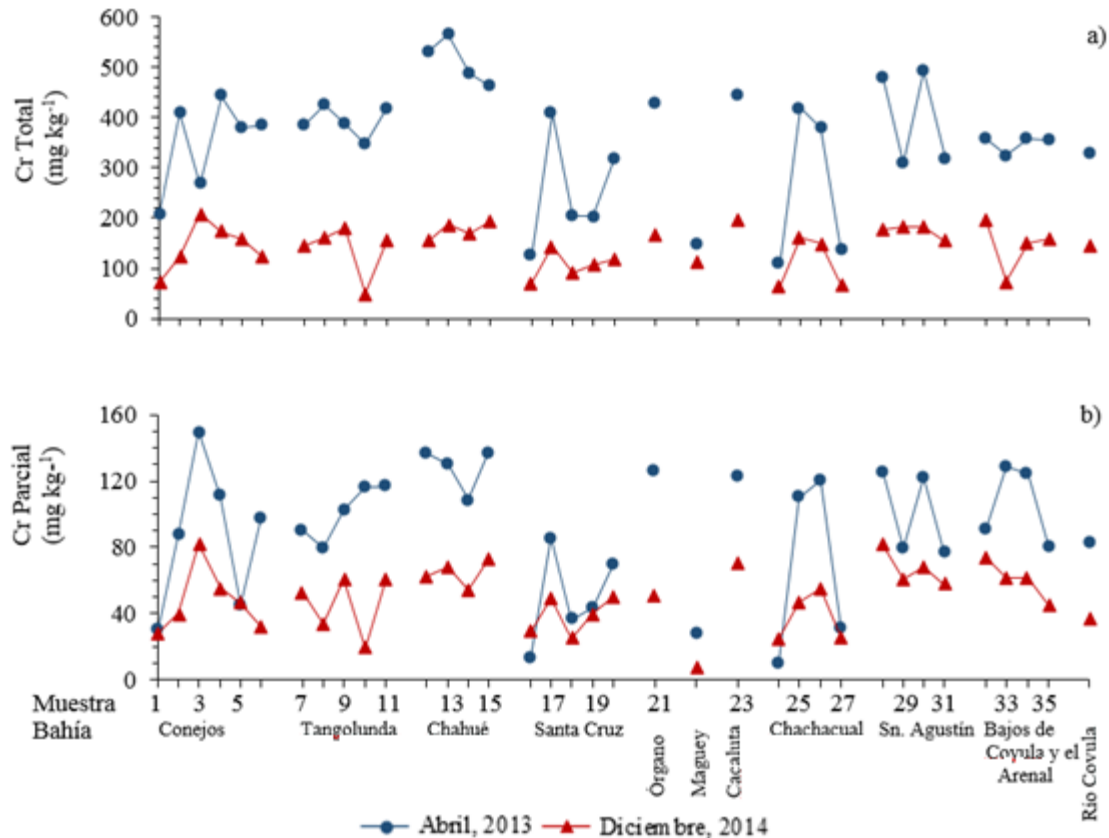


Figura 5.20 Concentración de cromo (análisis total y parcial) durante los dos periodos de muestreo

Concentración de Cromo (análisis parcial) en diciembre, 2014. De la figura 5.20. (b) se observa que la mínima concentración de cromo se presentó en el punto 22 Maguey, bahía Maguey (7 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 3 Arena, bahía Conejos (82 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de cromo fue Maguey (7 mg kg^{-1}), y la que presentó la máxima concentración fue Cacaluta (70 mg kg^{-1}).

De la figura 5.20 (a y b) se observa que en general la concentración de cromo del análisis total y parcial fue mayor en abril de 2013, durante éste muestreo la mínima concentración de cromo tanto del análisis total como parcial se presentó en la playa La India, bahía Chachacual y en promedio la bahía que presentó una menor concentración (análisis total y parcial) fue Maguey, lo que coincide en diciembre de 2014 para la concentración de cromo de análisis parcial. En abril de 2013 la bahía que presentó mayor concentración tanto de cromo en análisis total como parcial fue Chahué.

En diciembre, 2014 en la playa Arena, bahía Conejos se presentó la máxima concentración tanto de análisis total como parcial y la bahía que en promedio presento una máxima concentración en los dos tipos de análisis fue Cacaluta.

En Huatulco se han encontrado piroxenos (Carranza-Edwards, et al., 1987), micas (Morán-Zenteno, et al., 1996; Morán-Zenteno, et al., 1999; Alaniz y Ortega, 1997), anfíboles, Clinopiroxeno y granate (Alaniz y Ortega, 1997) que contribuyen a la concentración natural de cromo en las bahías de Huatulco. En el estudio de (Carranza-Edwards, et al., 1987) de una muestra de sedimentos no detectó cromo, al igual que lo reportado de una muestra de hornblenda (Morán-Zenteno, et al., 1996) donde no encontró Cr_2O_3 . (Alaniz y Ortega, 1997) reportan en su análisis modal en el gneis de hornblenda una moda de 4.02 de clinopiroxeno. (Estrada, 2008) reporta en sedimentos de Huatulco un rango de 6.06 a 75.08 mg kg^{-1} de cromo.

(Derbyshire, et al., 2013) reporta cromo en zonas de supra-subducción e indica que puede ser utilizado para estudiar procesos de fusión complejas que ocurre en el manto superior (Wang, 2016).

De nuestro estudio al analizar las rocas se encontró que la playa Chahué, bahía Chahué presento 377 mg kg^{-1} de cromo (análisis total) y de 96 mg kg^{-1} (análisis parcial), en la playa Punta Paraíso, bahía Santa Cruz 153 mg kg^{-1} (análisis total) y 32 mg kg^{-1} (análisis parcial), y en la playa el Arenal, en Bajos de Coyula y el Arenal 80 mg kg^{-1} (análisis total) y 24 mg kg^{-1} (análisis parcial).

Diversas poblaciones de Oaxaca se dedican a la talabartería, en el estado hay 96 curtidores con una producción semanal en pieles de 235 (Ramos, 2007), lo que representa una fuente antropogénica de cromo (Bradl, 2005; CPML, 2008; Kabata-Pendias and Mukherjee, 2010). Otra fuente antropogénica de cromo es la combustión del carbón (INE, 2007).

5.2.4 Cobre

Concentración de cobre (análisis Total) en abril, 2013. De la figura 5.21. (a) se observa que la mínima concentración se presentó en el punto 27 Riscalillo, bahía Chachacual (6.37 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 5 Tejoncito, bahía Conejos (27.79 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de cobre del análisis total fue Cacaluta (7.37 mg kg^{-1}), y la que presentó una concentración mayor fue Conejos (14.71 mg kg^{-1}).

Concentración de cobre (análisis parcial) en abril, 2013. De la figura 5.21. (b) se observa que la mínima concentración se presentó en el punto 26 Jicaral, bahía Chachacual (1.67 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 5 Tejoncito, bahía Conejos (11.67 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de cobre fue Chachacual (2.38 mg kg^{-1}) y el río Coyula presentó la máxima concentración (8.22 mg kg^{-1}), seguido por la bahía Conejos (4.92 mg kg^{-1}).

Concentración de cobre (análisis total) en diciembre, 2014. De la figura 5.21. (a) se observa que la mínima concentración se presentó en el punto 33 El Arenal, Bajos de Coyula y el Arenal (2.30 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 36 correspondiente al Río Coyula, siguiéndole la muestra 34 Boca Vieja, Bajos de Coyula y el Arenal (7.56 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de cobre en la matriz del sedimento fue Cacaluta (3.73 mg kg^{-1}), y la que presentó una concentración mayor fue el río Coyula (10.69 mg kg^{-1}) seguido de Maguey (6.78 mg kg^{-1}).

Concentración de cobre (análisis parcial) en diciembre, 2014. De la figura 5.21. (b) se observa que la mínima concentración se presentó en el punto 22 Maguey, bahía Maguey (0.912 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra del río Coyula (7.68 mg kg^{-1}), seguido de 6 La Mixteca, bahía Conejos (4.54 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de cobre de forma biodisponible fue Maguey (0.91 mg kg^{-1}) y el río Coyula presentó la máxima concentración (7.67 mg kg^{-1}), seguido por la bahía Tangolunda (3.26 mg kg^{-1}).

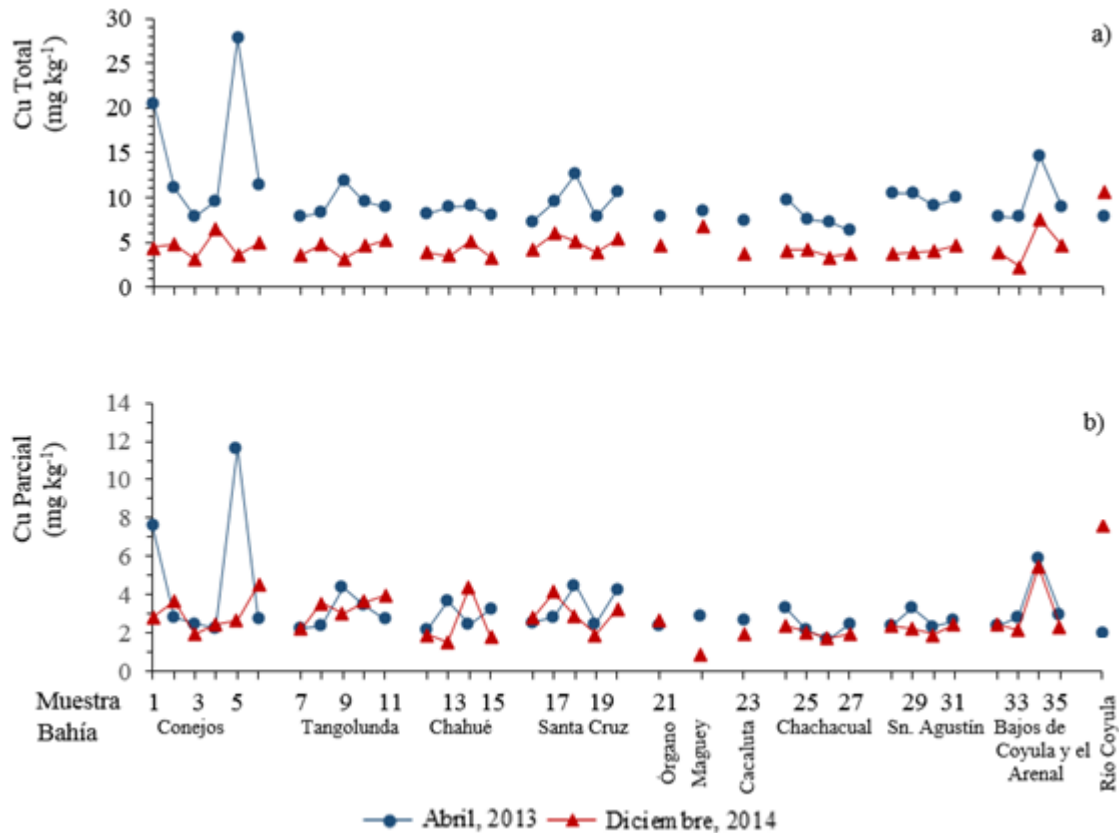


Figura 5.21 Concentración de cobre (análisis total y parcial) durante los dos periodos de muestreo

En abril, 2013 la máxima concentración de cobre del análisis total y parcial se encontró en la playa Tejoncito, bahía Conejos. En bahía Conejos se presentó la máxima concentración de cobre (análisis total y parcial). En diciembre, 2014 la máxima concentración de metal (análisis total y parcial) se registró en el río Coyula.

(Alva-Valdivia, 2011) indica que las zonas de subducción generalmente son caracterizados por la formación de depósitos de Cu, Fe, Mo, Au y Ag, lo cual podría representar una fuente de cobre en la zona. En zonas de subducción donde hay biotitas se ha encontrado mineralización de cobre confinado (Li, et al., 2013; Bertrand, et al., 2014; Kitt, et al., 2016).

Del análisis de rocas realizado en nuestro estudio se encontró que la playa Chahué, bahía Chahué presento 6.22 mg kg^{-1} de cobre (análisis total) y 1.74 mg kg^{-1} (análisis parcial), en la playa Punta Paraíso, bahía Santa Cruz 15.45 mg kg^{-1} (análisis total) y 7 mg kg^{-1} (análisis

parcial y en la playa el Arenal, en Bajos de Coyula y el Arenal 63.99 mg kg^{-1} (análisis total) y 23.66 mg kg^{-1} (análisis parcial).

La playa Tejoncito (bahía Conejos) además de presentar la máxima concentración en los dos análisis total y parcial de hierro y manganeso también la presentó de cobre (abril, 2013), cerca de esta bahía se desarrolla la agricultura (INEGI, 2005) y es la más cercana al río Copalita.

El cobre se utiliza en la agricultura como fertilizante y pesticida, debido a sus propiedades bacteriostáticas, también como aditivo en alimento para el ganado y aves de corral (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2010). En los cultivos de papaya de la región del Arenal (Bajos de Coyula y el Arenal) los fertilizantes pueden aportar de 1 a 3.5 kg/ha de Cu durante un periodo de 2 años, además de los fertilizantes, en una huerta comercial se agregan productos químicos para el control de plagas y enfermedades en cultivos de papaya, como el Agrimycin 500 que contiene en sus ingredientes activos sulfato tribásico de cobre monohidratado en un 78.52% con una dosis recomendada de $2.5\text{-}3 \text{ g/L}$ de agua con una frecuencia de aplicación de 8 a 15 días, la aplicación del agroquímico se realiza utilizando 200L de agua/Ha (Ramírez-Fuentes y Trujillo-Tapia, 2012)

Las pinturas anti incrustantes de las embarcaciones también pueden contribuir a elevar los niveles de cobre en el medio acuático (Miniussi and Pérez, 1969; García, et al., 2013; García, et al., 2015). Los compuestos cúpricos utilizados en las pinturas náuticas son el óxido cuproso, tiocianato de cobre y naftenato de cobre, la baja toxicidad del cobre comparado contra otros biosidas como el TBT (tributil estaño) hace necesario la formulación del recubrimiento con altas cantidades de cobre y altos grados de liberación con el objeto de garantizar suficiente protección antifouling, la velocidad de liberación es elevada ($20\text{-}50 \mu\text{g cm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), en puertos comerciales y marinas deportivas, en zonas con poca mezcla de agua y altas densidades de movimiento de barcos se producen distribuciones con altas concentraciones en Cu, un ejemplo es $21 \mu\text{g/L}$ en San Diego, California (Alonso, 2011). En el año 2000 se registraron 9,342 embarcaciones en las Bahías de Huatulco con un promedio

mensual de 779 (CONANP, 2003), Héau, 2010 reporta que en el muelle de Santa Cruz atracan super-cruceros con capacidad para 3,500 personas.

5.2.5 Níquel

Concentración de níquel (análisis total) en abril, 2013. De la figura 5.22. (a) se observa que la mínima concentración de níquel total se presentó en el punto 14 Consuelo, bahía Chahué (39 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 36 Río Coyula (72 mg kg^{-1}), seguido de la muestra 5 Tejoncito, bahía Conejos (66 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de níquel fue Chahué (42 mg kg^{-1}) y la que presento una concentración mayor fueron las playas a mar abierto de Bajos de Coyula y el Arenal (55 mg kg^{-1}).

Concentración de níquel (análisis parcial) en abril, 2013. De la figura 5.22. (b) se observa que la mínima concentración de níquel se presentó en el punto 26 Jicaral, bahía Chachacual (5 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 36 Río Coyula (12 mg kg^{-1}), seguido de la muestra 34 Boca Vieja, Bajos de Coyula y el Arenal (12 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de níquel fue Órgano (6 mg kg^{-1}) y la que presento una concentración mayor fue el río Coyula (12 mg kg^{-1}), seguido de Bajos de Coyula y el Arenal (8 mg kg^{-1}).

Concentración de níquel (análisis total) en diciembre, 2014. De la figura 5.22. (a) se observa que la mínima concentración se presentó en el punto 33 El Arenal, Bajos de Coyula y el Arenal (6 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 17 Santa Cruz (85 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de níquel fue Bajos de Coyula y el Arenal (27 mg kg^{-1}) y la que presento una concentración mayor fue Santa Cruz (42 mg kg^{-1}).

Concentración de níquel (análisis parcial) en diciembre, 2014. De la figura 5.22. (b) se observa que la mínima concentración se registró en el punto 23 Cacaluta, bahía Cacaluta (5 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 10 Manzanilla, bahía Tangolunda (14 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de níquel fue Cacaluta (5 mg kg^{-1}) y la que presento una concentración mayor fue el río Coyula (11 mg kg^{-1}), seguido de Santa Cruz (9 mg kg^{-1}).

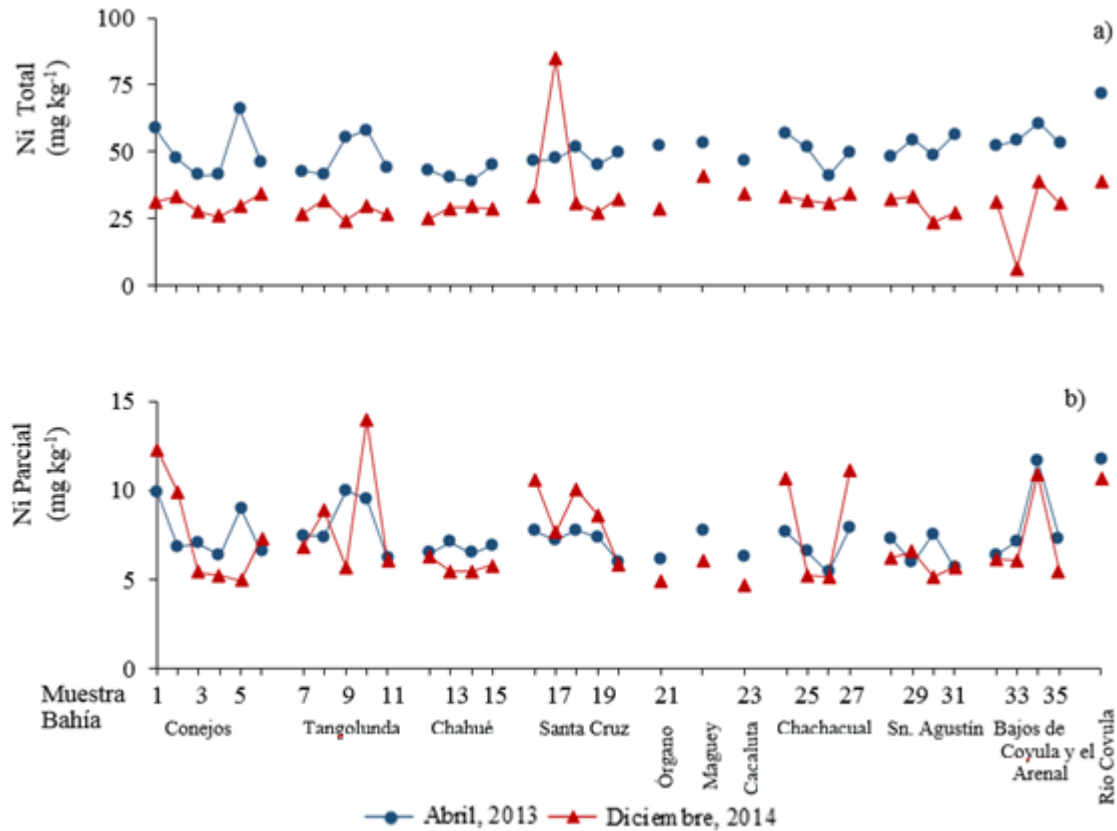


Figura 5.22 Concentración de níquel (análisis total y parcial) durante los dos periodos de muestreo

En abril, 2013 el río Coyula presentó una alta concentración de níquel (análisis total y parcial) en diciembre de 2014 también presentó un máximo de níquel (análisis parcial). En abril, 2013 la región de Bajos de Coyula y el Arenal en promedio también registro una alta concentración (análisis total y parcial) del metal aunque en diciembre, 2014 una de sus playas, el Arenal, presentó una mínima concentración de níquel (análisis total), en ese mismo periodo de muestreo la bahía Santa Cruz presentó una concentración máxima de níquel (análisis total y parcial).

En la geología propia del lugar se han encontrado anfíboles (Carranza-Edwards, et al., 1987; Alaniz y Ortega, 1997) que pueden contribuir a la concentración de níquel en los sedimentos. En el estudio de (Carranza-Edwards, et al., 1987) de una muestra de sedimentos no detectó níquel, al igual que lo reportado de una muestra de hornblenda (Morán-Zenteno, et al., 1996)

donde no encontró NiO pero (Estrada, 2008) reporta en sedimentos de Huatulco un rango de 0.3 a 78.13 mg kg⁻¹ de níquel.

Del análisis de rocas realizado en nuestro estudio se encontró que la playa Chahué, bahía Chahué presento 46 mg kg⁻¹ de níquel (análisis total) y 5.5 mg kg⁻¹ (análisis parcial), en la playa Punta Paraíso, bahía Santa Cruz 47 mg kg⁻¹ (análisis total) y 4.4 mg kg⁻¹ (análisis parcial) y por último en la playa el Arenal, en Bajos de Coyula y el Arenal 55 mg kg⁻¹ (análisis total) y 20.2 mg kg⁻¹ (análisis parcial).

Una fuente antropogénica de níquel son las pilas recargables (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2010), que se utilizan en calculadoras, cámaras digitales, computadoras portátiles, grabadoras, lámparas, vehículos eléctricos, aparatos médicos, telefonía celular, etc. La composición promedio en porcentaje de peso de níquel de las pilas Usadas en México es en las pilas níquel hidruro de metal, tiene un 30-50%, y las de níquel cadmio 20-32% (Román, 2008).

Otra fuente antropogénica de níquel es la combustión del carbón (INE, 2007; Contreras, 2011), Contreras-Hinojosa, et al., 2003 reporta que en 1997 en la región de los Altos-Zimatlán, Oaxaca en varias comunidades, 74% de la población utilizaban exclusivamente leña y 26% utilizaban leña y carbón para consumo doméstico. La CPLH, 2009 reportó que en la playa Tangolunda el 28% de los residuos correspondía a residuos especiales en los cuales se encontró el carbón, entre otros.

5.2.6 Cobalto

Concentración de cobalto (análisis total) en Abril, 2013. De la figura 5.23. (a) se observa que la mínima concentración de cobalto en abril 2013 se presentó en el punto 3 Arena, bahía Conejos (47 mg kg⁻¹) y la máxima en la muestra 5 Tejoncito, bahía Conejos (89 mg kg⁻¹). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de cobalto fue Chahué (51 mg kg⁻¹) y el lugar donde se presentó una mayor concentración fue Bajos de Coyula y el Arenal (63 mg kg⁻¹).

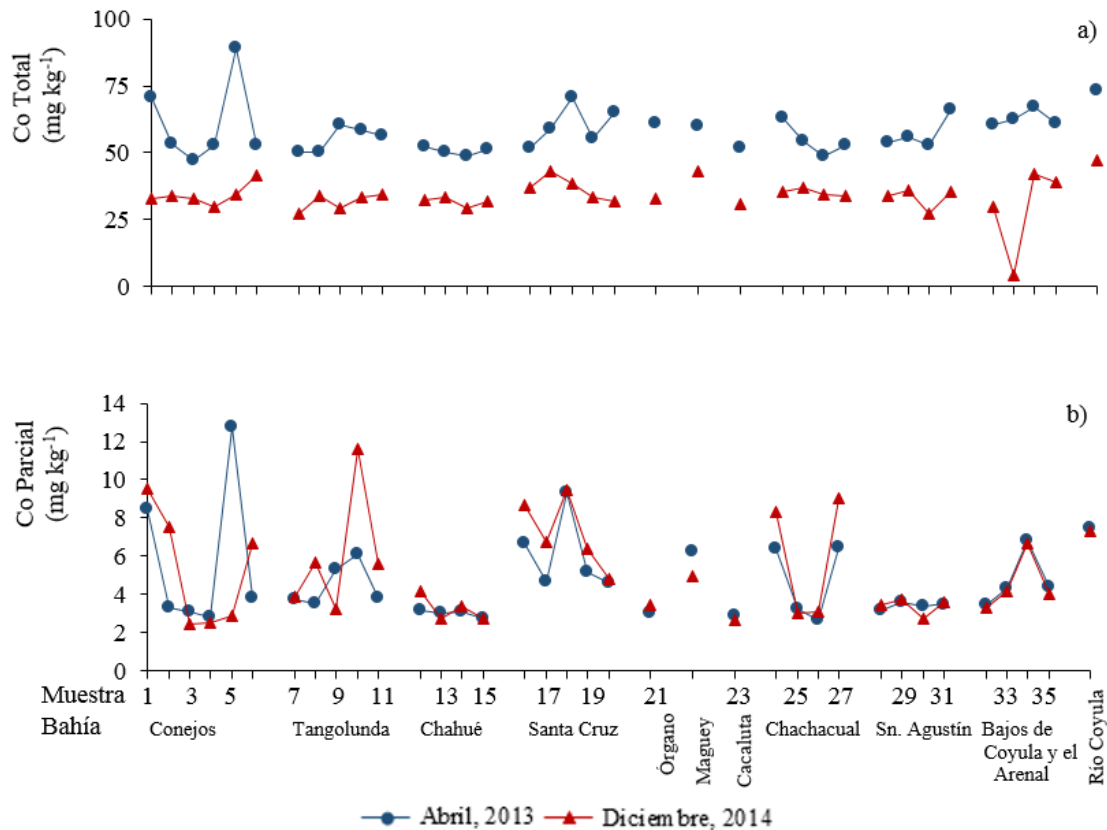


Figura 5.23 Concentración de cobalto (análisis total y parcial) durante los dos periodos de muestreo

Concentración de cobalto (análisis parcial) en abril, 2013. De la figura 5.23. (b) se observa que la mínima concentración se presentó en el punto 26 Jicaral, bahía Chachacual (3 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 5 Tejoncito, bahía Conejos (13 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de cobalto fue Cacaluta (3 mg kg^{-1}) y la que presento una concentración mayor fue el río Coyula (7 mg kg^{-1}), seguido de Maguey (6.2 mg kg^{-1}).

Concentración de cobalto (análisis total) en diciembre de 2014. La mínima concentración de cobalto se presentó en el punto 33 El Arenal de Bajos de Coyula y el Arenal (4.2 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 36 Río Coyula (47 mg kg^{-1}), seguido del punto 17 Santa Cruz, bahía Santa Cruz (43 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de

cobalto en el análisis total fue Bajos de Coyula y el Arenal (28.7 mg kg^{-1}), y el río Coyula presento una concentración mayor (47 mg kg^{-1}), seguido por la bahía Maguey (43 mg kg^{-1}).

Concentración de cobalto (análisis parcial) en diciembre, 2014. De la figura 5.23. (b) se observa que la mínima concentración de cobalto se presentó en el punto 3 Arena, bahía Conejos (2.4 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 10 Manzanilla, bahía Tangolunda (11.6 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de cobalto fue Cacaluta (2.6 mg kg^{-1}) y la que presento una concentración mayor fue el río Coyula (7.3 mg kg^{-1}), seguido de Santa Cruz (7.2 mg kg^{-1}).

En todas las muestras la concentración de cobalto del análisis total fue mayor en abril, 2013 que en Diciembre, 2014. En abril, 2013 la playa que presentó una mayor concentración (análisis total y parcial) de cobalto fue Tejoncito. En diciembre, 2014 el río Coyula presentó un máximo en la concentración total y parcial de cobalto seguido en al análisis total de la bahía Maguey y en el parcial de Santa Cruz.

Los anfíboles encontrados en la región de Xolapa (Carranza-Edwards, et al., 1987; Alaniz y Ortega, 1997) contribuyen a la concentración de cobalto natural en la zona.

Del análisis de rocas realizado en nuestro estudio se encontró que la playa Chahué, bahía Chahué presentó 65 mg kg^{-1} de cobalto (análisis total) y 3.8 mg kg^{-1} (análisis parcial), en la playa Punta Paraíso, bahía Santa Cruz 73 mg kg^{-1} (análisis total) y 7.2 mg kg^{-1} (análisis parcial) y en la playa el Arenal, en Bajos de Coyula y el Arenal 58 mg kg^{-1} (análisis total) y 17.2 mg kg^{-1} de parcial.

Una fuente antropogénica de cobalto son las pilas recargables que como ya se mencionó anteriormente se utilizan en calculadoras, cámaras digitales, computadoras portátiles, grabadoras, lámparas, vehículos eléctricos, aparatos médicos, telefonía celular, etc. La composición promedio en porcentaje de peso de las pilas Usadas en México es: en las pilas níquel hidruro de metal un 2.5-6.0% de cobalto, en las de ion litio el 15-30% es de litio óxido

de cobalto y en las de níquel cadmio el 0.5-2% es cobalto (Román, 2008). Otra fuente antropogénica de cobalto es la combustión del carbón (INE, 2007).

5.2.7 Plomo

Concentración de plomo (análisis total) en abril, 2013. De la figura 5.24. (a) se observa que la mínima concentración se presentó en el punto 4 Punta Arena, bahía Conejos (88 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 24 La India, bahía Chachacual (129 mg kg^{-1}). Bajos de Coyula y el Arenal en promedio obtuvo una menor concentración de plomo en el análisis total (49 mg kg^{-1}), y la que presento una concentración mayor fue Maguey (76 mg kg^{-1}).

Concentración de plomo (análisis parcial) en abril, 2013. De la figura 5.24. (b) se observa que la mínima concentración se presentó en el punto 4 Punta Arena, bahía Conejos (1.2 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 16 Santa Cruz, bahía Santa Cruz (11 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de plomo fue Órgano (1.5 mg kg^{-1}) y la que presento una concentración mayor fue Maguey (10 mg kg^{-1}).

Concentración de plomo (análisis total) en diciembre de 2014. La mínima concentración de plomo se presentó en el punto 33 El Arenal en Bajos de Coyula y el Arenal (3 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 6 La Mixteca, bahía Conejos (81 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de plomo fue Bajos de Coyula y el Arenal (49 mg kg^{-1}), y la que presento una concentración mayor fue Maguey (76 mg kg^{-1}).

Concentración de plomo (análisis parcial) en diciembre, 2014. De la figura 5.24. (b) se observa que la mínima concentración se presentó en el punto 15 Chahué, bahía Chahué (1.7 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 10 Manzanilla, bahía Tangolunda (24 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de plomo fue Cacaluta (2 mg kg^{-1}) y la que presento una concentración mayor fue Maguey (12.5 mg kg^{-1}).

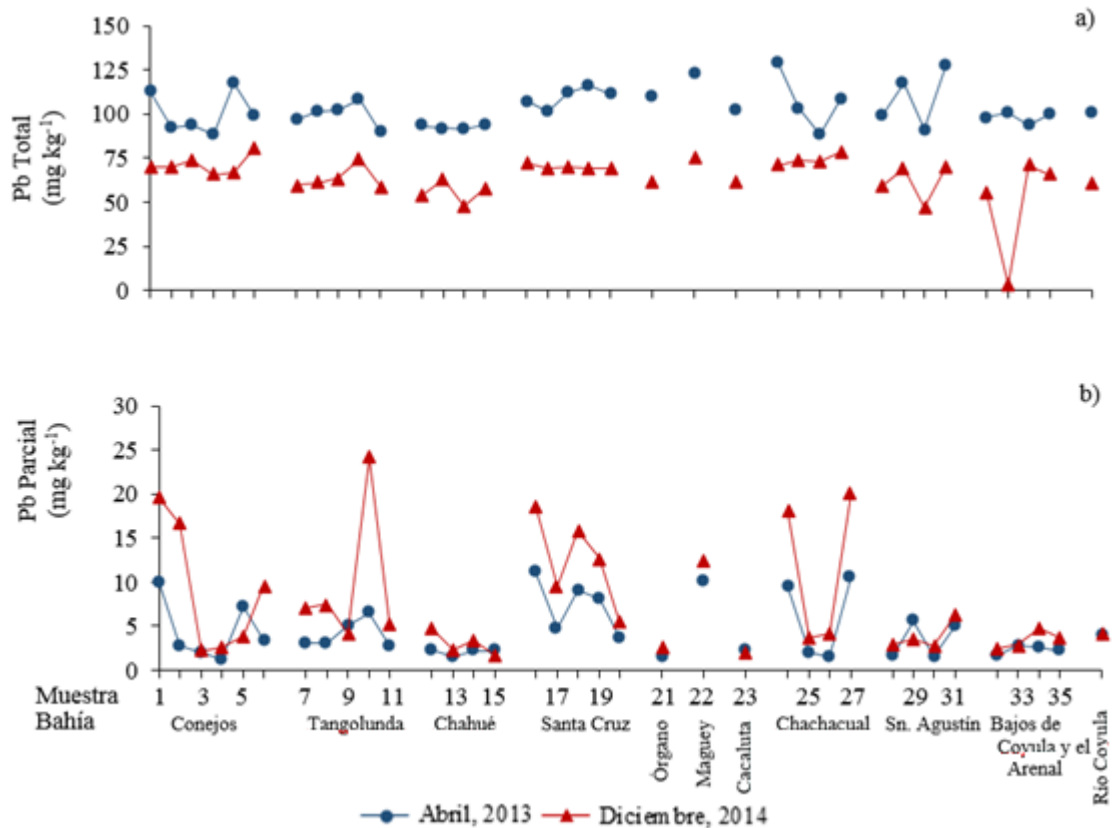


Figura 5.24 Concentración de plomo (análisis total y parcial) durante los dos periodos de muestreo

En abril 2013 todas las muestras presentaron una mayor concentración de plomo (análisis total) que en diciembre de 2014. En abril, 2013 la playa Punta Arena presentó una mínima concentración de plomo (análisis total y parcial), la bahía Maguey en promedio durante Abril, 2013 y Diciembre, 2014 mostró una mayor concentración (análisis total y parcial) de plomo.

Una fuente natural de plomo se puede encontrar posiblemente en los anfíboles y en las impurezas de la microclina, que se encuentran en la zona del complejo Xolapa (Carranza-Edwards, et al., 1987; Alaniz y Ortega, 1997). Estrada, 2008 reporta en sedimentos de Huatulco un rango de 0.78 a 9.05 mg kg⁻¹ de plomo.

Del análisis de rocas realizado en nuestro estudio se encontró que la playa Chahué, bahía Chahué presento 110 mg kg⁻¹ de plomo (análisis total) y 2.1 mg kg⁻¹ de (análisis parcial), en la playa Punta Paraíso, bahía Santa Cruz 100 mg kg⁻¹ (análisis total) y 56 mg kg⁻¹ (análisis

parcial) y en la playa el Arenal, en Bajos de Coyula y el Arenal 57 mg kg^{-1} (análisis total) y 7.8 mg kg^{-1} de parcial.

Una fuente antropogénica de plomo son las pilas recargables de plomo-ácido que se utilizan en automóviles, vehículos eléctricos, uso industrial, etc., las pilas Usadas en México tienen una composición promedio en porcentaje de peso de plomo de 36-90%. (Román, 2008).

Otra fuente de aportación de plomo es la greta, sustancia a base de plomo utilizada en la alfarería de la losa vidriada en Oaxaca principalmente en Santa María Atzompa (Hernández, et al., 2005).

5.2.8 Zinc

Concentración de zinc (análisis total) en abril, 2013. De la figura 5.25. (a) se observa que la mínima concentración de zinc se observó en el punto 13 Esperanza, bahía Chahué (16 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 30 San Agustín, bahía San Agustín (751 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración fue Chahué (22 mg kg^{-1}), y la que presento una concentración mayor fue San Agustín (585 mg kg^{-1}).

Concentración de zinc (análisis parcial) en abril, 2013. De la figura 5.25. (b) se observa que la mínima concentración se detectó en el punto 13 Esperanza, bahía Chahué (2.2 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 5 Tejoncito, bahía Conejos (29 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de zinc fue Cacaluta (2.4 mg kg^{-1}) y el río Coyula presento una concentración mayor (27 mg kg^{-1}), seguido de Bajos de Coyula y el Arenal (11 mg kg^{-1}).

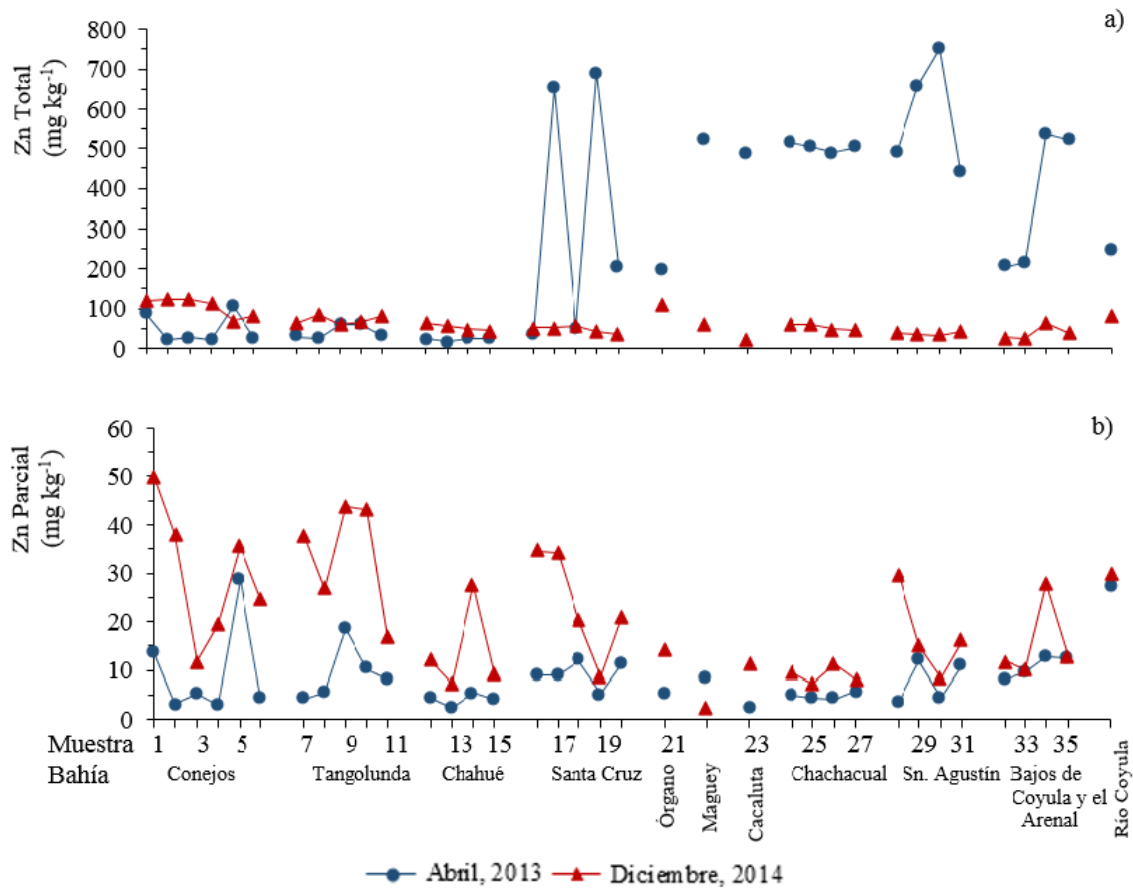


Figura 5.25 Concentración de zinc (análisis total y parcial) durante los dos periodos de muestreo

Concentración de zinc (análisis total) en diciembre de 2014. La mínima concentración de zinc se presentó en el punto 23 Cacaluta, bahía Cacaluta (22 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 3 Arena, bahía Conejos (125 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración fue Cacaluta (22 mg kg^{-1}) y la que presentó una concentración mayor fue Órgano (107 mg kg^{-1}).

Concentración de zinc (análisis parcial) en diciembre, 2014. De la figura 5.25. (b) se observa que la mínima concentración se presentó en el punto 22 Maguey, bahía Maguey (2.3 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 1 Magueyito, bahía Conejos (50 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de zinc fue Maguey (2.3 mg kg^{-1}) y la bahía Tangolunda presentó una concentración mayor (34 mg kg^{-1}).

En abril, 2013 la playa Esperanza presentó la mínima concentración de cinc (análisis total y parcial), la bahía San Agustín presentó un máximo en la concentración de cinc (análisis total) y el río Coyula y la región de Bajos de Coyula y el Arenal de zinc (análisis parcial). En diciembre, 2014 la concentración máxima de zinc del análisis total se presentó en Órgano y de parcial en Tangolunda.

En el complejo Xolapa se encontraron minerales que son fuentes naturales de zinc, la estauroлита, anfíboles y micas (Carranza-Edwards, et al., 1987; Alaniz y Ortega, 1997).

Del análisis de rocas realizado en nuestro estudio se encontró que la playa Chahué, bahía Chahué presento 216 mg kg⁻¹ de zinc (análisis total) y 18 mg kg⁻¹ (análisis parcial), en la playa Punta Paraíso, bahía Santa Cruz 261 mg kg⁻¹ (análisis total) y 56 mg kg⁻¹ (análisis parcial), en la playa el Arenal, en Bajos de Coyula y el Arenal 109 mg kg⁻¹ (análisis total) y 72 mg kg⁻¹ de zinc (análisis parcial).

En los cultivos de papaya de la región del Arenal (Bajos de Coyula y el Arenal) los fertilizantes pueden aportar de 2 a 5 kg/ha de Zn durante un periodo de 2 años (Ramírez-Fuentes y Trujillo-Tapia, 2012).

Otra fuente antropogénica son las pilas desechables (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2010) que como ya se mencionó son utilizadas en cámaras digitales, juguetes, aplicaciones electrónicas, relojes, controles remoto, linternas, radios, relojes de pulsera, etc. La composición promedio en porcentaje de peso de zinc de las pilas Usadas en México es la siguiente: las pilas alcalinas tienen un 12-25%, las de carbón-zinc 7-42% de zinc y de cloruro de zinc 2-10%, la alcalina miniatura 4-10%, la zinc aire 31-44%, la de óxido de mercurio 5-15%, las de óxido de plata 6-11% y en las pilas recargables de níquel hidruro de metal < 3% de peso de zinc, éstas últimas pilas se utilizan para calculadoras, cámaras digitales, computadoras portátiles, grabadoras, lámparas, vehículos eléctricos, aparatos médicos, telefonía celular, etc. (Román, 2008).

Otra fuente de zinc es la pintura anti incrustante que se utiliza en las embarcaciones, el piritonato de zinc o zinc omadine es utilizado como biocida antifouling en las pinturas, los índices de liberación de ZnPT pueden considerarse bajos $2.5\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{día}$ con incertidumbre en su determinación elevada (Alonso, 2011).

5.2.9 Cadmio

Concentración de cadmio (análisis total) en abril, 2013. De la figura 5.26. (a) se observa que la mínima concentración de cadmio en abril 2013 se presentó en el punto 4 Punta Arena, bahía Conejos (5.31 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 24 La India, bahía Chachacual (10.64 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración fue Chahué (5.69 mg kg^{-1}), y la que presento una concentración mayor fue Maguey (10.36 mg kg^{-1}).

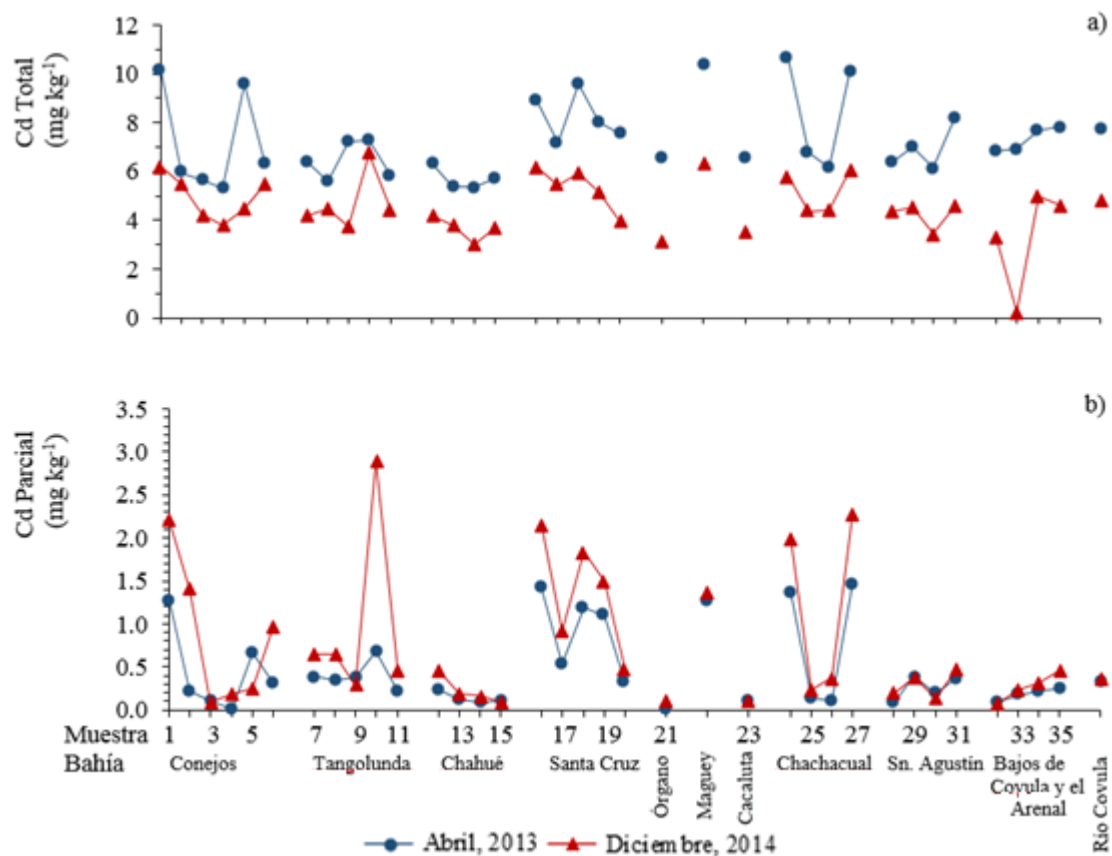


Figura 5.26 Concentración de cadmio (análisis total y parcial) durante los dos periodos de muestreo

Concentración de cadmio (análisis parcial) en abril, 2013. De la figura 5.26. (b) se observa que la mínima concentración se presentó en el punto 21 Órgano, bahía Órgano (0.008 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 27 Riscalillo, bahía Chachacual (1.46 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración fue Órgano (0.01 mg kg^{-1}) y la bahía Maguey presento una concentración mayor (1.26 mg kg^{-1}).

Concentración de cadmio (análisis total) en diciembre de 2014. La mínima concentración de cadmio se presentó en el punto 33 El Arenal en Bajos de Coyula y el Arenal (0.25 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 10 Manzanilla, bahía Tangolunda (6.74 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de cadmio fue Órgano (3.08 mg kg^{-1}), y la que presento una concentración mayor fue Maguey (6.29 mg kg^{-1}).

Concentración de cadmio (análisis parcial) en diciembre, 2014. De la figura 5.26. (b) se observa que la mínima concentración se presentó en el punto 32 El Arenal, Bajos de Coyula y el Arenal (0.07 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 10 Manzanilla, bahía Tangolunda (2.89 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de cadmio fue Órgano (0.09 mg kg^{-1}) y la bahía Santa Cruz presento una concentración mayor (1.37 mg kg^{-1}).

En abril, 2013 en promedio Maguey obtuvo la máxima concentración de cadmio (análisis total y parcial), lo que coincidió en diciembre, 2014 al presentar la máxima concentración en el análisis total. En abril de 2013 Órgano registró la menor concentración (análisis parcial). En diciembre, 2014 la playa el Arenal presentó la mínima concentración (análisis total y parcial), y la playa Manzanilla la concentración máxima también en el análisis total y parcial. La bahía que obtuvo un mínimo en la concentración fue Órgano tanto en el análisis total como parcial, la concentración máxima en el análisis parcial fue en Santa Cruz.

(Estrada, 2008), reportó en sedimentos de Huatulco un rango de concentración (análisis parcial) de cadmio de 0.01 a 0.25 mg kg^{-1} . Del análisis de rocas realizado en nuestro estudio se encontró que la playa Chahué, bahía Chahué presento 6.84 mg kg^{-1} de cadmio (análisis total) y 0.11 mg kg^{-1} (análisis parcial), en la playa Punta Paraíso, bahía Santa Cruz 7.32 mg

kg^{-1} (análisis total) y 0.26 mg kg^{-1} (análisis parcial) y en la playa el Arenal, en Bajos de Coyula y el Arenal 5.02 mg kg^{-1} (análisis total) y 0.76 mg kg^{-1} (análisis parcial).

Una fuente antropogénica de cadmio son las pilas recargables de níquel cadmio (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2010) que se utilizan en calculadoras, cámaras digitales, computadoras portátiles, grabadoras, lámparas, vehículos eléctricos, aparatos médicos y telefonía, las pilas Usadas en México tienen una composición promedio en porcentaje de peso de cadmio de 13-22%. (Román, 2008).

Otra fuente antropogénica de cadmio es la combustión del carbón (Bradl, 2005; SEMARNAT, 2007; Contreras, 2011). En menor medida el cadmio se introduce al ambiente en las partículas de polvo de caucho provenientes de las ruedas de automóvil y de plásticos que contienen pigmentos coloreados de cadmio (Ramírez, 2002).

5.2.10. Mercurio

Al determinar la concentración de Hg (análisis total) el 94.4% de las muestras presentaron una concentración menor al límite de detección del método ($< \text{LDM}$) en abril de 2013 y de acuerdo a la concentración en el análisis parcial, el 56% de las muestras fueron $< \text{LDM}$. En diciembre de 2014 la concentración (análisis total) del 72.2% de las muestras fue $< \text{LDM}$ y del análisis parcial el 58.3% fue $< \text{LDM}$, por lo que el mercurio no fue considerado en los cálculos estadísticos y en la determinación del índice de geoacumulación (Igeo) y del factor de enriquecimiento (FE).

De la figura 5.27 (a) se observa que en general se presentó una mayor concentración de Hg durante el muestreo de diciembre, 2014. De la concentración (análisis total) en abril de 2013 se observa que la muestra 28 San Agustín presentó un máximo ($0.7099 \text{ mg kg}^{-1}$) pero fue la única muestra de dicha bahía, en diciembre de 2014 se presentó la máxima concentración en la primera muestra playa Magueyito (0.681 mg kg^{-1}), se observa que la bahía Conejos es la que presenta la mayoría de las concentraciones más altas de éste elemento.

Con respecto a la concentración de Hg (análisis parcial) figura 5.27 (b) el máximo se registró en la muestra 16 Santa Cruz (0.044 mg kg^{-1}) en abril de 2013 lo que se repite en diciembre de 2014 con una concentración de 0.054 mg kg^{-1} .

Las fuentes naturales de mercurio se pueden encontrar en arcos volcánico-plutónicos que pueden contener arsénico, antimonio y halos dispersos de mercurio sobre sistemas de vetas de metales preciosos (Alva-Valdivia, 2011).

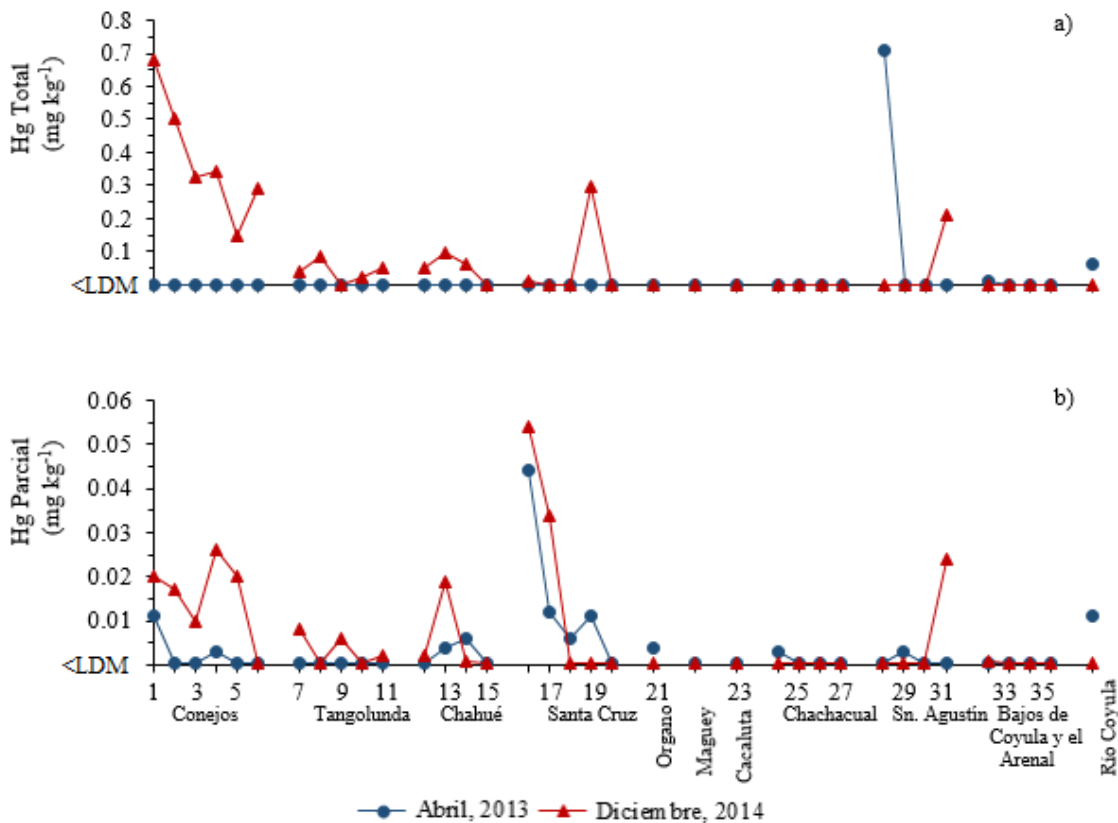


Figura 5.27 Concentración de mercurio (análisis total y parcial) durante los dos periodos de muestreo

Fuentes antropogénicas pueden incrementar la concentración de mercurio natural en los sedimentos como son las pilas desechables utilizadas en cámaras, relojes, juguetes, electrónicos, aparatos auditivos, relojes de pulsera, etc., La composición promedio en porcentaje de peso de las pilas Usadas en México es la siguiente: la alcalina miniatura 0.1-0.9% de mercurio, la zinc aire 1.0-1.4% de mercurio, la de óxido de mercurio 0.3-1.5% de

mercurio y 20-50% de óxido de mercurio, las de óxido de plata 0.3-1.0% de mercurio (Román, 2008). Otra fuente antropogénica de mercurio es la combustión del carbón (INE, 2007; Contreras, 2011).

5.2.11 Arsénico

Concentración de arsénico (análisis total) en abril, 2013. De la figura 5.28. (a) se observa que la mínima concentración de arsénico en abril 2013 se presentó en el punto 14 Consuelo, bahía Chahué (0.74 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 36 Río Coyula (3.67 mg kg^{-1}), seguida por la muestra 10 Manzanilla, bahía Tangolunda (3.09 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de arsénico total fue Órgano (0.98 mg kg^{-1}), y el río Coyula presento una concentración mayor (3.67 mg kg^{-1}) seguido por Maguey (2.19 mg kg^{-1}).

Concentración de arsénico (análisis parcial) en abril, 2013. De la figura 5.28. (b) se observa que la mínima concentración se presentó en el punto 27 Riscalillo, bahía Chachacual ($0.0002 \text{ mg kg}^{-1}$) y la máxima en la muestra 10 Manzanilla, bahía Tangolunda (2.20 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de arsénico fue Santa Cruz (0.49 mg kg^{-1}) y el río Coyula presento una concentración mayor (1.89 mg kg^{-1}), seguido de la bahía Tangolunda (1.26 mg kg^{-1}).

Concentración de arsénico (análisis total) en diciembre de 2014. La mínima concentración de arsénico se presentó en el punto 22 Maguey, bahía Maguey (0.43 mg kg^{-1}) y la máxima en la muestra 2 Conejos, bahía Conejos (2.32 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de arsénico total fue Maguey (0.43 mg kg^{-1}), el río Coyula presento una concentración máxima (1.58 mg kg^{-1}) y la bahía Conejos que presento la misma concentración que el río.

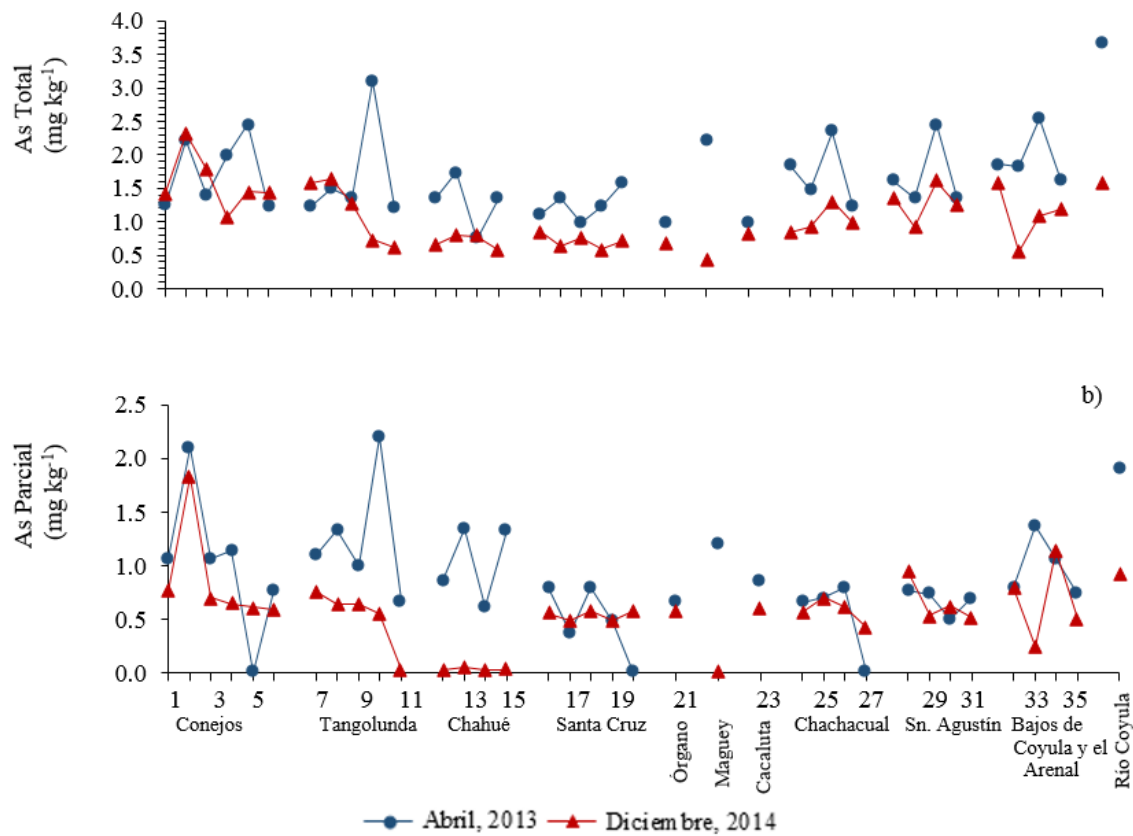


Figura 5.28 Concentración de arsénico (análisis total y parcial) durante los dos periodos de muestreo

Concentración de arsénico (análisis parcial) en diciembre, 2014. De la figura 5.28. (b) se observa que la mínima concentración de arsénico se presentó en el punto 22 Magüey ($0.0002 \text{ mg kg}^{-1}$) y la máxima en la muestra 2 Conejos, bahía Conejos (1.83 mg kg^{-1}). La bahía que en promedio obtuvo una menor concentración de arsénico fue Magüey (0.0002) y el río Coyula presento una concentración mayor (0.91 mg kg^{-1}), seguido de la bahía Conejos (0.86 mg kg^{-1}).

En abril de 2013, la playa Manzanilla en Tangolunda presentó un máximo de concentración (análisis total y parcial) de arsénico, y en promedio el río Coyula presentó la máxima concentración, seguido de Magüey (análisis total) y Tangolunda (análisis parcial). En Diciembre, 2014 Magüey presentó una mínima concentración de arsénico (análisis total y parcial), la playa Conejos registró la máxima concentración de arsénico (análisis total como

parcial). En promedio la concentración total y parcial máxima fue presentada en el río Coyula y la bahía Conejos.

Del análisis de rocas realizado en nuestro estudio se encontró que la playa Chahué, bahía Chahué presento 1.24 mg kg⁻¹ de arsénico (análisis total) y 0.21 mg kg⁻¹ (análisis parcial), en la playa Punta Paraíso, bahía Santa Cruz 0.98 mg kg⁻¹ (análisis total) y 0.21 mg kg⁻¹ (análisis parcial) y en la playa el Arenal, en Bajos de Coyula y el Arenal 1.35 mg kg⁻¹ (análisis total) y 0.23 mg kg⁻¹ parcial.

Además del As derivado de la geología propia del lugar, puede contribuir en la concentración del metal el enriquecimiento de tipo natural a través de los procesos de subducción, Aulbach, et al., 2012, reporta la posible movilización del As durante la subducción de la corteza oceánica.

En los primeros tiempos de la navegación se utilizaba cal y más tarde arsénico para recubrir los cascos de los buques (OMI, 2016), Miniussi and Pérez, 1969 reporta arsénico en pintura anti incrustante.

Otra fuente de arsénico de forma antropogénica es en pesticidas (Bataller, 2004; Kabata-Pendias and Mukherjee, 2010; Zambrano, et al., 2011). El arsénico se utiliza como aditivo en alimentos para animales (Bradl, 2005), el ácido p-arsanílico y el roxarsone se agregan al alimento de aves para controlar enfermedades, estimular el crecimiento y producción de huevos, el arsénico se encuentra en los desechos de la avicultura los cuales pueden contener hasta 40 mg kg⁻¹ (Manahan, 2007).

De las tablas 5.4. a 5.7. se observa que en abril de 2013, las bahías que presentaron una mayor concentración (análisis total) de metales fueron: Conejos (Cu), Maguey (Pb, Cd, As), San Agustín (Cr, Zn), Bajos de Coyula y el Arenal (Fe, Mn, Ni, Co), y en diciembre de 2014 Conejos (As), Santa Cruz (Ni), Órgano (Zn), Maguey (Fe, Mn, Cu, Co, Pb, Cd), Cacaluta (Cr).

Tabla 5.4 Concentración de metales (análisis total) promedio (mg kg^{-1}) por bahía durante el muestreo de abril, 2013

Bahía	Fe	Mn	Cr	Cu	Ni	Co	Pb	Zn	Cd	As
Conejos	31498	598	348	14.71	50	61	101	48	7.16	1.75
Tangolunda	13721	336	392	9.28	48	55	100	42	6.46	1.68
Chahué	6631	74	511	8.51	42	51	92	22	5.69	1.29
Santa Cruz	22130	227	252	9.59	48	60	110	326	8.25	1.25
Órgano	10086	119	429	7.77	52	61	109	198	6.54	0.98
Maguey	25325	249	148	8.53	54	60	123	523	10.36	2.19
Cacaluta	7208	77	443	7.37	47	52	102	487	6.55	0.98
Chachacual	9437	128	260	7.73	50	55	107	503	8.41	1.72
San Agustín	11773	160	400	9.96	52	57	109	585	6.93	1.69
Bajos de Coyula y el Arenal	36827	623	349	9.74	55	63	98	370	7.31	1.96
Río Coyula	51622	1026	327	7.81	72	73	101	247	7.75	3.67

Tabla 5.5 Concentración de metales (análisis total) promedio (mg kg^{-1}) por bahía durante el muestreo de diciembre, 2014

Bahía	Fe	Mn	Cr	Cu	Ni	Co	Pb	Zn	Cd	As
Conejos	6161	114	143	4.56	30	34	71	105	4.94	1.58
Tangolunda	6974	135	138	4.25	28	32	64	71	4.72	1.17
Chahué	4264	53	176	3.93	28	32	56	53	3.68	0.7
Santa Cruz	6857	104	106	4.87	42	37	70	48	5.34	0.71
Órgano	5830	95	166	4.57	29	33	61	107	3.08	0.68
Maguey	34490	549	115	6.78	41	43	76	59	6.29	0.43
Cacaluta	3415	40	197	3.73	34	31	61	22	3.49	0.82
Chachacual	3888	60	110	3.81	32	35	74	53	5.16	1.02
San Agustín	5330	62	173	4.07	29	33	61	37	4.23	1.28
Bajos de Coyula y el Arenal	11864	139	144	4.59	27	29	49	38	3.29	1.1
Río Coyula	14945	606	144	10.69	39	47	60	80	4.79	1.58

Tabla 5.6 Concentración de metales (análisis parcial) promedio (mg kg^{-1}) por bahía durante el muestreo de abril, 2013

Bahía	Fe	Mn	Cr	Cu	Ni	Co	Pb	Zn	Cd	As
Conejos	18677	113	87	4.92	7.63	5.7	4.4	10	0.43	1.02
Tangolunda	6631	107	101	3.03	8.12	4.5	4.1	9	0.40	1.26
Chahué	3588	28	128	2.86	6.73	3.0	2.1	4	0.14	1.04
Santa Cruz	7698	70	50	3.31	7.21	6.1	7.4	9	0.91	0.49
Órgano	4726	47	126	2.40	6.09	3.0	1.5	5	0.01	0.66
Maguey	3930	45	28	2.90	7.77	6.2	10.1	8	1.26	1.19
Cacaluta	3311	25	123	2.66	6.27	2.9	2.2	2	0.10	0.85
Chachacual	3428	25	68	2.38	6.87	4.7	6.0	5	0.77	0.54
San Agustín	4271	35	101	2.65	6.61	3.4	3.5	8	0.26	0.67
Bajos de Coyula y el Arenal	8138	114	106	3.52	8.12	4.7	2.3	11	0.18	0.99
Río Coyula	14217	254	83	2.45	11.79	7.5	4.0	27	0.33	1.89

Tabla 5.7 Concentración de metales (análisis parcial) promedio (mg kg^{-1}) por bahía durante el muestreo de diciembre, 2014

Bahía	Fe	Mn	Cr	Cu	Ni	Co	Pb	Zn	Cd	As
Conejos	4891	69.7	47	3.00	7.5	5.3	9.1	30	0.85	0.86
Tangolunda	5636	37.5	45	3.26	8.3	6.0	9.6	34	0.99	0.52
Chahué	3318	35.8	65	2.41	5.7	3.3	3.0	14	0.22	0.03
Santa Cruz	5967	59.2	39	2.99	8.6	7.2	12.4	24	1.37	0.53
Órgano	5099	70.1	51	2.62	4.9	3.4	2.6	14	0.09	0.57
Maguey	6923	48.0	7	0.91	6.1	5.0	12.5	2	1.36	0.0002
Cacaluta	2704	24.3	70	1.93	4.7	2.6	2.1	12	0.10	0.6
Chachacual	2834	28.0	38	2.02	8.0	5.9	11.6	9	1.22	0.58
San Agustín	3339	32.4	67	2.24	5.9	3.4	3.9	17	0.30	0.66
Bajos de Coyula y el Arenal	8724	64.1	60	3.09	7.1	4.5	3.4	16	0.27	0.67
Río Coyula	12457	32.1	37	7.67	10.7	7.3	4.2	30	0.36	0.91

Con respecto a la concentración (análisis parcial) en abril, 2013 las bahías que registraron máximos fueron Conejos (Fe, Cu), Tangolunda (Ni, As), Chahué (Cr), Santa Cruz (Cd), Maguey (Co, Pb), Bajos de Coyula y el Arenal (Mn, Ni, Zn) y en diciembre de 2014 Conejos (As), Tangolunda (Cu, Zn), Santa Cruz (Ni, Co, Cd), Órgano (Mn), Maguey (Pb), Cacaluta (Cr) y Bajos de Coyula y el Arenal (Fe).

De las gráficas 5.17-5.27 se observa que para el Fe-Mn las concentraciones máximas se encuentran en la bahía Conejos, Tangolunda, Santa Cruz y Bajos de Coyula y el Arenal, en el caso del Cu en bahía Conejos y Bajos de Coyula y el Arenal.

5.3 Análisis estadístico

A continuación se muestran las matrices de correlación entre los metales (análisis total y parcial), en los dos periodos de muestreo (tabla 5.8 y 5.9).

Tabla 5.8 Matriz de correlación (análisis total)

Matriz de correlación ($p=0.05^*$, 0.01^+ , 0.001^\ddagger)

Elementos	Fe	Mn	Cr	Cu	Ni	Co	Pb	Zn	Cd	As
Abril, 2013										
Fe	1.00									
Mn	0.92 ^{*‡}	1.00								
Cr	-	-	1.00							
Cu	0.74 ^{*‡}	0.76 ^{*‡}	-	1.00						
Ni	0.71 ^{*‡}	0.77 ^{*‡}	-0.35 [*]	0.48 ^{*+}	1.00					
Co	0.87 ^{*‡}	0.83 ^{*‡}	-	0.74 ^{*‡}	0.84 ^{*‡}	1.00				
Pb	-	-	-0.67 ^{*‡}	-	0.52 ^{*+}	0.52 ^{*+}	1.00			
Zn	-	-	-	-	-	-	-	1.00		
Cd	0.55 ^{*‡}	0.48 ^{*+}	-0.82 ^{*‡}	0.39 [*]	0.61 ^{*‡}	0.62 ^{*‡}	0.79 ^{*‡}	-	1.00	
As	0.33 [*]	0.48 ^{*+}	-	-	0.55 ^{*‡}	0.35 [*]	-	-	-	1.00
Diciembre, 2014										
Fe	1.00									
Mn	0.84 ^{*‡}	1.00								
Cr	-	-	1.00							
Cu	0.55 ^{*‡}	0.80 ^{*‡}	-	1.00						
Ni	-	-	-	0.42 [*]	1.00					
Co	-	0.51 ^{*+}	-	0.62 ^{*‡}	0.65 ^{*‡}	1.00				
Pb	-	-	-	-	0.45 ^{*+}	0.79 ^{*‡}	1.00			
Zn	-	-	-	-	-	-	-	1.00		
Cd	-	-	-0.50 ^{*+}	-	0.47 ^{*+}	0.73 ^{*‡}	0.82 ^{*‡}	-	1.00	
As	-	-	-	-	-	-	-	0.42 [*]	-	1.00

Tabla 5.9 Matriz de correlación (análisis parcial)

Matriz de correlación ($p=0.05^*$, 0.01^+ , 0.001^\ddagger)

Elementos	Fe	Mn	Cr	Cu	Ni	Co	Pb	Zn	Cd	As
Abril, 2013										
Fe	1.00									
Mn	0.82 ^{*++}	1.00								
Cr	-	-	1.00							
Cu	0.88 ^{*++}	0.75 ^{*++}	-	1.00						
Ni	0.37 [*]	0.67 ^{*++}	-	0.48 ⁺	1.00					
Co	0.77 ^{*++}	0.77 ^{*++}	-0.65 ^{*++}	0.79 ^{*++}	0.65 ^{*++}	1.00				
Pb	-	-	-0.88 ^{*++}	0.34 [*]	0.33 [*]	0.70 ^{*++}	1.00			
Zn	0.72 ^{*++}	0.87 ^{*++}	-	0.66 ^{*++}	0.64 ^{*++}	0.75 ^{*++}	-	1.00		
Cd	-	-	-0.89 ^{*++}	-	-	0.66 ^{*++}	0.98 ^{*++}	-	1.00	
As	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00
Diciembre, 2014										
Fe	1.00									
Mn	0.48 ⁺	1.00								
Cr	-	-	1.00							
Cu	0.68 ^{*++}	0.46 ⁺	-	1.00						
Ni	-	-	-0.64 ^{*++}	0.42 [*]	1.00					
Co	-	-	-0.75 ^{*++}	0.39 [*]	0.94 ^{*++}	1.00				
Pb	-	-	-0.80 ^{*++}	-	0.84 ^{*++}	0.91 [*]	1.00			
Zn	-	-	-	0.51 ⁺	0.47 ⁺	0.42 [*]	0.35 [*]	1.00		
Cd	-	-	-0.80 ^{*++}	-	0.83 ^{*++}	0.91 ^{*++}	0.99 ^{*++}	-	1.00	
As	-	-	-	0.34 [*]	0.33 [*]	-	-	0.46 ⁺	-	1.00

Las principales correlaciones en orden decreciente que se obtuvieron en abril, 2013, considerando $p = 0.001$ de acuerdo a la matriz de correlación para el análisis total (tabla 5.8.) son las siguientes:

Fe contra Mn ($r^2 = 0.92$), Co ($r^2 = 0.87$), Cu ($r^2 = 0.74$), Ni ($r^2 = 0.71$), Cd ($r^2 = 0.55$).

Mn contra Co ($r^2 = 0.83$), Ni ($r^2 = 0.77$), Cu ($r^2 = 0.76$).

Cr contra Cd ($r^2 = -0.82$), Pb ($r^2 = -0.67$).

Cu contra Co ($r^2 = 0.74$).

Ni contra Co ($r^2 = 0.84$), Cd ($r^2 = 0.61$), As ($r^2 = 0.55$).

Co contra Cd ($r^2 = 0.62$).

Cd contra Cd ($r^2 = 0.79$).

Las asociaciones detectadas en la matriz de correlación se encuentran básicamente en tres fuentes (tabla 5.10 y 5.11). La primera (factor 1) explica el 51.567% de la varianza, en la cual se asocian el Fe-Mn-Cu-Ni-Co los cuales comparten un mismo posible origen, la segunda (factor 2) explica el 20.55% de la varianza, encontrando asociados al Cr de forma negativa, Pb y Cd, por último el factor 3 que explica el 11.98% del total de la varianza, se encuentran asociados el Ni-Zn-As.

Tabla 5.10 Valores propios (eigenvalues) extracción componentes principales metales (análisis total), abril, 2013

Factor	Eigenvalue	% Total de Varianza	Eigenvalue Acumulado	% Acumulado
1	5.16	51.56	5.16	51.56
2	2.05	20.55	7.21	72.10
3	1.20	11.98	8.41	84.09

Tabla 5.11 Factores de carga de la concentración de metales (análisis total) durante abril, 2013 (factor loadings), varimax normalizado. Marked loadings > 0.5

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Fe	0.92		
Mn	0.94		
Cr		-0.87	
Cu	0.85		
Ni	0.69		0.52
Co	0.86		
Pb		0.88	
Zn			0.65
Cd		0.87	
As			0.79

La distribución espacial de los tres factores se puede observar en la figura 5.29. en la que se resalta la asociación entre el Fe-Mn-Cu-Ni-Co y el Pb-Cd.

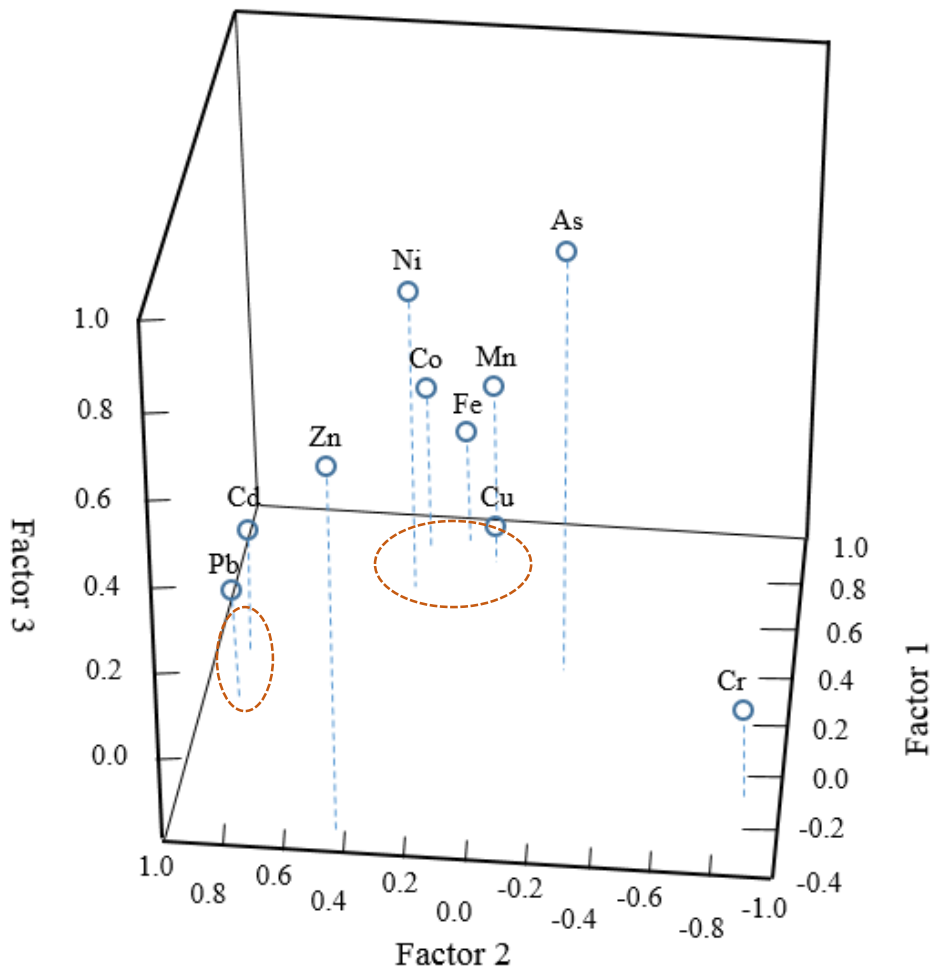


Figura 5.29 Gráfica de factor 1 contra factor 2 y 3 para metales (análisis total), abril, 2013.

Las principales correlaciones en orden decreciente que se obtuvieron en diciembre, 2014, considerando $p = 0.001$ de acuerdo a la matriz de correlación para metales (análisis total) (tabla 5.8.) son las siguientes:

Fe contra Mn ($r^2 = 0.84$), Cu ($r^2 = 0.55$).

Mn contra Cu ($r^2 = 0.80$).

Cu contra Co ($r^2 = 0.62$).

Ni contra Co ($r^2 = 0.65$).

Co contra Pb ($r^2 = 0.79$), Cd ($r^2 = 0.73$).

Pb contra Cd ($r^2 = 0.82$).

Las asociaciones detectadas en la matriz de correlación se encuentran básicamente en cuatro fuentes (tabla 5.12 y 5.13). La primera (factor 1) explica el 38.93 % de la varianza, en la cual se asocian el Ni-Co-Pb-Cd los cuales comparten un mismo posible origen, la segunda (factor 2) explica el 19.19 % de la varianza, encontrando asociados al Fe-Mn-Cu, el factor 3 que explica el 14.85 % del total de la varianza, se encuentran asociados el Zn-As por último el factor 4 que explica el 11.86 % de la varianza en el cual se encuentra el Cr y de forma negativa el Cd.

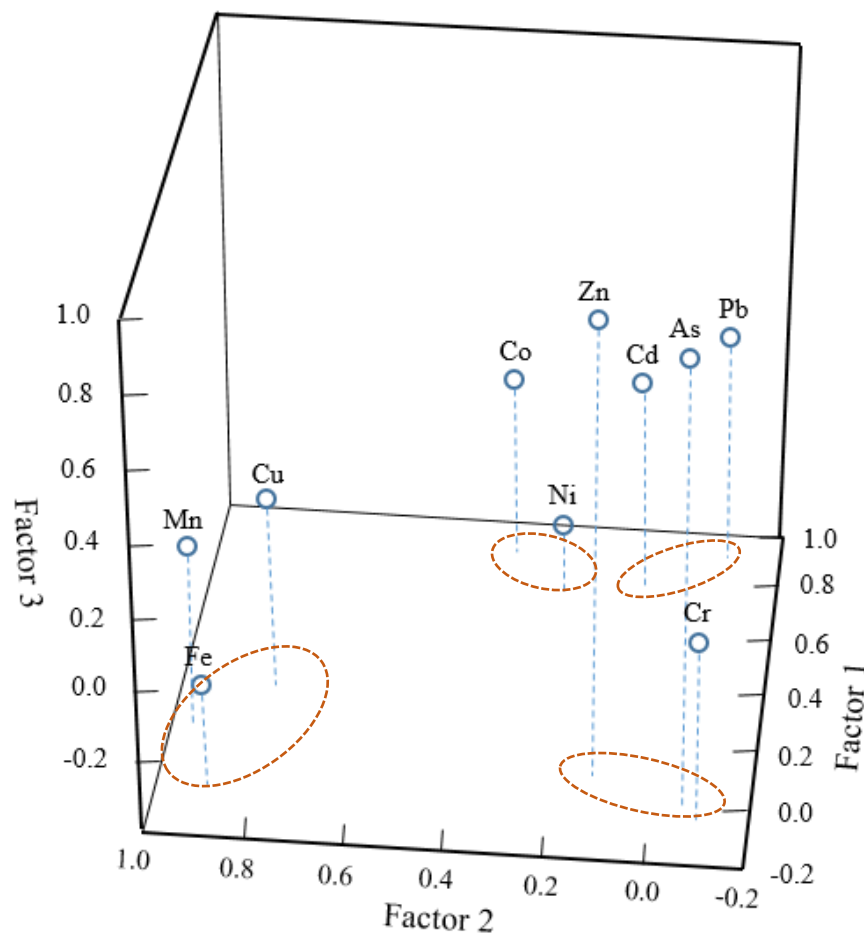
Tabla 5.12 Valores propios (eigenvalues) extracción componentes principales metales (análisis total), diciembre, 2014

Factor	Eigenvalue	% Total de Varianza	Eigenvalue Acumulado	% Acumulado
1	3.89	38.93	3.89	38.93
2	1.92	19.19	5.81	58.12
3	1.48	14.85	7.28	72.97
4	1.19	11.86	8.48	84.83

Tabla 5.13 Factores de carga de la concentración de metales (análisis total) durante diciembre, 2014 (factor loadings), varimax normalizado. Marked loadings > 0.5

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Fe		0.90		
Mn		0.95		
Cr				0.95
Cu		0.81		
Ni	0.75			
Co	0.89			
Pb	0.89			
Zn			0.83	
Cd	0.80			-0.52
As			0.82	

La distribución espacial de los factores 1, 2 y 3 se puede observar en la figura 5.30. se denota la asociación entre el Fe-Mn con el Cu, el Ni-Co, Zn-As y Pb-Cd,

**Figura 5.30** Gráfica de factor 1 contra factor 2 y 3 para metales (análisis total), Diciembre, 2014.

Las principales correlaciones en orden decreciente que se obtuvieron en abril, 2013, considerando $p = 0.001$ de acuerdo a la matriz de correlación para metales (análisis parcial) (tabla 5.9.) son las siguientes:

Fe contra Cu ($r^2 = 0.88$), Mn ($r^2 = 0.82$), Co ($r^2 = 0.77$), Zn ($r^2 = 0.72$).

Mn contra Zn ($r^2 = 0.87$), Co ($r^2 = 0.77$), Cu ($r^2 = 0.75$), Ni ($r^2 = 0.67$).

Cr contra Cd ($r^2 = -0.89$), Pb ($r^2 = -0.88$), Co ($r^2 = -0.65$).

Cu contra Co ($r^2 = 0.79$), Zn ($r^2 = 0.66$).

Ni contra Co ($r^2 = 0.65$), Zn ($r^2 = 0.64$).

Co contra Zn ($r^2 = 0.75$), Pb ($r^2 = 0.70$), Cd ($r^2 = 0.66$).

Pb contra Cd ($r^2 = 0.98$).

Las asociaciones detectadas en la matriz de correlación se encuentran básicamente en tres fuentes (tabla 5.14 y 5.15). La primera (factor 1) explica el 48.61 % de la varianza, en la cual se asocian el Fe-Mn-Cu-Ni-Co-Zn los cuales comparten un mismo posible origen, la segunda (factor 2) explica el 24.14 % de la varianza, encontrando asociados al Cr de forma negativa al Co-Pb-Cd, el factor 3 que explica el 12.05 % del total de la varianza, se encuentran asociados el Ni-As.

Tabla 5.14 Valores propios (eigenvalues) extracción componentes principales metales (análisis parcial), abril, 2013

Factor	Eigenvalue	% Total de Varianza	Eigenvalue Acumulado	% Acumulado
1	5.33	53.3	5.33	53.30
2	2.35	23.53	7.68	76.84
3	1.31	13.07	8.99	89.91

Tabla 5.15 Factores de carga de la concentración de metales (análisis parcial) durante abril, 2013 (factor loadings), varimax normalizado. Marked loadings > 0.5

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Fe	0.93		
Mn	0.93		
Cr		-0.92	
Cu	0.88		
Ni	0.59		0.63
Co	0.78	0.59	
Pb		0.97	
Zn	0.86		
Cd		0.99	
As			0.90

La distribución espacial de los factores 1, 2 y 3 se puede observar en la figura 5.31, en donde se distingue la asociación entre el Fe-Mn-Zn-Cu, del Ni-Co y Pb-Cd.

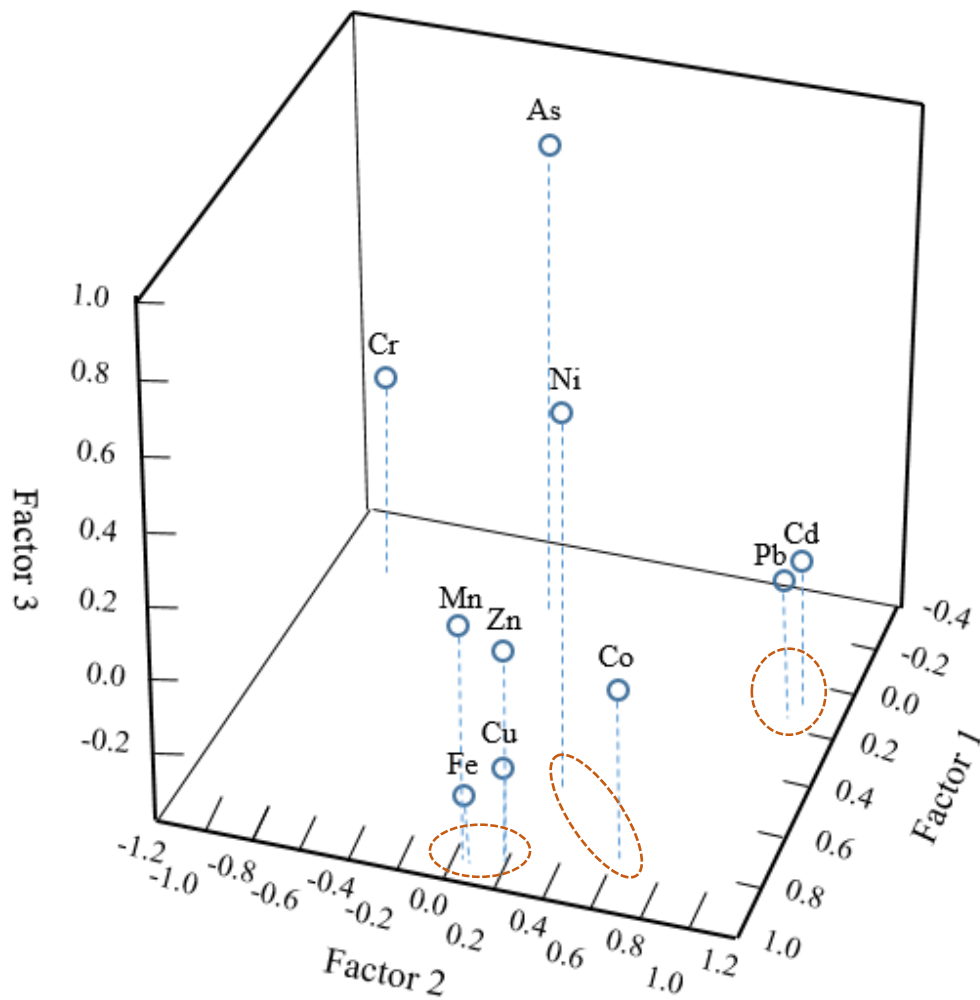


Figura 5.31 Gráfica de factor 1 contra factor 2 y 3 para metales (análisis parcial), abril, 2013.

Las principales correlaciones en orden decreciente que se obtuvieron en diciembre, 2014, considerando $p = 0.001$ de acuerdo a la matriz de correlación para metales (análisis parcial) (tabla 5.9.) son las siguientes:

Fe contra Cu ($r^2 = 0.68$).

Cr contra Ni ($r^2 = -0.64$), Co ($r^2 = -0.75$), Pb ($r^2 = -0.80$), Cd ($r^2 = -0.80$)

Ni contra Co ($r^2 = 0.94$), Pb ($r^2 = 0.84$), Cd ($r^2 = 0.83$)

Co contra Cd ($r^2 = 0.91$)

Pb contra Cd ($r^2 = 0.99$)

Las asociaciones detectadas en la matriz de correlación se encuentran básicamente en tres fuentes (tabla 5.16 y 5.17). La primera (factor 1) explica el 48.66 % de la varianza, en la cual se asocian el Cr de forma negativa, Ni-Co-Pb-Cd los cuales comparten un mismo posible origen, la segunda (factor 2) explica el 22.06 % de la varianza, encontrando asociados al Fe-Mn-Cu y el factor 3 explica el 11.66 % del total de la varianza, donde se encuentran asociados el Zn-As.

Tabla 5.16 Valores propios (eigenvalues) extracción componentes principales metales (análisis parcial), diciembre, 2014

Factor	Eigenvalue	% Total de Varianza	Eigenvalue Acumulado	% Acumulado
1	4.87	48.66	4.87	48.66
2	2.21	22.06	7.07	70.72
3	1.17	11.66	8.24	82.38

Tabla 5.17 Factores de carga de la concentración de metales (análisis parcial) durante diciembre, 2014 (factor loadings), varimax normalizado. Marked loadings > 0.5

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Fe		0.89	
Mn		0.76	
Cr	-0.87		
Cu		0.78	
Ni	0.84		
Co	0.92		
Pb	0.98		
Zn			0.77
Cd	0.99		
As			0.86

La distribución espacial de los factores 1, 2 y 3 se puede observar en la figura 5.32, se distingue la asociación entre el Fe-Mn-Cu, el Ni-Co, Zn-As y Pb-Cd.

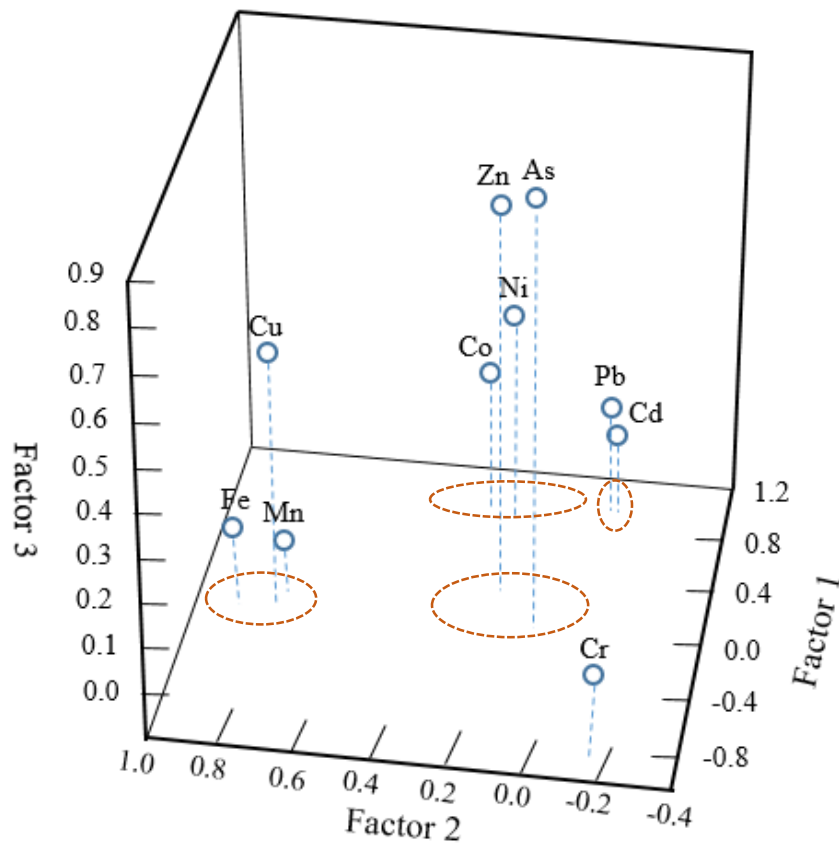


Figura 5.32 Gráfica de factor 1 contra factor 2 y 3 para metales (análisis parcial) diciembre, 2014

Del análisis de los datos anteriores se determinó que las asociaciones que se guardan en general para las cuatros determinaciones (análisis total y parcial en abril, 2013 y diciembre, 2014) son las siguientes: Fe-Mn-Cu, Ni-Co, Pb-Cd, Zn, As y Cr los cuales sugieren un origen en común.

Factor Fe-Mn-Cu. La asociación de Fe-Mn y Cu se puede observar en el factor 1 en el caso de la concentración de metales (análisis total y parcial) de abril, 2013, y en el factor 2 en el análisis total y parcial de diciembre de 2014.

Las playas que registraron mayor concentración de estos metales fueron la muestra 5 Tejoncito (Fe, Mn, Cu), 6 Mixteca (Mn, Cu), 22 Maguey (Fe, Mn), 34 Boca Vieja (Fe, Cu).

La asociación anterior de metales se deriva de una fuente natural, derivada posiblemente de la erosión de las rocas locales presentes, en nuestra área de estudio se han encontrado piroxenos, anfíboles, las impurezas de la clinozoisita, micas, el granate y turmalina (tabla 2.1) que contienen Fe-Mn, en zonas de subducción se puede encontrar Cu (Alva-Valdivia, 2011), como en el caso de las Bahías de Huatulco.

Factor Ni-Co. La asociación de Ni-Co se puede observar en el factor 1 asociado con el Fe, Mn y Cu para el caso de la concentración de metales (análisis total y parcial) de abril, 2013. Para el análisis total y parcial de metales en diciembre, 2014 se encuentra en el Factor 1 asociado al Pb y Cd, y asociado de forma negativa al Cr solamente al realizar el análisis parcial, lo que nos puede hablar de que no se derivan de una sola fuente similar.

El Ni asociado al Fe, Mn, Cu y Co considerando el análisis total presento una carga de 0.69 y del análisis parcial de 0.59, en abril, 2013, en este mismo periodo de muestreo el Ni también se asoció al As tanto en el análisis total como el parcial con una carga de 0.52 y de 0.63 respectivamente.

Considerando la concentración (análisis parcial) en abril de 2013 el Co está asociado al Fe, Mn, Cu y Ni con una carga de 0.78, pero también se asoció al Pb, Cd y Cr (-) con carga de

0.59. Lo anterior sugiere que la concentración natural de Ni y Co puede estar enriquecida de forma antropogénica.

La asociación anterior de metales se deriva de la propia geología de la zona, en el área de estudio se han encontrado anfíboles que pueden contener Ni-Co (tabla 2.1.), además de una contribución antropogénica, por ejemplo de las pilas recargables desechables y la combustión del carbón.

Las playas que registraron mayor concentración de estos metales fueron la muestra 5 Tejoncito (Ni, Co), 10 Manzanilla (Ni, Co), 17 Santa Cruz (Ni, Co) y 34 Boca Vieja (Ni). Lo cual probablemente pueda estar relacionado con las actividades del hombre como el turismo, y la influencia del río Coyula, la playa Tejoncito se encuentra en Bahía Conejos, es la bahía más cercana al río Copalita, se desarrolla agricultura y se encuentra el desarrollo hotelero Bahía de Conejos, donde hay hoteles como el Secrets Huatulco Resort & Spa, Celeste Beach Residences & Spa, Villas Fa-Sol y Agua Azul la Villa, la playa Manzanilla se encuentra en la bahía Tangolunda donde se encuentran hoteles como el Barceló, Plaza Tangolunda y María Isabel Huatulco, Santa Cruz también es zona turística y se encuentra el embarcadero, y en Boca Vieja se desarrolla la agricultura, la playa está cercana al río Coyula y al estero La Salina. .

Factor Pb-Cd. En abril de 2013, la asociación de Pb-Cd se puede observar en el Factor 2 asociado al Cr (-) en la concentración de metales (análisis total y parcial) en este último también se asocia al Co. En diciembre, 2014 en el factor 1 en el análisis total asociado al Ni y Co, y también en el factor 1 en el análisis parcial, asociado al Ni, Co y Cr (-).

La concentración promedio de Cd en sedimentos (análisis total) es de 5.8 mg kg^{-1} y 0.56 mg kg^{-1} (análisis parcial), el promedio obtenido de las muestras de roca es de 6.4 mg kg^{-1} (análisis total) y 0.38 mg kg^{-1} (análisis parcial). La concentración de Cd ambientalmente disponible (análisis parcial) en los sedimentos es mayor a la de la roca, lo que sugiere el enriquecimiento en los sedimentos.

Por la asociación de metales, se sugiere que el origen natural de la concentración de Pb y Cd es enriquecido por una contribución antropogénica derivada de pilas recargables, alfarería, combustión de carbón, plásticos y caucho.

Las playas que registraron mayor concentración de estos metales fueron la muestra 6 La Mixteca (Pb), 10 Manzanilla (Pb, Cd), 16 Santa Cruz (Pb), 24 La India (Pb, Cd) y 27 Riscalillo (Cd). La playa Mixteca se encuentra en la Bahía Conejos que como se mencionó anteriormente está influenciada por el río Copalita y el turismo, La playa Manzanilla se encuentra en la bahía Tangolunda, que al igual que en Santa Cruz se desarrollan actividades turísticas, cerca de la playa Santa Cruz se encuentra La Crucecita en donde se concentra mayor población, las playas La India y Riscalillo pertenecen a la bahía Chachacual que se encuentra dentro del PNH.

Factor Cr. El Cr se encuentra en el factor 2 asociado al Pb y Cd de una forma negativa en el análisis total de abril, 2013, en el factor 2 asociado al Co, Pb y Cd también de manera negativa en el análisis parcial de abril, 2013, en el Factor 4 asociado al Cd (-) en el análisis total de metales en diciembre de 2014 y por último en el análisis parcial de este último muestreo en el factor 1 asociado de forma negativa al Ni, Co, Pb y Cd.

La concentración promedio de Cr en sedimentos (análisis total) es de 250 mg kg⁻¹ y 70 mg kg⁻¹ (análisis parcial), el promedio obtenido de las muestras de roca es de 203 mg kg⁻¹ (análisis total) y 50 mg kg⁻¹ (análisis parcial). Examinando las concentraciones en los puntos donde se muestrearon las rocas se observa que en Chahué la concentración (análisis total) de sedimento es de 462 mg kg⁻¹ y 137 mg kg⁻¹ (análisis parcial) y de la roca en ese punto es de 377 mg kg⁻¹ (análisis total) y 96 mg kg⁻¹ (análisis parcial), la concentración en los sedimentos es mayor que en la roca. En Punta Paraíso en el sedimento: 204 mg kg⁻¹ (análisis total) y 36 mg kg⁻¹ (análisis parcial) y de la roca en ese punto es de 153 mg kg⁻¹ (análisis total) y 32 mg kg⁻¹ (análisis parcial), nuevamente la concentración en sedimentos es mayor que en la roca, por último en el sedimento de la playa Arenal: 135 mg kg⁻¹ (análisis total) y 67.6 mg kg⁻¹ de (análisis parcial) y en la roca 80 mg kg⁻¹ (análisis total) y 24 mg kg⁻¹ de (análisis parcial). Al comparar la concentración de sedimentos y rocas en tres puntos de las bahías de Huatulco se

encontró que la concentración de sedimentos es mayor que en las rocas. Lo que sugiere que además del origen geológico del cromo (micas, piroxenos y anfíboles) hay un enriquecimiento natural en los sedimentos principalmente por ser una zona de subducción y probablemente en menor medida puede ser influenciada por las actividades de talabartería y la combustión de carbón.

En zonas de venas eclogitas en condiciones de alta presión interaccionan fluidos y rocas en zonas de subducción donde se llevan cantidades de metales de transición que contribuyen al metal fundente y finalmente en arcos de sistemas magmáticos en donde resultan depósitos de minerales relacionados, hay una reducción de elementos como K-Rb-Ba y una moderada reducción de tierras raras y elementos de transición que incluyen Fe, Cu, Ni, Zn, Co, Cr y Mn, y un enriquecimiento de CaO, Sr, Pb y S. Las zonas de subducción transportan metales solubles responsables de depósitos de Cu y Au (You, 1996; Li, et al., 2013).

Factor Zn. De acuerdo al análisis total y parcial de metales (diciembre, 2014) el Zn se encuentra asociado al As en el factor 3. El Zn que se encuentra de forma natural (anfíboles y estauroлита) puede ser enriquecido por fertilizantes, pilas desechables y pintura anti incrustante ocupada en embarcaciones.

Las playas que registraron mayor concentración de Zn fueron 1 Magueyito, 3 Arena, 5 Tejoncito, que pertenecen a la misma bahía (Conejos) y la muestra 30 San Agustín.

Factor As. En abril de 2013, de acuerdo a la concentración de metales (análisis total) el As está asociado al Ni-Zn en el factor 3, de acuerdo al análisis parcial se encuentra asociado al Ni también en el factor 3, del muestreo de diciembre de 2014 el As se encuentra asociado al Zn en el factor 3 (análisis total y parcial).

De la figura 5.28. (u), podemos observar que las bahías que tienen una mayor concentración de As (análisis total) en abril, 2013 son Conejos y Bajos de Coyula y el Arenal, donde se realizan actividades de agricultura donde probablemente la concentración natural de As puede incrementarse por el uso de pesticidas y aditivos en el alimento para animales, en

Tangolunda y San Agustín, que son bahías turísticas, probablemente se enriquezca la concentración de As natural a través de la pintura anti incrustante de botes y en Chachacual por actividades que se realicen cerca del arroyo Pozolla.

5.4 Fracción biodisponible

El análisis parcial permite extraer los metales que fácilmente se pueden reincorporar de la fase sólida a la líquida y afectar a los sistemas vivos, sin que necesariamente se sepa la forma química en que se encuentra el metal, ésta fracción se conoce como fracción biodisponible. Los metales en la fracción biodisponible están usualmente asociados con metales originados de aportes antrópicos, que se depositan en los sedimentos por procesos de adsorción y complejación química. La biodisponibilidad de una pequeña fracción originada de altas concentraciones de metales traza en los sedimentos, puede tener un impacto considerable en algunos organismos (Botello, et al., 2005). A continuación se muestra el porcentaje de la concentración de metal total presente como fracción potencialmente biodisponible.

Hierro. Fracción biodisponible en abril, 2013. La playa que presento una menor fracción biodisponible fue la muestra 33 El Arenal de Bajos de Coyula y el Arenal (12.87 %) y la de mayor fue la 5 Tejoncito (97.81 %). En la tabla 5.18 y 5.19 se muestra el porcentaje de fracción biodisponible promedio en cada bahía en los muestreos de abril, 2013 y diciembre, 2014 respectivamente. En promedio la bahía que registro una menor fracción fue Maguey (15.52 %) y la de mayor fue Conejos (56.00 %).

Fracción biodisponible en diciembre, 2014. La playa que presento una menor fracción biodisponible fue la muestra 22 Maguey (20.07 %) y la de mayor fue 20 El Violín (100 %) de la bahía Santa Cruz. En promedio la bahía que registró una menor fracción fue Maguey (20.07 %) y la de mayor fue Órgano (87.47 %).

Se observa que la bahía Maguey presentó la menor fracción biodisponible durante los dos periodos de muestreo.

Manganeso. Fracción biodisponible en abril, 2013. La playa que presentó una menor fracción biodisponible fue la muestra 1 Magueyito, bahía Conejos (9.49 %) y la de mayor fue 11 Arrocito, bahía Tangolunda (55.45 %). En promedio la bahía que registro una menor fracción fue Maguey (17.88 %) y la de mayor fue Órgano (39.28 %).

Fracción biodisponible en diciembre, 2014. El río Coyula presentó la menor fracción biodisponible con un valor de 5.30%, después le siguió la playa 22 Maguey con 8.75 % y la de mayor fue la muestra 20 El Violín de la bahía Santa Cruz (88.70 %). En promedio la bahía que registró una menor fracción fue Maguey (8.75 %) y el punto de mayor fracción fue Órgano (73.86 %).

La bahía que presentó una menor fracción biodisponible fue Maguey durante los dos periodos de muestreo.

Tabla 5.18. Porcentaje de fracción biodisponible promedio en cada bahía durante el muestreo de abril, 2013.

Bahía	Fe	Mn	Cr	Cu	Ni	Co	Pb	Zn	Cd	As
Conejos	56.00	32.52	25.71	30.49	15.29	8.57	4.15	17.55	4.97	62.74
Tangolunda	49.86	38.47	26.00	32.15	16.77	8.07	4.05	21.92	6.08	75.58
Chahué	54.18	37.84	25.21	33.68	16.12	5.95	2.22	17.58	2.41	81.04
Santa Cruz	45.96	38.06	18.42	34.33	15.03	10.06	6.69	11.53	10.72	44.15
Órgano	46.86	39.28	29.38	30.97	11.68	4.92	1.40	2.72	0.12	67.80
Maguey	15.52	17.88	18.77	34.05	14.48	10.38	8.22	1.61	12.24	54.61
Cacaluta	45.94	32.74	27.74	36.19	13.30	5.59	2.13	0.49	1.53	87.44
Chachacual	38.94	23.71	22.56	30.87	13.80	8.46	5.25	0.96	7.76	29.35
San Agustín	37.63	24.21	25.19	26.65	12.88	5.96	3.02	1.41	3.61	43.40
Bajos de Coyula y el Arenal	23.40	21.02	30.61	35.26	14.56	7.46	2.38	3.28	2.43	51.24
Río Coyula	27.54	24.76	25.38	31.36	16.42	10.25	3.92	10.97	4.26	51.73

Tabla 5.19 Porcentaje de fracción biodisponible promedio en cada bahía durante el muestreo de diciembre, 2014.

Bahía	Fe	Mn	Cr	Cu	Ni	Co	Pb	Zn	Cd	As
Conejos	78.07	61.70	32.90	67.69	24.47	15.32	12.73	30.12	15.18	52.60
Tangolunda	79.45	43.81	33.66	77.52	29.34	18.71	14.39	49.35	18.17	43.17
Chahué	77.33	65.04	36.75	58.56	20.55	10.29	5.59	27.60	5.84	4.74
Santa Cruz	85.97	59.43	36.43	60.83	24.62	19.62	17.65	49.52	24.64	75.58
Órgano	87.47	73.86	30.65	57.51	16.89	10.44	4.20	13.23	3.11	82.97
Maguey	20.07	8.75	6.44	13.44	14.93	11.57	16.45	3.92	21.75	0.05
Cacaluta	79.18	61.17	35.63	51.66	13.66	8.54	3.42	53.30	3.09	73.45
Chachacual	74.71	49.55	35.39	52.85	24.48	16.84	15.56	17.52	21.38	58.12
San Agustín	63.86	53.19	38.72	55.29	20.40	10.22	6.19	45.50	6.87	52.35
Bajos de Coyula y el Arenal	71.47	46.51	47.70	69.75	39.78	33.55	27.34	40.76	28.38	60.23
Río Coyula	83.35	5.30	25.36	71.82	27.29	15.60	6.98	37.52	7.51	57.98

Cromo. Fracción biodisponible en abril, 2013. La muestra 24 La India que se encuentra en la bahía Chachacual presentó la menor fracción biodisponible con un valor de 9.08% y la de mayor valor fue la 3 Arena de bahía Conejos con un 55.97 %. En promedio la bahía que registro una menor fracción fue Santa Cruz (18.42 %) y la de mayor Bajos de Coyula y el Arenal con 30.61 %.

Fracción biodisponible en diciembre, 2014. La playa que presentó una menor fracción biodisponible fue la muestra 22 Maguey con 6.44 % y el porcentaje mayor se registró en la muestra 33 El Arenal con 83.98 %. En promedio la bahía que registró una menor fracción fue Maguey (6.44 %) y la de Bajos de Coyula y el Arenal (47.70 %).

Bajos de Coyula y el Arenal presentó el mayor porcentaje biodisponible durante los dos periodos de muestreo.

Cobre. Fracción biodisponible en abril, 2013. La muestra 28 San Agustín presentó el mínimo porcentaje (22.89 %) y la de mayor fracción fue 5 Tejoncito, bahía Conejos (41.98 %). En promedio la bahía con un menor porcentaje fue San Agustín con 26.65 % y la que presentó una mayor fracción Cacaluta con el 36.19 %.

Fracción biodisponible en diciembre, 2014. La playa que presentó una menor fracción biodisponible fue la muestra 22 Maguey (13.44 %) y la de mayor fracción fue 9 Tornillo, bahía Tangolunda con 96.91 %. En promedio la bahía Maguey registro una menor fracción (13.44 %) y la que presenta una mayor fracción fue Tangolunda (77.52 %).

Níquel. Fracción biodisponible en abril, 2013. La muestra 31 San Agustín presentó una menor fracción biodisponible (9.99 %) y la de mayor fracción fue 34 Boca Vieja con el 19.23 %. En promedio la bahía Órgano presentó una menor fracción (11.68 %) y la que presentó una mayor fracción fue Tangolunda (16.77 %).

Fracción biodisponible en diciembre, 2014. La muestra 17 Santa Cruz presentó una menor fracción biodisponible (9.00 %) y la de mayor fracción fue 33 El Arenal (93.68 %). En promedio Cacaluta registró una menor fracción (13.66 %) y la que presenta una mayor fracción fue Bajos de Coyula y el Arenal (39.78 %).

Cobalto. Fracción biodisponible en abril, 2013. La muestra 21 Órgano presentó una mínima fracción biodisponible (4.92 %) y la de mayor fracción fue 5 Tejoncito que pertenece a la bahía Conejos con el 14.31 %. En promedio Órgano registro una menor fracción (4.92 %) y la que presenta una mayor fracción fue Maguey (10.38 %).

Fracción biodisponible en Diciembre, 2014. La muestra 3 Arena presento una mínima fracción biodisponible (7.54 %) y la de mayor fracción fue 33 El Arenal (97.17 %). En promedio Cacaluta registró una menor fracción (8.54 %) y la que presenta una mayor fracción fue Bajos de Coyula y el Arenal (33.55 %).

Plomo. Fracción biodisponible en abril, 2013. La muestra 4 Punta Arena de la bahía Conejos presentó una mínima fracción biodisponible (1.37 %) y la de mayor fracción fue 16 Santa Cruz (10.37 %). En promedio Órgano registro una menor fracción (1.40 %) y la que presenta una mayor fracción fue Maguey (8.22 %).

Fracción biodisponible en Diciembre, 2014. La muestra 3 Arena presento una mínima fracción biodisponible (2.92 %) y la de mayor fracción fue 33 El Arenal (92.60 %). En promedio Cacaluta registró una menor fracción (3.42 %) y la que presenta una mayor fracción fue Bajos de Coyula y el Arenal (27.34 %).

Cinc. Fracción biodisponible en abril, 2013. La muestra 23 Cacaluta, presentó una mínima fracción biodisponible (0.49 %) y la de mayor fracción fue la muestra 9 Tornillo, bahía Tangolunda (30.48 %). En promedio Cacaluta registro una menor fracción (0.49 %) y la que presenta una mayor fracción fue Tangolunda con un 21.92 %.

Fracción biodisponible en diciembre, 2014. La muestra 22 Maguey presentó una mínima fracción biodisponible (3.92 %) y la de mayor fracción fue 28 San Agustín (76.15 %). En promedio Maguey registró una menor fracción (3.92%) y la que presenta una fracción máxima fue Cacaluta (53.30%).

La bahía Cacaluta en promedio durante el muestreo del mes de abril, 2013 presentó el menor porcentaje de biodisponibilidad en cambio durante el muestreo de diciembre de 2014 presentó el máximo porcentaje de fracción biodisponible.

Cadmio. Fracción biodisponible en abril, 2013. La muestra 21 Órgano presentó una mínima fracción biodisponible (0.12 %) y la de mayor fracción fue 16 Santa Cruz (15.85 %). En promedio Órgano registró una menor fracción (0.12 %) y la que presenta una mayor fracción fue Maguey (12.24%).

Fracción biodisponible en diciembre, 2014. La muestra 3 Arena presentó una mínima fracción biodisponible (1.99 %) y la de mayor fracción fue 33 El Arenal (95.24 %). En promedio Cacaluta registró una menor fracción (3.09 %) y la que presenta una mayor fracción fue Bajos de Coyula y el Arenal (28.38 %).

Arsénico. Fracción biodisponible en abril, 2013. La muestra 5 Tejoncito presentó una mínima fracción biodisponible (0.01 %) y la de mayor fracción fue 15 Chahué (99.03 %). En

promedio Chachacual registró una menor fracción (29.35 %) y la que presenta una mayor fracción fue Cacaluta (87.44 %).

Fracción biodisponible en diciembre, 2014. La muestra 22 Maguey presentó una mínima fracción biodisponible (0.05 %) y la máxima fracción fue en la muestra 34 Boca Vieja (100 %). En promedio Maguey registró una menor fracción (0.05 %) y la que presenta una mayor fracción fue Órgano (82.97 %).

De acuerdo a los resultados las muestras en que hay que colocar un mayor énfasis son las que presentaron máximos en el porcentaje de fracción potencialmente biodisponible, esto es en la bahía Conejos la playa 3 Arena (Cr en abril, 2013) y 5 (Fe, Cu y Co en abril, 2013); en la bahía Tangolunda en la playa Tornillo (Cu en diciembre, 2014 y Zn en abril, 2013) y la playa 11 Arocito (Mn abril, 2013); en la bahía Chahué en la playa 15 Chahué (As abril, 2013); en bahía Santa Cruz playa 16 Santa Cruz (Pb y Cd en abril, 2013) y 20 El Violín (Fe y Mn en diciembre, 2014); bahía San Agustín playa 28 San Agustín (Zn en diciembre, 2014) y por último en Bajos de Coyula y el Arenal en la playa El Arenal (Cr, Ni, Co, Pb y Cd en diciembre, 2014), se observa que en las bahías Órgano, Cacaluta y Chachacual que pertenecen al Parque Nacional Huatulco, no se presentan los valores máximos de fracciones biodisponibles. En la figura 5.33 y 5.34 se pueden observar las gráficas correspondientes.

Considerando el promedio de la fracción biodisponible durante los dos periodos de muestreo se tiene la siguiente secuencia de forma decreciente, en abril, 2013 $As > Fe > Cu > Mn > Cr > Ni > Zn > Co > Cd > Pb$, y de acuerdo a los resultados de diciembre, 2014 $Fe > Cu > Mn > As > Zn > Cr > Ni > Co > Cd > Pb$. De lo anterior se observa que las mayores fracciones biodisponibles corresponden al aporte de tipo natural (Fe, Cu, Mn, Cr) excepto el As en abril de 2013.

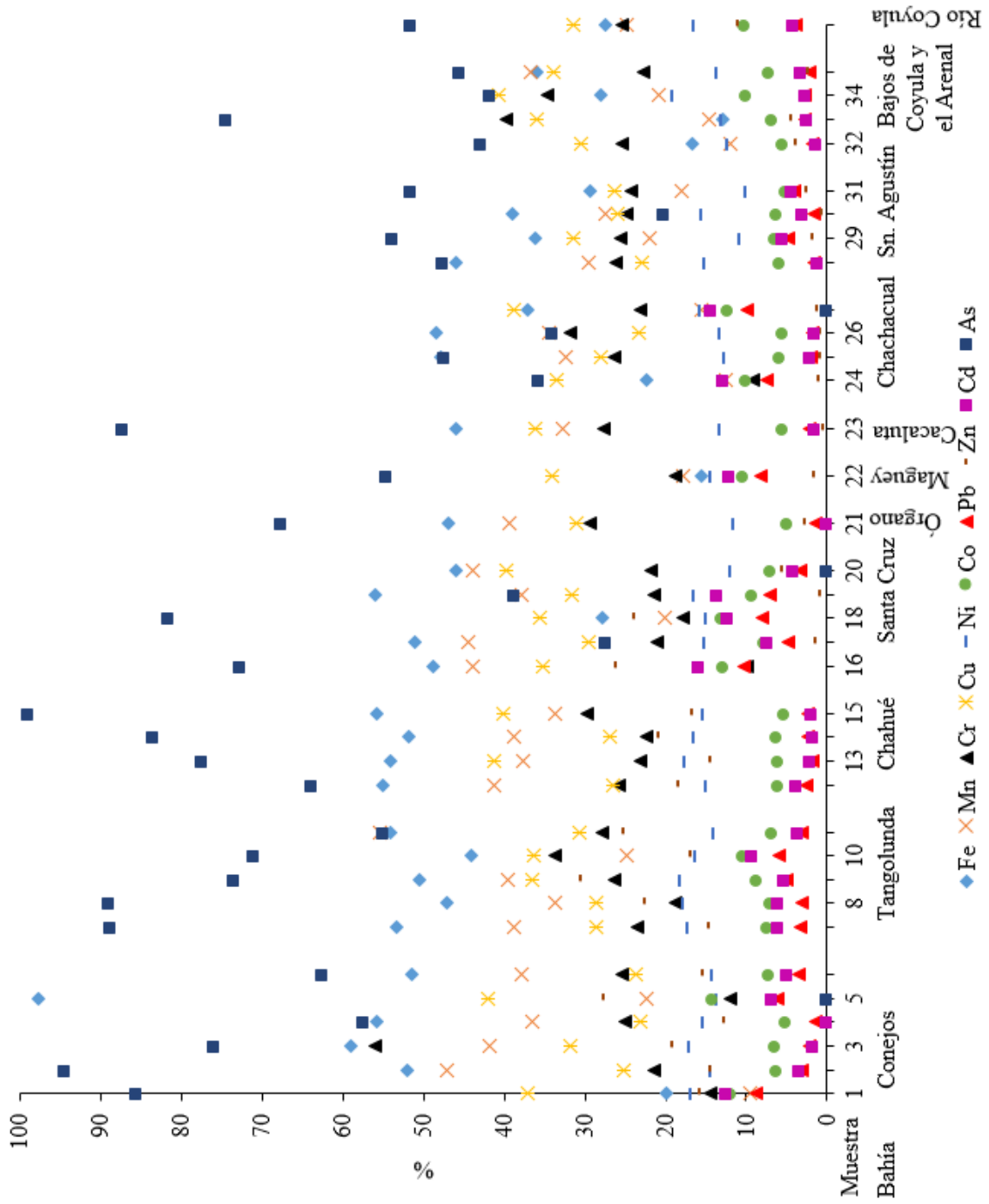


Figura 5.33 Porcentaje de fracción biodisponible de cada metal en las muestras durante el muestreo de abril, 2013

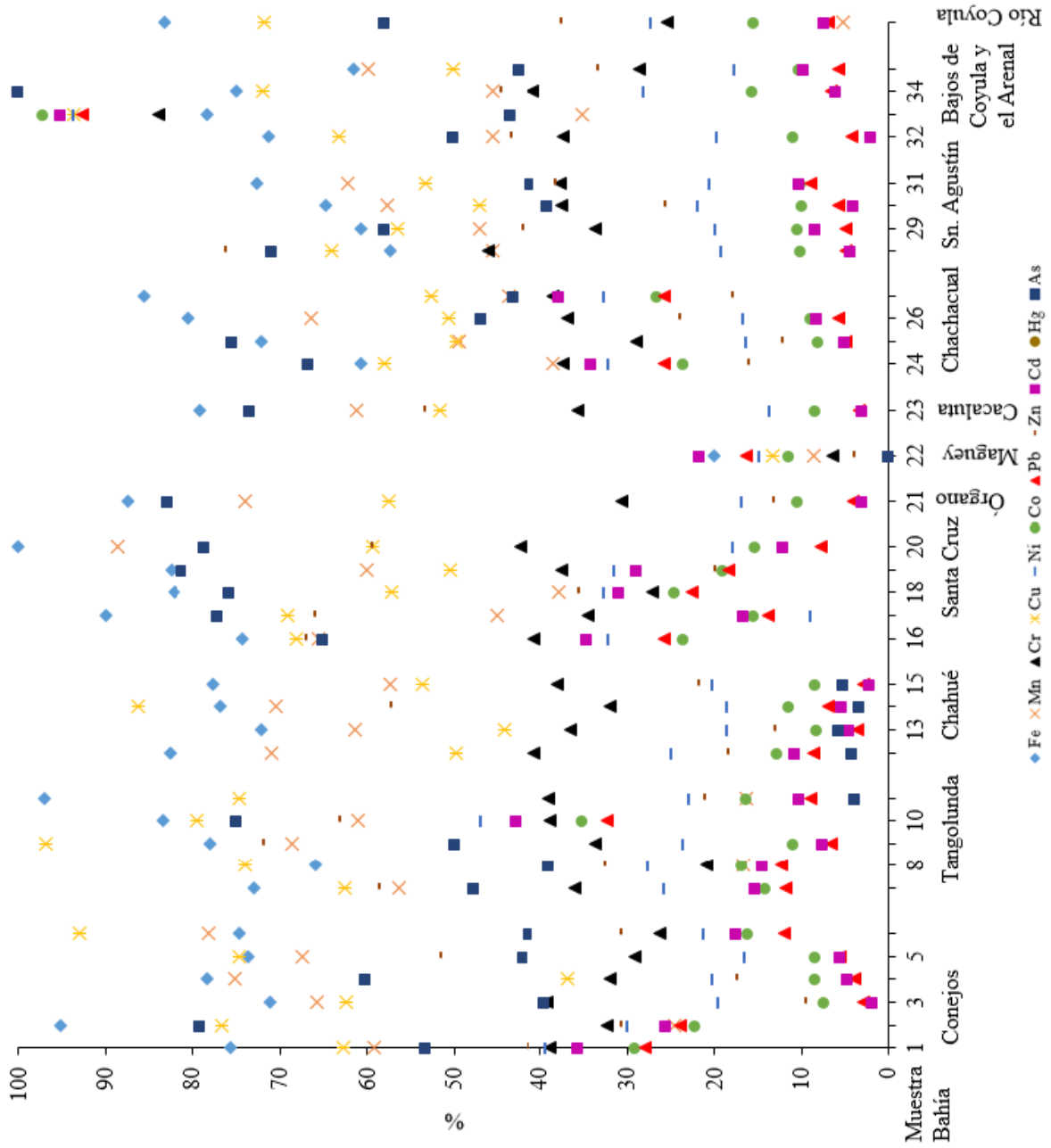


Figura 5.34 Porcentaje de la fracción biodisponible de cada metal en las muestras durante diciembre, 2014

5.5 Índices de enriquecimiento

Para evaluar el enriquecimiento de metales en los sedimentos se calculó el índice de geoacumulación y el factor de enriquecimiento, para realizar los cálculos se consideró el punto que presentó una mínima concentración de Fe, esta fue la muestra 19 La Entrega, en la que se observó la menor concentración de dicho metal tanto en el análisis total como parcial durante los dos periodos de muestreo.

Índice de geoacumulación

La tabla 3.7 muestra el rango de valores del Igeo que describen la contaminación que presenta un sedimento, como se observa en las figuras 5.35 y 5.36 el Fe y Mn se encuentran desde la clase cero (no contaminado) hasta la clase cinco (de fuertemente a extremadamente contaminado) lo cual nos indica un proceso de erosión de las rocas que se encuentran en la localidad, las cuales proporcionan Fe y Mn derivados de piroxenos, anfíboles y micas, entre otros.

El Cu se encuentra desde la clase cero (no contaminado) hasta la clase dos (moderadamente contaminado) lo que nos habla del desgaste de minerales como la biotita propia de zonas de subducción.

El Ni considerando el análisis total presenta el 2.8 % en la clase 1 (de no contaminado a moderadamente contaminado) en abril, 2013 y diciembre, 2014 el 2.8 % se encuentra en la clase 2 (moderadamente contaminado). De acuerdo a la concentración de metales (análisis parcial) en abril, 2013 el 5.6 % está en la clase 1 y en diciembre de 2014 el 2.8 % está en la clase 1. Lo que sugiere la erosión de las rocas y la influencia de actividades antropogénicas como la combustión del carbón y del inadecuado desecho de residuos como las pilas recargables, para tener un índice de geoacumulación máximo de moderadamente contaminado.

Considerando la concentración de metales (análisis total) el Co registró el 2.8 % en la clase 1, en abril, 2013, de acuerdo al análisis parcial se determinó que el 8.3 % pertenece a la clase 1 en abril, 2013 y en esta misma clase con el 2.8 % en diciembre de 2014, en general presenta un índice de geoacumulación de no contaminado a moderadamente contaminado.

El As de acuerdo al análisis total presentó el 27.8 % en la clase 1 en abril de 2013, en diciembre de 2014 el 52.8% en la clase 1 y el 2.8 % en la clase 2, de acuerdo al análisis parcial se encontró el 58.3% en la clase 1 y el 8.3% en la clase 2, en abril de 2013 y el 16.7 % en la clase 1 y el 2.8 % en la clase 2 en diciembre de 2014. Lo que sugiere la adsorción de As en la superficie de minerales maficos, y la contribución antropogénica a través la utilización de pintura anti incrustante en botes, pesticidas y aditivos en alimentos para animales.

De acuerdo a la concentración de metales (análisis total) el Zn presentó 30.6% en la clase 1 en diciembre, 2014, considerando los metales (análisis parcial) el 38.9% se encuentra en la clase 1 y el 8.3% en la clase 2 en abril, 2013, en diciembre de 2014 el 22.2% en la clase 1 y el 36.1% en clase 2, lo que nos habla del enriquecimiento de Zn derivado del desgaste de minerales como los anfíboles y de la contribución antropogénica por el uso de pilas, pintura anti incrustante y fertilizantes.

Considerando la concentración de metales (análisis parcial) en diciembre, 2014 el Pb registró el 8.3% en la clase 1 y el Cd el 5.6% en la misma clase.

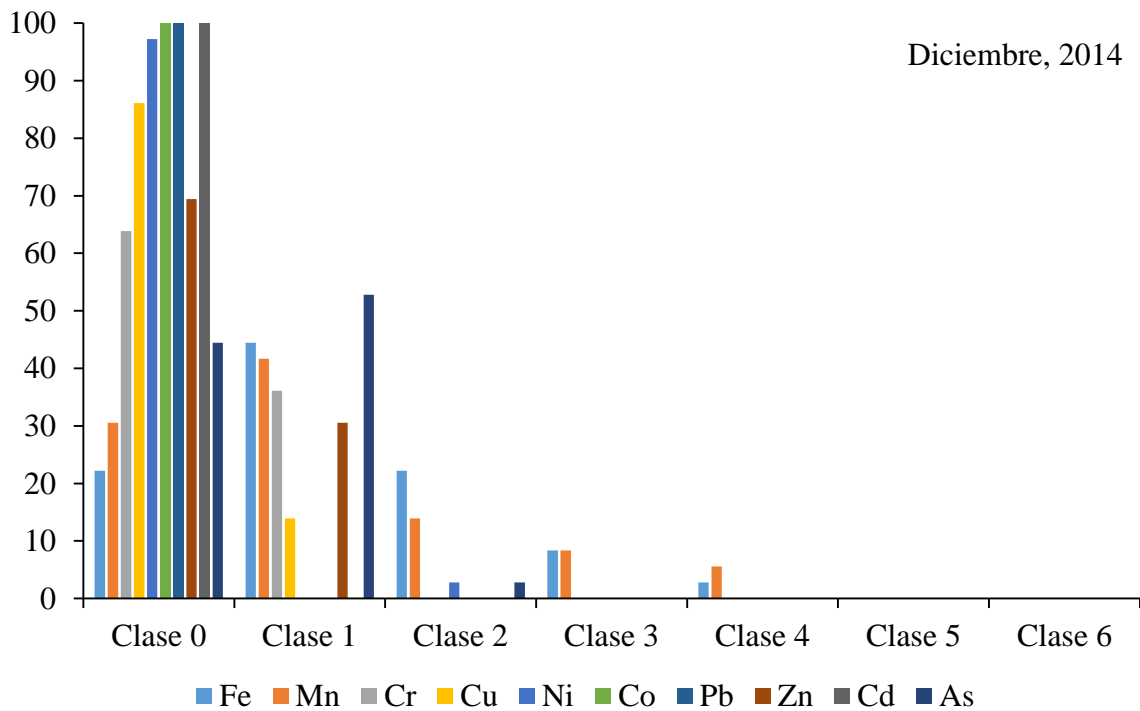
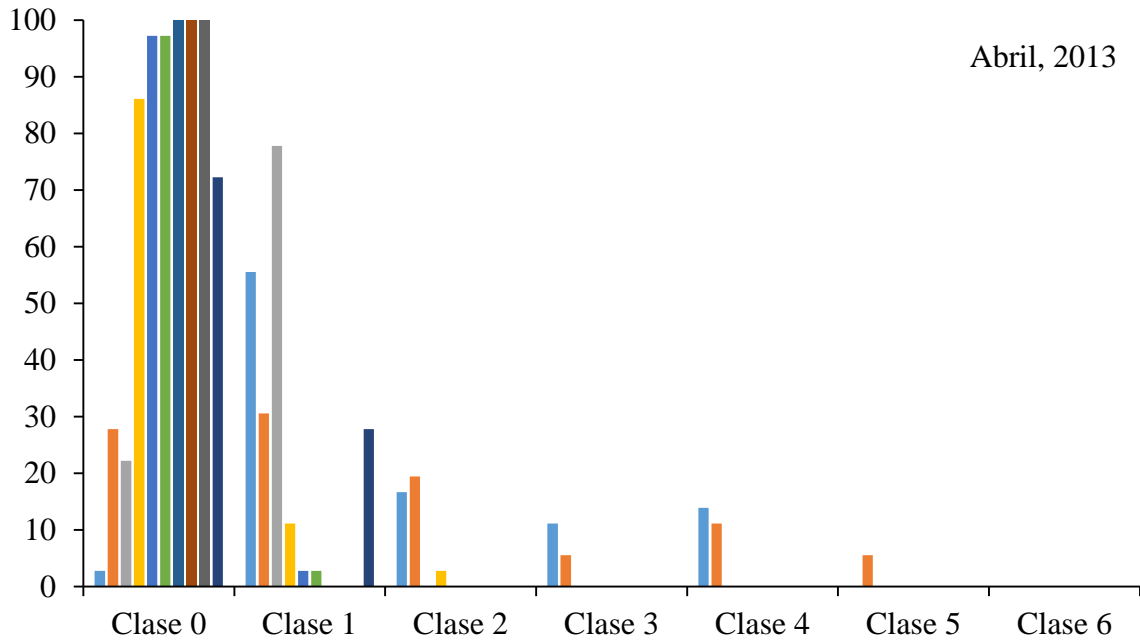


Figura 5.35 Índice de geoacumulación para metales (análisis total) en general para todas las muestras.

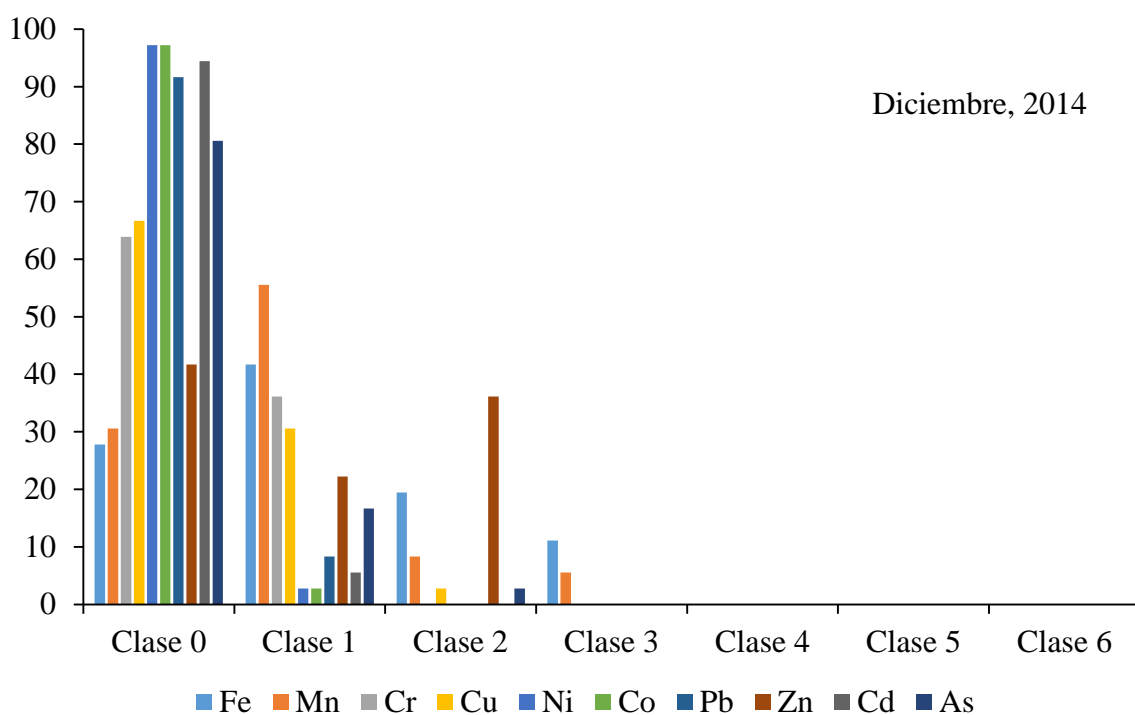
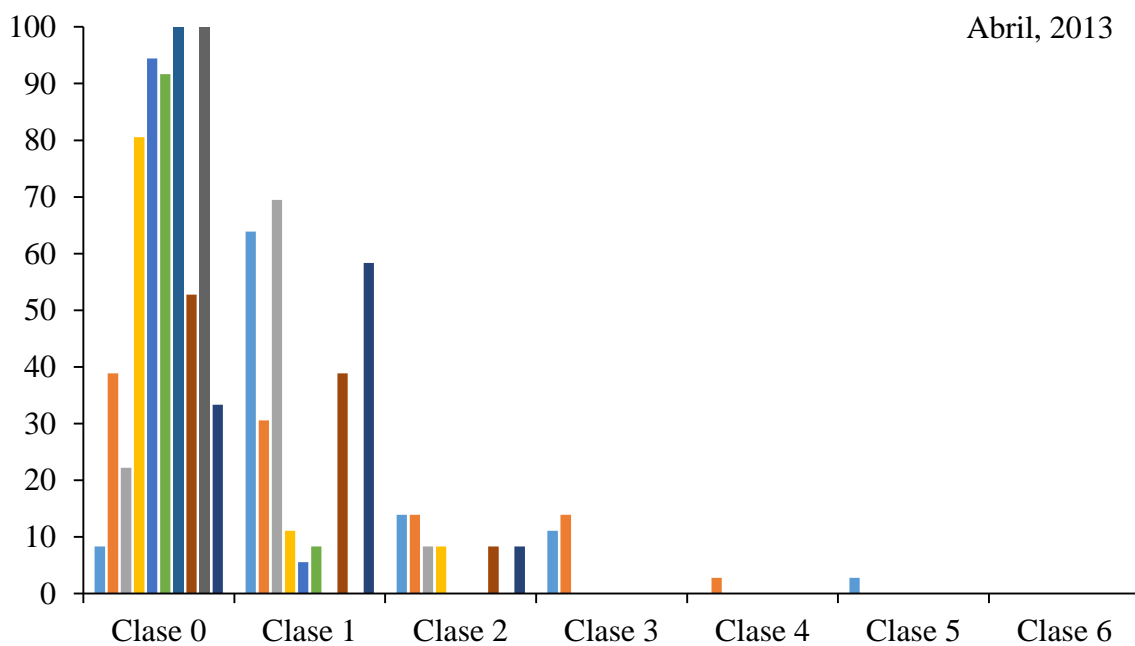


Figura 5.36 Índice de geoacumulación para metales (análisis parcial) en general para todas las muestras.

Factor de enriquecimiento

A continuación se presenta el análisis del enriquecimiento de metales en los sedimentos a través del FE en cada uno de los puntos de muestreo.

En las tablas 5.20.-5.23. se muestra el factor de enriquecimiento (FE) para cada muestra, para los metales (análisis totales) en abril, 2013, se presentó un enriquecimiento moderado de Mn en Manzanilla (bahía Tangolunda).

Considerando los metales (análisis total) en diciembre, 2014, se registró un enriquecimiento moderado de As en Arena (bahía Conejos) y de Mn en el Río Coyula.

De acuerdo a los metales (análisis parcial) en abril de 2013 presentó un enriquecimiento moderado de As en Conejos (bahía Conejos) y de Mn en el Arenal (Bajos de Coyula y el Arenal).

Con respecto a los metales (análisis parcial) de diciembre de 2014, un enriquecimiento moderado de Zn en Magueyito y Tejoncito (bahía Conejos); Tangolunda, Tornillo, Manzanilla (bahía Tangolunda); Santa Cruz (bahía Santa Cruz) y de Mn en La Mixteca (bahía Conejos).

La bahías que presentan un enriquecimiento moderado son Conejos As y Zn; Tangolunda y Santa Cruz de Zn (diciembre, 2014), que son playas turísticas, con un mayor asentamiento poblacional en caso de Santa Cruz.

Tabla 5.20 Factor de enriquecimiento para metales (análisis total) en abril, 2013 para cada estación de muestreo.

Muestra	Nombre de la playa	Concentración de Fondo <1	Mín. 1-2	Moderado 2-5
1	Magueyito	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
2	Conejos	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd	Cr, As	
3	Arena	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
4	Punta Arena	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Cr	
5	Tejoncito	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
6	La Mixteca	Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn, Cr	
7	Tangolunda	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Cr	
8	Rincón Sabroso	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Cr	
9	Tornillo	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
10	Manzanilla	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		Mn
11	Arrocito	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
12	Tejón	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Cr	
13	Esperanza	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Cr	
14	Consuelo	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Cr	
15	Chahué	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Cr	
16	Santa Cruz	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
17	Santa Cruz	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
18	Punta Paraíso	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
19	La Entrega	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
20	El Violín	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
21	Órgano	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
22	Maguey	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
23	Cacaluta	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Cr	
24	La India	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
25	Chachacual	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
26	Jicaral	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
27	Riscalillo	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
28	San Agustín	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Cr	
29	San Agustín	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
30	San Agustín	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
31	San Agustín	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
32	El Arenal	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
33	El Arenal	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
34	Boca Vieja	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
35	Cuatonalco	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
36	Río Coyula	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	

Tabla 5.21 Factor de enriquecimiento para metales (análisis total) en diciembre, 2014 para cada estación de muestreo.

Muestra	Nombre de la playa	Concentración de Fondo <1	Mín. 1-2	Moderado 2-5
1	Magueyito	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Cd	Mn, Zn, As	
2	Conejos	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd	Mn, As	
3	Arena	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Cd	Cr, Zn	As
4	Punta Arena	Mn, Ni, Co, Pb, Cd	Cr, Cu, Zn, As	
5	Tejoncito	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd	Mn, As	
6	La Mixteca	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
7	Tangolunda	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Cd	Cr, Zn, As	
8	Rincón Sabroso	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
9	Tornillo	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Cd	Cr, Zn, As	
10	Manzanilla	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
11	Arrocito	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
12	Tejón	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
13	Esperanza	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Cr	
14	Consuelo	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
15	Chahué	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Cr	
16	Santa Cruz	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
17	Santa Cruz	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
18	Punta Paraíso	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
19	La Entrega	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
20	El Violín	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
21	Órgano	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Cd, As	Mn, Zn	
22	Maguey	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
23	Cacaluta	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Cr	
24	La India	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
25	Chachacual	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
26	Jicaral	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd	As	
27	Riscalillo	Cr, Cu, Co, Pb, Zn	Mn, Ni, Cd, As	
28	San Agustín	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
29	San Agustín	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
30	San Agustín	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd	Cr, As	
31	San Agustín	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd	As	
32	El Arenal	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd	As	
33	El Arenal	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
34	Boca Vieja	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
35	Cuatonalco	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
36	Río Coyula	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		Mn

Tabla 5.22 Factor de enriquecimiento para metales (análisis parcial) en Abril, 2013 para cada estación de muestreo.

Muestra	Nombre de la playa	Concentración de Fondo <1	Mínimo 1-2	Moderado 2-5
1	Magueyito	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
2	Conejos	Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd	Mn, Cr	As
3	Arena	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd	Cr, As	
4	Punta Arena	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd	Cr, As	
5	Tejoncito	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
6	La Mixteca	Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd	Mn, Cr, As	
7	Tangolunda	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd	Cr, As	
8	Rincón Sabroso	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd	Cr, As	
9	Tornillo	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
10	Manzanilla	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
11	Arrocito	Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn, Cr	
12	Tejón	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd	Cr, As	
13	Esperanza	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd	Cr, As	
14	Consuelo	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Cr	
15	Chahué	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd	Cr, As	
16	Santa Cruz	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Cd	Mn, Zn, As	
17	Santa Cruz	Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn, Cr	
18	Punta Paraíso	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
19	La Entrega	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
20	El Violín	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
21	Órgano	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Cr	
22	Maguey	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd	Mn, As	
23	Cacaluta	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd	Cr, As	
24	La India	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
25	Chachacual	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Cr	
26	Jicaral	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Cr	
27	Riscalillo	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
28	San Agustín	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Cr	
29	San Agustín	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Cd, As	Zn	
30	San Agustín	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, Hg, As	Cr	
31	San Agustín	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Cd, As	Zn	
32	El Arenal	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
33	El Arenal	Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd	Cr, As	Mn
34	Boca Vieja	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
35	Cuatonalco	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
36	Río Coyula	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	

Tabla 5.23 Factor de enriquecimiento para metales (análisis total) en diciembre, 2014 para cada estación de muestreo.

Muestra	Nombre de la playa	Concentración de Fondo <1	Mínimo 1-2	Moderado 2-5
1	Magueyito	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Cd, As	Mn	Zn
2	Conejos	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Cd, As	Zn	
3	Arena	Cu, Ni, Co, Pb, Cd	Mn, Cr, Zn, As	
4	Punta Arena	Ni, Co, Pb, Cd	Mn, Cr, Cu, Zn, As	
5	Tejoncito	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Cd, As	Mn	Zn
6	La Mixteca	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		Mn
7	Tangolunda	Cu, Ni, Co, Pb, Cd	Mn, Cr, As	Zn
8	Rincón Sabroso	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd As		
9	Tornillo	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn, Cr, Cu, As	Zn
10	Manzanilla	Cr, Ni, Co, As	Mn, Cu, Pb, Cd	Zn
11	Arrocito	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
12	Tejón	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
13	Esperanza	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Cr	
14	Consuelo	Cr, Ni, Co, Pb, Cd, As	Mn, Cu, Zn	
15	Chahué	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Cr	
16	Santa Cruz	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Cd, As	Mn	Zn
17	Santa Cruz	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
18	Punta Paraíso	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
19	La Entrega	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
20	El Violín	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
21	Órgano	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
22	Maguey	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
23	Cacaluta	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Cr	
24	La India	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
25	Chachacual	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
26	Jicaral	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
27	Riscalillo	Mn, Cr, Cu, Zn, Cd, As	Ni, Co, Pb	
28	San Agustín	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Cd, As	Zn	
29	San Agustín	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
30	San Agustín	Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd	Cr, As	
31	San Agustín	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Cd, As	Mn, Zn	
32	El Arenal	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
33	El Arenal	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
34	Boca Vieja	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		
35	Cuatonalco	Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As	Mn	
36	Río Coyula	Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd, As		

En la tabla 5.24 se muestra una comparación de nuestra área de estudio con otras playas turísticas y los valores ecotoxicológicos usados para evaluar ambientes acuáticos.

Se observa similitud entre los valores reportados en Acapulco (Jonathan, 2011) y los de nuestro estudio debido a que las dos áreas pertenecen al complejo Xolapa (Tolson, 2005), la diferencia de los valores promedio entre los dos estudios fue de 0.15 mg kg⁻¹ de As, 0.49 mg kg⁻¹ de Cd, 3.58 mg kg⁻¹ de Cu, 36.47 mg kg⁻¹ de Mn, 53.5 mg kg⁻¹ de Ni, 1.95 mg kg⁻¹ de Pb, 7.04 mg kg⁻¹ de Zn, presentando una mayor variación en la concentración de Fe (857 mg kg⁻¹) en donde Acapulco presentó una mayor concentración (6549 mg kg⁻¹) y en el Cr con una diferencia de 52.14 mg kg⁻¹ donde la mayor concentración se registró en nuestro estudio, pero al compararlo con lo reportado por Estrada, 2008 hay una variación pequeña de 5.08 mg kg⁻¹ de Cr en los dos estudios realizados en Huatulco.

Al comparar lo reportado por Estrada, 2008 y nuestro estudio, se observa que la concentración de Cd, Cr, y Pb son muy similares, los rangos encontrados en nuestro estudio fueron más amplios debido a la mayor cantidad de playas muestreadas, solamente para el Ni, Estrada, 2008 reporta un valor máximo alto (78.13 mg kg⁻¹) en comparación con el valor máximo encontrado en el presente estudio (12.8 mg kg⁻¹).

Al comparar las concentraciones promedio parciales de los metales con los valores ecotoxicológicos para evaluar ambientes marinos, solamente el cromo (70 mg kg⁻¹) sobrepasa el Nivel de efecto mínimo (26 mg kg⁻¹) pero es menor al nivel de efecto grave (110 mg kg⁻¹), USEPA, 2001, así también es mayor que la concentración de efecto umbral (43.4 mg kg⁻¹) MacDonald, et al., 2000.

Tabla 5.24 Comparación de la concentración de metales contra otros estudios en playas turísticas y valores ecotoxicológicos usados para evaluar ambientes acuáticos.

Elementos	Método de extracción		As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn	Fe	Referencia
Venezuela ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) excepto Hg ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	HCl	Mín.	260.97	0.27		6.47	2.37	23.07		8.07	5.8	40.17		García, et al., 2008
		Máx.	5210.6	0.63		13.6	6.07	36.07		12.83	23.83	267.87		
		Prom.	1845.6	0.39		10.27	3.79	29.57		9.68	11.64	113.38		
Malaysia ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	HCl/HNO ₃	Mín.			12.64	82.83	28.81		12.65	14.71	10.48	17.93	1771	Nagarajan, et al., 2013
		Máx.			37.46	253.75	71.31		52.94	40.63	19.67	28.31	4408	
Chennai, India ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	HCl	Prom.		0.51	6.95	49.5	22		226.5	17.7	31.75	96.7	2023	Jayaprakash, et al., 2008
Karachi, Pakistan ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) excepto Fe as %	HCl/HNO ₃ H ₂ O ₂	Mín.		0.01	5.14	2.95	6.95		1.15	7.48	6.33	3.31	0.55	Siddique, et al., 2009
		Máx.		24.34	95.01	571	272		318	74.91	121.03	389.23	6.47	
Bakar, Croatia (ppm) excepto Fe as %	EDXRF	Mín.	8.37			61.98	14.51		224	28.5	8.25	14.02	0.19	Popadic, et al., 2013
		Máx.	29.38			103.71	135.02		724.54	62.56	123.48	272.63	4.65	
Chile ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	HCl/HNO ₃	Mín.		0.042±0.001			7.20±0.02		746±3	0.17±0.02	1.57±0.10	19.8±2.3	9055±2	Ramírez, et al., 2005
		Máx.		0.896±0.055			2116±1		22,739±1	13.6±0.1	21.2±0.1	519±2	35891±2	
Estudios en México Baja California ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	HClO ₄ / HNO ₃ /HF	Prom.		43±34	2.0±1.2		22±14		(3.8±4.4)×10 ²	4.6±2.8	2.7±2.9	129±51	(2.4±2.0)×10 ²	Muñoz-Barbosa and Huerta-Díaz, 2013 Jonathan, et al., 2011
Acapulco ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)		HCl/HNO ₃	Mín.	0.09	0.1		0.64	0.76		6.85	0.33	0.13	3.54	1072
	Máx.		5.4	12.51		105.5	26.97		586	16.35	20.46	96.23	2719	
	Prom.		0.84	1.61		17.86	6.33		90.47	3.41	3.73	19.04	6549	
Huatulco ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)		Mín.		0.01		6.06				0.3	0.78			Estrada, 2008.
		Máx.		0.25		75.08				78.13	9.05			
Presente Estudio ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) (sedimentos)	HCl/HNO ₃	Mín.	0.0002	0.04	2.45	7.41	1.29	0.003	19	5	1.47	2.28	1865	
		Máx.	2.01	2.17	11.62	81.90	9.67	0.054	299	12.8	17.63	39.3	14552	
		Prom.	0.69	0.56	4.53	70	2.75	0.0039	54	6.91	5.68	12	5692	
Presente Estudio (sedimentos)	HF/ HCl/HNO ₃	Mín.	0.59	2.78	25	80	4.34	0.003	42	22.7	45	18	2260	
		Máx.	2.99	8.69	68	387	19.24	0.6954	1171	78	104	437	34490	
		Prom.	1.25	5.89	46	250	6.92	0.0386	197	41	85	185	13185	
Presente Estudio Ref. Rocas ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	HCl/HNO ₃ HF/HCl/HNO ₃	Prom.	0.22	0.38	9.45	51	10.8	0.008	226	10	4.2	49	21030	
		Prom.	1.19	6.39	65	203	28.55		560	49.4	89	196	31872	
LEL ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)						26	16		460	16	31	120	20,000	USEPA, 2001
SEL ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)						110	110		1100	75	250	820	40,000	USEPA, 2001
ERL ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)				1.2		81	34			20.9	46.7	150		Long et al., 1995
ERM ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)				9.6		370	270			51.6	218	410		Long et al., 1995
UCC			1.5	0.098	17	85	25	0.056	54.2	44	17	71	3490	Taylor adn McLennan, 1985; Wedepohl, 1995
TEC ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)			9.79	0.99		43.4	31.6			22.7	35.8	121		MacDonald et al., 2000
PEC ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)			33	4.98		111	149			48.6	128	459		MacDonald et al., 2000

LEL-Nivel de efecto mínimo; SEL-Nivel de efecto grave; ERL-Efecto de gama baja; ERM-Efecto de gama media; UCC-Corteza Superior Continental; TEC-Concentración de Efecto Umbral; PEC-Concentración de Efecto Probable.

5.6 Relación del tamaño de sedimento y la concentración de metales

Se ha encontrado una relación entre el tamaño de grano y la concentración de metales pesados, utilizando el tamaño de sedimento como un indicador sensible para el monitoreo espacial y temporal de la concentración de metales pesados en ambientes costeros, sustancias contaminantes como los metales pesados, materia orgánica y coliformes, están asociadas a tamaños de grano fino (Cupul-Magaña, et al., 2006; Lu, et. al., 2005).

En el presente estudio se obtuvieron matrices de correlación para $p = 0.05$ relacionando el tamaño de grano a través de la media (Mz) con la concentración de metales (análisis total y parcial) en los dos periodos de muestreo, obteniendo los siguientes resultados.

Durante el análisis total de metales en abril de 2013, se encontró que la Mz se correlacionó con el Fe ($r^2 = 0.38$), Mn ($r^2 = 0.35$), Cr ($r^2 = -0.34$) y Cd ($r^2 = 0.39$).

Del análisis total de diciembre de 2014 el Mz se correlacionó con el Fe ($r^2 = 0.43$), Mn ($r^2 = 0.39$), Cr ($r^2 = -0.48$), Co ($r^2 = 0.35$), Pb ($r^2 = 0.41$) y Cd ($r^2 = 0.59$).

Con respecto al análisis de metales (parcial) en abril, 2013 la Mz se correlaciona con Mn ($r^2 = 0.35$), Cr ($r^2 = -0.33$), Cu ($r^2 = 0.36$), Ni ($r^2 = 0.37$), Co ($r^2 = 0.42$), Pb ($r^2 = 0.40$), Zn ($r^2 = 0.34$) y Cd ($r^2 = 0.37$).

De acuerdo al análisis de metales (parcial) en diciembre, 2014 la Mz se correlaciona con Mn ($r^2 = 0.34$), Cr ($r^2 = -0.61$), Ni ($r^2 = 0.53$), Co ($r^2 = 0.53$), Pb ($r^2 = 0.56$) y Cd ($r^2 = 0.55$).

Todos los sedimentos presentaron un tamaño de grano correspondiente a las arenas muy gruesas a finas, no se presentaron arenas muy finas o lodos, lo que contribuye a que no se aprecie de una manera más significativa la relación del tamaño de grano y la concentración de metales, las referencias citadas anteriormente mencionan la relación de metales pesados con el grano fino de los sedimentos. De los resultados se aprecia que hay una baja correlación entre los metales y el tamaño fino de los sedimentos, excepto para el Cr donde en todos los

casos se obtuvo una correlación negativa, lo que podría relacionarlo con el tamaño grueso de sedimento.

5.7 Microplásticos

En el siguiente apartado se presentan los resultados de la identificación de microplásticos en los sedimentos superficiales de las playas de Huatulco durante los dos periodos de muestreo abril de 2013 y diciembre de 2014.

Para que se pueda considerar un plástico como microplástico, este debe tener un diámetro inferior a 5 mm (Liebezeit and Dubaish, 2012), en la tabla 5.25. se presentan las características que mostraron 28 muestras aleatorias de microplásticos que se encontraron en los sedimentos de las playas de Huatulco, se registró una longitud promedio de 1.73 mm y un espesor promedio de 13.84 μm (ver fotos 5.1-5.3).

Al observar en el microscopio los microplásticos, no se encontraron esférulas, se registraron solamente fibras, lo que coincide con Wright et al., 2013, quien menciona que los microplásticos fibrosos son los más abundantes en el medio ambiente marino. En la tabla 5.26. se muestra la cantidad de fibras de microplásticos encontradas en los dos periodos de muestreo. En abril, 2013 en total se encontraron 374 microplásticos, cantidad que se incrementó en diciembre, 2014 a 518 piezas.

El incremento de la cantidad de microplásticos probablemente sea resultado de la fragmentación de las piezas de plástico y a su vez de los microplásticos, como resultado de procesos de degradación sucesivas que actúan sobre los desechos plásticos en el medio ambiente (Cooper y Corcoran 2010). Los plásticos pueden someterse a degradación térmica, fotoquímica, química o física, las playas representan un ambiente sedimentario para la fragmentación de los desechos de plástico, combinan grados altos de meteorización química y mecánica, pero los plásticos pueden permanecer en forma microscópica indefinidamente. Las características físicas de la mayoría de los plásticos muestran una alta resistencia al envejecimiento y mínima degradación biológica. Cuando es expuesto a la radiación UVB de la luz solar, las propiedades oxidativas de la atmósfera y las propiedades del agua de mar,

hacen que los polímeros se fragilicen, y se rompen en pequeñas piezas, con el tiempo se convierten en moléculas individuales de polímero, que deben someterse a una mayor degradación antes de ser biodisponibles. La eventual biodegradación de los plásticos en el medio marino requiere una cantidad desconocida de tiempo pero las tasas de biodegradación lenta no significan que los polímeros de plástico y sus aditivos no son bioactivos (Corcoran et al., 2009).

Tabla 5.25 Características de Microplásticos en los sedimentos superficiales de las playas de Huatulco

Características de los microplásticos				
No. de muestra	Longitud Total (mm)	Espesor Promedio (μm)	Espesor	
			Mínimo (μm)	Máximo
1	1.677	13.015	6.02	20.01
2		20.63		
3		12.02		
4		4.247		
5		8.799		
6		6.61	3.038	9.819
7	2.541			
8	0.694			
9	2.127			
10	0.004266			
11		9.078	4.076	14.08
12		14.83		
13		13.755	10.52	16.99
14		11.75		
15	4.393			
16		11.87	10.95	13.46
17		14.94		
18		6.122	5.081	7.164
19		14.09		
20		50.2		
21	0.804			
22	4.491			
23	1.155			
24	0.79			
25	2.045			
26	0.912			
27	0.92			
28		9.524		
Promedio	1.73	13.84	6.61	13.59

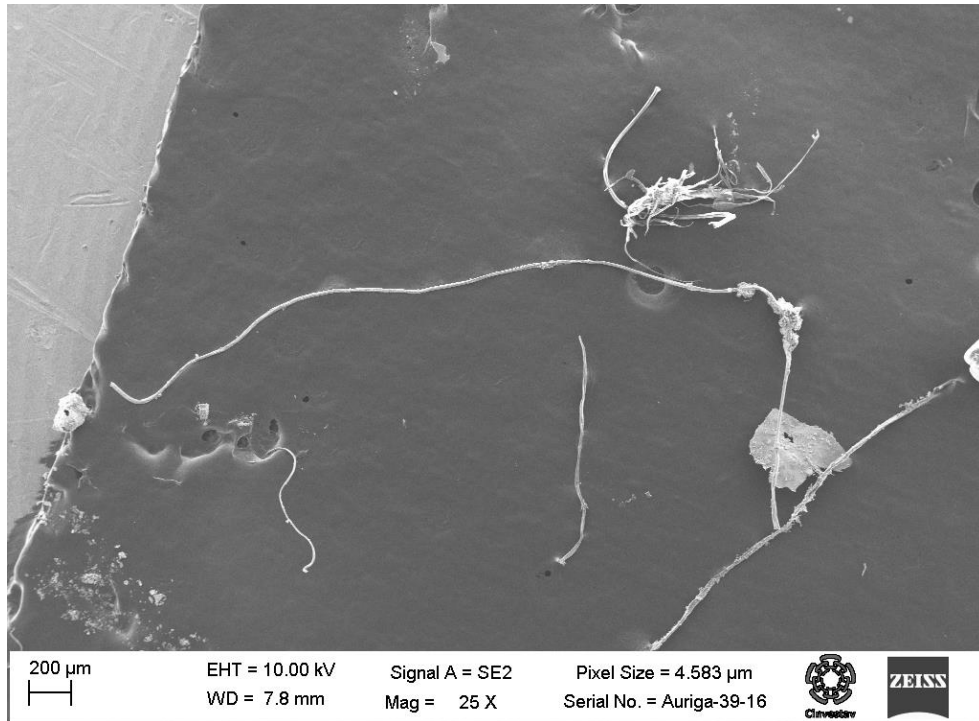


Foto 5.1 Microplásticos encontrados en los sedimentos de las playas de Huatulco

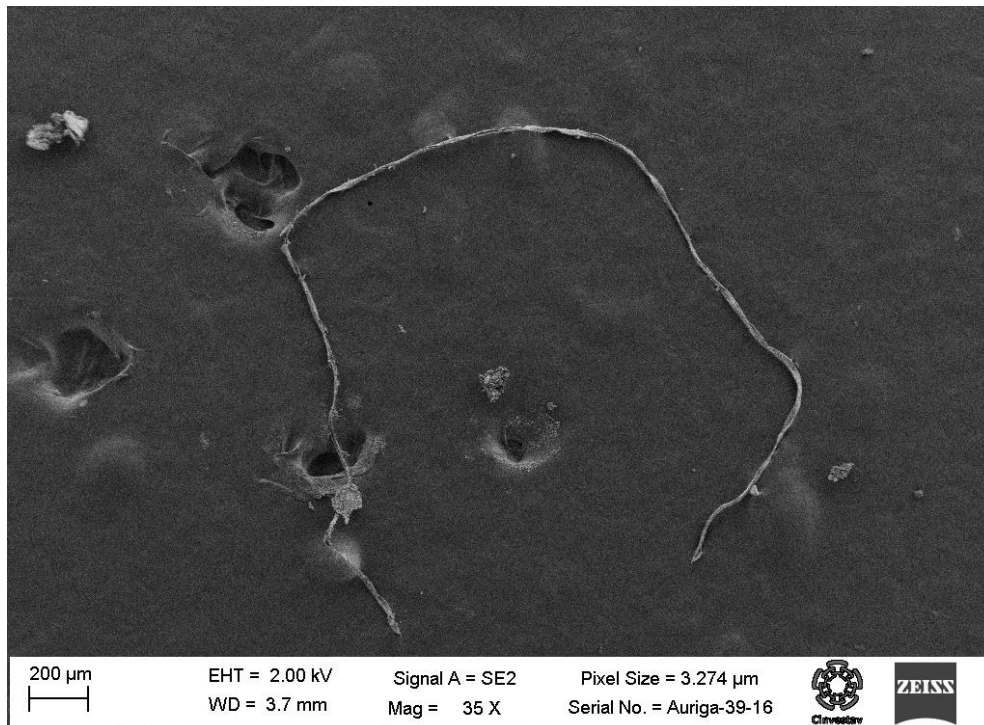


Foto 5.2 Longitud de fibra de microplástico

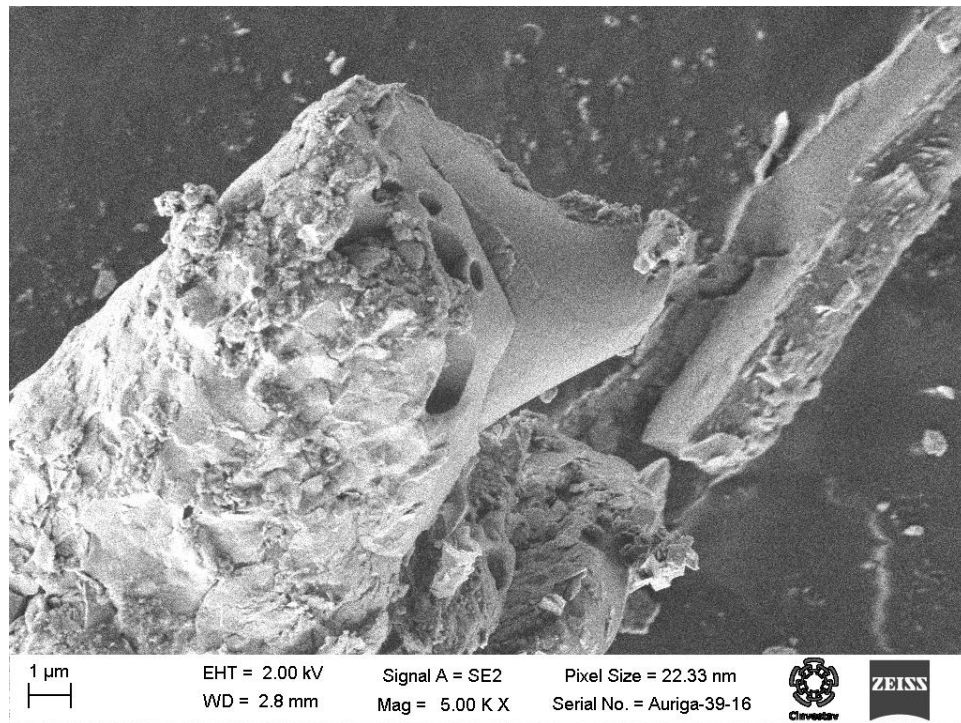


Foto 5.3 Espesor de Fibra de microplástico

Cooper y Corcoran 2010, señalan que la degradación se incrementa una vez que el desecho de plástico llega a la tierra como resultado de las colisiones partícula-partícula asociada con procesos físicos tales como saltación y tracción (arrastre). Mientras que la degradación química puede comenzar en el mar, los procesos mecánicos producen fracturas y ranuras, que proporcionan sitios favorables para que ocurran los procesos oxidativos. En las fotos 5.4 y 5.5 se observan ranuras en las piezas de plástico, así también en la foto 5.6 y 5.7. se nota como se fragmenta la pieza de microplástico, dando origen a otro fragmento.

Los microplásticos pueden permanecer en las playas más tiempo que los artículos más grandes debido a que las operaciones de limpieza de la costa rara vez los eliminan por el extraordinario esfuerzo que sería necesario realizar por su tamaño tan pequeño.

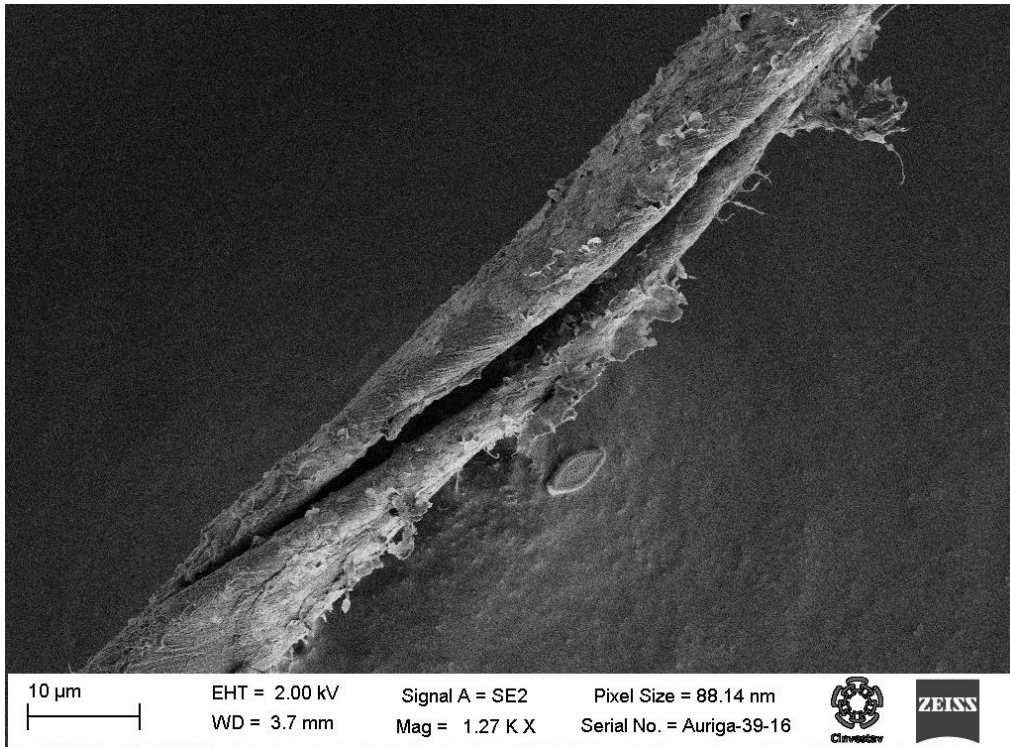


Foto 5.4 Fibra de microplástico

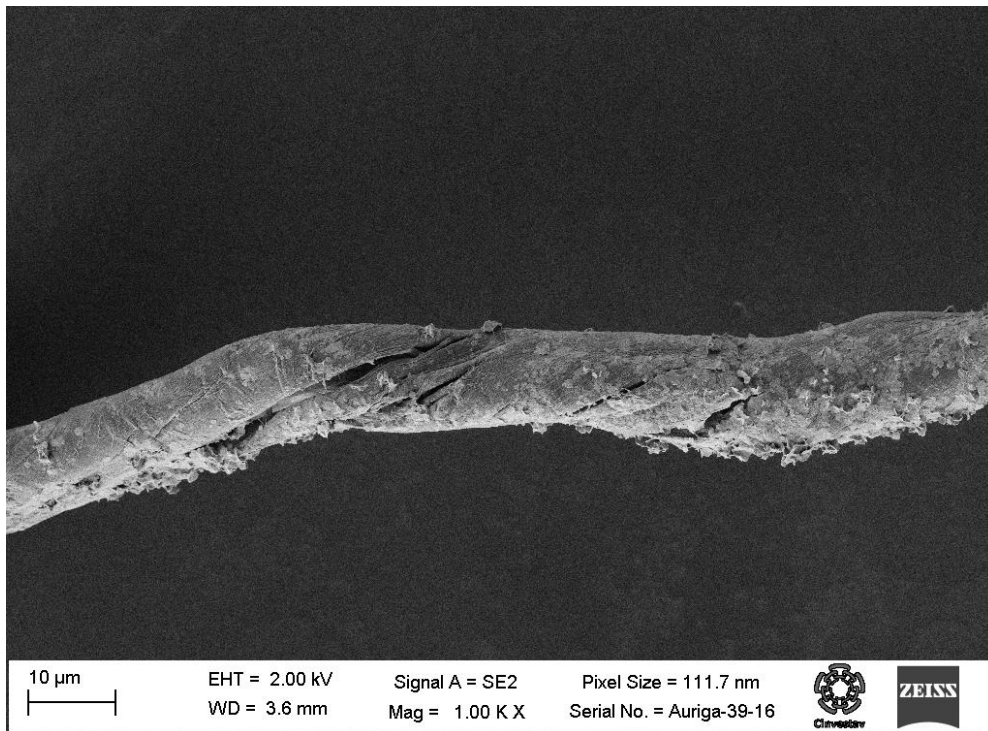


Foto 5.5 Fibra de microplástico

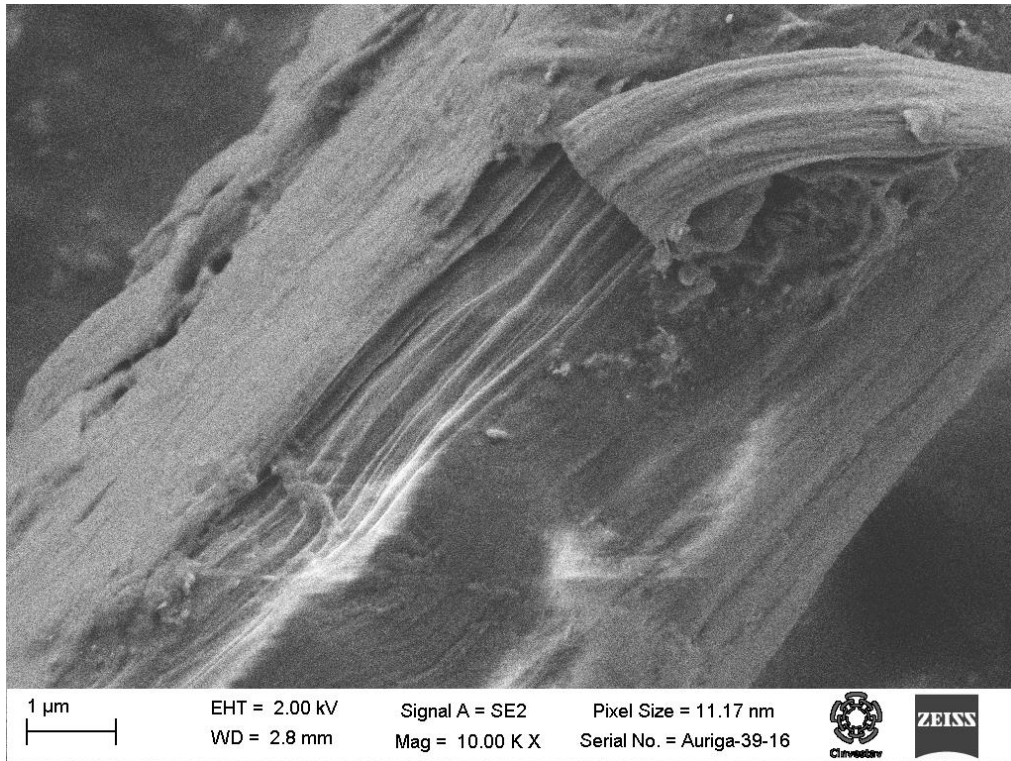


Foto 5.6 Fibra de microplástico

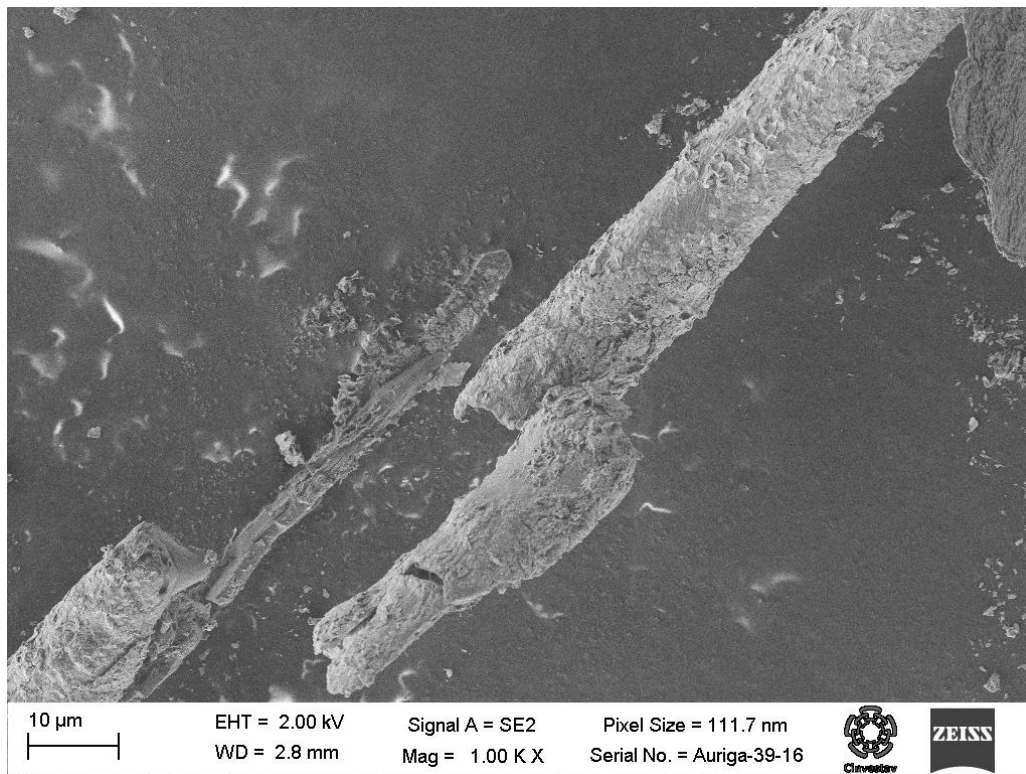


Foto 5.7 Fraccionamiento de la fibra de microplástico

En la tabla 5.26 (figura 5.37.) se observa la cantidad de microplásticos encontrados durante los dos periodos de muestreo, en 30g de sedimento seco. Al observar la muestra de sedimento en el microscopio estereoscópico, durante abril de 2013 en la playa 28 San Agustín no se registraron piezas de microplásticos y en la playa 8 Rincón Sabroso, bahía Tangolunda se encontró el número máximo de fragmentos que fue de 48. En diciembre, 2014 la mínima cantidad se registró en la playa 19 La Entrega con 2 piezas y la máxima cantidad se presentó en 35 Cuatonalco con 69 piezas de microplásticos. En la tabla 5.27. se aprecia la cantidad de microplásticos encontrados en cada una de las bahías. En abril, 2013, la bahía que registró un menor número de microplásticos fue Órgano con 4 piezas y la máxima se registró en Tangolunda con 100 piezas. En diciembre, 2014 la mínima cantidad se presentó en Maguey con 6 piezas y la máxima en Conejos con 100 piezas.

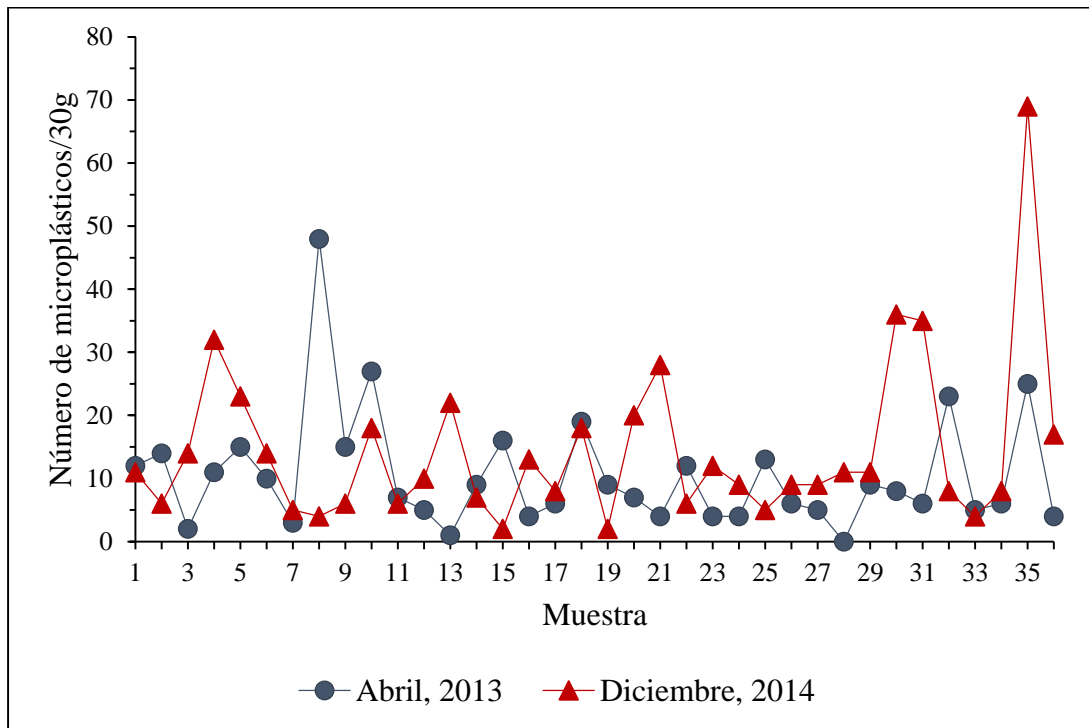


Figura 5.37 Cantidad de microplásticos por cada 30g de sedimento superficial en las playas de Huatulco

Tabla 5.26 Cantidad de fibras de microplásticos encontradas en los sedimentos superficiales de las playas de Huatulco durante los dos periodos de muestreo

Muestra	Nombre de la playa	Periodo de muestreo	
		Abril, 2013	Diciembre, 2014
1	Magueyito	12	11
2	Conejos	14	6
3	Arena	2	14
4	Punta Arena	11	32
5	Tejoncito	15	23
6	La Mixteca	10	14
7	Tangolunda	3	5
8	Rincón Sabroso	48	4
9	Tornillo	15	6
10	Manzanilla	27	18
11	Arrocito	7	6
12	Tejón	5	10
13	Esperanza	1	22
14	Consuelo	9	7
15	Chahué	16	2
16	Santa Cruz	4	13
17	Santa Cruz	6	8
18	Punta Paraíso	19	18
19	La Entrega	9	2
20	El Violín	7	20
21	Órgano	4	28
22	Maguey	12	6
23	Cacaluta	4	12
24	La India	4	9
25	Chachacual	13	5
26	Jicaral	6	9
27	Riscalillo	5	9
28	San Agustín	0	11
29	San Agustín	9	11
30	San Agustín	8	36
31	San Agustín	6	35
32	El Arenal	23	8
33	El Arenal	5	4
34	Boca Vieja	6	8
35	Cuatonalco	25	69
36	Río Coyula	4	17
TOTAL		374	518

Tabla 5.27 Cantidad de Microplásticos en cada bahía durante los dos periodos de muestreo

Bahía	Número de Microplásticos	
	Abril, 2013	Diciembre, 2014
Conejos	64	100
Tangolunda	100	39
Chahué	31	41
Santa Cruz	45	61
Órgano	4	28
Maguey	12	6
Cacaluta	4	12
Chachacual	28	32
San Agustín	23	93
Bajos de Coyula y el		
Arenal	59	89
Río Coyula	4	17

Como se observa de los resultados obtenidos, el turismo es una actividad que contribuye a la cantidad de plásticos que hay en las playas pero no es concluyente, los fragmentos de plástico en las playas se derivan de fuentes terrestres y se transportan a las costas por los ríos, el viento, los sistemas de drenaje o la actividad humana o también pueden ser incorporados a las playas directamente de los océanos, las características propias de las playas como la distancia a las fuentes de contaminación, la forma, fisiografía, la dirección del viento, las olas y las corrientes superficiales, entre otros, pueden favorecer la acumulación y fraccionamiento de los plásticos (Storrier et al., 2007; Gregory, 2009). En las playas San Agustín y La Entrega en la bahía San Agustín y Santa Cruz respectivamente, se desarrolla el turismo y presentaron un mínimo en la cantidad de microplásticos, cabe mencionar que los encargados de los restaurantes que se encuentran a la orilla de la playa San Agustín, realizan la limpieza de las playas por la mañana, lo que puede influir en la disminución de la cantidad de microplásticos, en otros casos como en las playas Rincón Sabroso y las bahías Conejos y Tangolunda en las que igualmente se desarrolla el turismo presentaron un máximo en la cantidad de microplásticos.

Otra fuente de microplásticos son los derivados de limpiadores de manos, productos cosméticos y medios de limpieza de compresión de aire. En la tecnología airblasting,

partículas de polietileno se utilizan para quitar pintura de las superficies metálicas y limpieza de las piezas del motor, y se puede reciclar hasta 10 veces antes de ser desechada, a veces de manera significativa contaminados por metales pesados (Gregory, 1996). Una vez desechados entran en agua sucia y aunque algunos pueden ser atrapados durante el tratamiento de aguas residuales, la mayoría se descargan en las aguas marinas que flotan, se concentran en las aguas de superficie y se dispersan por las corrientes (Gregory, 1996, Derraik, 2002).

Como ya se mencionó anteriormente, los microplásticos son originados por fragmentación de plásticos de mayor tamaño por lo que es importante considerar los residuos plásticos presentes en las bahías de Huatulco, la (CPLH, 2013), reportó en el periodo 2008-2010 que el 28% de los residuos sólidos encontrados fueron bolsas de plástico, el 10% vasos de plástico desechables y el 12% botellas de PET, los principales residuos plásticos encontrados fueron: botellas de PET, bolsas de plástico, popotes, vasos y platos desechables, taparrosas, piezas de unicel, sillas de plástico, redes y llantas (ver figura 2.15). Durante un día de limpieza previo a las vacaciones de Semana Santa (Abril), se encontraron un total de 4,2013 residuos en el año 2008, 21,143 en el 2009, 33,391 en 2010, 24,405 en 2011, 34,605 en 2012 y 16,800 en el 2013, dentro de los cuales se encuentran los residuos plásticos (ver figura 2.15).

En la figura 5.38. se muestra el color de las fibras encontradas en los sedimentos de las playas de Huatulco, se aprecia que la gran mayoría de las fibras de plástico son blancas, lo que aumenta la problemática debido a la mayor probabilidad para que sean ingeridas por los organismos marinos. (Shaw and Day, 1994) menciona que algunas aves marinas seleccionan las formas y colores de plástico específicas, confundiéndolos con posibles presas, también mencionó que el 85 % de los plásticos que se encuentra en las aves marinas de Alaska estaban en el rango de color marrón claro, blanco y amarillo, también algunas especies de peces son selectivos como lo reporta (Carpenter et al., 1972) que encontró que los peces solamente habían ingerido esférulas de plástico de color blanco. Las bolsas de polietileno a la deriva en las corrientes oceánicas se parecen mucho a las presas de las tortugas (Gramentz, 1988; Bugoni et al., 2001; Lutcavage et al., 1997) por ejemplo se encontró que la tortuga boba consume predominantemente residuos de color blanco (Gramentz, 1988).

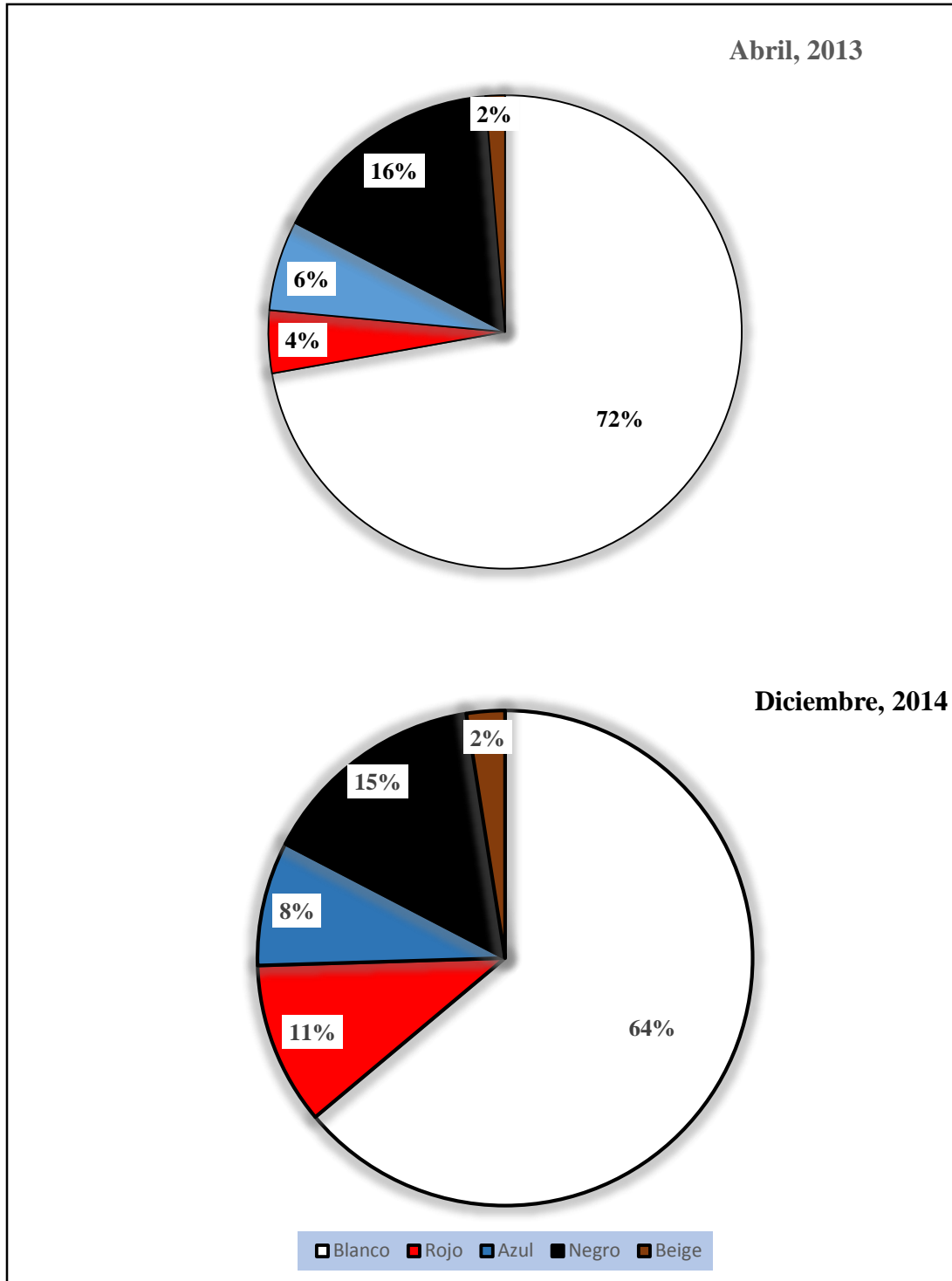


Figura 5.38 Colores de las fibras de microplásticos durante los dos periodos de muestreo.

El estudio de los microplásticos es de relevancia debido a que los plásticos se encuentran comúnmente en los desechos marinos (Carpenter, 1972), se determinó que a nivel mundial, su proporción oscila entre 60 % a 80 % del total de los desechos en el mar, aunque ha llegado a más de 90 a 95 % en algunas áreas, se estima que todos los océanos del mundo se encuentran contaminados con plástico, lo que plantea uno de los más destacados problemas ecológicos a enfrentar (Moore, 2008; Derraik, 2002), pero más aún, los microplásticos debido a su habilidad para impactar a una amplia gama de especies y hábitats (Thomson et al., 2004). La fauna marina más pequeña, como zooplancton, los mejillones, gusanos marinos y pescado pueden ingerir las partículas de plástico, a su vez éstas especies pueden ser presa de organismos más grandes y concentrar los contaminantes en la cadena alimentaria (Teuten et al., 2009; Endo et al., 2005), el estudio de plásticos está bien documentado, pero el de microplásticos ha comenzado recientemente y más aún en el área de estudio donde no se han encontrado estudios anteriores.

5.8 Calidad ambiental de las bahías de Huatulco: Resumen

A continuación se presenta una síntesis de los resultados antes expuestos para evaluar la calidad ambiental de las bahías de Huatulco.

La bahía Conejos presentó valores mínimos de pH, salinidad, conductividad y SDT, obtuvo una calidad regular de acuerdo al % de OD, lo que sugiere ser el resultado del contacto con agua dulce, probablemente con aporte de materia orgánica. De acuerdo al análisis granulométrico puede presentar plumas ocasionales de materia en suspensión.

Las playas Tejoncito y Mixteca que se encuentran en la bahía Conejos, presentaron un máximo de Fe-Mn-Cu, lo que es originado por la erosión de las rocas propias del lugar, éstas mismas playas mostraron un máximo de Ni-Co y Pb-Cd en las cuales el origen natural de éstos metales puede ser enriquecida por actividades que se realizan en la región como el uso de pilas, fertilizantes, pesticidas, aditivos en alimentos para animales, pinturas anti incrustantes utilizadas en las embarcaciones, la combustión de carbón y la alfarería.

Presentó un enriquecimiento moderado de As y Zn, en general un máximo de en la fracción biodisponible de Fe y en algunas de sus playas de Cr, Fe, Cu y Co, también se observó un máximo en la cantidad de microplásticos.

Lo anterior sugiere que sus características ambientales son influenciadas por su cercanía al río Copalita con respecto a los resultados de los parámetros fisicoquímicos del agua de mar, el uso de plantas de tratamiento de aguas residuales, de las actividades de agricultura y turísticas desarrolladas en el lugar.

La bahía Tangolunda presentó un máximo en la concentración de Ni-Co y Pb-Cd en la playa Manzanilla, donde la contribución natural de éstos metales puede ser enriquecida por el uso de pilas, alfarería, plásticos, caucho y la combustión de carbón, presentó un máximo en el porcentaje de fracción biodisponible en las playas Tornillo (Cu, Zn) y en Arrocito (Mn), se observó un factor de enriquecimiento moderado de Zn y un máximo en el número de microplásticos (abril, 2013), lo que puede ser resultado de la influencia de actividades turísticas y del tratamiento de aguas residuales.

Bahía Chahué mostró un máximo en la fracción biodisponible de As, probablemente derivada del uso de pintura anti incrustante en las embarcaciones. Ésta bahía cuenta con la “Bandera Azul” por cumplir con los requisitos de calidad del agua, seguridad, prestación de servicios generales y de ordenamiento del medio ambiente, en la playa Chahué realizan la limpieza de sus playas como se observa en la foto 3.1., lo que contribuye a la eliminación de residuos sólidos.

Bahía Santa Cruz de acuerdo al análisis granulométrico puede presentar plumas ocasionales de materia en suspensión, mostró un máximo en la concentración de Ni-Co y Pb en la playa Santa Cruz, el enriquecimiento de éstos metales puede ser originado por el uso de pilas, la combustión de carbón y la alfarería, presentó un máximo en el porcentaje de fracción biodisponible en Santa Cruz (Pb y Cd) y en Violín (Fe y Mn), además de registrar un enriquecimiento moderado de Zn en Santa Cruz, el uso de pilas y de pintura anti incrustante puede incrementar la concentración de Zn en los sedimentos.

Las características ambientales de Santa Cruz son influenciadas por el embarcadero, las actividades turísticas y su cercanía a la Crucecita donde hay un incremento en la población.

Bahía Órgano. Mostró un máximo en el porcentaje de fracción biodisponible de Mn y Fe, debido a la erosión de las rocas que hay en la localidad.

Bahía Maguey presentó un máximo en la concentración de Fe-Mn derivadas de un origen natural y un máximo en el porcentaje de fracción biodisponible de Co, Pb y Cd en abril, 2013, lo que probablemente se vea influenciado por condiciones físicas como la mayor intensidad de vientos.

Bahía Cacaluta mostró un máximo en el porcentaje de fracción biodisponible de Cu y As (abril de 2013) y de Zn (diciembre de 2014).

Bahía Chachacual registró un máximo en la concentración de Pb-Cd en la playa India y en Riscalillo de Cd, lo que puede ser influenciado por actividades como el uso de pilas, alfarería, combustión de carbón, usos de plásticos y caucho, y la cercanía al arroyo Pozolla.

Bahía San Agustín presentó un máximo en la concentración de Zn y un alto porcentaje de fracción biodisponible también de éste elemento, probablemente influido por el uso de pilas y de pintura anti incrustante en las embarcaciones, en general del turismo, también se registró una calidad regular de acuerdo al % de OD y de acuerdo al análisis granulométrico puede presentar plumas ocasionales de partículas, lo que puede repercutir en la zona de coral.

Bajos de Coyula y el Arenal presentó un máximo en la concentración de Fe, Cu, Ni y As, un aumento en el porcentaje de fracción biodisponible de Cr, Ni, Pb y Cd, un factor de enriquecimiento moderado de Mn y un máximo en la cantidad de microplásticos. De acuerdo al análisis de tamaño de grano esta zona está influenciada por el sedimento que proviene del río Coyula, además de ser una zona en la que se desarrolla la agricultura. En la playa Boca Vieja se presentó un mínimo de salinidad, conductividad y SDT, lo que nos sugiere la entrada de agua dulce.

CAPÍTULO 6

6 Conclusiones y recomendaciones

A continuación se presentan las siguientes conclusiones, basadas en los resultados analíticos de los sedimentos y las mediciones de los parámetros fisicoquímicos del agua de mar durante los dos periodos de muestreo.

Parámetros fisicoquímicos del agua superficial de mar

- La TSM en el periodo de muestreo de diciembre, 2014 (24.32-29.22°C) fue mayor que en abril, 2013 (20.75-28.61°C) por efecto de los vientos llamados tehuantepecos que son la principal causa de la formación de surgencias y por consiguiente de la marcada disminución de la TSM durante el muestreo de abril, 2013.
- Los puntos de valores mínimos de pH durante los dos muestreos (abril, 2013 con un valor de 7.3 y en diciembre, 2014 de 7.81) se encuentran en bahía Conejos, lo cual se relaciona probablemente con la influencia del río Copalita y descargas de agua provenientes del área urbana.
- De acuerdo al % de saturación de OD la playa Conejos y San Agustín presentaron una calidad regular durante los dos periodos de muestreo probablemente influenciado por la actividad turística.
- El valor mínimo en abril de 2013, tanto para salinidad, conductividad y SDT se encuentra en playa Conejos, y en Diciembre de 2014 éstos tres parámetros presentaron el punto mínimo en la playa Boca Vieja que son puntos cercanos al río Copalita y Coyula respectivamente.

Tamaño de sedimento

- La bahía Tangolunda y Maguey presentaron un tamaño de grano fino, por lo que se sugiere seguir un monitoreo de dichas bahías, el sedimento de dicho tamaño es más susceptible de ser contaminado por sustancias tóxicas.
- En las playas: Conejos, Arrocito y Esperanza (abril, 2013), Rincón Sabroso, Santa Cruz y Maguey (diciembre, 2014) el tamaño de sedimento presentó una asimetría fuertemente hacia gruesos, lo que indica áreas de erosión o no depósito, también su asimetría se debe a zonas de transición debido a la mezcla de granos finos y más gruesos.
- El tamaño de sedimento de las playas: Tejón (Chahué), el Violín (Santa Cruz), Jicaral (Chachacual) y El Arenal (Bajos de Coyula y el Arenal) presentaron valores extremos de curtosis lo que implica que parte del sedimentos logró su clasificación en otro lugar en un ambiente de alta energía y que fue transportado esencialmente con sus características de tamaño no modificados a otro entorno en el que se mezcló con otro tipo de material, lo que denota la influencia del río Coyula.
- Los sedimentos de las playas de Huatulco son derivadas generalmente de la mezcla de dos ambientes distintos: playas y ríos, por lo que se percibe la influencia de los ríos Coyula y Copalita.
- La asimetría positiva, los sedimentos más gruesos y mejor ordenados, apuntan a la extensión ocasional de plumas de materia en suspensión en bahía Conejos: Magueyito y Arena (diciembre, 2014); bahía Tangolunda: Tangolunda (abril, 2013); bahía Chahué: Tejón y Consuelo (diciembre, 2014); bahía Santa Cruz: Punta Paraíso (abril, 2013); bahía Cacaluta (abril, 2013); bahía Chachacual: Jicaral (abril, 2013; diciembre, 2014); bajos de Coyula y el Arenal: El Arenal (diciembre, 2014).

La materia en suspensión puede originarse por la influencia de las actividades turísticas como los restaurantes. En el caso de Cacaluta y El Arenal probablemente influenciado por las actividades de agricultura y de los ríos Cacaluta y Coyula respectivamente.

- De acuerdo a las funciones discriminantes todas las muestras de sedimento corresponden al ambiente de playa y ninguna a un proceso eólico.

Concentración de metales (análisis total y parcial)

- En general la concentración de metales totales durante abril, 2013 fue mayor a la de diciembre, 2014.
- De acuerdo al análisis estadístico se encontraron las siguientes asociaciones de metales Fe-Mn-Cu, Ni-Co, Pb-Cd, Cr, Zn y As.
- La asociación Fe-Mn-Cu sugiere que la concentración de estos elementos en los sedimentos sea originada por la erosión de las rocas locales presentes y el aporte derivado de una zona de subducción.
- Asociación Ni-Co se deriva de la propia geología de la zona, además de una contribución antropogénica por ejemplo de las pilas recargables desechables y la combustión del carbón.
- Asociación Pb-Cd se deriva de un enriquecimiento de la concentración natural por las actividades antropogénicas derivadas del uso de pilas recargables, alfarería, combustión de carbón, plásticos y caucho.
- El Cr tiene un origen natural propio de la geología del lugar y de la zona de subducción y mínimamente su concentración puede ser influenciada por las actividades de la talabartería y combustión del carbón.

- Zn la concentración natural de éste elemento se enriquece por actividades antropogénicas como el uso de fertilizantes, pilas y pintura anti incrustante.
- La concentración natural de As es enriquecida por el uso de pesticidas, aditivos en alimentos para animales y el uso de pinturas anti incrustantes.

Índices de enriquecimiento

- El Igeo del Fe, Mn (de no contaminado a fuertemente o extremadamente contaminado) se debe a la erosión de las rocas que se encuentran en la localidad, al igual que el Igeo para el Cu (no contaminado a moderadamente contaminado).
- Las bahías que presentan un enriquecimiento moderado de acuerdo al FE, son Conejos As y Zn; Tangolunda y Santa Cruz de Zn (diciembre, 2014), que son playas turísticas, con un mayor asentamiento poblacional en caso de Santa Cruz.

Microplásticos

- Las dimensiones promedio de los microplásticos encontrados en los sedimentos superficiales fueron una longitud de 1.73mm y un espesor de 13.84µm.
- Los microplásticos son fibras, solamente se encontraron muy pocos casos donde se apreciaban sólidos amorfos existiendo la duda si se trataban de microplásticos.
- La cantidad de microplásticos se incrementó de 374 (abril, 2013) a 518 (diciembre, 2014). El incremento de la cantidad de microplásticos es el resultado de la fragmentación de piezas de plástico ya sean macroplásticos o microplásticos dando origen a otra pieza de microplástico y la inadecuada disposición de los residuos sólidos.

- La mayoría de los microplásticos (72% en abril, 2013 y 64% en diciembre, 2014) son de color blanco lo que aumenta la problemática debido a la mayor probabilidad que sean ingeridas por los organismos marinos.
- Se recomienda monitoreando a las bahías Conejos, Tangolunda, Santa Cruz y Bajos de Coyula y el Arenal de acuerdo a los resultados ambientales obtenidos.

Referencias

- Castells, X. & Jurado, L. (2012). *Los plásticos residuales y sus posibilidades de valoración. Colección monografías, serie: Energía, Medioambiente, Tratamiento de Residuos*. Madrid: Díaz de Santos.
- Aguilar, R. (2004). *Geografía general*. (2° ed.) México: Pearson Educación.
- Alagarsamy, R. (2006). Distribution and seasonal variation of trace metals in surface sediments of the Mandovi estuary, west coast of India. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 67, 333-339.
- Alaniz-Alvarez, S. & Ortega-Gutiérrez, F. (1997). Geología y Petrología de la Barranca de Xolapa, Estado de Guerrero. *Boletín de Minerología*. 13, 3-28.
- Alonso, F. (2011). *Evaluación de efectos de biocidas contenidos en recubrimientos "antifouling" (AF coatings) en ecosistemas marinos*. España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Alonso, Z. (2010). Petrología Sedimentaria. Notas de teoría. 5. Rocas detríticas. Texturas. Reduca (Geología). Serie Petrología Sedimentaria. 2(3): 42-56. ISSN:1989-6557.
- Alva-Valdivia, L.M.. (2011). Lo esencial sobre yacimientos metálicos en la margen continental del Pacífico Mexicano: relación con la Teoría de Tectónica de Placas. *Latin American Association of Paleomagnetism and Geomagnetism (LATINMAG LETTERS)*, Instituto de Geofísica, UNAM, 1,1. ISSN: 2007-9656.
- Anastasi, A. & Urbina, S. (1998). *Test psicológicos*. (7ma ed.) México: Prentice Hall
- Anu, G., Nair, S.M., Kumar, N.C., Jayalakshmi, K.V. & Pamalal, D. (2009). A baseline study of trace metals in a coral reef sedimentary environment, Lakshadweep Archipiélago. *Environmental Earth Sciences*. doi:10.1007/s12665-009-0113-6.
- Argimon, J. (2002). El intervalo de confianza: algo más que un valor de significación estadística. *Med Clin (Barc)* 118(10):382-4
- Arias-Madrid, D., López-Paz, O. & Jiménez-Builes, J. (2012). Análisis de sedimentos utilizando un Enfoque de la Programación Estructurada. *Tecno Lógicas*, No. 29 ISSN 0123-7799.
- Arriaga, L., Vázquez, J. González, R, Jiménez, E., Muñoz, V. & Aguilar S. (1998). *Regiones Marinas Prioritarias*. México: Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO).
- Ashok Kumar, P. & Patterson, J. (2008). Granulometric study of Tharuvaikulam and Thirespuram J. *Mar. Biol. Ass. India*, 50 (2): 127 – 133.
- Aulbach, S., Stachel, T. & Seitz H., Brey, G. (2012). Chalcophile and siderophile elements in sulphide inclusions in eclogitic diamonds and metal cycling in a Paleoproterozoic subduction zone. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 93, 278-299.
- Avery-Gomm, S., O'Hara, P.D., Kleine, L., Bowes, V., Wilson, L. K. & Barry, K.L. (2012). Northern fulmars as biological monitors of trends of plastic pollution in the eastern North Pacific, *Marine Pollution Bulletin*. 64, 1776–1781.
- Barton, E.D., Lavín, M.F. & Trasviña, A. (2009). Coastal circulation and hydrography in the Gulf of Tehuantepec, Mexico during winter. *Continental Shelf Research*, 29, 485-500.
- Bailey, A. (1984). *Aceites y grasas industriales*. Barcelona: Reverté.

- Barrientos, L. & Ramírez, L. (2000). Moluscos asociados a coral en La Mixteca y La Montosa, Bahías de Huatulco, Oaxaca, México. XII Congreso Nacional de Oceanografía, Huatulco, Oaxaca.
- Bataller Sifre R. (2004). *Toxicología Clínica*. Valencia: Imprenta Romeu, S.L.
- Berrezueta, A. & Domínguez-Cuesta, M. (2011). *Técnicas aplicadas a la caracterización y aprovechamiento de recursos geológico-mineros, procesos experimentales (Volumen II)*. España: Instituto Geológico y Minero de España.
- Bertrand, G., Guillou-Frottier, L. & Loiselet, C. (2014). Distribution of porphyry copper deposits along the western Tethyan and Andean subduction zones: Insights from a paleotectonic approach. *Ore Geology Reviews*, 60, 174-190.
- Betancourt C., Suárez R. & Toledo, L. (2009). Patrones de distribución temporal de algunas variables físicas y químicas en el embalse Paso Bonito, Cienfuegos, Cuba. *Limnetica*, 28(1):23-34.
- Besada, V., Andrade, J.M., Schultze, F. & Gonzalez, J.J. (2011). Monitoring of heavy metals in wild mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from the Spanish North-Atlantic coast. *Continental Shelf Research*, 31, 457-465
- Blott S. & Pye K. (2001). Technical Communication Gradistat: A grain size distribution and Statistics Package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surf. Processes Landforms*, 26, 1237-1248.
- Boggs, S. J. (2009). *Petrology of sedimentary rocks*. New York, United States: Cambridge University Press.
- Botello, A., Rendón, J., Gold-Bouchot, G. & Agraz-Hernández, C. (2005). Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencia. México: UNAM.
- Bradl H.B. (2005). *Heavy Metals in the Environment*. New York: Elsevier Academic Press.
- Browne, M.A., Sissanayake, A., Galloway T.S., Lowe, D.M. & Thompson, R.C. (2008). Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the Mussel, *Mytilus edulis* (L). *Environmental Science and Technology*, 42, 5026-5031.
- Buccolieri A., Buccolieri G., Cardellicchio N., Dell'Atti A., Di Leo A. & Maci A. (2006). Heavy metals in marine sediments of Taranto Gulf (Ionian Sea, Southern Italy). *Marine Chemistry*, 99, 227-235
- Bugoni, L. Krause, L. & Petry M. (2001). Marine debris and human impacts on sea turtles in southern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 42 (12), 1330-1334.
- Calvo, G., Peña, M., Culebras M. & Gómez V. (2013). Estudios sobre innovación tecnológica en España. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, ISBN electrónico: 978-84-362-6778-5.
- Carpenter, E.J., Anderson, S.J. Harvey, G.R. & Miklas, H.P. (1972). Polystyrene spherules in coastal waters, *Science*, 178 (4062) 749-750.
- Carranza-Edwards (1975). Unidades Morfotectónicas Continentales de las Costas Mexicanas. *An. Inst. Ciencias Mar Limnol.*, UNAM, México, 2 (1): 81-88.
- Carranza-Edwards, Rosales-Hoz, L. & Lozano-Santa, C. (1987). Estudio Sedimentológico de Playas del Estado de Oaxaca, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM, México.
- Castellanos, P., Varela, R. & Muller-Karger, F. (2002). Descripción de las áreas de surgencia al sur del Mar Caribe examinadas con el sensor infrarrojo AVHRR. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, 154:55-76.

- Castells, X. & Jurado, L. (2012). *Los plásticos residuales y sus posibilidades de valoración. Colección monografías, serie: Energía, Medioambiente, Tratamiento de Residuos*. Madrid: Díaz de Santos.
- Castro, R., Mascareñas, A., Durazo, R. & Collins, C. (2000). Variación estacional de la temperatura y salinidad en la entrada del Golfo de California, México. *Ciencias Marinas*, 26(4): 561-583.
- Cattell, R. (1966). The scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research*, 1, 245-276.
- Cisneros, E. & Barrientos Y. (2008). Fluctuaciones anuales de la temperatura, salinidad, pH y alcalinidad total en aguas superficiales de Isla Larga, estado Carabobo, Venezuela. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. *Revista de Investigación*, 63.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (2003). *Programa de Manejo Parque Nacional Huatulco, México*. (1era ed.), México.
- Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO) (1996). Regiones prioritarias para la conservación en México. *Biodiversitas*, 2(9), México.
- Comisión de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (2003). *Programa de Manejo Parque Nacional Huatulco, México*, (1era ed.), México.
- Comisión de Áreas Naturales Protegidas (CONANP, SEMARNAT) (2014). *Áreas Naturales Protegidas México*.
- Contreras-Hinojosa, J., Volke-Haller, V., Oropeza-Mota, J.L., Rodríguez-Franco, C., Martínez-Saldaña, T. & Martínez-Garza, A. (2003). Disponibilidad y uso de la leña en el municipio de Yanhuatlán, Oaxaca. *Terra Latinoamericana*, 21 (3), 437-445.
- Contreras, M. (2011). *Estudio del comportamiento de metales traza en procesos de co-combustión de carbón y biomasa en lecho fluidizado*. Madrid: CIEMAT, Universidad Autónoma de Madrid, España.
- Cooper D. & Corcoran P. (2010). Effects of mechanical and chemical processes on the degradation of plastic beach debris on the island of Kauai, Hawaii, *Marine Pollution Bulletin*, 60, 650–654.
- Corcoran, P., Blesinger, M. & Grifi, M. (2009). Plastics and beaches: A degrading relationship, *Marine Pollution Bulletin*, 58, 80-84.
- Comisión de Playas Limpias de Huatulco (CPLH) (2013). *Programa de Limpieza de playas 2006-2013*. México: Comité de Playas Limpias Huatulco, Oaxaca, México.
- Comisión de Playas Limpias de Huatulco (CPLH) (2009). *Comité de Playas Limpias del Municipio de Santa María Huatulco, 2009*. Comité Playas Limpias Huatulco, México.
- CPML (2008). Manual de Buenas Prácticas Ambientales para el sector MIPYME-Temerías. Centro de Producción más limpia de Nicaragua en coordinación con la Unidad de Gestión Ambiental del MIFIC. Nicaragua. Recuperado el 10 de abril de 2014 de <http://www.mific.gob.ni/Portals/0/Documentos%20MIFIC/Manual%20Buenas%20Practicas%20Ambientales%20en%20Tenerias.pdf>
- Cuculic V., Cukrov N., Kwokal Z. & Mlakar M. (2009). Natural and anthropogenic sources of Hg, Cd, Pb, Cu and Zn in seawater and sediment of Mljet National Park, Croatia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 81, 311-320.
- Cupul-Magaña, L., Mósso-Aranda, C., Sierra, J., Martí, E., Ferman-Almada, J., Rodilla, M., González del Río, J. & Sánchez-Arcilla, A. (2006). Caracterización y patrones de distribución de los sedimentos superficiales en Bahía Cullera, España. *Ciencias Marinas*, 32 (4), 617-629.

- Davis R. & Duncan (2004). *Beaches and Coasts*, Malden, USA: Blackwell Publishing.
- DePaula & Mozeto (2001). Biochemical evolution of trace elements in a pristine watershed in the Brazilian southeastern coastal region. *Applied Geochemistry*, 16 1139-1151.
- Del Aguila, J., Lugo, J. & Vaca, R. (2005). Determinacion de factores de enriquecimiento y geoacumulación de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn en suelos de la cuenca alta del río Lerma. *Ciencia Ergo Sum*, UAEM, 12 (2) 155-161.
- Derbyshire, E., O'Driscoll, B., Lenaz, D., Gertisser, R. & Kronz, A. (2013). Compositionally heterogeneous podiform chromitite in the Shetland Ophiolite Complex (Scotland): Implications for chromitite petrogenesis and late-stage alteration in the upper mantle portion of a supra-subduction zone ophiolite. *Lithos*, 162-163, 279-300.
- Derraik, J. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review, *Marine Pollution Bulletin*, 44, 842-852.
- Devala, T. (2014). Textural Characteristics and Depositional Environment of Olistostromal Sandstone of Ukhul, Manipur. *International Journal of Recent Development in Engineering and Technology*. ISSN 2347-6435.
- Do Sul & Costa (2009). Here, there and everywhere. Small plastic fragments and pellets on beaches of Fernando de Noronha (Equatorial Western Atlantic) Baseline, *Marine Pollution Bulletin* 58 (2009) 1229–1244.
- Endo, S., Takizawa, R., Okuda, K., Takada, H., Chiba, K., Kanehiro, H., Ogi, H., Yamashita, R. & Date, T. (2005). Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin pellets: variability among individual particles and regional differences. *Marine Pollution Bulletin*, 50, 1103-1114.
- Escalona, L., Argáez, G. & González, O. (2003). Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR). Cuencas y corales de la zona costera de Huatulco, *Grupo Autónomo para la Investigación Ambiental, A.C.*, México
- Escamilla P. (2011). *Propuesta de manejo y conservación de los arrecifes de Bahías de Huatulco: un enfoque ecológico-económico*, México: UMAR.
- Estrada, O. (2007). *Características granulométricas y geoquímicas de arena de playa de Tecolutla, Veracruz, México: Implicaciones de procedencia y ambientes sedimentarios de depósito*. México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Estrada, V. (2008). *Determinación de metales pesados en agua, sedimento y coral (Pocillopora damicornis) en Bahías de Huatulco, Oaxaca*, México:UMAR.
- Fang, T. & Hong, E. (1999). Mechanisms influencing the spatial distribution of trace metals in surficial sediments off the south-western Taiwan. *Marine Pollution Bulletin* 38(11), 1026-1037.
- Farrell, P. & Nelson, K., 2013. Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.), *Environmental Pollution*, 177,1-3.
- Fernández-Cano & Hidalgo, T. (2011). *Tratado de Viticultura*, Tomo II. (4ta ed.) España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Fichet, D., Radenac, G. & Miramand, P. (1998). Experimental studies of impacts of harbor sediments resuspension to marine invertebrates larvae: bioavailability of Cd, Cu, Pb and Zn and toxicity. *Marine Pollution Bulletin*, 36, 509-518.

- Folk RL & Ward WC (1957). Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27:3–26.
- Fondo Nacional de Fomento al Turismo (FONATUR) (1981). *Anteproyecto: plan maestro de desarrollo turístico*. México: Dirección General de Planeación Económica y Urbana.
- Fondo Nacional de Fomento al Turismo (FONATUR) (1984). *Informe técnico: Ordenamiento ecológico y estrategia ambiental del proyecto de las bahías de Huatulco*. México: Bufete de Proyectos. Manuscrito, FONATUR.
- Fondo Nacional de Fomento al Turismo (FONATUR) (1986). *Desarrollo turístico, bahías de Huatulco, Oax. Plan Maestro de las bahías centrales, Santa Cruz, Chahué y Tangolunda*. México: Memoria Descriptiva, FONATUR.
- Franeker, J., Blaize, C., Danielsen, J., Fairclough, K., Gollan J., Guse, N., Hansen P., Heubeck, M., Jensen, J., Le Guillou, G., Olsen B., Olsen K., Pedersen J., Stienen, E. & Turner, D. (2011). Monitoring plastic ingestion by the northern fulmar *Fulmarus glacialis* in the North Sea. *Environmental Pollution* 159, 2609-2615.
- Frías-Navarro D. & Pascual M. (2012). Prácticas del análisis factorial exploratorio (AFE) en la investigación sobre conducta del consumidor y marketing. *Suma Psicológica*, 19 (1). ISSN 0121-4381.
- Friedmand, G. & Sanders, J. (1978). *Principies of sedimentology*. New York: John Wiley and Sons.
- Fyfe W.S. (2013). *Introducción a la Geoquímica*, Barcelona, España: Reverté.
- Gaafar, G., Altunbay, M., Bal, A. & Anuar, N. (2014). Ascendancy of Continuous Profiles of Grain-Size Distribution for Depositional Environment Studies. Search and Discovery Article 41441, AAPG International Conference & Exhibition Istanbul, Turkey, September 14-17, 2014.
- García, A., Bernárdez, P. & Prego, R. (2013). Cooper in Galician ria sediments: natural levels and harbour contamination. *Scientia Marina* 77S1, ISSN: 0214-8358, doi: 10.3989/scimar.03725.27H
- García, E. (1973). *Modificaciones al sistema de clasificación de climática de Köppen*, México: Instituto de Geografía, UNAM.
- García, E.M., Cruz-Motta, J.J., Farina, O. & Bastidas, C. (2008). Anthropogenic influences on heavy metals across marine habitats in the western coast of Venezuela. *Continental Shelf Research* 28, 2757–2766.
- García, F. (2005). *Investigación Comercial*. (2da ed.) Madrid: Universidad Rey Juan Carlos.
- García, F. (2012). *Investigación comercial*. (3ra ed.), España: ESIC.
- García, M.T., Pérez, M.C., Stupak, M.E. & Blustein, G. (2015). Hacia una reducción del contenido de cobre en pinturas antiincrustantes. *Revista Materia*. 20 (03), ISSN 1517-7076 artículo 11639, 691-698.
- Gavriil, A. & Angelidis M., 2005. Metal and organic carbon distribution in water column of a shallow enclosed Bay at the Aegean Sea Archipelago: Kalloni Bay, island of Lesbos, Greece, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 64, 200-210.
- Gianguzza, A., Pelizzetti, E. & Sammartano, S. (2002). *Chemistry of Marine Water and Sediments*. Germany: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Glynn, P. & G. Leyte (1997). Coral Reefs, West Mexico: Reef Development in Upwelling Gulf of Tehuantepec, *Rev. Biol. Trop*, 45 (3): 1003-1047, EUA.

- Góez, R., Domínguez L. & González, H. (2006). Análisis territorial de la micro-cuenca y bahía del río Cacaluta, Santa María Huatulco, Oaxaca. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, ISSN 0188-4611, Núm. 60, 2006, pp. 22-45
- Goldberg, E.D., Griffin, J., Hodge, V., Koide, M. & Window, H. (1979). Pollution history of the Savannah River estuary. *Environ. Sci. Technol.* 15: 588-594.
- Gómez, R., Domínguez L. & González, H. (2006). Análisis territorial de la micro-cuenca y bahía del río Cacaluta, Santa María Huatulco, Oaxaca. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, ISSN 0188-4611, 60, 22-45.
- González-Mora (2013). Reservas de agua para la protección ecológica de las cuencas de los ríos Copalita, Coyula y Zimatán, Oaxaca. *Memorias del III Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas, UNAM, Morelia.*
- Gramentz, D. (1988). Involvement of loggerhead turtle with the plastic, metal and hydrocarbon pollution in the Central Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin* 19, 11-13.
- Gregory M. (1978). Accuulation and distribution of virgin plastic granules on New Zeland beaches, New Zeland *Journal of Marine and Freshwater Research* 12, 399-414.
- Gregory M. (1996). Plastic scrbbbers in hand cleansers: a further and minor source for marine pollution identified. *Marine Pollution Bulletin* 32, 867-871.
- Gregory M. (2009). Environmental implications of plastic debris in marine settings entanglement, ingestión smorrthering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions, *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 364, 2013-2025.
- Hails, J. & Hoyt, J. (1969). The significance and limitations of statistical parameters for distinguishing ancient and modern sedimentary environments of the Lower Geogia Plain. *Jour. Sediment. Petrol.*, 39, 559-580.
- Hernández, A., Zirino, A., Marinone, S.G., Canino R. & Galindo S. (2003). Relación pH-densidad en el agua de mar. *Ciencias Marinas*, 29 (4), 497-508.
- Hernández-Ayón, J., Zirino, A., Marinote, S., Camino-Herrera, R. & GalindoBeer, M. (2003). Relación pH-densidad en el agua. pH-density relationships in seawater. *Ciencias Marinas* 29 (4): 497- 508.
- Hernández G., Domínguez H. & Caballero C. (2005). Innovación de producto y aprendizaje dirigido en alfarería en Oaxaca, México. *Revista de Ciencias Sociales*, 11(2), 213-228.
- Herrera, L. & Ferbes, G. (1975). Procesos de surgencia y renovación de aguas en la Fosa de Cariaco. Mar Caribe. *Boletín Instituto Oceanográfico Universidad de Oriente* 14(1): 31-44.
- Horn, J.L. (1965). A rationale and test for the number of factors in factor analysis. *Psychometrika*, 30, 179-185.
- Huerta, G. & Sánchez, C. (2011). Evaluación del Potencial Ecoturístico en Áreas Naturales Protegidas del municipio de Santa María Huatulco, México, *Cuadernos de Turismo*, 27, 541-560.
- Instituto Nacional de Ecología (INE) (1994). *Estudio de ordenamiento ecológico de Bahías de Huatulco, Oaxaca. Informe final. Instituto de Ecología, A.C.* México, Xalapa: FONATUR.

- Instituto Nacional de Ecología (INE) (2007). Emisiones derivadas de la producción de energía en centrales termoeléctricas, SEMARNAT, México. Recuperado el 14 de diciembre de 2016, en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/496/cap2.html>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (1997). *Anuario Estadístico del Estado de Oaxaca*, Oaxaca, México
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2005). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Santa María Huatulco, Oaxaca* Clave geoestadística 20413, México. Recuperado el 14 de diciembre de 2016 en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/20/20413.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2011). *Censos y Conteos de Población y Vivienda*, Series Históricas. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2013). *Panorama agropecuario en Oaxaca*. Censo Agropecuario 2007. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Secretaría de Turismo (SECTUR) (2002). *Guía Turística Estatal, Edición con Mapas Urbanos y Fotografías a todo color*, México: SECTUR.
- Jayaprakash, M., Srinivasalu, S., Jonathan, M.P. & Ram Mohan, V. (2005). A baseline study of physico-chemical parameters and trace metals in waters of Ennore Creek, Chennai, India. *Marine Pollution Bulletin*, 50, 583-608.
- Jiménez, B. (2005). La contaminación ambiental en México, causas, efectos y tecnología apropiada. México: Limusa Noriega Editores.
- Jonathan, M.P., Roy, P.D., Thangadurai, N., Srinivasalu, S., Rodríguez-Espinosa, P.F., Sarkar, S.K., Lakshumanan, C., Navarrete-López, M. & Muñoz-Sevilla, N.P. (2011). Metal concentrations in water and sediments from tourist beaches of Acapulco. México. *Mar. Poll. Bull.*, 62, 845-850.
- Liebezeit & Dubaish (2012). Microplastics in Beaches of the East Frisian Islands Spiekeroog and Kachelotplate. *Bull Environ Contam Toxicol*, 89:213-217.
- López, G. (2011). La reorientación del ciclo de vida del área turística. El caso de Bahías de Huatulco, Oaxaca (México). *Investigaciones Turísticas*, 1, 107-121.
- López-Pérez, R.A. y López-García (2009). Identificación de sitios prioritarios para la conservación de corales formadores de arrecife en el estado de Oaxaca, México. *Hidrobiológica*, 18(3):209-213.
- Lu, X.Q., Werner, I. & Young, R.M., (2005). Geochemistry and bioavailability of metals in sediments from northern San Francisco Bay. *Environment International*, 31, 593-602.
- Lutcavage, M.C., Plotkin, P., Whitherington, B. & Lutz, P.L. (1997). Human impacts on sea turtle survival. In: Lutz, P.L., Musick, J.A. (Eds.), *The Biology of Sea Turtles*. CRC Press, Boca Raton, 397-409.
- Juárez, P., Lugo de la Fuente, J. & Vaca, P. (2005). Determinación de factores de enriquecimiento y geoacumulación de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn en suelos de la cuenca alta del río Lerma. *Ciencia Ergo Sum*, UAEM, 12, 2, 155-161.
- Kabata-Pendias & Mukherjee, 2010. *Trace Elements from Soil to Human*, New York: Springer-Verlag.
- Kaiser, H.F. (1960). The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 141-151.

- Kitt, S., Kisters, A., Steven, N., Maiden, K. & Hartmann, D. (2016). Shear-zone hosted copper mineralisation of the Omitomire deposit-Structural controls of fluid flow and mineralisation during subduction accretion in the Pan-African Damar Belt of Namibia. *Ore Geology Reviews* 75, 1-15.
- Lara-Lara, J., Arenas, V., Bazán, C., Díaz V., Escobar E., García, M., Gaxiola, G., Robles, G., Sosa, R., Soto, L., Tapia, M. & Valdez-Holguín, E. (2008). *Los ecosistemas marinos, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. México: CONABIO.
- Lawson & Winchester (1979). A standard cristal aerosol as a reference for elemental enrichment factors, *Atmospheric Environment*, 13(7), 925-930.
- Ledesma, R.D. & Valero-Mora, P. (2007). Determining the number of factors to retain in EFA: an easy-to-use computer program for carrying out Parallel Analysis. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 12 (2), ISSN 1531-7714.
- Li, J., Gao, J., John, T., Klemd, R. & Su, W. (2013). Fluid-mediated metal transport in subduction zones and its link to arc-related giant ore deposits: Constraints from a sulfide-bearing HP vein in lawsonite eclogite (Tianshan, China). *Geochimica et Cosmochimica Acta* 120, 326-362.
- Liebezeit & Dubaish (2012). Microplastics in Beaches of the East Frisian Islands Spiekeroog and Kachelotplate, *Bull Environ Contam Toxicol*, 89:213-217.
- Liu, H.F. & Lipták G. (1999). *Environmental Engineers Handbook*. Chapman&Hall/CRCnetBase.
- Livingston D.A. (1963). *Chemical composition of Rivers and Lakes*. In (M. Fleischer ed.,) *Data of Geochemistry*, (6ta ed.) Chapter G. USGS Prof. Paper 440-G.
- Long, E.R., Mac Donald, D.D., Smith, S.L. & Calder, F.D. (1995). Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Env. Manag.* 19, 81-97.
- López G. (2011). La reorientación del ciclo de vida del área turística. El caso de Bahías de Huatulco, Oaxaca (México). *Investigaciones Turísticas*, 1, 107-121.
- López-Pérez, R. y López-García (2009). Identificación de sitios prioritarios para la conservación de corales formadores de arrecife en el estado de Oaxaca, México. *Hidrobiológica*, 18(3):209-213.
- Lu, X.Q., Werner, I. & Young T.M. (2005). Geochemistry and bioavailability of metals in sediments from northern San Francisco Bay. *Environment International*, 31, 593-602.
- Lynch, J.M. & Poole N.J. (1979). *Microbial ecology: a conceptual approach*. Blackwell Scientific Publications.
- MacDonald, D.D., Ingersoll, C.G. & Berger, T.A. (2000). Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 39, 20-31.
- Manahan, S.E. (2007). *Introducción a la Química Ambiental*, España: Reverté.
- Millero, F. (1996). *Chemical Oceanography*. CRC Press. Boca Raton, Fla., 469 p.
- Miniussi, C. y Pérez, R. (1969). Aplicación de la fluorescencia de Rayos X al análisis de pinturas antiincrustantes. Repositorio de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Ministerio de Producción, Ciencia y Tecnología. Recuperado el 18 de enero de 2016 en: <http://digital.cic.gba.gob.ar/handle/123456789/755>
- Moiola, R.J. & Weiser, D. (1968). Textural parameters: An evaluation. *Jour. Sediment. Petrol.*, 38 (1), 45-53.

- Mook, W.G. & Vries (2002). *Isótopos ambientales en el ciclo hidrológico: principios y aplicaciones*, España: Instituto Tecnológico Geominero de España, IGME.
- Moore, C., Moore, S., Leecaster, M. & Weisberg, S. (2001). A comparison of plastic and plankton in the north pacific central gyre. *Marine Pollution Bulletin*, 42, 1297-1300.
- Moore, C. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research*, 131-139.
- Morales, G. (2013). *Estudio de los metales contenidos en aire, agua y sedimentos en un área urbano-rural con influencia industrial ubicada en Zona Metropolitana de Puebla, México*. Tesis de Doctorado. Instituto Politécnico Nacional.
- Morán-Zenteno, D., Corona-Chávez, P. & Tolson, G. (1996). Uplift and subduction erosion in southwestern Mexico since the Oligocene: Pluton geobarometry constraints, *Earth and Planetary Science Letters*, 141(1-4), 51-66.
- Morán-Zenteno, D., Tolson, G., Martínez-Serrano, R., Martiny, B., Schaaf, P., Silva-Romo, G., Macías-Romo, C., Alba-Aldave, L., Hernández-Bernal, M. & Solís-Pichardo, G. (1999). Tertiary arc-magmatism of the Sierra Madre del Sur, Mexico, and its transition to the volcanic activity of the Trans-Mexican Volcanic Belt. *Journal of South American Earth Sciences*, 12, 513 – 535.
- Morét-Ferguson, S., Lavender, K., Proskurowski, G., Murphy, E., Peacock, E. & Reddy, C. (2010). The size, mass, and composition of plastic debris in the western North Atlantic Ocean, *Marine Pollution Bulletin* 60, 1873–1878
- Muller, G. (1979). Heavy metals in the sediment of the Rhine-Changes seity, 1971. *Umsch. Wiss. Tech.*, 79, 778-783.
- Müller, G. (1981). Die Schwermetallbelastung der sedimente des Neckars und seiner Nebenflüsse: eine Bestandsaufnahme. *Chemical Zeitung*, 105, 157-164.
- Muñoz-Barbosa, A. & Huerta-Diaz, M.A. (2013). Trace metal enrichments in nearshore sediments and accumulation n mussels (*Modiolus capax*) along the Eastern coast of Baja California, México: Enrironmental status in 1995. *Marine Pollution Bulletin* 77, 71-81.
- Nagarajan R, Jonathan MP, Roy PD, Wai-Hwa L, Prasanna MV, Sarkar SK & Navarrete-López M (2013) Metal concentrations in sediments from tourist beaches of Miri city, Sarawak, Malaysia (Borneo Island). *Mar Poll Bull* 73:369–373.
- Nobi, E.P., Dilipan, E., Thangaradjou, T., Sivakumar & K., Kannan, L. (2010). Geochemical and geo-statistical assessment of heavy metal concentration in the sediments of different coastal ecosystems of Andaman Islands, India, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 87, 253–264
- Nolting, R., Ramkema, A. & Everaarts, J. (1999): The geochemistry of Cu, Cd, Zn, Ni and Pb in sediment cores from the continental slope of the Banc d'Arguin (Mauritania). *Continental Shelf Research*, 19: 665-691.
- Organización Marítima Internacional (OMI) (2016). *Convenio internacional sobre el contro de los sistemas antiincrustantes perjudiciales en los buques, 2001*. Recuperado el 16 de enero de 2016 de: <http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-on-the-Control-of-Harmful-Anti-fouling-Systems-on-Ships-%28AFS%29.aspx>
- Palomares, M., Tortosa, A. & Arribas, J. (1990). Caracterización clastométrica de los depósitos detríticos de cabecera de arroyos en el Sistema central: influencia de la litología del área fuente. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Geol.)*, 85 (1-4), 5-21.

- Pekey, H. (2006). The distribution and sources of heavy metals in Izmit Bay surface sediments affected by a polluted stream. *Marine Pollution Bulletin*, 52, 1197-1208.
- Pérez E. & Medrano L. 2010. Análisis factorial exploratorio: Bases conceptuales y Metodológicas. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento*, 2 (1), 58-66.
- Pettijohn F.J. (1975). *Sedimentary Rocks*, (3era ed.) New York, United States: Harper & Row, Publishers.
- Pickard, G.L. & Emery, W.J. (1982). *Descriptive Physical Oceanography*. Oxford: Pergamon Press.
- Plan Estatal de Desarrollo de Oaxaca 2011-2016, Oaxaca, México.
- Plan Municipal de Desarrollo 2014-2016, Santa María Huatulco, Oaxaca, México.
- PlasticsEurope (2012). Plastics-the Facts 2012. An analysis of European plastics production, demand and waste data 2011.
- Popadic, A., Vidovic, J., Cosovic, V., Medakovic, D., Dolenc, M. & Felja, I. (2013). Impact evaluation of the industrial activities in the Bay of Bakar (Adriatic Sea, Croatia): Recent benthic foraminifera and heavy metals. *Marine Pollution Bulletin*, 76, 333-348.
- Ramírez, A. (2002). Toxicología del Cadmio conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de la Facultad de Medicina*, Universidad Nacional de San Marcos, 63 (1). ISSN 1025-5583.
- Ramírez-Fuentes, E. & Trujillo-Tapia, N. (2012). La hidrólisis de diacetato de fluoresceína [3',6'-diacetilfluoresceína]: un método rápido y eficaz para determinar la actividad microbiana en muestras de suelo contaminado por pesticidas. *Ciencia y Mar*, XVI (47):31-36.
- Ramírez, G. (2005). Las bahías de Huatulco, Oaxaca, México: ensayo geográfico-ecológico. *Ciencia y Mar*, IX (25):3-20.
- Ramos, S. & Gómez, B. (2007). La Talabartería oaxaqueña y su antecedente. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 787. ISSN 1696-8352.
- Restrepo, L. & González, J. (2007). De Pearson a Spearman. *Rev Col Cienc Pec*, 20:183-192.
- Restrepo, J., Franco, D., Escobar, J., Correa, I., Otero, L. & Gutiérrez J. (2013). Bahía de Cartagena (Colombia): distribución de sedimentos superficiales y ambientes sedimentarios. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 41(1):99-112.
- Reyes, C., Martínez, N., Díaz, G., Mayorga, G., Anaya, G., Martínez, C., Mendoza, S., Alavés, V., Ocampo, F., May, M. y Galván, R. (2007). Reporte Final de datos correspondiente al proyecto Monitoreo estacional de calidad del agua y su relación con la hidrografía y corrientes debidas a marea y oleaje en las Bahías de Huatulco, FON-CNA-2004-01-018. UMAR, Oaxaca.
- Ridgway J. & Shimmield G. (2002). Estuaries as repositories of historical contamination and their impact of Shelf Seas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55, 903-928.
- Rios, L.M., Moore, C. & Jones, P.R. (2007). Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Marine Pollution Bulletin* 54 1230–1237
- Rivera, R. (2011). Diagnóstico ecológico, social y cultural del Parque Nacional Huatulco, México: CONANP.
- Rivera, T., Gutiérrez, L., Val, S., Mejía, Z., Sánchez, R., Aparicio, M. & Díaz, F. (2005). La medición de sedimentos en México. México: IMTA-UJAT.

- Rodríguez J. & Mora, C. (2001). *Análisis factorial. En: Estadística informática: casos y ejemplos con el SPSS*. Alicante: Publicaciones de la Universidad de Alicante. ISBN 84-7908-638-6, 127-142
- Rodríguez, S. (2006). *Interpretación Oceanográfica de una zona costera de México usando Imágenes de Satélite de la Temperatura de la Superficie del Mar*, México: UAM.
- Roldán, G. y Ramírez, J. (2009). *Fundamentos de Limnología neotropical*, (2da ed.). Colombia: Universidad de Antioquia.
- Roldán, P. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia, propuesta para el uso del método BMWP/Col.*, Ciencia y Tecnología, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Román, M. (2008). *Determinación de Peligrosidad de pilas Usadas complementada con análisis de ciclo de vida*. México: CIIEMAD, IPN.
- Royero, O. (2015). *Introducción a la oceanografía física: Notas de clase*, Colombia: Editorial Universidad del Norte.
- Ruvalcaba, M., Pérez, Z. y Herrera, O. (2004). *La Huasteca, un recorrido por su diversidad*. México: CIESAS, El Colegio de San Luis, A.C. : El Colegio de Tamaulipas.
- SAGARPA (2010). *Información Técnica de Ajonjolí (Sesamum indicum) en México*. México.
- Sahu, B.K. (1964). Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments. *J. Sediment. Petrol.* 40, 73-83.
- Sánchez B., Ortega, E., Sandoval O., Hernández V. & Estrada V. (2012). Lavado de sales en suelos aluviales costeros de Oaxaca, México, con aguas residuales municipales tratadas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(4):343-360.
- Sánchez, B., Sandoval, O., Camcho, M.A., Valdez, M., Rodríguez, L. & Ortega, E. (2014). Calidad hidrogeoquímica de las aguas del río Copalita, Oaxaca, México. *Revista Internacional de Ciencia y Sociedad*, 1 (2).
- Santana-Hernández H. (2001). Estructura de la comunidad de pelágicos mayores capturados con palangre en el Pacífico Mexicano (1983-1996) y su relación con la temperatura superficial del mar. Tesis de Doctorado. Universidad de Colima. Posgrado Institucional en Ciencias Pecuarias.
- Schiff KC & Weisberg SB (1999). Iron as reference element for determining trace metal enrichment in Southern California coastal shelf sediments. *Mar. Environ. Res.* 48: 161-176.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2002). *Resumen del Programa de Manejo del Área Natural Protegida con el carácter de Parque Nacional Huatulco, Oaxaca*. México: Diario Oficial.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, INECC) (2013). Etapas de caracterización y diagnóstico del estudio técnico del Ordenamiento Ecológico Marino y regional del Pacífico Centro Sur. México.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM) (2002). Carta Geológico-Minera, Puerto Escondido D14-3, Servicio Geológico Mexicano.
- Shaw, D. & Day, R. (1994). Colour- and form-dependent loss of plastic micro-debris from the North Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin* 28. 39-43.

- Siddique, A., Mumtaz, M., Zaigham, N., Mallick, K., Saied, S., Zhair, E. & Khwaja, A. (2009). Heavy metal toxicity levels in the coastal sediments of the Arabian Sea along the urban Karachi (Pakistan) región. *Marine Pollution Bulletin*, 58, 1406-1419.
- Soto, M., Gama, L. & Gómez, M. (2001). Los climas cálidos subhúmedos del estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 3 (002), 31-40.
- Spalletti, L. (1979). Diferenciación textural de arenas de playa frontal, playa distal y medano de la provincia de Buenos Aires en base a análisis estadísticos. Asociación Geológica Argentina, Revista. XXXIV, 2.
- Storrier, K.L. McGlashan, D.J. Bonellie, S. & Velander K. (2007). Beach litter deposition at a selection of beaches in the firth of forth, Scotland, *Journal of Coastal Research* 23, 813-822.
- Stumpf, H. (1975). Satellite Detection of Upwelling in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. National Environmental Satellite Service, NOAA, Suitland, Md. 20233.
- Suganraj, K., Singarasubramanian, S.R., Rajmohan, S., Sathya, A. & Sundararajan, M. (2013). Grain size statistical parameters of coastal sediments at Kameswaram, Nagapattinam District, east coast of Tamilnadu, India. *International Journal of Recent Scientific Research*, 4(2), 102-106.
- Taiz L. & Zeiger, E. (2006). *Fisiología vegetal*. (3era ed.) Publicacions de la Universitat Jaume I. D. L.
- Tarbutck & Lutgens (2004). *Ciencias de la Tierra, una Introducción a la Geología Física*, (6ta ed.), Pearson Prentice Hall.
- Taylor SR & McLennan SM (1985) *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford.
- Teuten E.L., Saquing, J.M. Knappe B. M., Jonsson, B. R., Thompson, R. & Galloway (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife Philosophical Transactions of the Royal Society of London B, *Biological Science* 364 (1526) 2153-2166.
- Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W.G., McGonigle, D. & Russell, A.E., 2004. Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 304, 838.
- Trasviña A. & E.D. Barton, 1997. Los 'Nortes' del Golfo de Tehuantepec: la circulación costera inducida por el viento, en contribuciones a la Oceanografía Física en México, monografía No. 3, Miguel F. Lavín, México: Union Geofísica Mexicana.
- Trefry, J. H., S. Metz, R. Trocine, & T. A. Nelsen (1985). A decline in lead transported by the Mississippi River. *Science*, 230 (4724), 439-441.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), (1984). Documentos técnicos 36 de la Unesco sobre ciencias del mar. La escala de salinidades prácticas de 1978 y la ecuación internacional del agua del mar de 1980. UNESCO.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), (1996). Method 3050B. Acid digestion of sediments, sludges and soils. Recuperado Mayo 7, 2016, de <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1105/ML110590640.pdf>
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), (2001). The role of screening-level risk assessments and refining contaminants of concern in Baseline ecological risk assessments, Publication 9345 0-14, EPA 540/F-01/14, June, 2001.
- Samuel, V. (2015). *Excede Chahué niveles máximos de contaminación*. Recuperado Marzo 10, 2016, de http://www.agua.unam.mx/padhpot/noticias/2015/oaxaca/not_oaxaca_febrero03.html

- Vázquez-Domínguez, E. (2003). Diversidad y distribución de crustáceos y equinodermos y su relación con niveles de sedimentación en arrecifes coralinos. *Revista de Biología Tropical*, 51(1), 183-194.
- Velicer, W.F. (1976). Determining the number of components from the matrix of partial correlations. *Psychometrika*, 41, 321-327.
- Verlis K.M., Campbell, M.L. & Wilson S.P. (2013), Ingestion of marine debris plastic by the wedge-tailed shearwater *Ardenna pacifica* in the Great Barrier Reef, Australia, *Marine Pollution Bulletin* 72, 244–249.
- Wang, X., Planavsky, N., Reinhard, C., Zou, H., Ague, J., Wu, Y., Gill, B., Schwarzenbach, E. & Peucker-Ehrenbrink, B. (2016). Chromium isotope fractionation during subduction-related metamorphism, black shale weathering, and hydrothermal alteration. *Chemical Geology*, 423, 19-33.
- Wedepohl H (1995) The composition of the continental crust. *Geochimica Cosmochim Acta* 59:1217–1239.
- Wright, S., Thompson, S. & Galloway, T. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution* 178 (483-492).
- Wolter, K. & M. S. Timlin (1998). Measuring of strength of ENSO –how does 1997/98 rank. *Weather* 53: 305-324.
- Yntema, C.L. & Mrosovsky, N. (1982). Critical periods and pivotal temperatures for sexual differentiation in loggerhead sea turtles. *Can. J. Zoo*, 60, 1012-1016.
- You, C.-F., Castillo, P.R., Gieskes, J.M., Chan, L.H. & Spivack, A.J. (1996). Trace element behavior in hydrothermal experiments: implications for fluid processes at shallow depths in subduction zones. *Earth and Planetary Science Letters* 140, 41-52.
- Zambrano C., González T., Aranguré Z., Espinosa R. & Paredes L. (2011). ¿Arsénico en Nayarit?, *Fuente*, 3(6). ISSN 2007-0713.
- Zhang, G., Qu, J., Liu, H., Liu, R. & Wu, R. (2007). Preparation and evaluation of a novel Fe-Mn binary oxide adsorbent for effective arsenite removal. *Water Research*, 41 (9), 1921-1928.
- Zirino, A., Fuhrman, R., Oksanen-Gooden, D., Lieberman, S., Clavell, C., Seligman, P., Mathewson, J., Jones, W., Kogelschatz, J & Barber, R. (1986). pH, temperature-nutrient relationships in the eastern tropical Pacific Ocean. *Science Total Environment* 58: 117-137.

Producto de investigación

Environ Earth Sci (2016)75:375
DOI 10.1007/s12665-016-5281-6



ORIGINAL ARTICLE

Metal concentrations in sediments from tourist beaches of Huatulco, Oaxaca, Mexico: an evaluation of post-Easter week vacation

I. Retama¹ · M. P. Jonathan¹ · Priyadarsi D. Roy² · P. F. Rodríguez-Espinosa¹ · R. Nagarajan³ · S. K. Sarkar⁴ · S. S. Morales-García⁵ · N. P. Muñoz-Sevilla¹

Received: 16 March 2015 / Accepted: 11 November 2015
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

Abstract Thirty-eight sediment samples were collected from the inter-tidal beaches of Huatulco located in the Pacific coast of Southern Mexico. They were analyzed for leachable trace metals (LTMs) (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn, Fe) to evaluate the metal concentration caused by the Easter week tourist activities period and before that. Concentration pattern of LTMs indicates that Fe (avg. 7482 mg kg⁻¹), Mn (avg. 69.24 mg kg⁻¹), Cr (avg. 89.25 mg kg⁻¹) are enriched, which is also supported by the correlation of other metals. Geoaccumulation (I_{geo}) and enrichment factor (EF) calculations infer that higher values of Fe, Mn, Cr, and As are not anthropogenic and it is possibly the result of mineralogical assemblage. Comparison of LTMs with other geographical regions and eco-

toxicological values deduced from sediment quality guidelines (SQGs) emphasize that As, Cr, Cd, Mn, and Ni are in higher concentrations and the bio-available elements should be monitored.

Keywords Tourist beach · Sediments · Acid leachable trace metals · Contamination · Huatulco · Oaxaca · Mexico

Introduction

Coastal beach sediments are often sites of natural and anthropogenic metal deposits which are either adsorbed or bioavailable and they often affect the biological cycle and public health. The distribution (or) concentration of metals either naturally or anthropogenically in the tourist beaches are potentially toxic due to their enrichment in sediments (Ghannem et al. 2014; Suresh et al. 2015). Moreover, the local sewage input (or) the micro biological quality, beach litter in tourist beaches is often combined with input of organic materials with adsorbed trace metals which could in turn affect the ecosystem of beaches (Barnes 1973; Bigongiari et al. 2015; Curiel-Ayala et al. 2012; Madzema and Lasiak 1997).

Due to their special adsorbing character, the beach sediments are often enriched or contaminated with different trace metals. The metals can be sourced from various anthropogenic activities (Anu et al. 2010; Nagarajan et al. 2013; Santhiya et al. 2011) like beach tourism (Jonathan et al. 2011), industrial discharge, commerce, agriculture (Gavriil and Angelidis 2005) and intense marine traffic (DePaula and Mozeto 2001; Buccolieri et al. 2006). Naturally, the trace metals are derived from geology of bed rocks, chemical weathering and selective sorting of detrital minerals by the wave action. The continuous increase in

✉ M. P. Jonathan
mpjonathan7@yahoo.com

¹ Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD), Instituto Politécnico Nacional (IPN), Calle 30 de Junio de 1520, Barrio la Laguna Ticomán, Del. Gustavo A. Madero, 07340 Mexico DF, Mexico

² Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510 Mexico DF, Mexico

³ Department of Applied Geology, School of Engineering and Science, Curtin University, CDT 250, 98009 Miri, Sarawak, Malaysia

⁴ Department of Marine Science, University of Calcutta, 35 Ballygunge Circular Road, Calcutta 700 019, India

⁵ Centro Mexicano para la Producción más Limpia (CMPL), Instituto Politécnico Nacional (IPN), Av. Acueducto s/n, Col. Barrio la Laguna Ticomán, Del Gustavo A. Madero, 07340 Mexico DF, Mexico

Published online: 23 February 2016

Springer

metal concentrations often increases toxicity of the beach sand and in the water column.

The main aim of the present study is to generate a baseline data set on the trace metal concentration levels along the tourist beaches of Huatulco (Oaxaca State) located in the Pacific coast of Southern Mexico. In addition, the concentration patterns were used to evaluate the effects of enhanced touristic activities during the Easter week of 2013 as the peak tourist season occurs for a week during Easter time every year.

Materials and methods

Study area

The study area is one of the popular tourist beach destinations in southern Mexico attracting more than 300,000 tourists per year and activities related to tourism provides almost 65 % of the main income in this region (Huerta and Sánchez 2011). The beach area is nearly 35 km long along the Huatulco Bay and it is divided into nearly 9 small bays and 36 beaches (Fig. 1). The National Park of Huatulco accommodates nearly 430 floral communities, 130 species/sub-marine mammal species, 282 bird species, nearly 15 amphibian species and 12 different coral colonies (Rivera 2011). The local bed rocks are dominated by Mesozoic granites, and hornblende bearing granodiorites of Xolapa complex (Tolson et al. 1993; Morán-Zenteno et al. 1996, 1999). Two small rivers (i.e. Coyula and Copalita) also drain in the northern and southern part of study area. Presence of K-feldspar, plagioclase, biotite, titanite, quartz and secondary minerals such as epidote and chlorite is also reported from the weakly weathered beach sediments (Carranza-Edwards et al. 1988; Solari et al. 2007).

Sample collection

A total of 38 surface sediment samples (top 0–5 cm) were collected from different beaches (~35 km) along the Huatulco Bay immediately after the Easter Week of 2013. The samples were also collected from 9 different smaller bays that form parts of the tourist beaches. The samples were from: (1) Bahía Conejos [S.Nos. 1–6]; (2) Bahía Tangolunda [S.Nos. 7–12]; (3) Bahía Chahue [S.Nos. 13–16]; (4) Bahía Santa Cruz [S.Nos. 17–22]; (5) Bahía Organo [S.No. 23]; (6) Bahía Maguey [S.Nos. 24–25]; (7) Bahía Cacaluta [S.Nos. 26]; (8) Bahía Chahacual [S.Nos. 27–30]; (9) Bahía San Agustín [S.Nos. 31–34] and (10) Low regions of Coyula and El Arenal [S.Nos.35–38]. Two reference samples were also simultaneously collected from River Coyula from upper stretch and another near El

Arenal [S.Nos. 39–40]. The inter-tidal sediments were collected using plastic spatula. All the samples were packed in plastic bags and were air-dried and subsequently powdered in the laboratory for further analysis.

Leachable trace metal (LTMs) analysis

Concentrations of LTMs were done in 5 g of powdered sediments using USEPA 3050 method (1989). The samples were digested using 3 ml of HCl + 1 ml of HNO₃ + 5 ml of H₂O₂ + 10 ml of distilled water, which was kept in agitation for 16 h. The aliquot was filtered and subsequently analyzed in AAS (Perkin Elmer Model AA 100) for Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, and cold vapor technique was used to analyze the concentration of As and Hg using graphite furnace. For As and Hg analysis an extra 5 ml of conc.HCl and 10 ml of distilled water is added and it is heated for an additional 15 min (without boiling). After cooling the liquid is made up to 100 ml and then it is filtered using Whatman 41. Two Standard Reference Materials (SRMs) [Marine Reference Standard 2702 and Loam Soil B (SRM 691029)] were used to maintain the quality control, check the precision of the analysis and the recovery % was in between 88.92 and 110.80 % for the analyzed elements. The calculations for geo-accumulation index (I_{geo}) and enrichment factor (EF) were based on two reference samples (S.Nos 39–40) and Fe was used as the normalizing element (Schiff and Weisberg 1999). Statistica (Version 8) was used to compute the correlation matrix results in this study.

Results and discussion

LTM concentrations

The concentration pattern of LTMs in the beach sediments revealed wide range of variations as follows: 0.0002–2.20 mg kg⁻¹ for As (avg. 0.862 mg kg⁻¹), 0.008–1.46 mg kg⁻¹ for Cd (avg. 0.469 mg kg⁻¹), 2.66–12.75 mg kg⁻¹ for Co (avg. 4.63 mg kg⁻¹), 1.67–11.68 mg kg⁻¹ for Cu (avg. 3.35 mg kg⁻¹), 2047–82296 mg kg⁻¹ for Fe (avg. 7491 mg kg⁻¹), 0.0003–044 mg kg⁻¹ for Hg (avg. 0.004 mg kg⁻¹), 20.15–388 mg kg⁻¹ for Mn (avg. 69.24 mg kg⁻¹), 5.40–11.79 mg kg⁻¹ for Ni (avg. 7.26 mg kg⁻¹), 1.21–11.11 mg kg⁻¹ for Pb (avg. 4.48 mg kg⁻¹) and 2.27–28.63 mg kg⁻¹ for Zn (avg. 7.86 mg kg⁻¹) (Fig. 2a–k). Higher concentration of Fe is due to the presence of more biotite and hornblende in the beach sediments from the erosion of bed rocks in the region (Nesbitt and Markovics 1997). Apart from that Carranza-Edwards et al. (1988) reported the presence of epidote and



Fig. 1 Map showing the location of sampling sites along the tourist beaches of Huatulco, Oaxaca, Mexico

chlorite in the weakly weathered beach sediments. The prevalence of higher values of Cr, Cu, Ni, and Co could be from the mafic minerals (pyroxene and amphibole) present in the bed rocks. Bock et al. (1998) and Singh and Rajamani (2001) reported that some of the mafic heavy minerals are fractionated during the weathering and are enriched in the beach sediments.

Statistical analysis

Correlation coefficient matrix indicates a close relationship of Fe vs Mn ($r^2 = 0.81$), Cu ($r^2 = 0.79$), Zn ($r^2 = 0.71$) and Co ($r^2 = 0.76$) suggesting that the above association of metals are derived from similar source, possibly from weathering of local bed rocks (Table 1) (Wen and He,

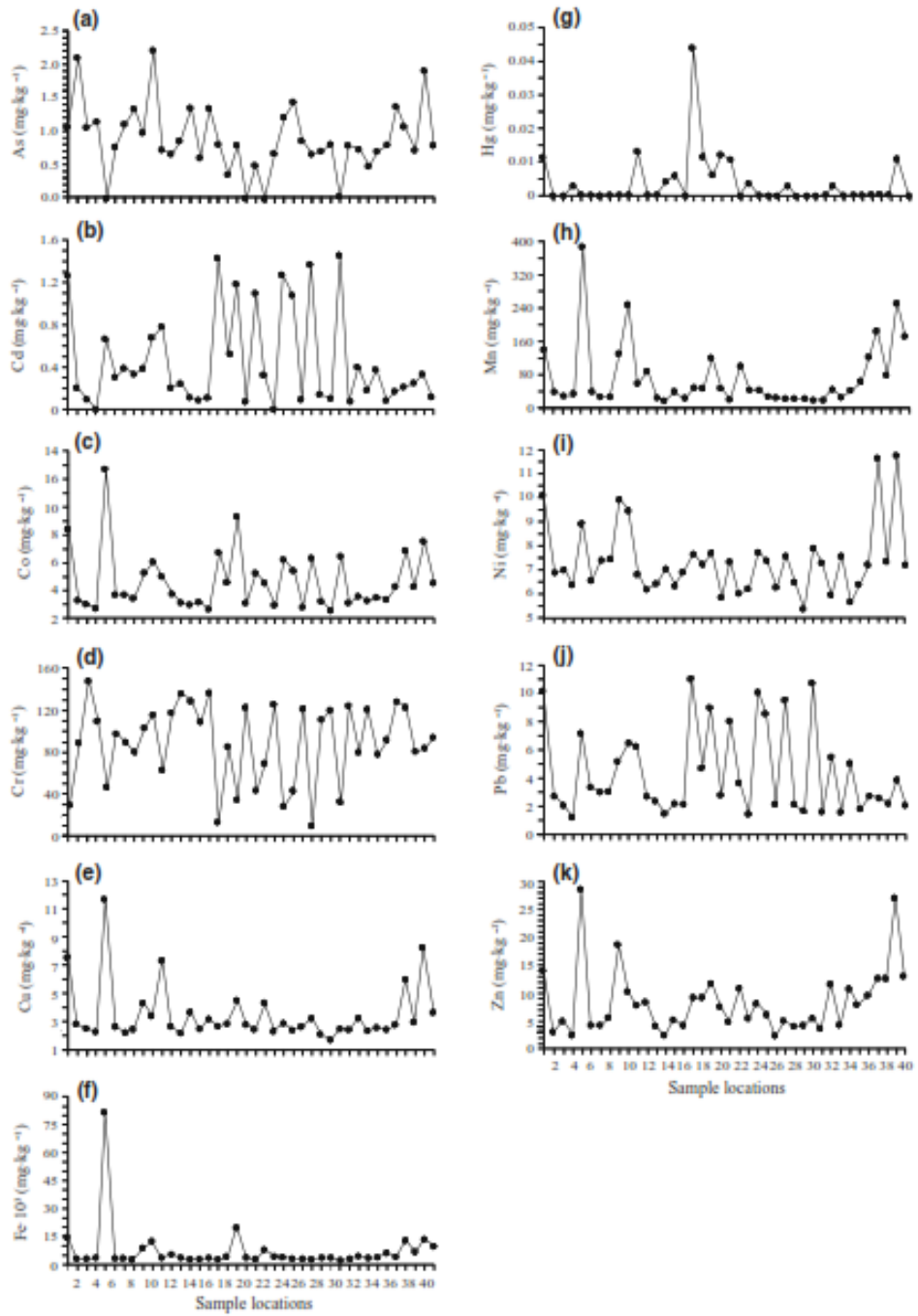


Fig. 2 a–e Distribution pattern of leachable metals (LTMs) in different beach sediments of Huatulco, Oaxaca, Mexico

Table 1 Correlation matrix analysis in chemical composition of beach sediments from different beaches of Huatulco (Oaxaca), Mexico

Elements	Cu	Cd	Cr	Ni	Pb	Zn	Co	Mn	Fe	As	Hg
Cu	1.00										
Cd	-	1.00									
Cr	-	-0.89 ^{†††}	1.00								
Ni	0.62 ^{†††}	-	-	1.00							
Pb	-	0.98 ^{†††}	-0.89 ^{†††}	0.32 [*]	1.00						
Zn	0.80 ^{†††}	-	-	0.62 ^{†††}	-	1.00					
Co	0.78 ^{†††}	0.65 ^{†††}	-0.65 ^{†††}	0.65 ^{†††}	0.69 ^{†††}	0.73 ^{†††}	1.00				
Mn	0.80 ^{†††}	-	-	0.65 ^{†††}	-	0.87 ^{†††}	0.74 ^{†††}	1.00			
Fe	0.79 ^{†††}	-	-	0.37 [*]	-	0.71 ^{†††}	0.76 ^{†††}	0.81 ^{†††}	1.00		
As	-	-	-	0.35 [*]	-	-	-	-	-	1.00	
Hg	-	0.42 ^{††}	-0.40 [*]	-	0.43 ^{††}	-	-	-	-	-	1.00

^{*} $p = 0.05$

[†] $p = 0.01$

^{††} $p = 0.001$

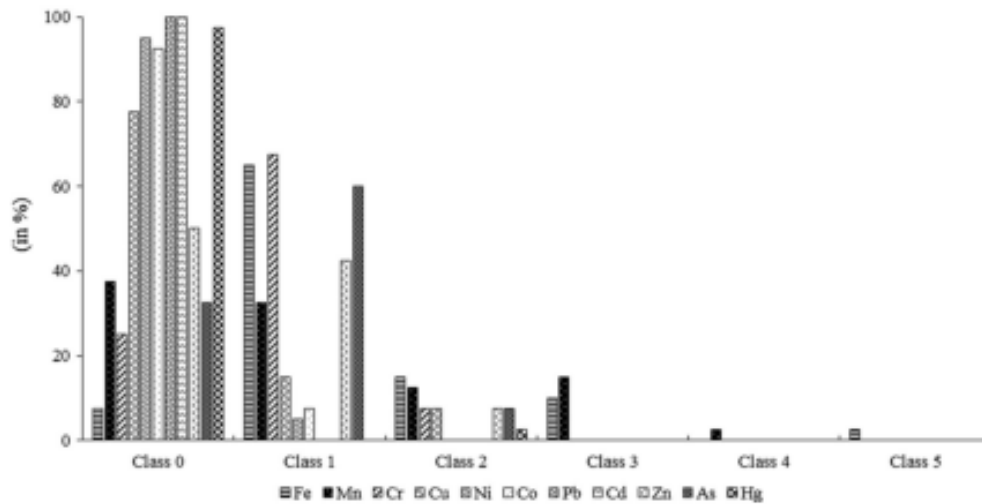


Fig. 3 I_{geo} class diagram for the tourist beach sediments from Huatulco, Oaxaca, Mexico

1985; Li et al. 2000). However, the association of Cu vs Ni ($r^2 = 0.62$), Zn ($r^2 = 0.80$), Co ($r^2 = 0.78$); Ni vs Zn ($r^2 = 0.62$), Co ($r^2 = 0.65$); Pb vs Co ($r^2 = 0.69$), Hg ($r^2 = 0.43$) and Zn vs Co ($r^2 = 0.73$) indicates that these LTMs associations could also be derived from the local sewage sludge. Alloway (1990); Cochran et al. (1998); Baptista-Neto et al. (2000); and Bradl (2005) have observed higher concentration of these metals close to the shore regions dominated by luxury hotels and under reduced conditions. The above inference is supported by the strong negative value of Cr with magmatic fractionated sediments (Feng and Kerrich 1990; Armstrong-Altrin et al. 2004).

Evaluating metal enrichments

Geo-accumulation (I_{geo}) values were calculated using $I_{geo} = \log_2 [Me]_{studied\ area} / 1.5[Me]_{baseline\ values}$ to identify the enrichment level of metals in the beach sediments, where $[Me]_{baseline}$ represents (the local reference values) Fe (Müller 1981). The factor 1.5 is used to account the possible variations in the background values due to lithospheric effects. The contamination values are classified into five classes ranging from 1 to 5 (uncontaminated to extremely contaminated) (Fig. 3). Local geology, selective sorting and weathering led to Fe, Mn in class 2 and 3, Mn in class 4 and Fe in class 5. Higher abundance of mafic

Table 2 Calculated enrichment factor (EF) values for individual beach sediment samples from different beaches of Huatulco (Oaxaca), Mexico

Sample	Beach	Element with EF (<1) background concentration	Element with EF = 1–2 (minimum)	Element with EF = 2–5 (moderate)
1	Magueyito	As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn		
2	Conejos	Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	Cr, Mn	As
3	Arena	Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn	As, Cr	
4	Punta Arena	Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn	As, Cr	
5	Tejoncito	As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn		
6	La Mixteca	Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	As, Cr, Mn	
7	Tangolunda	Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn	As, Cr	
8	Rincón Sabroso	Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn	As, Cr	
9	Tornillo	As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	Mn	
10	Manzanilla	As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	Mn	
11	Ventura	As, Cd, Co, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn	Cu, Mn	
12	Arrocito	As, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	Cr, Mn	
13	Tejón	Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn	As, Cr	
14	Esperanza	Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn	As, Cr	
15	Consuelo	As, Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn	Cr	
16	Chahué	Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn	As, Cr	
17	Santa Cruz	Cd, Co, Cr, Cu, Ni	As, Mn, Pb, Zn	Hg
18	Santa Cruz	As, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	Cr, Mn	
19	Punta Paraiso	As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn		
20	Yerbabuena	As, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	Cr, Mn	
21	La Entrega		As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn	
22	El Violín	As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	Mn	
23	Órgano	As, Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn	Cr	
24	Maguey	Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	As, Mn	
25	Maguey	Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn		As
26	Cacaluta	Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn	As, Cr	
27	La India	As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn		
28	Chachacual	As, Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn	Cr	
29	Jicaral	As, Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn	Cr	
30	Riscalillo	As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn		
31	San Agustín	As, Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn	Cr	
32	San Agustín	As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb	Zn	
33	San Agustín	As, Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn	Cr	
34	San Agustín	As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb	Zn	
35	El Arenal	As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn		
36	El Arenal	Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	As, Cr	Mn
37	Boca Vieja	As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	Mn	
38	Cuatonalco	As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	Mn	

minerals (i.e. mica and biotite) caused the presence of Cr, Cu in class 2 (Nesbitt and Markovics 1997). The presence of As along with Fe in class 2 indicates that it is due to the adsorption of As on the surface of Fe-bearing mafic minerals (Dove and Rimstidt 1985; Krause and Ettel 1988).

Individual sample analysis for enrichment of elements (Enrichment Factor) was calculated in Table 2. The calculation of EFs is based on the formula: $EF = (Me/Fe)_{sample} /$

$(Me/Fe)_{baseline}$, where $Fe_{baseline}$ (local reference value) and it is classified as: background concentrations (<1), minimum enrichment (1–2), moderate (2–5), significant enrichment (6–20), very high enrichment (21–40) and very high enrichment (>40) (Table 2). In general, Mn, Cr, and As are present in the range of 1–2 as they are from mineralogical assemblage as a result of bed rock weathering. However, As falls in the category 2–5 range in some

Table 3 Comparison of LTM concentrations with that of concentration pattern from other tourist beaches and eco-toxicological values used for evaluating aquatic environments

Elements	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn	Fe	Reference
Venezuela ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Min 261	0.27	-	6.47	2.37	23.07	-	8.07	5.8	40.17	-	García et al. 2008
except Hg (ng/g)	Max 5211	0.63	-	13.6	6.07	36.07	-	12.83	23.83	267.87	-	
	Avg 1846	0.39	-	10.27	3.79	29.57	-	9.68	11.64	113.38	-	Nagarajan et al. 2013
Malaysia ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Min -	-	12.64	82.83	28.81	-	12.65	14.71	10.48	17.93	1771	
	Max -	-	37.46	253.75	71.31	-	52.94	40.63	19.67	28.31	4408	Jayaprasath et al. 2008
	Avg -	0.51	6.95	49.5	22	-	226.5	17.7	31.75	96.7	2023	
Chennai, India ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Min -	0.01	5.14	2.95	6.95	-	1.15	7.48	6.33	3.31	0.55	Staddique et al. 2009
Karachi, Pakistan	Max -	24.34	95.01	571	272	-	318	74.91	121.03	389.23	6.47	
($\mu\text{g g}^{-1}$) except Fe as %	Min 8.37	-	-	61.98	14.51	-	224	28.5	8.25	14.02	0.19	Popović et al. 2013
Bakar, Croatia (ppm)	Max 29.38	-	-	103.71	135.02	-	724.54	62.56	123.48	272.63	4.65	
except Fe as %	Min -	0.042 \pm 0.001	-	-	7.20 \pm 0.02	-	746 \pm 3	0.17 \pm 0.02	1.57 \pm 0.10	19.8 \pm 2.3	9055 \pm 2	Ramirez et al. 2005
Chile ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Max -	0.896 \pm 0.055	-	-	2116 \pm 1	-	22,739 \pm 1	13.6 \pm 0.1	21.2 \pm 0.1	519 \pm 2	35891 \pm 2	
Studies in Mexico												
Baja		California ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Avg		43 \pm 34		2.0 \pm 1.2		22 \pm 14		(3.8 \pm 4.4) \times 10 ²	4.6 \pm 2.8
2.7 \pm 2.9		129 \pm 51					(2.4 \pm 2.0) \times 10 ²	Munoz-Barbosa and Huerta-Díaz 2013				
Acapulco ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Min 0.09	0.1	-	0.64	0.76	-	6.85	0.33	0.13	3.54	1072	Jonathan et al. 2011
	Max 5.4	12.51	-	105.5	26.97	-	586	16.35	20.46	96.23	2719	
	Avg 0.84	1.61	-	17.86	6.33	-	90.47	3.41	3.73	19.04	6549	
Huarulco (mg/kg)	Min -	0.01	-	6.06	-	-	-	0.3	0.78	-	-	Estrada-Vargas, 2008.
	Max -	0.25	-	75.08	-	-	-	78.13	9.05	-	-	
Present study 2.27		(mg kg^{-1})	Min	0.0002	0.008	2.66	9.98	1.66	0.0003	20.15	5.4	1.21
	Max 2.2	1.46	1275	149.54	11.67	0.044	388.39	11.79	11.11	28.63	82296	

Table 3 continued

Elements	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn	Fe	Reference
Avg	0.86	0.47	4.63	89.26	3.35	0.0038	69.24	7.26	4.48	7.86	7492	
Ecotoxicological values												
Upper continental crust (UCC) ($\mu\text{g g}^{-1}$)	1.5	0.098	17	85	25	0.056 ^a	54.2	44	17	71	3490	Taylor and McLennan, 1985; Wodepohl 1995
Mexican Limit for soils (mg/kg)	22	37	-	-	-	-	-	1600	400	-	-	NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (2007)
LEL ($\mu\text{g g}^{-1}$)	-	-	-	26	16	-	460	16	31	120	20,000	USEPA 2001
SEL ($\mu\text{g g}^{-1}$)	-	-	-	110	110	-	1100	75	250	820	40,000	USEPA 2001
ERL ($\mu\text{g g}^{-1}$)	-	1.2	-	81	34	-	-	20.9	46.7	150	-	Loong et al. 1995
ERM ($\mu\text{g g}^{-1}$)	-	9.6	-	370	270	-	-	51.6	218	410	-	Loong et al. 1995

LEL lowest effect level, SEL severe effect level, ERL effects range low, ERM effects range medium

samples. Since the analyzed elements are also bioavailable in the sediments, we cannot rule out that part of these elements is derived from the anthropogenic sources.

Comparative studies

Comparison of LTMs with other coastal regions indicates that the higher concentrations of Fe, Mn, and Cr are mainly geological rather than man-made activities. However, the average concentration of Cr is more compared to LEL and ERL (Table 3). The use of fertilizers, pesticides and sewage sludge disposal by tourism related anthropogenic activities in the region possibly caused the enrichment of As, Cr and Mn compared to the Upper Continental Crust (UCC). However, these elements will be bioavailable during any physico-chemical change in the coastal environment as we observed from the higher concentrations in the leachable fractions in beach sediments.

Conclusions

Leachable trace metal concentrations in tourist beach sediments were analyzed and the enrichment pattern in different beaches was established. Over all concentration pattern of LTMs indicates that Fe, Mn, Cr is on the higher side which is attributed to the local geological formations. Mostly, the non-association of LTMs with Fe, Mn indicate that they are derived from weathering process. However, anthropogenic input of metals cannot be ruled out as the region is ruled by amenity hotels suggesting that it is locally derived. Geo-accumulation index and enrichment factor calculations indicate that mostly the region is controlled by the Fe bearing minerals. Presence of As, Cr, Mn even though is on the higher side than UCC values it is available as leachable metals and are available at any given point of time to the marine organisms in the region. Likewise, anthropogenic source cannot be ruled out and a regular monitoring is required in the tourist beaches in order to prevent the enrichment of toxic elements which could enter into the biological cycle.

Acknowledgments Authors MPJ and PDR wish to express their thanks to SNI, CONACyT, Mexico. MPJ thanks the financial assistance from SIP-IPN Project No. 20131781 and also wishes to express his thanks to IPN (COFAA, EDI), Mexico. This article is the 79th contribution from Earth System Science Group (ESSG), Chennai, India.

References

Alloway BJ (1990) Heavy metals in soils. Blackie, London 339p
 Anu G, Nair SM, Kumar NC, Jayalakshmi KV, Pamalal D (2010) A baseline study of trace metals in a coral reef sedimentary

- environment, Lakshadweep Archipelago. *Env Earth Sci* 59(6):1245–1266
- Armstrong-Altrin JS, Lee YI, Verma SP, Ramasamy S (2004) Geochemistry of sandstones from the Upper Miocene Kudankulam formation, southern India: implications for provenance, weathering and tectonic setting. *J Sed Res* 74(2):285–297
- Baptista-Neto JA, Smith BJ, McAllister JJ (2000) Heavy metal concentrations in surface sediments in a near shore environment, Jurujuba sound, south west Brazil. *Env Poll* 109:1–9
- Barnes ES (1973) Sewage pollution from tourist hotels in Jamaica. *Mar Poll Bull* 4(7):102–106
- Bigongiari N, Cipriani LE, Pranzini E, Renzi M, Vitale G (2015) Assessing shelf aggregate environmental compatibility and suitability for beach nourishment: A case study for Tuscany (Italy). *Mar Poll Bull In Press*. doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.01.021
- Bock B, McLennan SM, Hanson GN (1998) Geochemistry and provenance of the middle Ordovician Austin Glen Member (Normanskill Formation) and the Taconian Orogeny in New England. *Sedimentology* 45:635–655
- Brall HB (2005) Heavy metals in the environment. Elsevier Publ., 1st Ed., 6, p263
- Buccolieri A, Buccolieri G, Cardellicchio N, Dell'Atti A, Di-Leo A, Maci A (2006) Heavy metals in marine sediments of Taranto Gulf (Ionian Sea). Southern Italy. *Mar Chem* 99:227–235
- Carranza-Edwards A, Rosales-Hoz L, Lozano-Santa Cruz K (1988) Estudio Sedimentológico de Playas del Estado de Oaxaca, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM* 15(2):23–38
- Cochran JK, Hirschberg DJ, Wang J, Dere C (1998) Atmospheric deposition of metals to coastal waters (Long Island Sound, New York, USA): evidence from salt marsh deposits. *Estu Coast Shelf Sci* 46:503–522
- Curiel-Ayala F, Quiñones-Ramírez EI, Pless RC, González-Jasso E (2012) Comparative studies on *Enterococcus*, *Clostridium perfringens* and *Staphylococcus aureus* as quality indicators in tropical seawater at a Pacific Mexican beach resort. *Mar Poll Bull* 64(10):2193–2198
- DePaula FCF, Mozeto AA (2001) Biogeochemical evolution of trace elements in a pristine watershed in the Brazilian south eastern coastal region. *Appl Geochem* 16:1139–1151
- Dove PM, Rimstidt JD (1985) The solubility and stability of socrodite, $\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. *Amer Mineral* 70:838–844
- Estrada-Vargas L (2008) Determinación de metales pesados en agua, sedimento y coral (*Pocillopora damicornis*) en Bahías de Huatulco, Oaxaca. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. Univ del Mar, Puerto Ángel, Oaxaca, p 101
- Feng R, Kerrich R (1990) Geochemistry of fine grained clastic sediments in the Archean Abitibi green stone belt, Canada: implications for provenance and tectonic setting. *Geochim Cosmochim Acta* 54:1061–1081
- García EM, Cruz-Motta JJ, Farina O, Bastidas C (2008) Anthropogenic influences on heavy metals across marine habitats in the western coast of Venezuela. *Cont Shelf Res* 28:2757–2766
- Gavril AM, Angelidis MO (2005) Metal and organic carbon distribution in water column of a shallow enclosed bay at the Aegean Sea, Archipelago: Kalloni Bay, Island of Lesbos, Greece. *Estu Coast Shelf Sci* 64:200–210
- Ghannem N, Gargouri D, Sarbeji MM, Yaich C, Azri C (2014) Metal contamination of surface sediments of the Sfax-Chesba coastal line, Tunisia. *Env Earth Sci* 72:3419–3427
- Huerta G, Sánchez C (2011) Evaluación del Potencial Ecoturístico en Áreas Naturales Protegidas del Municipio de Santa María Huatulco, México. *Cuadernos de Turismo* 27:541–560
- Jayaprakash M, Jonathan MP, Srinivasalu S, Muthuraj S, Ram-Mohan V, Rajeshwara-Rao N (2008) Acid-leachable trace metals in sediments from an industrialized region (Ennore Creek) of Chennai, SE coast of India: an approach towards regular monitoring. *Estu Coast Shelf Sci* 76:692–703
- Jonathan MP, Roy PD, Thangadurai N, Srinivasalu S, Rodríguez-Espinosa PF, Sarkar SK, Lakshumanan C, Navarrete-López M, Muñoz-Sevilla NP (2011) Metal concentrations in water and sediments from tourist beaches of Acapulco, Mexico. *Mar Poll Bull* 62:845–850
- Krause E, Eitel VA (1988) Solubility and stability of socrodite, $\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: new data and further discussion. *Amer Mineral* 73:850–854
- Li X, Wai OWH, Li YS, Coles BJ, Ramsey MH, Thronton I (2000) Heavy metal distribution in sediment profiles of the Pearl river estuary, south China. *App Geochem* 15:567–581
- Long ER, MacDonald DD, Smith SL, Calder FD (1995) Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environ Manag* 19:81–97
- Madzema A, Lasiak T (1997) Spatial and temporal variations in beach litter on the Transkei coast of South Africa. *Mar Poll Bull* 34(11):900–907
- Morán-Zenteno DJ, Corona-Chávez P, Tolson G (1996) Uplift and subduction erosion in southwestern Mexico since Oligocene: pluton geobarometry constraints. *Earth Plant Sci Lett* 141:51–65
- Morán-Zenteno DJ, Tolson G, Martínez-Serrano RG, Martiny B, Schaaf P, Silva-Romo G, Macías-Romo C, Alba-Aldave L, Hernández-Bernal MS, Solís-Pichardo GN (1999) Tertiary arc-magmatism of the Sierra Madre del Sur Mexico, and its transition to the volcanic activity of the Trans-Mexican volcanic belt. *J South Amer Earth Sci* 12:513–535
- Müller G (1981) The heavy metal pollution of the sediments of Neckars and its tributary: a stocktaking. *Chem Ztg* 105:157–164
- Muñoz-Barbosa A, Huerta-Díaz MA (2013) Trace metal enrichments in nearshore sediments and accumulation in mussels (*Modiolus Capax*) along the Eastern coast of Baja California, Mexico: environmental status in 1995. *Mar Poll Bull* 77:71–81
- Nagarajan R, Jonathan MP, Roy PD, Wai-Hwa L, Prasanna MV, Sarkar SK, Navarrete-López M (2013) Metal concentrations in sediments from tourist beaches of Miri city, Sarawak, Malaysia (Borneo Island). *Mar Poll Bull* 73:369–373
- Nesbitt HW, Markovics G (1997) Weathering of granodioritic crust long-term storage of elements in weathering profiles, and petrogenesis of siliciclastic sediments. *Geochim Cosmochim Acta* 61(8):1653–1670
- NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (2007) Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio. México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, p 70
- Popadić A, Vidović J, Čosović V, Medaković D, Dolenc M, Felja I (2013) Impact evaluation of the industrial activities in the Bay of Bakav (Adriatic Sea, Croatia): recent benthic foraminifera and heavy metals. *Mar Poll Bull* 76:333–348
- Ramírez M, Massolo S, Frache R, Correa JA (2005) Metal speciation and environmental impact on sandy beaches due to El Salvador copper mine, Chile. *Mar Poll Bull* 50:62–72
- Rivera ER (2011) Diagnóstico ecológico, social y cultural del Parque Nacional Huatulco. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 45p
- Santhiya G, Lakshumanan C, Jonathan MP, Roy PD, Navarrete-López M, Srinivasalu S, Uma-Maheswari B, Krishnakumar P (2011) Metal enrichment in beach sediments from Chennai Metropolis, SE coast of India. *Mar Poll Bull* 62:2537–2542
- Schiff KC, Weisberg SB (1999) Iron as a reference element for determining trace metal enrichment in Southern California coastal shelf sediments. *Mar Env Res* 48:161–176

- Siddique A, Mumtaz M, Zaigham NA, Mallick KA, Saied S, Zahir E, Khwaja HA (2009) Heavy metal toxicity levels in the coastal sediments of the Arabian sea along the urban Karachi (Pakistan) region. *Mar Poll Bull* 58:1406–1419
- Singh P, Rajamani V (2001) Geochemistry of the flood plain sediments of the Kaveri river, southern India. *J Sed Res* 71:50–60
- Solari LA, Torres de León R, Hernández-Pineda G, Solé J, Solís-Pichardo G, Hernández-Treviño T (2007) Tectonic significance of Cretaceous-Tertiary magmatic and structural evolution of the northern margin of the Xolapa complex, Tierra Colorada area, southern Mexico. *GSA Bull* 119(9/10):1265–1279
- Suresh G, Ramasamy V, Sundarajan M, Paramasivam K (2015) Spatial and vertical distribution of heavy metals and their potential toxicity levels in various beach sediments from high background-radiation area, Kerala, India. *Mar Poll Bull* 91(1):389–400
- Taylor SR, McLennan SM (1985) *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford 312p
- Tolson G, Solís-Pichardo G, Morán-Zenteno DJ, Victoria-Morales A, Hernández-Treviño JT (1993) Naturaleza petrográfica y estructural de las rocas cristalinas en la zona de contacto entre los terrenos Xolapa y Oaxaca, región de Santa María, Huatulco, Oaxaca. In: Delgado-Argote, L.A., Martín-Barajas, A. (Eds.), *Contribuciones a la tectónica del occidente de México*. Unión Geofísica Mex 327–349
- United States Environmental Protection Agency (USEPA) (1989) USEPA Method study 37 SW-846 Method 3050 Acid digestion of sediments, sludges and soils. EPA/600/S4-89/012 July, 1989, 1–5
- United States Environmental Protection Agency (USEPA) (2001) The role of screening-level risk assessments and refining contaminants of concern in Baseline ecological risk assessments, Publication 9345 0–14, EPA 540/F-01/14, June, 2001
- Wedepohl H (1995) The composition of the continental crust. *Geochimica Cosmochim Acta* 59:1217–1239
- Wen WY, He YQ (1985) Pollution of lead in the estuary of Lingdingyuan. *Trop Oceanol* 4:53–58 (in Chinese)