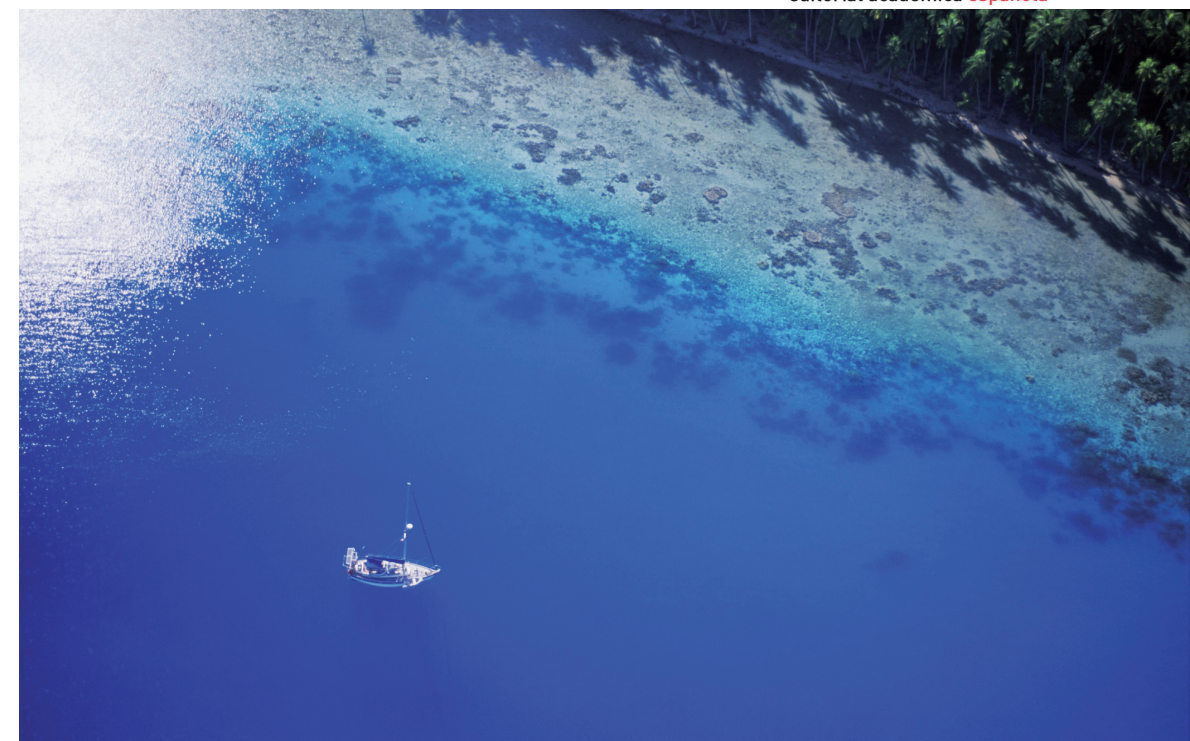


## Dispersión costera de detritos suspendidos mediante percepción remota

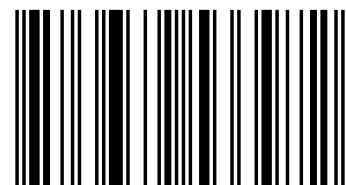
El presente libro surge de la tesis de maestría “La geomática aplicada al estudio de la dinámica superficial de detritos suspendidos en la Bahía de Banderas” de la Universidad de Guadalajara concluida en febrero de 2017 con el objetivo de detectar zonas de alta concentración de detritos suspendidos que pudieran afectar social o ambientalmente a la región. Se analizó para el periodo de 2006 al 2014, mediante técnicas de teledetección sobre imágenes de satélite multispectrales, la dispersión superficial de los detritos suspendidos (sedimentos y materia orgánica) vertidos por el Río Ameca en la Bahía de Banderas ubicada en la costa occidental mexicana. Se estudió la relación de la tendencia de dispersión de las plumas de detritos suspendidos con factores como el viento, caudal y precipitación. Se incluye también un apartado donde se realizó, mediante percepción remota, un análisis espectral de estas plumas para obtener de manera general la composición y concentración aproximada. Varios de los datos obtenidos en esta investigación fueron comparados y validados con mediciones directas.



Carlos Alberto González de Luna · Anatoliy Filonov · Omar Mireles Loera

## Dispersión costera de detritos suspendidos mediante percepción remota

La teledetección aplicada a estudios costeros



978-3-639-53397-2

editorial académica española

**Carlos Alberto González de Luna  
Anatoliy Filonov  
Omar Mireles Loera**

**Dispersión costera de detritos suspendidos mediante percepción  
remota**



**Carlos Alberto González de Luna  
Anatoliy Filonov  
Omar Mireles Loera**

**Dispersión costera de detritos  
suspendidos mediante percepción  
remota**

**La teledetección aplicada a estudios costeros**

**Editorial Académica Española**

## **Impressum / Aviso legal**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Alle in diesem Buch genannten Marken und Produktnamen unterliegen warenzeichen-, marken- oder patentrechtlichem Schutz bzw. sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Inhaber. Die Wiedergabe von Marken, Produktnamen, Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen u.s.w. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Información bibliográfica de la Deutsche Nationalbibliothek: La Deutsche Nationalbibliothek clasifica esta publicación en la Deutsche Nationalbibliografie; los datos bibliográficos detallados están disponibles en internet en <http://dnb.d-nb.de>.

Todos los nombres de marcas y nombres de productos mencionados en este libro están sujetos a la protección de marca comercial, marca registrada o patentes y son marcas comerciales o marcas comerciales registradas de sus respectivos propietarios. La reproducción en esta obra de nombres de marcas, nombres de productos, nombres comunes, nombres comerciales, descripciones de productos, etc., incluso sin una indicación particular, de ninguna manera debe interpretarse como que estos nombres pueden ser considerados sin limitaciones en materia de marcas y legislación de protección de marcas y, por lo tanto, ser utilizados por cualquier persona.

Coverbild / Imagen de portada: [www.ingimage.com](http://www.ingimage.com)

Verlag / Editorial:

Editorial Académica Española

ist ein Imprint der / es una marca de

OmniScriptum GmbH & Co. KG

Bahnhofstraße 28, 66111 Saarbrücken, Deutschland / Alemania

Email / Correo Electrónico: [info@omniscryptum.com](mailto:info@omniscryptum.com)

Herstellung: siehe letzte Seite /

Publicado en: consulte la última página

**ISBN: 978-3-639-53397-2**

Copyright / Propiedad literaria & cop Carlos Alberto González de Luna, Anatoliy Filonov, Omar Mireles Loera

Copyright / Propiedad literaria © 2017 OmniScriptum GmbH & Co. KG

Alle Rechte vorbehalten. / Todos los derechos reservados. Saarbrücken 2017

# ÍNDICE

ÍNDICE.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 Planteamiento del problema .....	5
1.2 Antecedentes.....	6
2. OBJETIVOS .....	9
2.1 Objetivo General.....	9
2.2 Objetivos Específicos .....	9
2.3 Hipótesis .....	9
3. ÁREA DE ESTUDIO .....	10
3.1 Localización y batimetría .....	10
3.2 Esgurrimientos .....	12
4. MÉTODO .....	13
4.1 Características de las imágenes de satélite utilizadas.....	13
4.2 Selección y tratamiento de la información .....	15
4.3 Vectorización de las plumas de detritos suspendidos.....	16
4.4 Categorización y vectorización de las plumas de detritos .....	18
4.5 Conceptualización de la pluma de detritos suspendidos con base a otras superficies.....	22
4.6 Caudal y precipitación .....	23
4.7 Tamaño y dirección de las plumas en el año 2013 .....	24
4.8 Firma Espectral .....	26

5. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	30
5.1 Concentración promedio de detritos y su cobertura .....	30
5.2 La precipitación y caudal en la cuenca Ameca-Ixtapa .....	37
5.3 Periodo con mayor presencia de plumas y su relación con la precipitación y caudal .....	44
5.4 Dirección del viento y su relación con el movimiento de las plumas en el periodo 2006-2014.....	48
5.5 Tamaño y dirección de las plumas identificadas en el 2013 .....	50
5.6 Firma espectral de los sedimentos suspendidos y su relación con otras mezclas conocidas. ....	54
6. CONCLUSIONES.....	65
7. BIBLIOGRAFÍA .....	67
7.1 Bibliografía de Referencias de Textos.....	67
7.2 Bibliografía de Referencias Digitales.....	70

# 1. INTRODUCCIÓN

Los ríos que desembocan en la Bahía de Banderas vierten detritos en las aguas de la bahía modificando su calidad y apariencia. Monitorear la dispersión de los materiales vertidos por los ríos es muy importante para detectar los periodos y las áreas de mayor concentración.

Las observaciones del color del océano tienen gran potencial para estudiar la conectividad entre litorales y zonas costeras mediante el rastreo de la dispersión de las plumas de ríos. La identificación de éstas plumas, las variaciones en su extensión, patrones de dispersión y sus tasas de mezcla con aguas oceánicas es crítica en todos los aspectos de la oceanografía regional y de la plataforma continental (Lohrenz *et al.*, 1990).

Los procesos físicos que caracterizan la dinámica de las bahías afectan de manera notable e incluso determinante a (o interactúan con) procesos oceanográficos de índole química, geológica y biológica que tienen lugar en estos cuerpos de agua, por lo que su descripción y análisis es indispensable para abordar y resolver problemas concernientes a cada una de las ramas de la oceanografía costera (Plata, 2007).

Existen varias vías para estudiar la dispersión espacial de las plumas de detritos en los cuerpos de agua: Modelos numéricos, mediciones *in situ*, Teledetección (Geomática), entre otros. En esta tesis se abordó la problemática mediante técnicas de Geomática que en términos generales es la detección a distancia (percepción remota) de las características y cambios que se producen en la superficie de la Tierra. Con ésta técnica es posible analizar el movimiento real de los residuos detritales.

Actualmente, la determinación de concentración de material suspendido de forma global y precisa con datos de sensores remotos sigue siendo un reto, sin embargo, se han logrado buenas aproximaciones en aplicaciones específicas con datos provenientes de una variedad de sensores de diversa precisión radiométrica,

resolución espacial y temporal, como los transportados a bordo de los satélites Landsat, Spot, NOAA, SeaStar, Aqua, Terra, entre otros (Acker *et al.*, 2005).

La teledetección ha demostrado tener un potencial elevado en el monitoreo y seguimiento de fenómenos como la dispersión de residuos y contaminantes. La percepción remota de recursos naturales se basa en un sistema de adquisición de datos a distancia y que está basado en las propiedades de la radiación electromagnética y en su interacción con los materiales de la superficie terrestre (Romero, 2006).

Todos los elementos de la Naturaleza tienen una respuesta espectral propia que se denomina *signatura espectral*. La Teledetección estudia las variaciones espectrales, espaciales y temporales de las ondas electromagnéticas, y pone de manifiesto las correlaciones existentes entre éstas y las características de los diferentes materiales terrestres (Romero, 2006).

Entre los elementos que se pueden identificar en los cuerpos de agua mediante los sensores remotos (como los presentes en el satélite Landsat) están los compuestos químicos disueltos, hidrocarburos, partículas provenientes del lavado continental y materia orgánica disuelta (vegetación acuática, plancton, lirio, etc.). También es posible identificar algunos minerales presentes en el suelo, estrés de la vegetación, contenidos de humedad, turbidez del agua, entre otros. Así mismo, el falso color destaca las superficies acuáticas con altas densidades de vegetación, materiales en suspensión, aportes orgánicos, etc. (García, *et al.*, 1999; Pérez, *et al.*, 2000).

En teledetección, la técnica de clasificación de píxeles agrupa píxeles en la imagen en clases que correspondan a zonas de la superficie con características similares. Las clases obtenidas cuando se realiza una clasificación deben ser espectralmente diferentes unas de otras, y además deben contener un valor informativo de interés para la investigación (Romero, 2006).

La clasificación de imágenes es una herramienta potencial para monitorear el movimiento y dispersión de determinadas sustancias o coberturas del suelo, atmósfera o agua a través del tiempo que, complementado con el análisis de firmas

espectrales de transectos sobre la imagen, se puede inferir la presencia de algunos minerales o residuos disueltos en el agua, así como la temperatura superficial. En este sentido, mediante las técnicas de percepción remota podemos analizar varios aspectos oceanográficos y de dinámica superficial que incluso puedan llegar a funcionar como instrumento de validación para los modelos matemáticos.

## **1.1 Planteamiento del problema**

El Río Ameca es uno de los escurrimientos más importantes que desemboca en la Bahía de Banderas, su cuenca tiene una extensión territorial de 12,214 km<sup>2</sup> y una precipitación normal anual en el periodo 1971-2000 de 1,020 mm (INEGI 2004). Su escurrimiento natural medio superficial total es de 2,235 hm<sup>3</sup>/año (CNA).

Las aguas de este escurrimiento contienen residuos provenientes del lavado continental (rocas, sedimentos, materia orgánica, entre otros) y con base a lo observado en las imágenes de satélite, estos residuos se esparcen al llegar a la bahía formando las plumas de detritos suspendidos (agua turbia) donde el comportamiento y concentración de estas partículas suspendidas varía en todo el año y su tamaño está relacionado con el periodo de lluvias.

La concentración del total de contaminantes y sedimentos suspendidos provenientes del lavado continental y materia orgánica (detritos), constituye uno de los parámetros de calidad de agua más importantes (Rodríguez-Guzmán, *et al.*, 2009), principalmente por estar relacionados a la producción y flujo de metales pesados y microcontaminantes (Ekercin 2007).

Estos sedimentos consisten de partículas suficientemente finas para ser transportadas en suspensión por el agua en movimiento (Campbell 2007), como lo son la arcilla, el limo y la arena (Miller, *et al.*, 2004). Además de afectar la calidad del agua, los detritos son indicativo de problemas de erosión en las cuencas hidrográficas. Más aún, el estudio de esta materia, principalmente en regiones costeras, tiene una gran importancia ecológica ya que las altas concentraciones de

detritos en zonas costeras pueden afectar la productividad del fitoplancton y de la vegetación acuática sumergida, el crecimiento de corales, la dinámica de nutrientes, y el transporte de contaminantes y otros materiales (Miller, *et al.*, 2004).

Por lo anterior es indispensable contar con un análisis de la dinámica de dispersión de los residuos en la Bahía de Banderas que funcione también como un insumo a los tomadores de decisiones en el ámbito social, turístico y medio ambiental.

## **1.2 Antecedentes**

El estudio de la dinámica de los procesos de transporte en las aguas de la Bahía de Banderas es de importancia fundamental para la planeación de estrategias que permitan el desarrollo sustentable de esta región turística y la adecuada construcción de obras de protección costera como espigones y rompeolas. En las últimas décadas el agua de la Bahía de Banderas se ha contaminado por el crecimiento de las descargas incontroladas de aguas negras de hoteles y zonas habitacionales en Puerto Vallarta, Nuevo Vallarta y de todos los alrededores de la bahía. Las medidas para eliminar la mayor parte posible de la contaminación de la bahía son necesarias para la vigilancia constante de las plumas y para conocer la zona de mayor concentración así como su distribución espacial y temporal (Filonov, 2010).

Varios estudios han examinado la dispersión ocasionada por las descargas de grandes ríos empleando imágenes de satélite, como los complejos patrones de dispersión del Amazonas en el Océano Atlántico (Muller-Karger, *et al.*, 1995; Hu, *et al.*, 2004), y los patrones estacionales de dispersión de las descargas de Río Orinoco en el Caribe (Muller-Karger, *et al.*, 1989; Muller-Karger & Varela, 1990). Del Castillo, *et al.*, (2000) usaron imágenes CZCS (Coastal Zone Color Scanner) y SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) para demostrar que la pluma del Río Mississippi no siempre se dispersa al oeste de su delta, sino que también hacia el

este y sur del Golfo de México, alcanzando los Cayos de Florida y la costa este de Estados Unidos.

Desde finales de los '70, estudios de sedimentos suspendidos han sido realizados utilizando datos de plataformas satelitales (Ritchie, *et al.*, 2001) cuyos sensores miden la cantidad de radiación solar reflejada por la superficie del agua a diferentes longitudes de onda. Las partículas de detritos suspendidos es uno de los parámetros más exitosamente medidos por medio de la percepción remota (Ekercin, 2007). Lauretta Burke y Zachary Sugg (2006) por ejemplo, utilizaron la imagen de satélite SeaWiFS para visualizar la extensión de una pluma de materia detrital en el Arrecife Norteamericano.

Entre los contaminantes presentes en las aguas residuales se encuentran los nutrientes vegetales que pueden estimular el crecimiento de las plantas acuáticas, productos químicos (pesticidas, productos industriales, sustancias contenidas en los detergentes, etc), hidrocarburos, minerales inorgánicos entre otros. Sin embargo, con base al Programa de Playas Limpias 2013, 2014 y 2015 realizado por la SEMARNAT se califica como apta la calidad bacteriológica de agua de mar en las playas de Bahía de Banderas predominando entonces los residuos formados por partículas del suelo y minerales arrastrados por las tormentas y escorrentías desde las tierras de cultivo, suelos sin protección, explotaciones mineras, carreteras y derribos urbanos.

Para esta tesis, respaldado por el gran número disponible de imágenes de satélite Landsat y Modis en el periodo 2006-2014, se abordó el tema utilizando técnicas de teledetección, percepción remota, información de las estaciones meteorológicas e hidrológicas. Con base a estas imágenes se detectó que el Río Ameca genera grandes plumas de partículas suspendidas en la Bahía de Banderas que pueden llegar a medir varios centenares de kilómetros cuadrados.



*FIGURA 1. Imagen Landsat del 08 de septiembre de 2014 donde se evidencian los residuos vertidos por el Rio Ameca en la Bahía de Banderas.*

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

Analizar el comportamiento de la dinámica superficial y dispersión de los detritos vertidos por el Río Ameca en la Bahía de Banderas mediante técnicas de percepción remota utilizando un producto combinado de imágenes LANSAT y MODIS en el periodo 2006-2014.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- a) Detectar zonas de acumulación de los residuos.
- b) Establecer una tendencia de su dirección
- c) Estimar que cantidad promedio de la superficie de la bahía se encuentra cubierta por detritos por cada mes.
- d) Crear un producto combinado de la serie temporal 2006-2014
- e) Realizar un análisis general de la pluma de detritos mediante la firma espectral.
- f) Establecimiento empírico-teórico de las tres categorías de concentración de detritos.
- g) Relación del tamaño de las plumas con la precipitación y caudal.

### **2.3 Hipótesis**

Los residuos vertidos por los escurrimientos en la bahía de Banderas son esparcidos por el movimiento de las aguas de la bahía, existiendo zonas donde se acumulan por un periodo de tiempo provocando zonas de alta concentración para después ser desplazados mar adentro y/o depositados en el fondo de la bahía.

### 3. ÁREA DE ESTUDIO

#### 3.1 Localización y batimetría

El área de estudio es toda la Bahía de Banderas la cual se localiza en la Costa Occidental de México y constituye el límite sur del Golfo de California en su parte continental, abarcando parte de los estados de Jalisco y Nayarit. Geográficamente, la bahía está ubicada entre los 20°25' y 20°47' de Latitud Norte y los 105°41' y 105°25' de Longitud Oeste (Figura 2). Si se delimita a la bahía mediante una línea imaginaria desde punta de Mita, Nayarit, en el Norte, hasta Cabo Corrientes, Jalisco, en el Sur, su área es de aproximadamente 1 200 km<sup>2</sup>, con un volumen de 3.68 x 10<sup>5</sup>km<sup>3</sup> (Mireles, 2012).

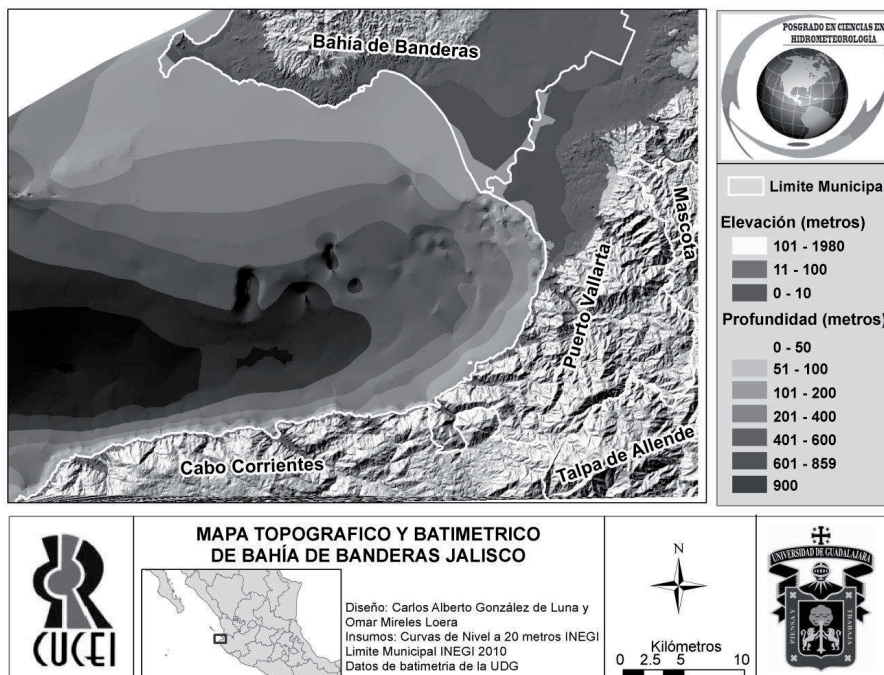


FIGURA 2. Situación geográfica de la Bahía de Banderas, México.

La bahía tiene un ancho promedio (Norte-Sur) de 30 km y una longitud promedio (Este-Oeste) de 40 km. Al Sureste, la Bahía de Banderas está rodeada de montañas con una altura máxima de 1,500 m; al Norte, existen elevaciones que van de 500 a 750 m. Entre las montañas del Este y las lomas del Norte se halla un valle, alrededor de 15 km de ancho, a través del cual fluye el río Ameca, que es el más grande de la región y que desemboca a unos 10 km al norte de la ciudad de Puerto Vallarta (Plata, 2007).

Al Noroeste de la Bahía de Banderas y aproximadamente a 10 km de Punta de Mita se encuentra el archipiélago de las Islas Marietas, un conjunto de islas pequeñas, islotes y bajos con una extensión de 8.3 km. Al suroeste de la Bahía, se halla el grupo de islotes conocido como Los Arcos, que ocupa un área aproximada de 0.3 km<sup>2</sup> (Medina-Rosas, 1997).

La profundidad máxima de la bahía es de 1,436 m (INEGI-SPP, 1983) y su profundidad promedio es de 273 m. La pendiente de fondo en la parte Norte, con un valor promedio de 0.012, es mucho menor que en la parte Sur, con un valor promedio de 0.080. Hacia el centro de la bahía, a unos 8 km de la costa sur, se localiza un cañón profundo cuyo eje mayor está orientado aproximadamente en dirección Este-Oeste y que se extiende hasta el extremo Este de la bahía. Al Noroeste de la bahía, en la zona comprendida entre las Islas Marietas y Punta de Mita, la profundidad es menor a 25 m y existe un banco de arena sumergido que no permita el libre intercambio de masas de agua entre la parte Noroeste de este cuerpo de agua y mar abierto (Plata, 2007).

En la bahía confluyen dos sistemas de corrientes oceánicas: la de California, de masas de agua fría y de baja salinidad, que fluye hacia el Sur desde Baja California, y la de Costa Rica, que posteriormente se convierte en la Corriente Norecuatorial, de masas de agua caliente, salinidad intermedia y que fluye hacia el Norte desde el sureste de México (Baumgartner & Christiensen, 1985). Además, la bahía tiene un aporte de aguas cálidas y de alta salinidad del Golfo de California. La convergencia de estas corrientes da lugar a cambios de salinidad, temperatura y patrones de

circulación estacional en la región (Álvarez & Gaitán, 1994). La Corriente de California es ancha y lenta extendiéndose a lo largo de la costa Noroccidental del Continente Americano entre los 45° y 23° N con velocidades de 3.4 a 8 cm/s (Salinas & Pinet, 1991).

En la costa de la Bahía de Banderas se localizan 32 cuerpos de agua (ríos, arroyos, esteros y lagunas) y numerosos escurrimientos temporales (127), ubicados en su mayoría en la zona centro y Sur de la bahía. En la bahía desembocan los ríos Ameca, Pitillal, Cuale, Los Horcones, Mismaloya, Tuito y la Puerta, que tienen caudal la mayor parte del año, además de los arroyos temporales Los Coamiles, Pantoque, El Burro, El Carrizal, Caloso, La Cumbre, Hondo, Palo María, Amapas, El Salto, Camarones, El limón, Pilidad, La Cueva, Chocota, Tecomata, Pizota, Coquitos, Majahuitas, Maxeque y Tabo (CEDESTUR-CEED-AEBB, 2001).

### **3.2 Escurrimientos**

El Río Ameca nace en el Bosque de la Primavera, a escasos 23 km al Oeste de la ciudad de Guadalajara y discurre en dirección Oeste y toma su nombre de la ciudad de Ameca que atraviesa. Tiene como afluentes principales los Ríos Ahuacatlán y Amatlán de Cañas. El Río los Horcones es alimentado de las aguas que discurren de las montañas en el municipio de Cabo Corrientes y, El Río Cuale (que pasa por el pueblo minero El Cuale) que tiene dos afluentes principales que nacen en lo Alto de la sierra del Cuale (también llamada sierra del Tuito) a una altura de 2,740 m en las montañas de Talpa de Allende.

Finalmente, la cuenca de Ameca-Ixtapa (*CNA*) es la que aporta agua a los Ríos Ameca y Mascota los cuales convergen en el cauce principal que desemboca en la Bahía de Banderas. Tiene una extensión de 4,591 km<sup>2</sup> y abarca de forma parcial los siguientes municipios: San Pedro Lagunillas, Bahía de Banderas, Compostela, Puerto Vallarta, San Sebastián del Oeste, Mixtlán, Ayutla, Atenguillo, Cuautla, Mascota y Talpa de Allende.

## 4. MÉTODO

### 4.1 Características de las imágenes de satélite utilizadas

Se analizaron un total de 194 imágenes, 85 del satélite Modis y 109 del satélite Landsat. De las 109 imágenes Landsat, 6 corresponden a Landsat 5, 84 a Landsat 7 y 19 a Landsat 8.

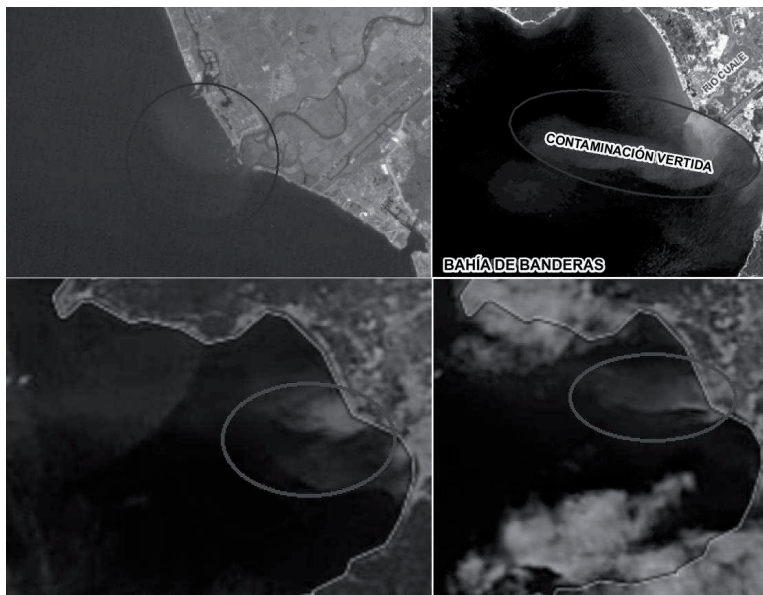


FIGURA 3. Ejemplos de imágenes MODIS y LANDSAT en donde se aprecian las plumas de detritos.

Las imágenes Landsat 5 están codificadas a 8 bits con una resolución espacial de 30 metros y cada escena cuenta con 7 bandas armadas de la siguiente manera:

- La 1, 2 y 3 corresponden al espectro visible (0.45 a 0.69 micras)
- La 4 al infrarrojo cercano (0.76 a 0.90 micras)
- La 5 al infrarrojo lejano (1.55 a 1.75 micras)
- La 6 al infrarrojo térmico lejano (10.4 a 12.5 micras) y,
- La 7 al infrarrojo térmico medio (2.08 a 2.35 micras)

Las imágenes Landsat 7 están codificadas a 8 bits con una resolución espacial de 30 metros, cada escena tiene 8 bandas armadas de la siguiente manera:

- La 1, 2 y 3 corresponden al espectro visible (0.45 a 0.69 micras)
- La 4 al infrarrojo cercano (0.78 a 0.90 micras)
- La 5 al infrarrojo lejano (1.55 a 1.75 micras)
- La 6 y 7 gano bajo y gano alto respectivamente corresponden al infrarrojo térmico Lejano (10.4 a 12.5 micras) y,
- La 8 al infrarrojo térmico medio (2.09 a 2.35 micras)

Las imágenes Landsat 8 están codificadas a 16 bits con una resolución espacial de 30 metros y cada escena cuenta con 10 bandas armadas de la siguiente manera:

- La 1 corresponde a la banda azul profundo para estudios costero/aerosol (0.433 a 0.453 micras)
- La 2, 3 y 4 corresponden al espectro visible (0.45 a 0.68 micras)
- La 5 al infrarrojo cercano (0.845 a 0.885 micras)
- La 6 al infrarrojo lejano (1.56 a 1.66 micras)
- La 7 al infrarrojo térmico medio (2.1 a 2.3 micras)
- La 8 a la banda de cirrus (1.36 a 1.39 micras)
- La 9 al infrarrojo térmico Lejano (10.6 a 11.2 micras) y,
- La 10 al infrarrojo térmico Lejano II (11.5 a 12.5 micras).

Las imágenes Landsat 8 contienen más bandas por escena que las Landsat 5 y 7, reduciendo también el rango del espectro que abarca cada banda; esto da mayor eficiencia para detectar las distintas superficies.

El satélite Landsat tiene un periodo de paso cada 20 días y en los años en donde se encuentran en operación los dos satélites Landsat (5 y 7) el promedio de imágenes obtenidas son dos por mes. Además, cuando entró en operación el satélite Landsat 8 el promedio de imágenes adquiridas, entre los tres satélites, son de tres por mes.

Por otra parte, las imágenes MODIS solo contienen las 3 bandas con resolución espacial aceptable (250 metros) correspondientes al espectro visible. Estas imágenes están codificadas a 8 bits y tienen un periodo de paso de cada 2 días.

En la siguiente tabla se muestra la relación de imágenes a utilizar (tabla 1). Se muestra las imágenes a utilizar por mes y por año. El “Total del año” corresponde a las imágenes encontradas por cada año en el periodo de estudio, y el “Total por mes” indica el número de imágenes encontradas por mes de todos los años. En la parte inferior derecha se indica el total de imágenes descargadas (194).

*TABLA 1. Inventario de imágenes Landsat y Modis descargadas*

<b>AÑO</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>TOTAL AÑO</b>
<b>2006</b>	<u>1</u>	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	<b>21</b>
<b>2007</b>	<u>2</u>	2	2	0	2	1	2	2	0	2	1	2	<b>18</b>
<b>2008</b>	<u>2</u>	2	2	1	1	1	2	2	2	2	1	2	<b>20</b>
<b>2009</b>	<u>2</u>	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	<b>22</b>
<b>2010</b>	<u>2</u>	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	<b>23</b>
<b>2011</b>	<u>2</u>	2	1	2	1	1	0	0	1	1	1	1	<b>13</b>
<b>2012</b>	<u>0</u>	0	0	1	1	3	4	3	1	3	1	3	<b>20</b>
<b>2013</b>	<u>6</u>	2	2	2	2	1	1	2	2	3	5	3	<b>31</b>
<b>2014</b>	<u>2</u>	3	2	1	2	4	2	2	1	3	3	1	<b>26</b>
<b>TOTAL MES</b>	<b>19</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>20</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>194</b>

## **4.2 Selección y tratamiento de la información**

Se determinó en primera instancia los meses con mayor presencia de residuos de acuerdo al análisis visual de las imágenes Landsat y Modis descargadas para el periodo 2006-2014.

Por las características de las imágenes, se le dio preferencia a las escenas Landsat, eliminando aquellas con presencia excesiva de nubes o detección dudosa de plumas de detritos substituyéndolas por escenas del satélite Modis. Se buscó tener al menos dos imágenes por cada mes de todo periodo de estudio. Posterior a la descarga de las imágenes, se realizó el tratamiento y armado de las bandas por cada escena y se validó su confiabilidad.

Para la identificación de los sedimentos suspendidos en la bahía se utilizó el método de clasificación no supervisada empleando el software de Quantum Gis y apoyado con validación visual.

La clasificación no supervisada es más eficiente para detectar diferencias en la concentración de sedimentos suspendidos que la clasificación supervisada, esto se debe a la dificultad de visualizar en la imagen original las diferencias entre las distintas concentración de sedimentos para darle el entrenamiento adecuado a la herramienta de clasificación supervisada (*Pérez, B. D. y Nadja, O. C., 2011*).

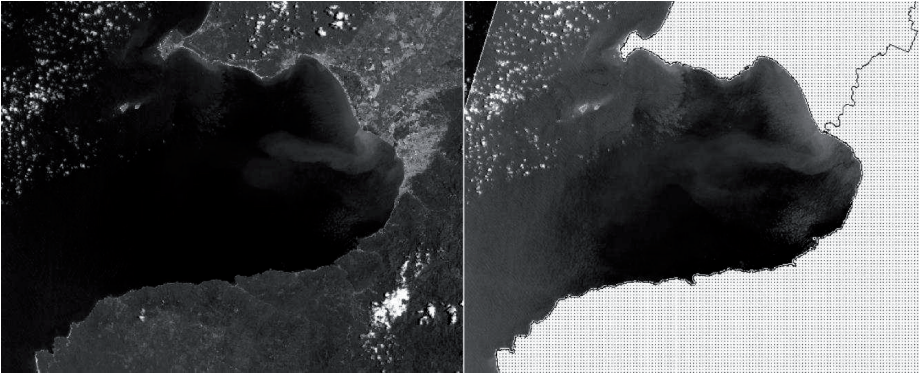
### **4.3 Vectorización de las plumas de detritos suspendidos**

El proceso de vectorización consiste en extraer de cada imagen la porción de la bahía con presencia de partículas suspendidas para convertirlos en una matriz de datos y analizar mediante mapas, tablas y gráficos su dispersión, concentración y desplazamiento.

Para extraer las plumas de detritos suspendidos, se eliminó de cada escena la superficie continental utilizando como límite de costa el límite estatal 2010 de INEGI con un buffer o área de influencia de acuerdo al tamaño de pixel de cada imagen para garantizar la no interferencia de la porción continental en la clasificación. Una vez obtenida sólo la parte de mar en cada escena (figura 4), por medio de la técnica de clasificación no supervisada se creó una máscara de filtrado con base a todos aquellos pixeles con alta reflectividad correspondientes a zonas cubiertas con nubes o errores radiométricos para posteriormente eliminarlos de la imagen.

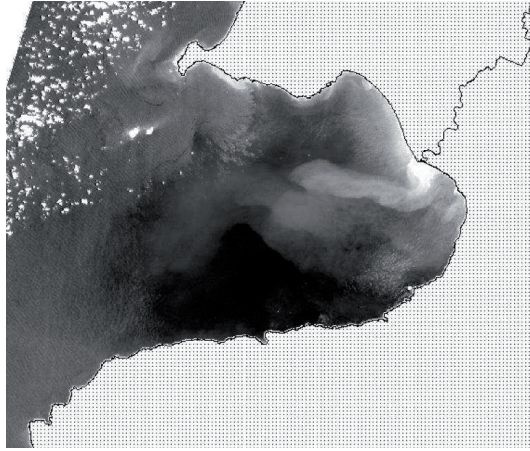
La finalidad de eliminar la porción continental y de nubes de una imagen es para que el algoritmo de clasificación solo clasifique las zonas que nos interesan y lograr una mejor identificación de las diferencias de reflectividad, aspecto importante para la correcta identificación de las plumas. Por ejemplo, si se quiere clasificar en 20 clases una imagen codificada a 16 bits y con valores radiométricos de 0 a 40,000, el algoritmo tendrá que agrupar las clases en una escala de 0 a 40,000 pero si, por el contrario, el algoritmo clasifica sólo la porción oceánica con valores entre 10,000 y 16,000 entonces se reduciría por mucho el sesgo o error y aumentará la confiabilidad.

En la siguiente figura se muestra a la izquierda la escena completa y la derecha la misma escena sin la porción continental.



*FIGURA 4. Contraste entre las diferencias de reflectividad. Izquierda, escena original. Derecha, la misma escena si la parte continental.*

Conforme más ruido se elimine de la escena se obtendrá un mayor contraste entre las pequeñas diferencias radiométricas y, por lo tanto, el algoritmo podrá identificar más fácilmente los distintos elementos en la imagen. En la figura 5 se muestra la parte del mar sin el ruido radiométrico que causaban las nubes. En esta imagen la parte blanca que antes eran nubes ahora son zonas excluidas (zonas sin valor) mientras que en el paso previo a éste tratamiento, estas mismas zonas contenían valores altos de radianza.



*FIGURA 5. Escena sin el ruido radiométrico de la parte continental y nubes.*

Una vez con la imagen sin la parte continental y sin el error radiométrico de las nubes, se corrió nuevamente el algoritmo de la clasificación no supervisada utilizando todas las bandas de la escena para obtener un archivo dividido en distintas superficies (clases) de las cuales se vectorizaron sólo las correspondientes a las plumas de detritos.

Se identificaron tres tipos de plumas según la concentración de partículas suspendidas y se establecieron fronteras radiométricas para cada categoría y sensor con la finalidad de hacerlas comparables a través de todo el periodo. Las plumas vectorizadas se exportaron como una matriz de datos para analizar su desplazamiento, dispersión y concentración.

#### **4.4 Categorización y vectorización de las plumas de detritos**

Debido a que la concentración de plumas de detritos no es homogénea en toda su extensión, se generaron varias clases según su concentración que van desde disperso (categoría 1) hasta muy denso (categoría 3).

Para la primera delimitación de las clases se empleó un 10% de las imágenes con mayor presencia de plumas por cada sensor sobre las cuales se definieron visualmente y con el algoritmo de clasificación no supervisada las tres categorías tomando como categoría 3 o densa la pluma presente en la desembocadura del río (muy cercana a la tonalidad del escurrimiento turbulento dentro del continente) y, como categoría 1 o dispersa, la pluma que generalmente solo se puede apreciar con un realce del falso color.

Con las plumas definidas en el 10% de las imágenes, se analizaron las firmas espectrales utilizando el espectro visible para el caso de las escenas Modis y las bandas verde, rojo e infrarrojo cercano para el caso de las escenas Landsat ya que son las que muestran mayor respuesta en el cambio de concentración de detritos; posteriormente se calcularon sus estadísticas y establecieron tendencias. Es importante aclarar que en la clasificación no supervisada fueron empleadas todas las bandas de cada sensor.

Con referencia a las estadísticas anteriores se determinaron las categorías y su rango para cada banda. Es importante recordar que las escenas están codificadas a 8 bits (256 combinaciones) con excepción de la escena Landsat 8 la cual está codificada a 16 bits (65,536 combinaciones).

Una vez procesadas el 100% de las imágenes, se calcularon las estadísticas del comportamiento espectral de cada categoría de todas las escenas procesadas puesto que, aunque ya se habían establecido los límites en cada categoría, cada escena marcaba un límite inferior y superior un poco distinto al de referencia existiendo la necesidad de recalcular el Promedio Inferior, el Promedio Superior y el Promedio General de su respuesta espectral.

Derivado de lo anterior, en la Tabla 2 se presenta la variación de los promedios en números digitales por categoría y banda para las escenas Modis:

TABLA 2. Variación de los promedios en números digitales por categoría y banda del sensor Modis

CATEGORIA	BANDA	MODIS		
		Promedio General	Promedio Inferior	Promedio superior
1	Rojo	25.36	18.08	32.65
	Verde	40.51	32.73	48.30
	Azul	36.72	30.05	43.39
2	Rojo	44.01	34.38	53.64
	Verde	58.01	49.10	66.92
	Azul	48.30	40.34	56.26
3	Rojo	83.49	57.51	109.46
	Verde	83.72	66.89	100.54
	Azul	60.00	46.76	73.24

Y para las escenas Landsat, recordando que Landsat 8 esta codificada a 16 bits, la variación es la siguiente (tabla 3):

TABLA 3. Variación de los promedios en números digitales por categoría y banda de Landsat 5, 7 y 8.

CATEGORIA	BANDA	LANDSAT 5			LANDSAT 7			LANDSAT 8		
		Promedio General	Promedio Inferior	Promedio superior	Promedio General	Promedio Inferior	Promedio superior	Promedio General	Promedio Inferior	Promedio superior
1	Infrarrojo Cercano	12.92	10.83	15.00	14.00	12.72	15.28	5,861.76	5,664.71	6,058.82
	Rojo	21.08	18.67	23.50	32.77	28.65	36.90	6,852.94	6,476.47	7,229.41
	Verde	21.08	18.17	24.00	47.71	43.26	52.16	8,032.35	7,617.65	8,447.06
2	Infrarrojo Cercano	16.50	14.50	18.50	16.34	14.71	17.97	6,685.71	6,264.29	7,107.14
	Rojo	26.13	23.75	28.50	42.18	36.70	47.67	8,242.86	7,514.29	8,971.43
	Verde	31.38	27.75	35.00	57.43	51.85	63.01	9,196.43	8,714.29	9,678.57
3	Infrarrojo Cercano	22.17	18.33	26.00	23.41	17.32	29.50	8,131.25	7,237.50	9,025.00
	Rojo	39.33	34.33	44.33	68.73	53.14	84.32	10,212.50	9,712.50	10,712.50
	Verde	42.50	38.33	46.67	77.36	67.75	86.96	10,362.50	10,050.00	10,675.00

Cabe mencionar que existen algunos traslapes no importantes entre el límite superior e inferior de una categoría y otra por cada banda. No obstante, estos traslapes no representa error en la clasificación final de las plumas debido a lo despreciable de este traslape. Con lo anterior se puede garantizar una correcta comparación temporal de las categorías ya que, por ejemplo, la categoría 2 representará siempre lo mismo a lo largo de todo el periodo y en cualquiera de los tres sensores utilizados.

Para calibrar y homogenizar las categorías entre distintos sensores se utilizaron imágenes donde se visualice perfectamente lo correspondiente a la categoría 3 (muy denso) para clasificarla y con base a esta primera aproximación se intentó extrapolar las otras dos categorías. Lo anterior fue complementado con imágenes de distintos sensores pero de fechas cercanas donde se establecieron los límites de una zona de

pluma que por su cercanía temporal corresponde a la misma categoría. En la figura 6 se muestra en el rectángulo más pequeño la categoría 3, en el de tamaño medio la categoría 2 y en el más grande la categoría 1.

Es importante mencionar que el propio algoritmo de clasificación no supervisada dividió la pluma en varias categorías las cuales, casi en su totalidad y sin importar el sensor, coincidió con las categorías establecidas en los rangos radiométricos.



*FIGURA 6. Cuadro pequeño categoría 3, cuadro medio categoría 2 y cuadro grande categoría 1*

Como ejemplo, en la figura 7 se muestra en color rojo la superficie de alta concentración que generalmente corresponde a la desembocadura del río, de color naranja una concentración media (regular) de detritos que es la que usualmente predomina y, finalmente, de color verde las áreas de detritos difuminados o en proceso de sedimentación.



*FIGURA 7. Pluma de detrito vectorizada. Rojo alta concentración, naranja concentración media y verde pluma difuminada o en proceso de sedimentación.*

#### **4.5 Conceptualización de la pluma de detritos suspendidos con base a otras superficies.**

Para una mayor conceptualización y sustento de las 3 categorías, se comparo la respuesta espectral de las plumas con respecto a la de tres superficies conocidas y que pueden estar relacionadas con la constitución de las plumas de detritos suspendidos en la bahía. La primera es la superficie del escurrimiento dentro del continente en los meses con mayor presencia de plumas, la segunda es la reflectividad de la playa contigua a la desembocadura del río y, la tercera, corresponde al suelo desnudo y con materia orgánica aledaño al escurrimiento dentro del continente. Ésta última parece estar más relacionada con las partículas que arrastra el río.

Para cada una de las tres superficies se tomó su firma espectral en 5 puntos distintos y se promediaron considerando las mismas bandas (verde, rojo e infrarrojo cercano) utilizadas para las categorías. Con lo anterior se puede ver que la reflectividad del río con detritos suspendidos es más parecida a la categoría de suelo desnudo (ver círculos en la tabla 4) pero con una absorción mayor en el infrarrojo cercano; esto es atribuido a la misma agua del río ya que absorbe al infrarrojo cercano. La reflectividad de la playa es muy diferente y no muestra la misma tendencia.

Por otra parte, se espera que la pluma categoría 3 sea muy similar a la del río dentro del continente (ver rectángulos remarcados en la siguiente tabla), por lo que se realizó la comparativa de la reflectividad de las tres categorías observándose que entre más densa sea la pluma, la firma espectral es más parecida a la del río (Tabla 4 en la parte derecha).

TABLA 4. Comparativa de la reflectividad de las plumas de detritos con otras coberturas conocidas

SENSOR	Cobertura	Infrarojo Cercano	Rojo	Verde	Categoría	Infrarojo Cercano	Rojo	Verde
LANDSAT 8	Suelo desnudo	16800	12000	11400	1	5861.76	6852.94	8032.35
	Playa	14100	13000	12700	2	6685.71	8242.86	9196.43
	Río continente	11800	12000	10700	3	8131.25	10212.50	10362.50
LANDSAT 7	Suelo desnudo	75	77	78	1	14.00	32.77	47.71
	Playa	70	134	119	2	16.34	42.18	57.43
	Río continente	35	87	79	3	23.41	68.73	77.36
LANDSAT 5	Suelo desnudo	60	51	41	1	12.92	21.08	21.08
	Playa	52	59	51	2	16.50	26.13	31.38
	Río continente	32	45	39	3	22.17	39.33	42.50

Como se puede apreciar, la firma espectral de las bandas infrarrojo cercano, rojo y verde del escurrimiento es similar a la del suelo desnudo mezclado con materia orgánica mostrando sólo una variación cercana al 50% en la cantidad de infrarrojo cercano que absorbe el escurrimiento con respecto al suelo desnudo. Así mismo, la categoría 3 o muy densa muestra una firma similar a la del escurrimiento pero difiriendo en la cantidad de infrarrojo cercano absorbido lo cual probablemente es causado por la mayor profundidad de la columna de agua en la bahía que en el cauce; en este análisis la categoría 3 emite cerca del 70% del infrarrojo que emite el cauce.

#### 4.6 Caudal y precipitación

Para analizar la relación de las plumas con respecto a la precipitación y caudal, se extrajo información para el periodo 2006-2014 de 9 estaciones meteorológicas y 5 hidrológicas dentro de la cuenca Ameca-Ixtapa. A continuación se enlistan la clave de cada estación, la localidad y municipio al que pertenece.

Estaciones meteorológicas:

1. 14081 en Getsemaní, Puerto Vallarta
2. 18030 cercana a Colonia Magisterio, Bahía de Banderas
3. 14339 cercana a Colonia Paso del Molino, Puerto Vallarta
4. 18021 en La Presa, Bahía de Banderas

5. 18077 en Cuastecomate, San Pedro Lagunillas
6. 14140 cercana a Talpa de Allende, Talpa de Allende
7. 14125 en San Gregorio, Mixtlan
8. 14096 en Mascota, Mascota
9. 14035 cercana a El Refugio, Mascota

Estaciones Hidrológicas:

1. 14008 cercana a La Desembocada, Puerto Vallarta
2. 14007 en Tomás López Castañeda, Bahía de Banderas
3. 14029 cercana a Rincón de los Ángeles, Mascota
4. 14022 cercana a Santa Cruz la Puerta, San Sebastián del Oeste

Se utilizó la Precipitación Promedio Diaria y el Caudal Promedio por Día en  $m^3/s$  en lugar de la acumulada mensual con el objetivo de encontrar la relación de la variación de la precipitación y caudal con la aparición de las plumas de partículas suspendidas.

Para el caso del caudal, se solicitaron los datos de 5 estaciones Hidrométricas “14007, 14022 y 14010” del Río Ameca y “14008 y 14029” del Río Mascota. Se descartó analizar la estación 14022 sobre el Río Ameca debido a que no tiene información en los años correspondientes al periodo estudiado. También, para la estación 14008 sobre el Río Mascota, se analizaron los datos a partir del 2007 ya que es la fecha en que inicio a operar. Por último, es importante mencionar que todas las estaciones tienen algunos lapsos de tiempo sin información a lo largo del periodo, sin embargo, sí fue posible lograr un panorama de las variaciones del caudal a lo largo del periodo. El problema anterior no se presentó para la precipitación.

#### **4.7 Tamaño y dirección de las plumas en el año 2013**

Con el objetivo de tener un panorama de la dirección y tamaño de las plumas en una secuencia temporal, se utilizaron 31 imágenes de satélite del año 2013 ya que

es el año con más escenas disponibles y con mejor calidad. Se empleó la información de precipitación promedio diaria para observar la correspondencia de ésta con los aumentos o disminuciones de la superficie de la bahía cubiertas por las plumas.

La frecuencia promedio de las escenas para este año van de 15 a 20 días siendo el mínimo de un día. Para analizar la relación de la precipitación con el tamaño de las plumas y sus categorías de densidad obtenidas de cada escena, se sumaron entre el lapso de una escena y otra los eventos de precipitación de hasta cinco días atrás al registro de pluma.

Se eligió este lapso de tiempo debido a que se observó que la inyección continua de los sedimentos en la bahía influye en el tamaño y características de las plumas. Entre más sea la duración e intensidad de la precipitación mayor será el tamaño y concentración de las plumas causado por que la inyección continua del río que “empuja” a los sedimentos más adentro de la bahía.

Para establecer cuantos días de precipitación anteriores a una pluma influye en su tamaño y características se graficaron en el mismo plano, con los datos de las estaciones más cercanas a la desembocadura tanto del Río Ameca como del Río Mascota, las variaciones de los caudales de ambos ríos y la precipitación promedio diaria registrada en todas las estaciones en todo el periodo (2006-2014).

En estas figuras se observa como tendencia general, que el caudal responde con un incremento a partir del primer día y hasta el quinto día posterior de la precipitación por lo que la pluma responde también a este periodo al estar ligada directamente al caudal que desemboca en la bahía.

Por lo anterior se decidió considerar, para la formación de las plumas, los datos de precipitación de los primeros 5 días inmediatos anteriores a la pluma (que es lo que tarda en terminar de escurrir el agua de las precipitaciones al interior del continente) más un margen de 3 días donde solo se considerará el 50% de la precipitación. A continuación se muestra en la figura 8 un fragmento del 27 de abril al 31 de diciembre de 2014 donde se observa claramente este desfase:

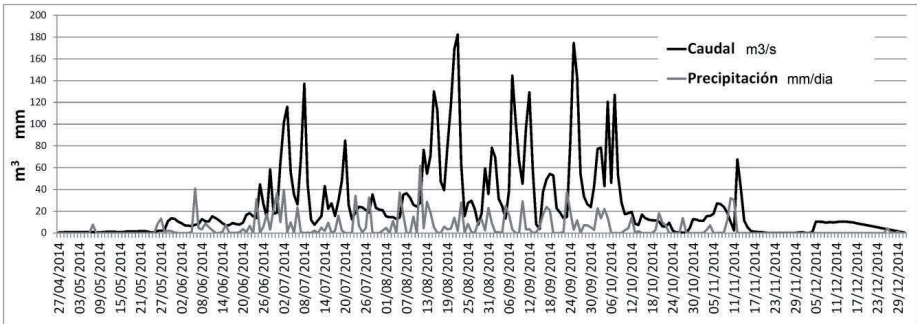


FIGURA 8. Comparativa Caudal-Precipitación en el periodo del 27 de abril al 30 de diciembre de 2014.

Es importante señalar que no se requiere establecer de forma estricta cuantos días de precipitación anteriores a la pluma la determinan, ya que sólo se requiere observar la relación de las plumas con la precipitación inmediata anterior.

Para el caso de las estaciones más retiradas a la desembocadura del río (18021, 18077, 14096, 14035, 14140 y 14125) los eventos de precipitación a contemplar son a partir del segundo hasta el sexto día anteriores al registro de la pluma mas tres días como margen de error, lo anterior debido a que se observó en las figuras de precipitación-caudal de estas estaciones una tendencia del caudal a incrementarse a partir del segundo día del registro de precipitación.

Por último, con la intención de conocer la relación de los vientos con la dirección de las plumas, se analizaron los datos de la estación meteorológica Café Roma del Centro de Estudios Meteorológicos de la Costa ubicada cerca del Malecón en el Municipio de Puerto Vallarta, Jalisco. Se capturó por día, la intensidad y dirección de los vientos dominantes y divididos en dos periodos: de las 0:00 a las 11:00 hrs y de las 12:00 a las 23:00 hrs. Posteriormente se graficaron y se analizó la relación con la dirección de las plumas.

#### 4.8 Firma Espectral

Otro aspecto importante a analizar es la firma espectral de las plumas de sedimentos suspendidos para compararlos con firmas de otros elementos o superficies conocidas. Se analizaron cuatro escenas del sensor Landsat 8 de distintas fechas

utilizando las tres bandas del espectro visible (2, 3 y 4) y las bandas del infrarrojo cercano e infrarrojo medio (5 y 6 respectivamente).

Gracias a la reflectividad y absorción de una superficie cualquiera en algunas secciones del espectro electromagnético, similar a una huella digital, podemos inferir de manera general las substancias o elementos que la componen. Para el caso del agua, ésta absorbe fuertemente el infrarrojo por lo que muestra una disminución en esta región del espectro. En las imágenes de satélite con bandas que cubran una porción amplia del espectro electromagnético, como es el caso de las Landsat, es posible inferir su temperatura, turbidez (detritos suspendidos), presencia de materia orgánica entre otros.

En cada escena analizada se realizó un transecto iniciando en su extremo norte en agua de mar relativamente pura pasando por zonas con plumas dispersas y zonas con alta concentración de sedimentos y terminando en agua de mar relativamente pura; lo anterior con la intención de conocer la variación radiométrica de cada pixel por donde pasa el transecto y obtener finalmente la firma espectral de cada uno de los tres puntos.

Como ya se mencionó, se utilizaron las bandas 2, 3 y 4 del espectro visible y 5 y 6 del infrarrojo cercano e infrarrojo medio respectivamente. De las otras 5 bandas no utilizadas del sensor, tres corresponden a las longitudes de onda térmicas (especializadas para incendios y temperatura superficial) y las otras dos para analizar cirrus y aerosol, motivo por el cual no formaron parte de nuestro análisis.

El comportamiento espectral del agua varía según varios factores como el contenido de clorofila, materiales en suspensión y/o disueltos, la rugosidad de la superficie, la profundidad del cuerpo de agua, entre otros. La concentración de pigmentos de clorofila (fotosintéticos del fitoplancton) es comúnmente considerada como un índice de productividad biológica y en un ambiente oceánico, puede ser relacionado a la producción de peces. Concentraciones de clorofila superiores a  $0.2 \text{ mg/m}^3$  indican la presencia de suficiente vida planctónica para sustentar una pesquería comercial viable (Gower, 1972). Los pigmentos de clorofila tienen una

firma espectral específica y distintiva, ya que absorben luz azul y roja y reflejan fuertemente el verde, afectando el color del océano.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de un transecto utilizando cuatro bandas del sensor Landsat 8, las tres primeras corresponden al espectro visible (0.45 a 0.68 micras) y la última al infrarrojo cercano (0.845 a 0.885 micras). Al pasar el transecto por la pluma vemos una respuesta importante en el verde y rojo y una respuesta menor en el infrarrojo cercano causado por la dispersión de las partículas en estas regiones del espectro aunado a la absorción en el azul (Knaeps, *et al.*, 2010). Con lo anterior se puede inferir la presencia de materia orgánica y sedimentos suspendidos (agua turbia).

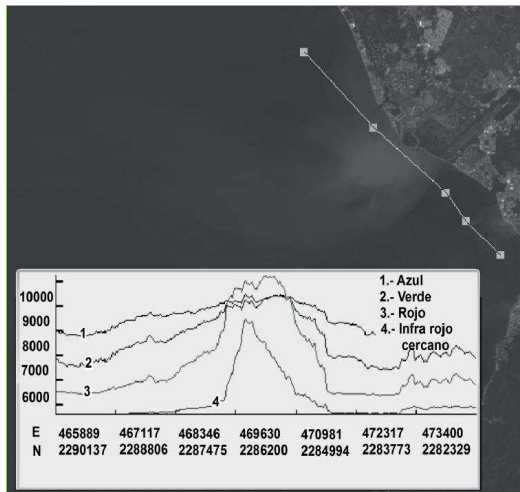


FIGURA 9. Firma espectral de una sección con presencia de detritos.

La turbidez vista como la dificultad del agua para transmitir la luz debido a los materiales insolubles en suspensión, influye de manera importante en la reflectividad del agua. Si la turbidez es alta, habrá muchas partículas suspendidas en ella, las cuales reflejarán una parte de la luz solar y absorberá otra parte modificando la firma espectral del agua. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua (Toro, 2011).

Existen varios factores que influyen en la turbidez del agua: presencia de fitoplancton, y/o crecimiento de las algas; presencia de sedimentos procedentes de la erosión de los ríos; presencia de sedimentos suspendidos del fondo; descarga de efluentes como escorrentías urbanas; la erosión debido a la eliminación de la vegetación ribereña, entre otros (Toro, 2011).

En cada figura analizada se incluyó una gráfica de los transectos en donde se muestra el comportamiento de cada una de las 5 bandas. La banda 1 corresponde al azul, la 2 al verde, la 3 al rojo, la 4 al infrarrojo cercano y la 5 al infrarrojo lejano.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 5.1 Concentración promedio de detritos y su cobertura

A continuación se muestra una serie de figuras en donde se hace un análisis de la cobertura de partículas suspendidas. Se muestra una figura por mes del promedio de la superficie de la bahía cubierta por plumas de detritos y una anual; el promedio presentado considera las plumas extraídas en todo el periodo de estudio (2006-2014).

Para representar el promedio de la superficie de la bahía cubierta por plumas se diseñaron 5 categorías (1, 1.01-1.50, 1.51-2.00, 2.01-2.50 y 2.51-3.00) donde la primera es siempre dispersa y la última muy densa. En esta serie de figuras vemos que en los meses de enero, febrero, marzo, abril y diciembre el promedio no va más allá del rango 2.

A partir de mayo, se hace evidente en la desembocadura del Río Ameca promedios mayores a 2 siendo el máximo en el mes de septiembre en donde más del 2% de la superficie de la bahía (24 km<sup>2</sup>) está cubierta por una concentración de plumas superiores a este rango. Durante el tratamiento de las imágenes se detectaron también estructuras de remolinos ciclónicos (figura 10).

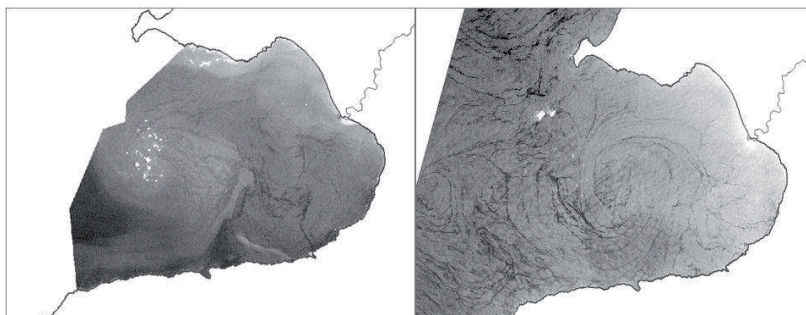


FIGURA 10. Remolinos ciclónicos internos. Arriba a la derecha corresponde al 19 de junio de 2008 del sensor Landsat 5 y a la izquierda del 04 de junio de 2014 del sensor Landsat 8 respectivamente

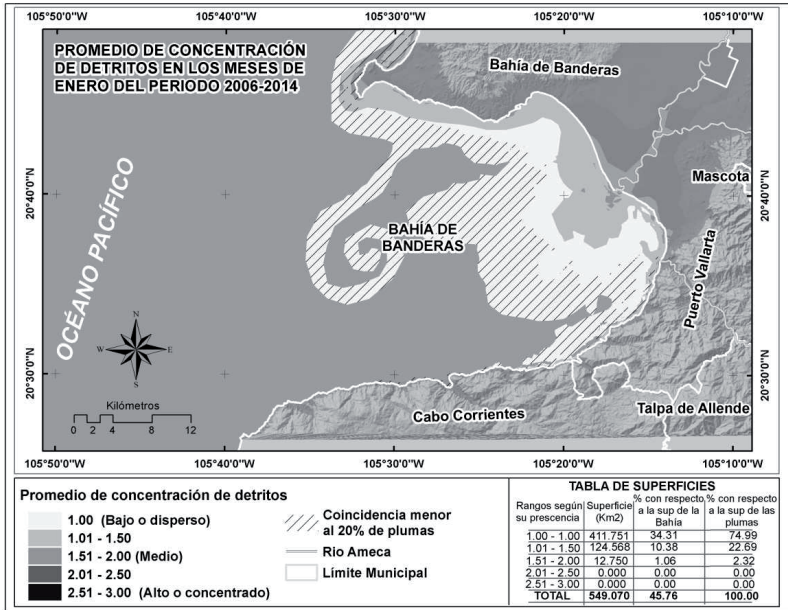


FIGURA 11 Promedio de Concentración en Enero

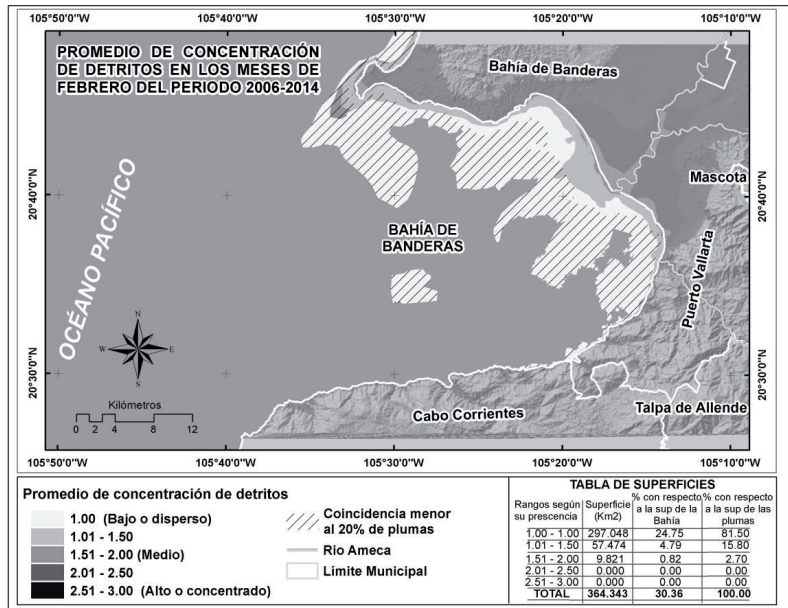


FIGURA 12 Promedio de Concentración en Febrero

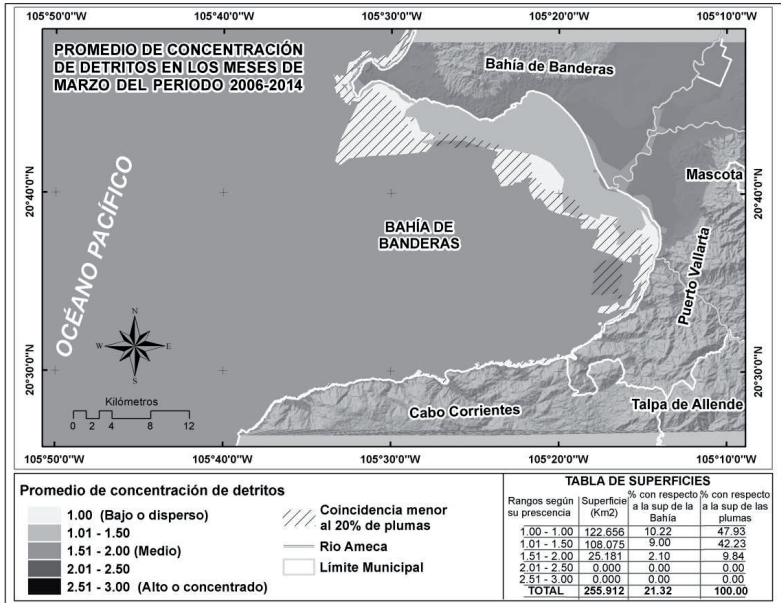


FIGURA 13 Promedio de Concentración en Marzo

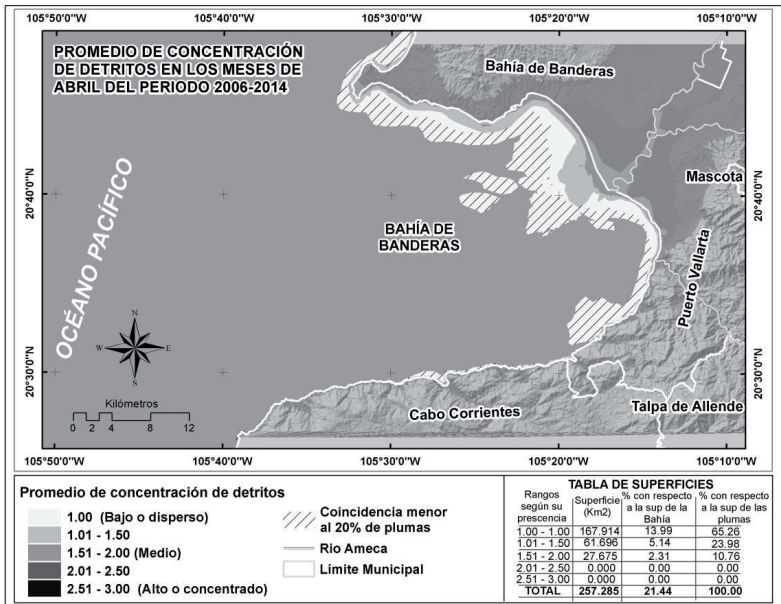


FIGURA 14 Promedio de Concentración en Abril

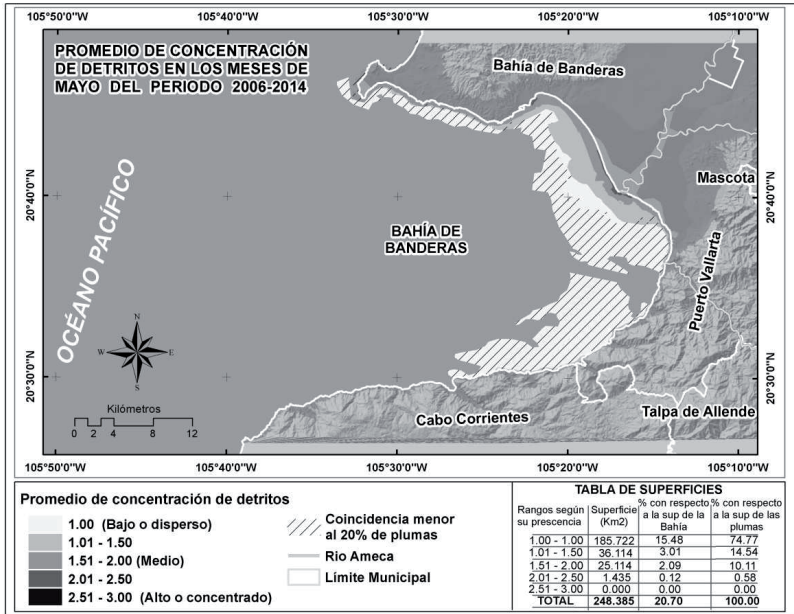


FIGURA 15 Promedio de Concentración en Mayo

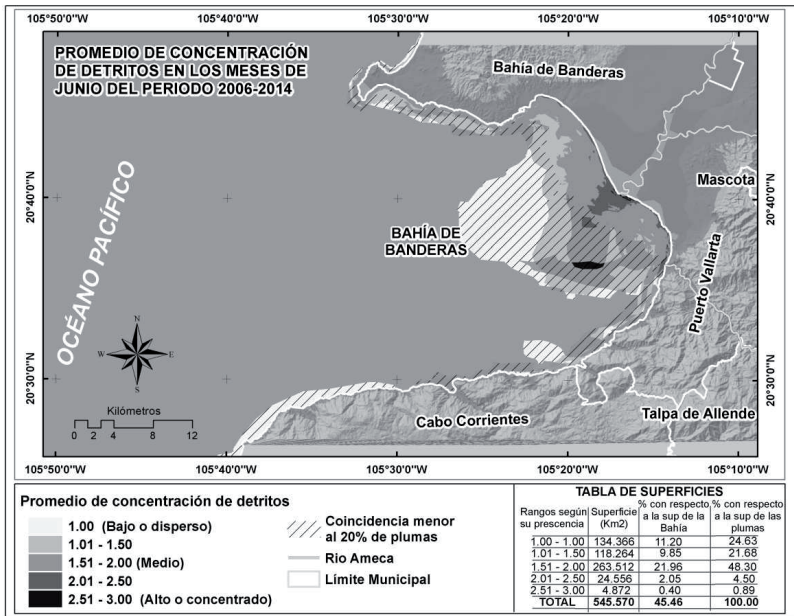


FIGURA 16 Promedio de Concentración en Junio

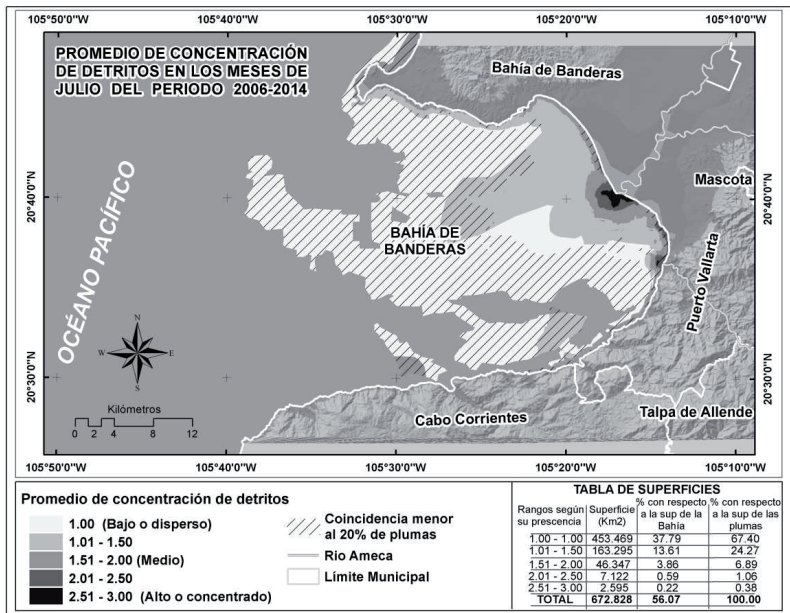


FIGURA 17 Promedio de Concentración en Julio

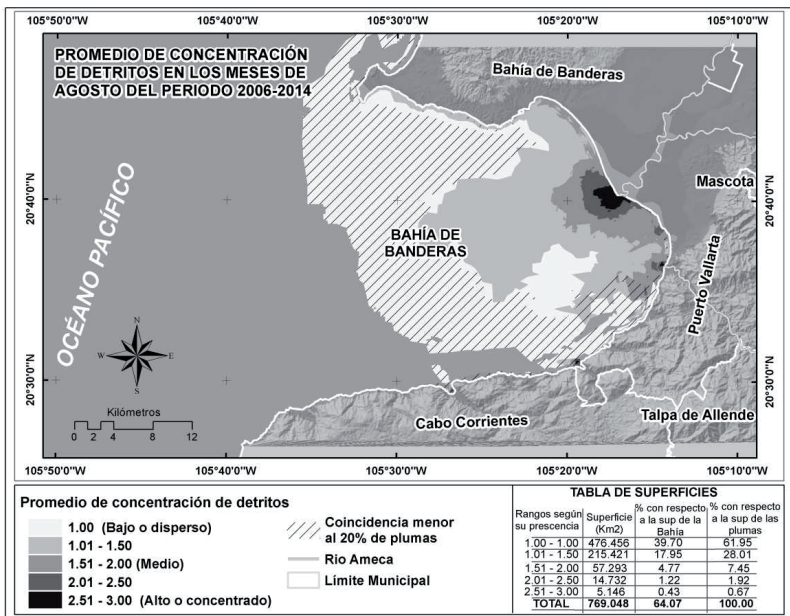


FIGURA 18 Promedio de Concentración en Agosto

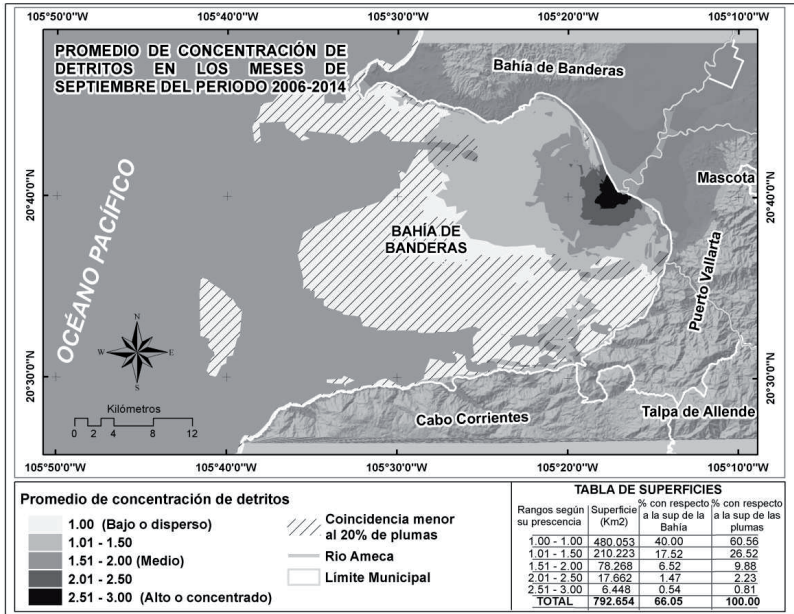


FIGURA 19 Promedio de Concentración en Septiembre

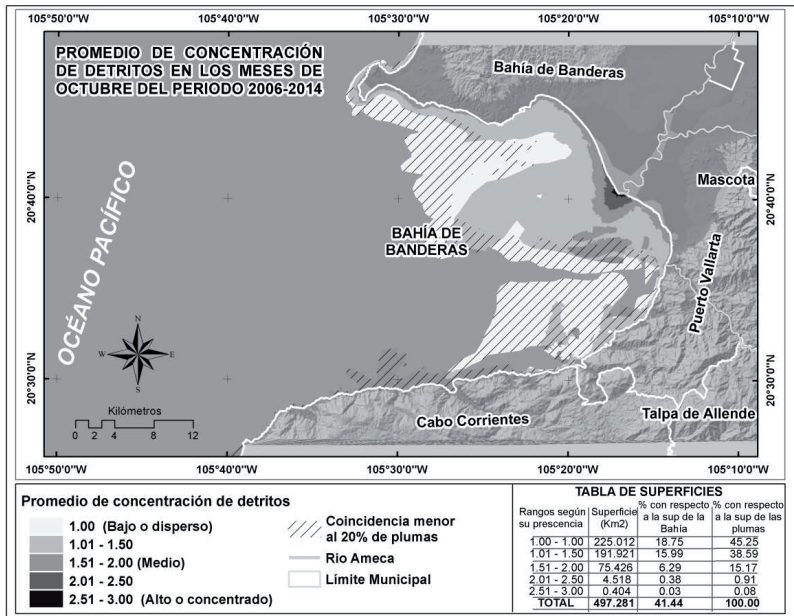


FIGURA 20. Promedio de Concentración en Octubre

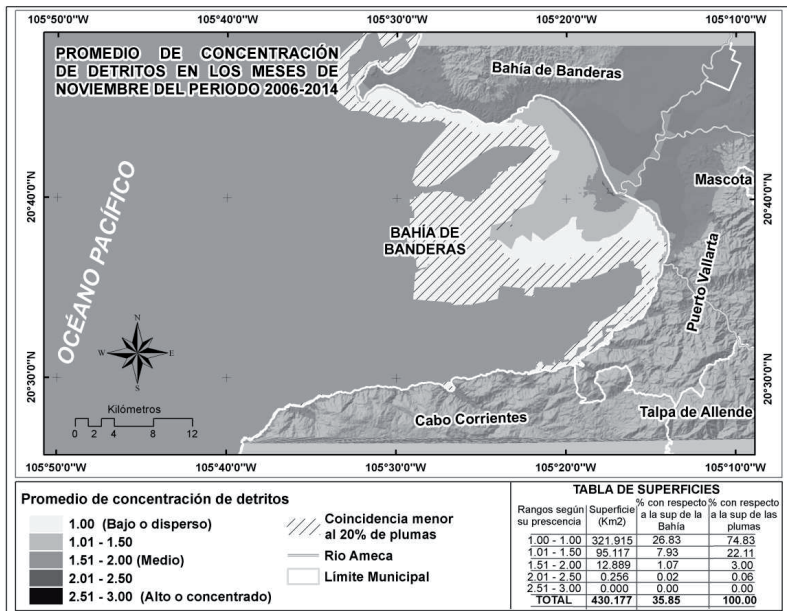


FIGURA 21. Promedio de Concentración en Noviembre

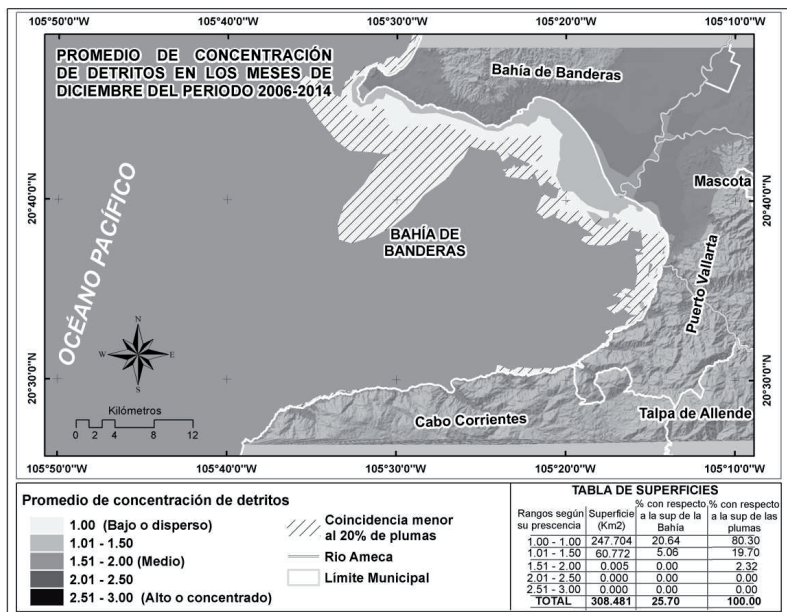


FIGURA 22. Promedio de Concentración en Diciembre

En la figura 23 se observa el promedio anual de concentración de detritos y la superficie que cubre de la bahía:

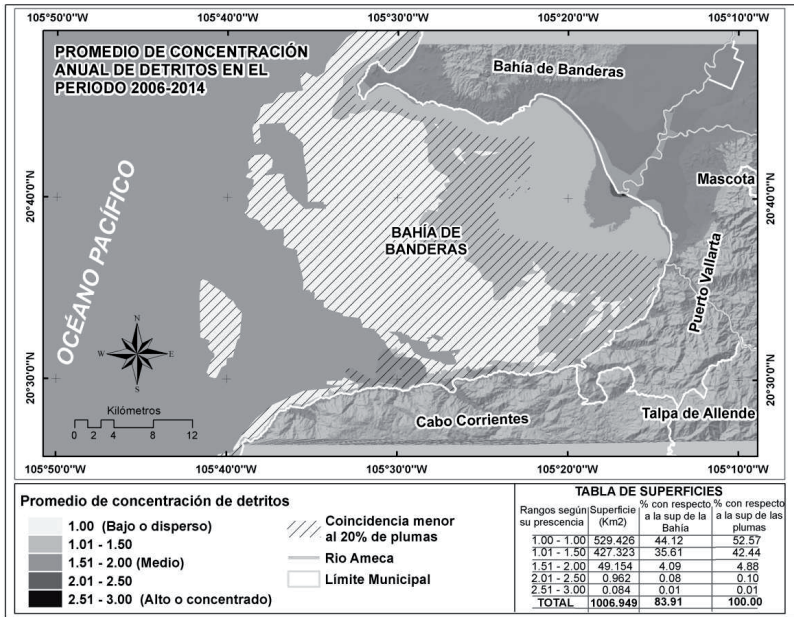


FIGURA 23. Promedio de Concentración Anual

En la figura anterior vemos la superficie de la bahía que en algún momento del año tuvo presencia de plumas de detritos suspendidos. Los rangos predominantes en este mapa están por debajo del rango de 1.5.

## 5.2 La precipitación y caudal en la cuenca Ameca-Ixtapa

En la Figura 24 se muestra la precipitación promedio mensual. Las estaciones que reportan más precipitación son las 18021 y 14339, esta última captura datos cerca del Río Cuale. Se observa que en las cuatro estaciones más cercanas a la bahía (14339, 14081, 18030 y 18021) la precipitación se concentra en los meses de junio a octubre mientras que las 5 restantes reportan precipitaciones importantes también en los primeros meses del año, lo que puede atribuirse a la altitud y a la zona montañosa.

En casi todas las estaciones se observa que el mes de agosto es el de mayor precipitación con excepción de las estaciones 14096, 14035 y 14140 en donde el mes de julio presenta el máximo de precipitación promedio debido probablemente a la presencia de las montañas de la sierra las cuales causan el ascenso de aire húmedo que se condensan con la altura provocando precipitaciones tempranas.

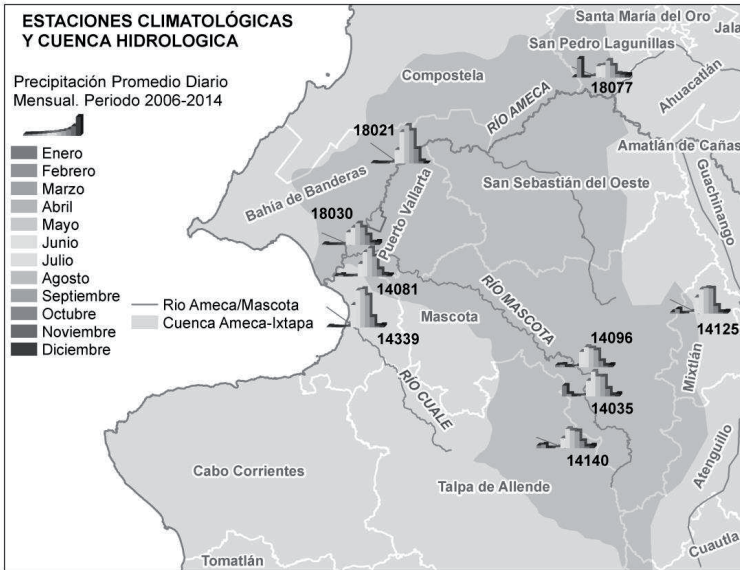


FIGURA 24. En azul, Cuenca Ameca-Ixtapa y representado en el histograma el promedio diario por mes de la precipitación de las estaciones climatológicas

En la Tabla 5 se muestran los datos de precipitación promedio diaria por mes y sombreado los datos de las estaciones más cercanas a la bahía. Aquí se corrobora que las estaciones al interior del continente reportan precipitaciones también en los primeros meses del año y que los meses de agosto, septiembre y octubre son los de mayor precipitación.

TABLA 5. Precipitación promedio diaria por mes y por estación en el periodo 2006-2014

CLAVE DE LA ESTACIÓN	Enero (mm)	Febrero (mm)	Marzo (mm)	Abril (mm)	Mayo (mm)	Junio (mm)	Julio (mm)	Agosto (mm)	Septiembre (mm)	Octubre (mm)	Noviembre (mm)	Diciembre (mm)	PROMEDIO ANUAL (mm)
14339	0.39	0.14	0.02	0.00	0.32	9.09	15.01	15.49	12.93	4.25	0.68	0.90	4.96
14081	0.30	0.68	0.00	0.00	0.11	5.17	9.83	11.46	8.10	2.94	0.81	0.58	3.55
18030	0.33	0.00	0.00	0.00	0.02	5.12	6.98	8.69	7.06	3.88	1.03	1.24	2.89
18021	0.25	0.01	0.00	0.00	0.36	5.44	12.72	15.27	13.23	5.85	0.86	0.00	4.71
18077	0.25	7.53	0.00	0.00	0.57	4.58	4.96	6.83	4.77	1.49	1.23	1.03	2.73
14096	0.87	1.04	0.15	0.00	0.36	6.21	8.14	7.62	6.87	2.55	0.63	0.91	2.98
14035	4.36	1.00	0.04	0.05	0.38	6.29	10.05	8.09	8.04	3.10	0.51	0.98	3.60
14140	1.08	1.51	0.01	0.00	0.39	4.00	7.83	7.16	6.82	2.85	0.70	1.11	2.76
14125	0.65	1.75	0.00	0.08	0.71	6.53	9.79	10.32	10.14	3.09	0.62	0.76	3.78

La siguiente figura muestra las 5 estaciones Hidrométricas “14007, 14022 y 14010” y “14008 y 14029” del Río Ameca y Mascota respectivamente recordando que se descartó la estación 14022 sobre el Río Ameca por no tener información en los años de interés.

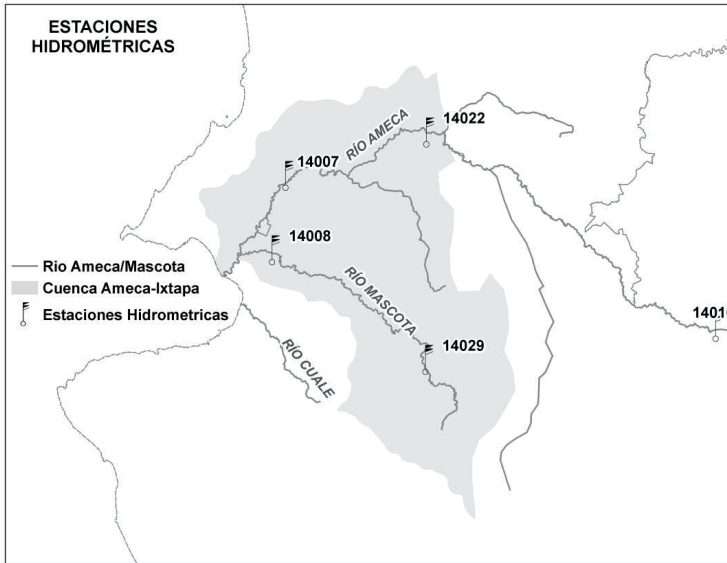


FIGURA 25. Estaciones Hidrométricas en la cuenca Ameca-Ixtapa

En la siguiente tabla se muestra el Caudal Promedio por Mes en metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ) de las estaciones 14007 y 14010 sobre el Río Ameca. Se observa que la primera estación presenta el mayor caudal aunque ambas tienen, en promedio, su máximo caudal en septiembre.

Analizando todos los registros históricos de caudal disponibles desde 1953 hasta el 2014 de la estación 14007, obtenemos un caudal promedio de 35.08 m<sup>3</sup>/s y vemos que los caudales registrados en el periodo 2006-2014 rara vez son mayores a este promedio.

Para el caso de la estación 14010, el caudal promedio desde 1956 al 2014 es de 5.7 m<sup>3</sup>/s. y vemos que, en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre, es cuando se registran caudales superiores a este promedio.

TABLA 6. Caudal promedio por mes (m<sup>3</sup>/s) de las estaciones sobre el Río Ameca en el periodo 2006-2014

Año	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio	
	14007	14010	14007	14010	14007	14010	14007	14010	14007	14010	14007	14010
2006	0.19	0.84	0.19	0.96	0.09	1.16	0.09	1.21	0.74	1.22	1.98	1.20
2007	7.30	0.97	4.56	1.03	2.42	1.16	2.20	1.29	1.53	1.58	6.42	3.73
2008	3.02	0.82	1.87	0.92	1.80	1.00	1.21	1.25	0.83	1.19	5.58	3.47
2009	6.87	1.03	2.73	0.90	2.37	0.93	1.47	0.80	1.84	1.11	2.86	7.67
2010	2.92	0.73	4.19	4.38	3.29	0.91	0.71	0.92	1.60	1.05	3.69	2.67
2011	4.33	0.79	2.02	0.65	0.71	1.10	0.43	1.10	0.96	0.99	1.98	1.12
2012	1.00	0.73	3.20	1.08	0.53	0.54	0.45	0.77	0.49	1.10	11.52	1.77
2013	10.60	1.33	0.26	0.58	0.27	0.65	0.33	0.66	1.02	1.00	4.56	2.50
2014	9.93	3.39	1.90	0.80	0.47	0.68	0.34	0.62	2.30	1.23	14.42	N/A
<b>TOTAL</b>	5.13	1.18	2.33	1.25	1.33	0.90	0.80	0.96	1.26	1.16	6.04	3.02

Año	Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	14007	14010	14007	14010	14007	14010	14007	14010	14007	14010	14007	14010
2006	N/A	7.14	N/A	9.89	N/A	5.23	N/A	4.20	4.15	1.88	5.09	1.15
2007	9.63	10.82	13.64	17.08	13.52	23.72	6.84	2.84	3.83	1.38	3.92	0.69
2008	16.87	19.31	17.55	21.23	22.31	36.95	11.44	6.45	6.70	1.71	7.71	1.09
2009	13.12	11.10	13.30	3.76	15.35	4.30	9.55	3.00	4.26	0.93	1.36	0.80
2010	6.26	19.90	5.72	38.98	5.71	29.25	7.68	6.26	9.74	1.32	6.86	0.85
2011	4.76	11.98	5.21	10.34	4.91	4.54	5.09	7.58	5.65	N/A	3.10	N/A
2012	45.39	20.78	30.00	9.68	27.74	7.95	14.81	1.14	5.84	1.27	2.93	0.64
2013	21.93	3.85	17.68	3.91	135.58	27.27	30.70	5.36	23.38	2.32	11.24	2.64
2014	39.09	N/A	52.09	N/A	56.98	N/A	26.41	N/A	10.38	N/A	6.20	N/A
<b>TOTAL</b>	19.63	13.11	19.40	14.36	35.26	17.40	14.06	4.60	8.68	1.54	5.40	1.12

Para el Río Mascota, se analizaron las estaciones 14008 y 14029. En la tabla 7 se muestra el Caudal Promedio por Mes en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s) observándose que la estación que presenta mayor caudal es la 14008. Sin embargo y al igual que las estaciones ubicadas sobre el Río Ameca, ambas estaciones muestran su periodo de mayor caudal en el mes de septiembre.

Considerando los datos históricos de caudal desde 1949 hasta el 2014 de la estación 14008, se calculó un caudal promedio de 15.7 m<sup>3</sup>/s y vemos que, en los

meses de julio, agosto, septiembre y octubre es cuando se registran en la mayoría de los años caudales superiores a este promedio.

Para la estación 14029, el caudal promedio desde el año 1981 al 2014 es de 2.42 m<sup>3</sup>/s y vemos que, generalmente en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre es cuando se registran caudales superiores a este promedio.

TABLA 7. Caudal promedio por mes (m<sup>3</sup>/s) de las estaciones sobre el Río Mascota en el periodo 2006-2014

AÑO	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio	
	14008	14029	14008	14029	14008	14029	14008	14029	14008	14029	14008	14029
2006	N/A	0.04	N/A	0.05	N/A	0.04	N/A	0.04	N/A	0.04	N/A	0.04
2007	2.81	0.03	2.95	0.05	2.08	0.10	1.26	0.06	1.00	0.03	10.08	0.03
2008	2.23	0.04	2.00	0.05	1.73	0.05	1.47	0.02	1.04	0.01	1.62	0.21
2009	3.30	0.05	3.34	0.05	2.84	0.06	1.39	0.09	1.48	0.05	6.11	0.14
2010	N/A	0.06	N/A	3.55	N/A	0.05	N/A	0.14	N/A	0.05	N/A	0.06
2011	N/A	N/A	N/A	0.59	N/A	0.10	N/A	0.05	N/A	0.02	N/A	0.02
2012	2.91	0.07	2.91	0.06	2.91	0.19	2.15	0.05	1.39	0.04	9.66	0.09
2013	N/A	1.17	N/A	0.16	N/A	0.02	N/A	0.00	N/A	0.00	3.11	0.00
2014	N/A	4.44	N/A	0.09	N/A	0.16	N/A	0.04	N/A	0.64	6.73	1.02
<b>TOTAL</b>	2.81	0.74	2.79	0.51	2.39	0.08	1.57	0.05	1.23	0.10	6.25	0.18

AÑO	Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	14008	14029	14008	14029	14008	14029	14008	14029	14008	14029	14008	14029
2006	N/A	0.05	N/A	7.74	N/A	16.00	N/A	8.16	N/A	1.03	N/A	0.19
2007	16.67	0.25	38.56	13.82	34.70	17.21	25.21	3.27	4.94	0.10	3.98	0.02
2008	16.85	1.50	20.55	9.06	32.96	21.32	17.13	4.27	N/A	0.15	N/A	0.07
2009	13.97	0.08	12.56	0.06	37.29	5.08	N/A	6.21	4.94	0.16	3.99	0.05
2010	N/A	5.47	N/A	18.15	N/A	24.64	N/A	3.99	N/A	0.08	N/A	0.07
2011	N/A	0.42	N/A	4.18	N/A	2.43	N/A	8.45	N/A	0.27	N/A	0.08
2012	28.66	0.63	33.86	8.65	37.21	5.75	N/A	0.28	N/A	0.01	N/A	0.02
2013	13.21	0.00	13.18	0.51	34.96	26.90	28.93	7.87	N/A	9.45	N/A	3.11
2014	24.94	4.87	40.95	12.26	55.43	10.29	41.98	7.52	N/A	4.47	N/A	0.67
<b>TOTAL</b>	19.05	1.47	26.61	8.27	38.76	14.40	28.30	5.56	4.94	1.75	3.98	0.47

En las siguientes figuras se muestra el Caudal Promedio por Mes. El eje de las “Y” muestra la escala del caudal en m<sup>3</sup>/s y el eje de las “X” el caudal promedio para cada mes. Se obtuvo una figura para cada una de las cuatro estaciones hidrológicas.

Para las figuras de las estaciones sobre el Río Ameca (14007 y 14010), vemos que el caudal promedio total de todos los años (línea negra) tienen su máximo en el mes de septiembre; mientras que el caudal máximo para cada uno de los años (líneas de diferentes colores) tiene una distribución de caudal máximo desde el mes de julio hasta incluso al mes de octubre.

En las figuras de las estaciones sobre el Río Mascota (14008 y 14029), el caudal promedio total (línea negra) tienen su máxima en el mes de septiembre; mientras que el caudal máximo para cada uno de los años (líneas de diferentes colores) muestran una distribución de caudal máximo desde el mes de agosto hasta octubre, menos amplia que las estaciones sobre el Río Ameca.

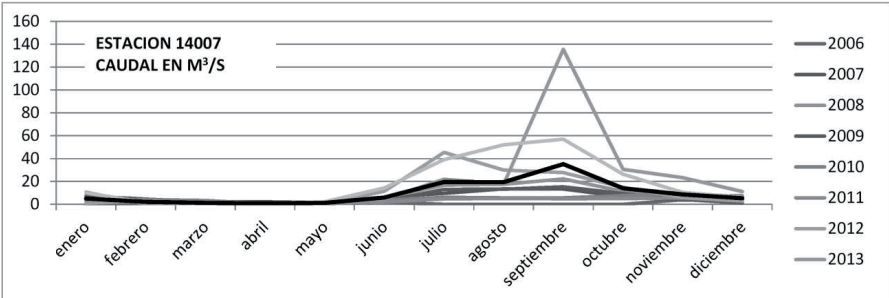


FIGURA 26. Estación 14007. Caudal promedio por mes, por año y para el periodo 2006-2014.

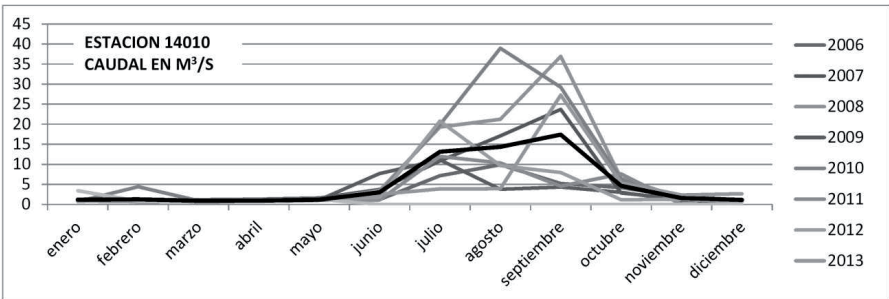


FIGURA 27. Estación 14010. Caudal promedio por mes, por año y para el periodo 2006-2014.

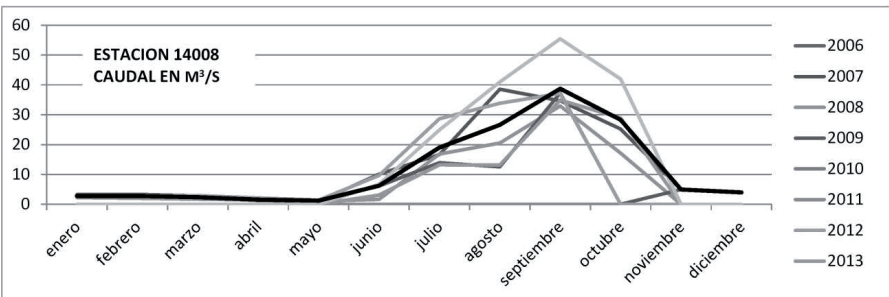


FIGURA 28. Estación 14008. Caudal promedio por mes, por año y para el periodo 2006-2014.

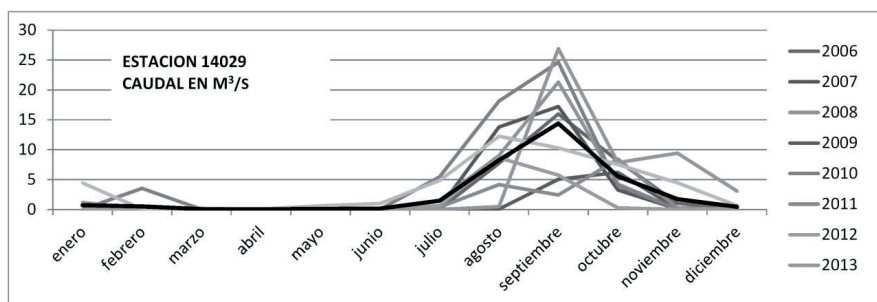


FIGURA 29. Estación 14029. Caudal promedio por mes, por año y para el periodo 2006-2014.

Como se observa, el caudal promedio por mes ( $m^3/s$ ) de todas las estaciones hidrológicas corresponden al mes de septiembre por lo que, se puede inferir, un “retardo” de hasta un mes con respecto al máximo de precipitación promedio. Una posible causa de lo anterior pudiera atribuirse a las aún importantes precipitaciones del mes de septiembre sumadas al aporte continuo hacia los ríos del agua de los mantos freáticos y represas que se encuentran cargados debido a las precipitaciones en los meses anteriores.

Es importante mencionar que la variación de uno a cinco días del caudal con respecto a la precipitación se refiere a la relación simple del caudal promedio diario en  $m^3/s$  con la precipitación promedio diaria mientras que, para el retraso de aproximadamente 30 días encontrado entre el mes de máximo caudal promedio y el mes de máxima precipitación promedio, se le atribuye a la influencia de los grandes almacenamientos de agua como ya se mencionó, cuyo efecto se refleja en el aumento paulatino del volumen promedio del caudal durante periodos de tiempo de varios días. Por lo anterior tenemos que, aún en el mes de máximo caudal, éste sigue mostrando la misma tendencia de retraso de uno a cinco días con respecto a las precipitaciones inmediatas, siendo por lo tanto, fenómenos diferentes.

### **5.3 Periodo con mayor presencia de plumas y su relación con la precipitación y caudal**

Se analizó la información de precipitación obtenida de las estaciones meteorológicas presentes en la cuenca del Río Ameca, se calculó el promedio anual y el promedio diario para cada mes. De esta forma obtuvimos que la cuenca tiene una precipitación promedio diaria, considerando todos los días del año, de 3.49 mm y los 5 meses de mayor precipitación promedio diaria son:

1. Agosto.- Promedio de precipitación de toda la cuenca es de 10.1 mm/día.
2. Julio.- Promedio de precipitación de toda la cuenca es de 9.48 mm/día.
3. Septiembre.- Promedio de precipitación de toda la cuenca es de 8.66 mm/día.
4. Junio.- Promedio de precipitación de toda la cuenca es de 5.83 mm/día.
5. Octubre.- Promedio de precipitación de toda la cuenca es de 3.33 mm/día.

Para el análisis de caudal promedio por mes en  $m^3/s$ , se tomaron los datos promediados de las 2 estaciones más cercanas a la desembocadura (las cuales presentan mayor caudal): 14007 sobre el Río Ameca y 14008 sobre el Río Mascota. A continuación se enlistan, de mayor a menor, los 5 meses de mayor caudal:

1. Septiembre.- Promedio del caudal que desemboca en la bahía de banderas es de  $32.83 m^3/s$ .
2. Agosto.- Promedio del caudal que desemboca en la bahía de banderas es de  $20.36 m^3/s$ .
3. Julio.- Promedio del caudal que desemboca en la bahía de banderas es de  $17.65 m^3/s$ .

4. Octubre.- Promedio del caudal que desemboca en la bahía de banderas es de  $16.34 \text{ m}^3/\text{s}$ .
5. Noviembre.- Promedio del caudal que desemboca en la bahía de banderas es de  $8.8 \text{ m}^3/\text{s}$ .

En la figura 30 se muestra la comparación entre el promedio por mes del caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) y el promedio diario por mes de la precipitación de todo el periodo en estudio (2006-2014). Se observa que la máxima precipitación se registra en agosto y el máximo caudal en septiembre:

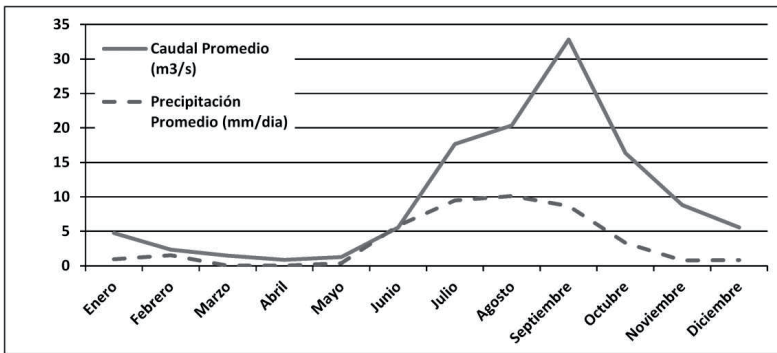


FIGURA 30. Comparación del Caudal-Precipitación promedio por mes en el periodo 2006-2014.

Al promediar por mes todas las plumas de detritos suspendidos en todo el periodo de estudio, se obtuvo un panorama del cubrimiento general. A continuación se muestran los 5 meses que presentan la mayor presencia de plumas:

1. Septiembre.- Tamaño total de la pluma  $792.7 \text{ km}^2$  de los cuales  $24 \text{ km}^2$  están por encima del rango 2 con respecto a su categorización de concentración.
2. Agosto.- Tamaño total de la pluma  $769 \text{ km}^2$  de los cuales  $20 \text{ km}^2$  están por encima del rango 2 con respecto a su categorización de concentración.
3. Julio.- Tamaño total de la pluma  $672.8 \text{ km}^2$  de los cuales  $9.7 \text{ km}^2$  están por encima del rango 2 con respecto a su categorización de concentración.

4. Junio.- Tamaño total de la pluma 545.6 km<sup>2</sup> de los cuales 29 km<sup>2</sup> están por encima del rango 2 con respecto a su categorización de concentración.
5. Octubre.- Tamaño total de la pluma 497.2 km<sup>2</sup> de los cuales 5 km<sup>2</sup> están por encima del rango 2 con respecto a su categorización de concentración.

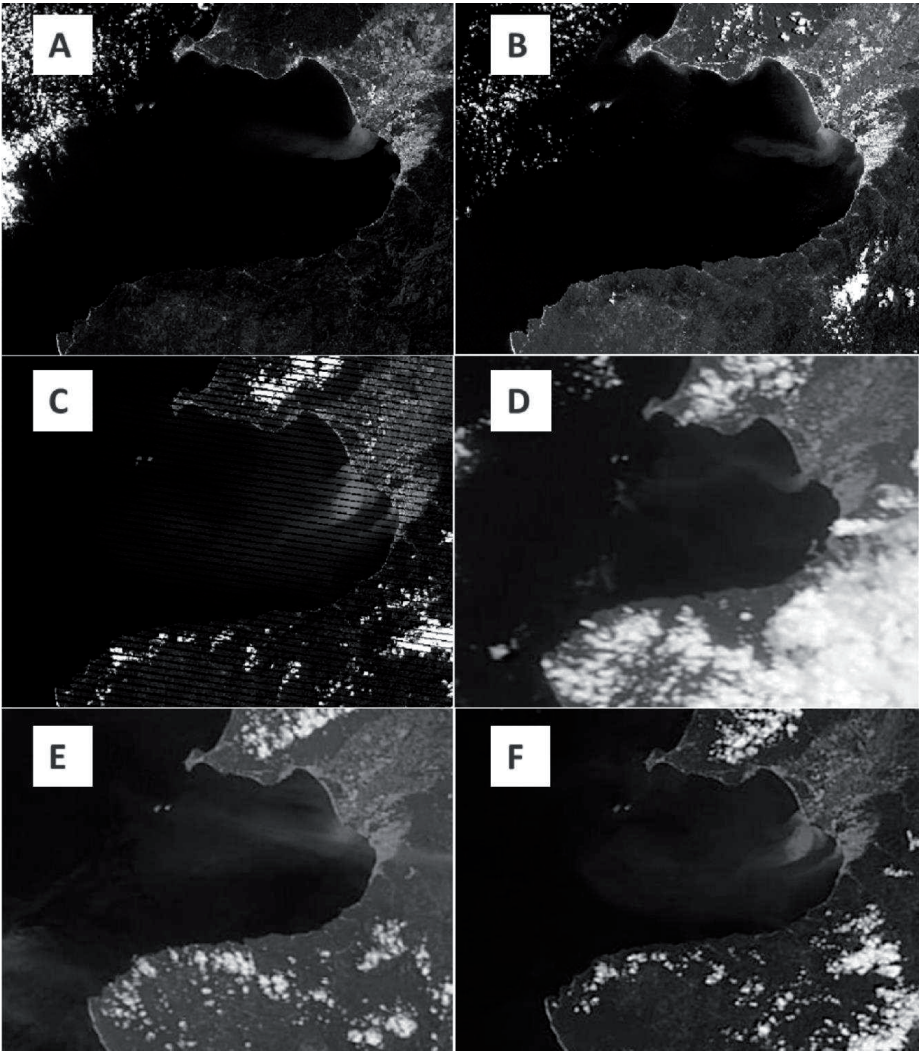
En la tabla 8 se muestra la comparación del caudal, precipitación y la concentración de plumas de detritos promedio por mes de todo el periodo en estudio. Marcado con sombreado oscuro se señalan los meses con el máximo de cada variable y con sombreado claro el mes con el segundo valor máximo de cada variable.

*TABLA 8. Comparativa del Caudal-Precipitación-Plumas promedio por mes en el periodo 2006-2014*

MES	Caudal Promedio (m <sup>3</sup> /s)	Precipitación Promedio (mm/día)	Tamaño Total de la Pluma (km <sup>2</sup> )	Tamaño de la Pluma superior al 2% de concentración (km <sup>2</sup> )
Enero	4.740	0.940	549.000	0.000
Febrero	2.330	1.518	364.340	0.000
Marzo	1.460	0.025	255.900	0.000
Abril	0.860	0.014	257.300	0.000
Mayo	1.270	0.359	248.390	1.430
Junio	5.570	5.826	545.570	<b>29.420</b>
Julio	17.650	9.479	672.830	9.710
Agosto	20.360	<b>10.104</b>	769.050	19.878
Septiembre	<b>32.830</b>	8.662	<b>792.650</b>	24.200
Octubre	16.340	3.333	497.280	4.920
Noviembre	8.800	0.785	430.177	0.256
Diciembre	5.550	0.836	308.480	0.000

En la figura 31 se muestran 6 imágenes de satélite correspondientes al periodo de mayor presencia de plumas (junio, julio, agosto y septiembre). Se corrobora que la mayor presencia de plumas de detritos está vinculada con los meses de mayor precipitación y caudal hasta el punto en que las plumas de mayor tamaño corresponden al mes de septiembre que es cuando el promedio de los ríos presentan el mayor caudal y la precipitación su segundo mes de mayor intensidad.

Sin embargo, es importante aclarar que en algunos meses como noviembre, diciembre y enero suelen visualizarse algunas plumas importantes debido a las lluvias que ocurren de manera aislada.



*FIGURA 31. "A" escena Landsat tomada en octubre de 2006, "B" escena Landsat tomada en julio de 2013, "C" escena Landsat tomada en septiembre 2013, "D" escena Modis tomada en julio de 2012, "E" escena Modis tomada en julio de 2012 y "F" escena Modis tomada en septiembre de 2013.*

## 5.4 Dirección del viento y su relación con el movimiento de las plumas en el periodo 2006-2014.

Para obtener la dirección predominante del viento en la bahía se utilizaron los datos de la estación meteorológica “Café Roma” ubicada sobre el Rio Cuale, a un lado del Mercado Municipal Rio Cuale, cercana al malecón. Se obtuvieron datos diarios (por la mañana y por la tarde) del periodo 2006-2014.

Se observa que por la mañana (de 00:00 a 11:00 hrs) el viento predominante es con dirección al norte con una velocidad entre 1 y 5 km/h. Por la tarde (de 12:00 a 23:00 hrs) la dirección predominante cambia hacia el sur y en algunos días hacia el sur-oeste con una velocidad entre los 10 y 20 km/h (figura 32).

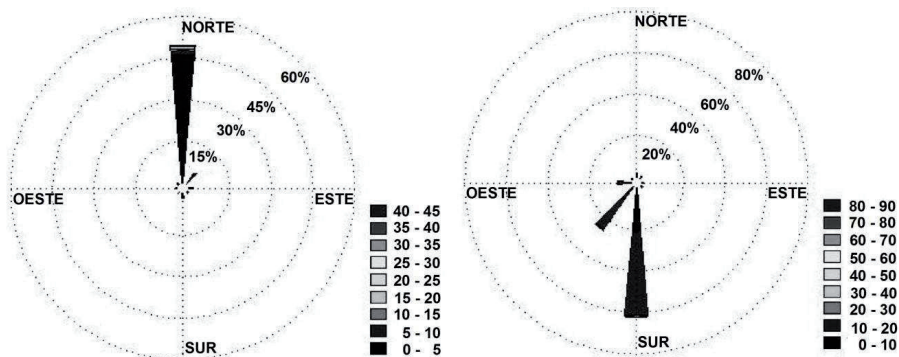


FIGURA 32. Velocidad y dirección promedio del viento calculado con registros diarios en el periodo 2006-2014. A la Izquierda de las 00:00 a las 11:00 hrs y a la derecha de las 12:00 a las 23:00 hrs

De los 3,287 días correspondientes al periodo 2006-2014, en el horario de 00:00 a las 11:00 hrs (que es el horario que coincide con el paso del satélite Landsat), el 35% de los días no se registró viento, el 50% presento viento hacia el norte, el 11% hacia el nor-este y el restante hacia otras direcciones. Para el horario de las 12:00 a las 23:00 hrs, sólo el 1% de los días no presento viento, el 62% fue con dirección hacia el sur, el 25% hacia el sur-oeste, el 8% hacia el oeste y lo restante hacia otras direcciones (figura 33).

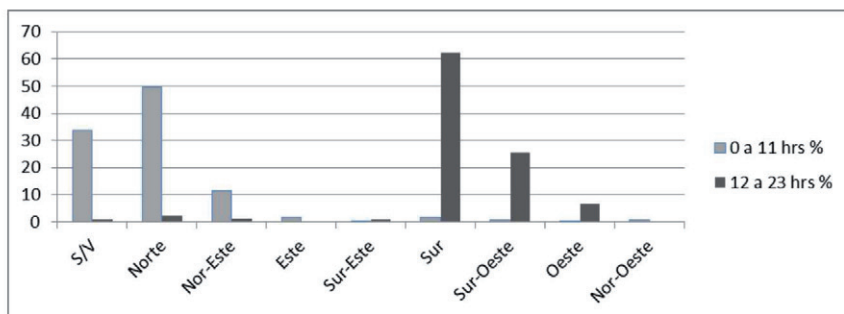


FIGURA 33. Predominancia de la dirección del viento de las 00:00 a las 11:00 hrs y de las 12:00 a las 23:00 hrs.

Al comparar la dirección del viento con la dirección de las plumas observadas en las escenas de satélite (Tabla 9) vemos que, de las 194 imágenes del periodo 2006-2014, 92 coinciden con la dirección del viento, 88 no muestran una correspondencia y en 14 imágenes no es claro ver la relación.

TABLA 9. Coincidencia de la dirección del viento con el movimiento aparente de las plumas visualizado en las imágenes de satélite.

Año	Coincidentes	No Coincidentes	No especificado
2006	13	8	0
2007	6	10	2
2008	13	5	2
2009	13	9	0
2010	12	9	2
2011	4	8	1
2012	10	8	2
2013	9	21	1
2014	12	10	4

Con lo anterior se infiere que el movimiento de las plumas obedece a otros factores y no al viento ya que las plumas muestran la misma tendencia de movimiento sin importar que coincidan con la dirección del viento.

## **5.5 Tamaño y dirección de las plumas identificadas en el 2013**

En las figuras 34 y 35 se observa la rapidez con que pueden llegar a crecer o decrecer las plumas. En cada escena se plasma la dirección del viento para observar la relación con la dirección de la pluma. Se observa que las plumas tienden a moverse hacia el norte, pegado a la costa del municipio de Bahía de Banderas para posteriormente salir de la bahía. En los meses de mayor precipitación y caudal la pluma es “empujada” por la fuerza del Rio Ameca al centro de la bahía para posteriormente seguir la tendencia de movimiento hacia la parte norte.

Como se observó para los otros años, el viento no tiene relación con la dirección de las plumas puesto que las plumas siguen la misma tendencia de movimiento sin importar la dirección del viento e incluso en días sin viento la pluma sigue desplazándose de la misma manera.

En la Tabla 10 se analiza el crecimiento total y por categoría de las plumas vectorizadas en el 2013. Se especifica el crecimiento entre una escena y otra y se realiza una estimación de crecimiento por día. Se calcula también entre una escena y otra la precipitación tomada de las estaciones meteorológicas para relacionarla con el tamaño de las plumas.

Las plumas están relacionadas con periodos de precipitación las cuales aumentan el caudal de los Ríos. Sin embargo, se evidencian plumas después de periodos de precipitación causada quizás por lluvias extraordinarias o la disminución gradual del cauce después de este periodo. Se observa de manera general que la pluma densa de categoría 3 evoluciona a categoría 2 (densidad media), posteriormente a categoría 1 (difuminada) y posteriormente sale de la bahía o se precipita hacia el fondo.

El proceso de sedimentación observado complementa el proceso de las corrientes de transportar los sedimentos fuera de la bahía ya que entre las escenas inferiores a 5 días de separación se observa una desaparición de grandes superficies de pluma antes de salir de la bahía.

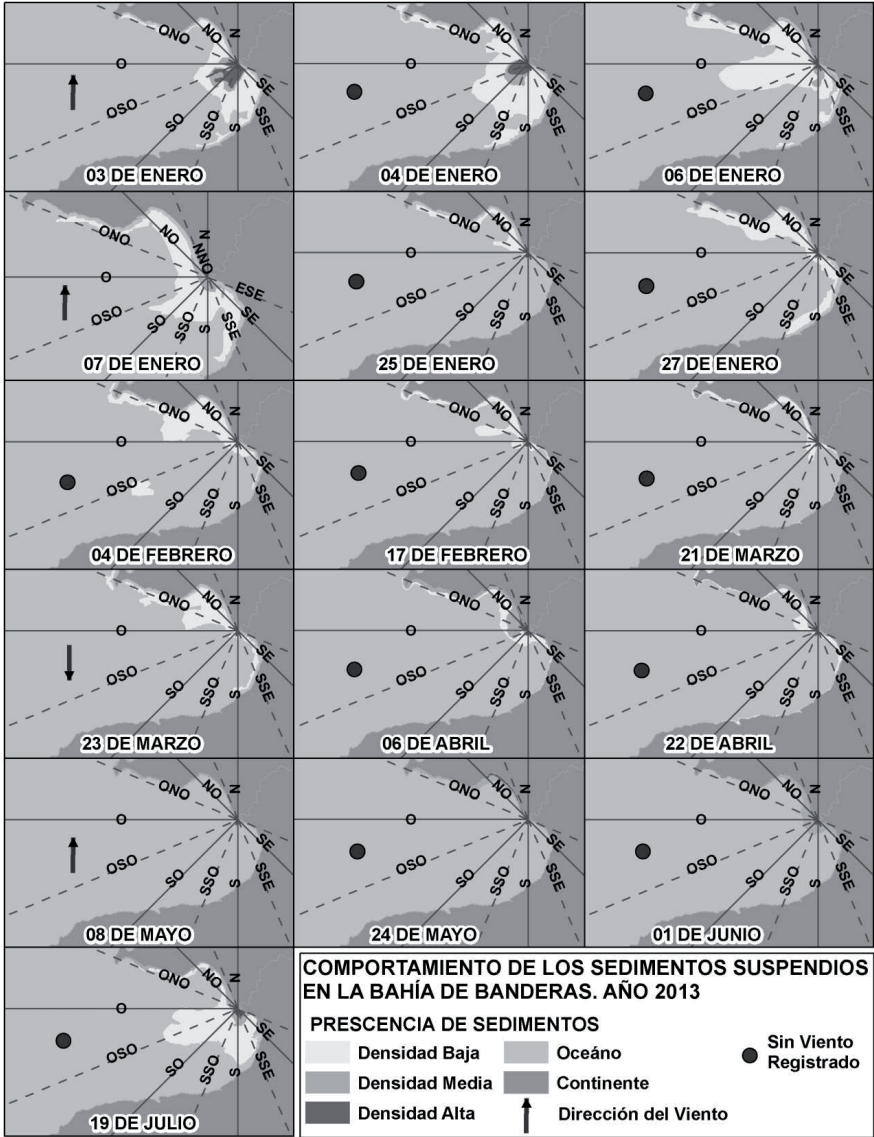


FIGURA 34. Secuencia de plumas vectorizadas y dirección del viento de enero a julio del 2013.

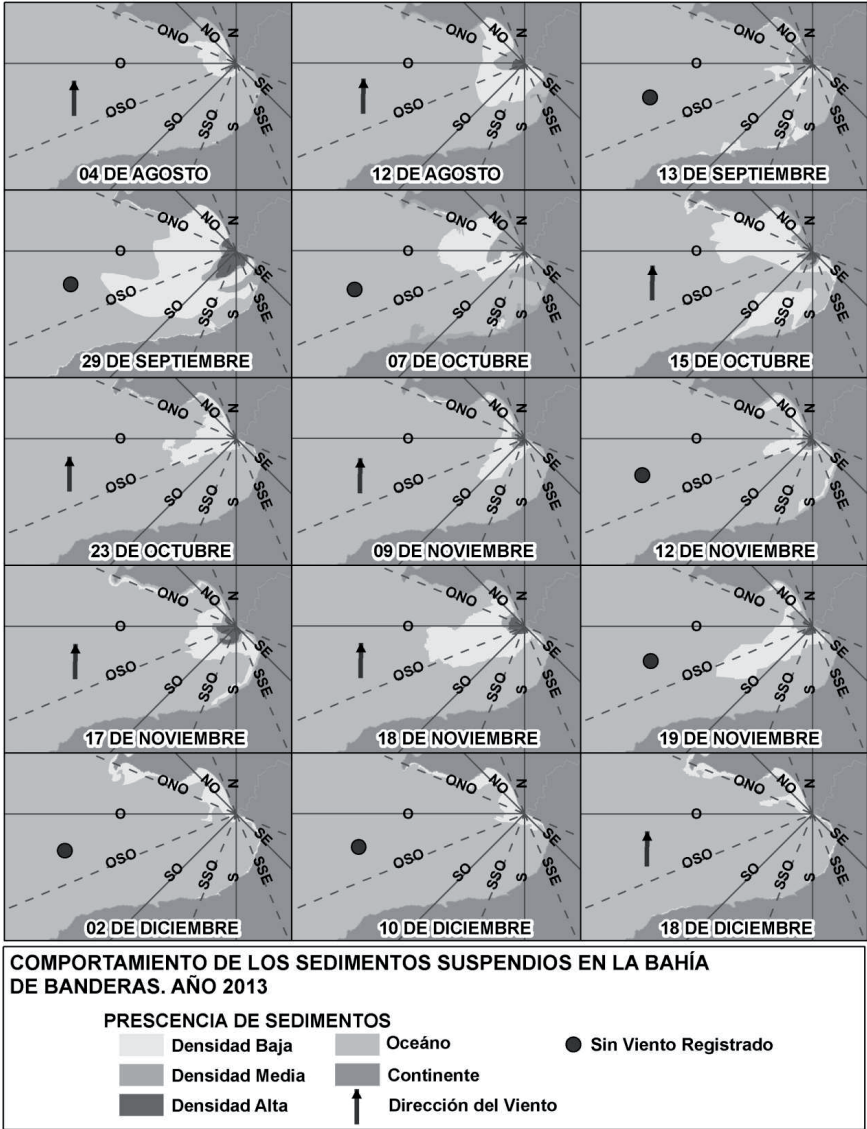


FIGURA 35. Secuencia de plumas vectorizadas y dirección del viento de agosto a diciembre del 2013.

TABLA 10. Incremento-Decremento de la pluma en km<sup>2</sup> y su relación con la precipitación en el año 2013.

Categoría (Km <sup>2</sup> )	03 DE ENERO	04 DE ENERO	06 DE ENERO	07 DE ENERO	25 DE ENERO	27 DE ENERO	04 DE FEBRERO	17 DE FEBRERO
3	N/E	-6.939	-11.179	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	N/E	-3.915	2.774	-8.912	-5.977	0.000	0.000	5.793
1	N/E	92.679	17.020	-139.341	-52.825	88.848	11.305	-78.484
Suma	N/E	81.825	8.615	-148.253	-58.802	88.848	11.305	-72.692
Categoría (Km <sup>2</sup> )	INCREMENTO POR DÍA							
3	N/E	-6.939	-5.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	N/E	-3.915	1.387	-8.912	-0.332	0.000	0.000	0.446
1	N/E	92.679	8.510	-139.341	-2.935	44.424	1.413	-6.037
Suma	N/E	81.825	4.307	-148.253	-3.267	44.424	1.413	-5.592
Prec. (mm)	21.13	0.39	0	0	0	0	0	0

Categoría (Km <sup>2</sup> )	21 DE MARZO	23 DE MARZO	06 DE ABRIL	22 DE ABRIL	08 DE MAYO	24 DE MAYO	01 DE JUNIO	19 DE JULIO
3	0.000	0.000	3.560	-3.560	0.000	4.095	-1.111	0.636
2	-0.802	-4.991	39.842	-28.151	0.036	5.912	15.933	-11.559
1	-18.998	62.213	-98.848	36.017	-38.077	0.000	0.000	165.004
Suma	-19.799	57.222	-55.445	4.306	-38.041	10.007	14.821	154.081
Categoría (Km <sup>2</sup> )	INCREMENTO POR DÍA							
3	0.000	0.000	0.254	-0.223	0.000	0.256	-0.139	0.013
2	-0.025	-2.496	2.846	-1.759	0.002	0.369	1.992	-0.241
1	-0.594	31.106	-7.061	2.251	-2.380	0.000	0.000	3.438
Suma	-0.619	28.611	-3.960	0.269	-2.378	0.625	1.853	3.210
Prec. (mm)	2.94	0	0	0	0	0	2.03	74.94

Categoría (Km <sup>2</sup> )	04 DE AGOSTO	12 DE AGOSTO	13 DE SEP	29 DE SEP	07 DE OCTUBRE	15 DE OCTUBRE	23 DE OCTUBRE	09 DE NOV
3	-1.215	3.175	-2.147	27.725	-31.157	5.964	-5.964	2.667
2	-18.429	24.268	-1.437	3.471	108.263	-108.691	-26.981	2.759
1	-113.952	91.614	-109.657	381.171	-265.554	153.238	-202.422	-26.016
Suma	-133.596	119.057	-113.241	412.367	-188.448	50.510	-235.367	-20.590
Categoría (Km <sup>2</sup> )	INCREMENTO POR DÍA							
3	-0.076	0.397	-0.067	1.733	-3.895	0.745	-0.745	0.157
2	-1.152	3.033	-0.045	0.217	13.533	-13.586	-3.373	0.162
1	-7.122	11.452	-3.427	23.823	-33.194	19.155	-25.303	-1.530
Suma	-8.350	14.882	-3.539	25.773	-23.556	6.314	-29.421	-1.211
Prec. (mm)	44.81	31.87	67.43	124.58	24.51	17.82	2.82	22.78

Categoría (Km <sup>2</sup> )	12 DE NOV	17 DE NOV	18 DE NOV	19 DE NOV	02 DE DIC	10 DE DIC	18 DE DIC
3	-0.451	13.279	-6.117	-4.720	-4.657	0.000	0.000
2	1.569	4.044	-4.988	5.547	-9.987	-1.421	0.000
1	-2.737	47.031	76.369	-47.779	-51.783	-22.269	-1.680
Suma	-1.619	64.354	65.263	-46.952	-66.427	-23.690	-1.680
Categoría (Km <sup>2</sup> )	INCREMENTO POR DÍA						
3	-0.150	2.656	-6.117	-4.720	-0.358	0.000	0.000
2	0.523	0.809	-4.988	5.547	-0.768	-0.178	0.000
1	-0.912	9.406	76.369	-47.779	-3.983	-2.784	-0.210
Suma	-0.540	12.871	65.263	-46.952	-5.110	-2.961	-0.210
Prec. (mm)	1.89	25.38	0.02	0	1.61	0	0.18

En la Tabla 11 se muestra el crecimiento de las plumas con menos de 5 días de separación encontradas en todo el periodo (2006-2014). Se calculó la superficie total por categoría (km<sup>2</sup>) y el crecimiento aproximado por día.

En este análisis también se observa la desaparición de importantes superficies de plumas de categoría 1 antes de salir de la bahía lo que evidencia un proceso de sedimentación. La aparición y desaparición de plumas es muy dinámica y se sugiere incluso que ocurren en periodos de un día por lo que se sugiere mediciones más finas para poder obtener las velocidades aproximadas de las plumas.

TABLA 11. Crecimiento de la pluma (km<sup>2</sup>) en periodos menores a 5 días.

CATEGORIAS (Cat)	2 0 0 7					2 0 1 2								2 0 1 4		
	AGOSTO		JUNIO			JULIO			AGOSTO		OCTUBRE		DICIEMBRE		NOVIEMBRE	
	Día 12	Día 15	Día 19	Día 23	Día 28	Día 26	Día 28	Día 30	Día 22	Día 27	Día 26	Día 30	Día 01	Día 04	Día 26	Día 30
Cat 3 (km <sup>2</sup> )	15.85	9.76	0.00	6.72	6.47	0.00	5.35	6.25	45.55	22.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cat 2 (km <sup>2</sup> )	181.84	47.39	0.00	25.89	73.01	5.63	8.57	25.78	50.85	14.65	2.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cat 1 (km <sup>2</sup> )	0.00	119.75	66.17	88.59	0.00	139.36	122.21	82.19	70.93	244.35	76.89	76.87	92.77	101.12	100.02	68.90
<b>TOTAL km<sup>2</sup></b>	<b>197.69</b>	<b>176.90</b>	<b>66.17</b>	<b>121.20</b>	<b>79.48</b>	<b>144.99</b>	<b>136.13</b>	<b>114.21</b>	<b>167.33</b>	<b>281.74</b>	<b>79.12</b>	<b>76.87</b>	<b>92.77</b>	<b>101.12</b>	<b>100.02</b>	<b>68.90</b>
Cat 3 (Incremento por día)		-2.03		1.68	-0.05		2.68	0.45		-4.56		0.00		0.00		0.00
Cat 2 (Incremento por día)		-44.82		6.47	9.43		1.47	8.60		-7.24		-0.56		0.00		0.00
Cat 1 (Incremento por día)		39.92		5.60	-17.72		-8.58	-20.01		34.68		-0.01		2.78		-7.78
Incremento Total por día		-6.93		13.76	-8.34		-4.43	-10.96		22.88		-0.56		2.78		-7.78

## 5.6 Firma espectral de los sedimentos suspendidos y su relación con otras mezclas conocidas.

Para fines prácticos, las 5 bandas del sensor Landsat 8 (Tabla 12) estarán representadas en todas las gráficas con la finalidad de entender las variaciones de reflectancia de estas bandas con respecto a cada variable que se analice (clorofila, algas, materia orgánica y agua turbia).

TABLA 12. Parámetros de cada banda utilizada del sensor Landsat 8

BANDAS UTILIZADAS EN LOS TRANSECTOS		
No DE BANDA	PORCION DEL ESPECTRO	LONGITUD DE ONDA (MICRAS)
2	AZUL	De 0.450 a 0.515
3	VERDE	De 0.525 a 0.600
4	ROJO	De 0.63 a 0.68
5	INFRARROJO CERCANO	De 0.845 a 0.885
6	INFRARROJO MEDIO	De 1.56 a 1.66

En la figura 36 se muestra la comparativa espectral del agua clara y el agua con clorofila y algas. El agua clara tiene una mayor respuesta espectral en el azul seguido por el verde, rojo e infrarrojo cercano; mientras que para el agua con clorofila su firma espectral tiene su máximo en el verde, seguido por el rojo, azul e infrarrojo cercano sucesivamente.

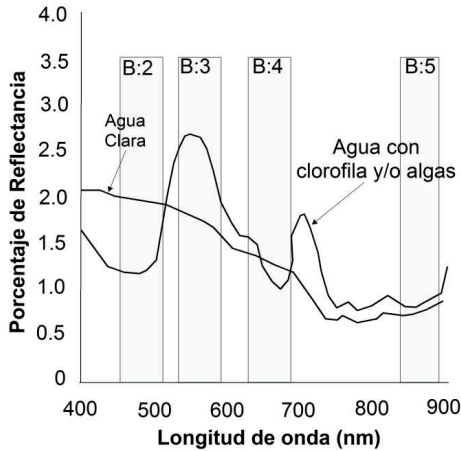


FIGURA 36. Reflectancia del agua pura y agua con presencia de clorofila y/o algas

En la figura 37 se muestra la respuesta espectral del agua con distintas concentraciones de clorofila. Cuando la concentración de clorofila es baja, la firma espectral es similar a la del agua pura y conforme va aumentando la concentración la reflectividad en el verde se vuelve más importante. También, entre mayor sea la concentración de clorofila, disminuye la absorción del rojo (siendo mayor que el del agua pura) y aumenta la absorción en el azul (siendo menor que el del agua pura).

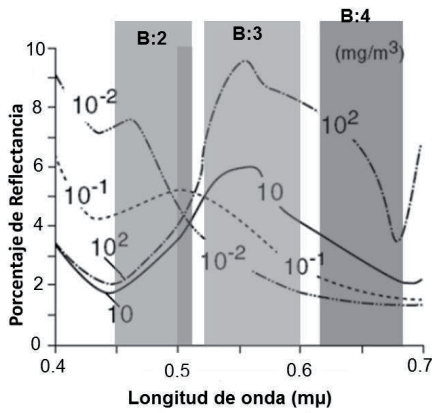


FIGURA 37. Agua con distintas concentraciones de clorofila

En la figura 38 se muestra la respuesta espectral del agua turbia a distintas concentraciones de sólidos suspendidos. Entre menor sea esta concentración, por ejemplo la línea de 25 mg/l, la respuesta espectral será más parecida a la del agua. Conforme aumenta la concentración de partículas suspendidas aumenta la reflectividad en el rojo seguido del verde azul e infrarrojo cercano respectivamente.

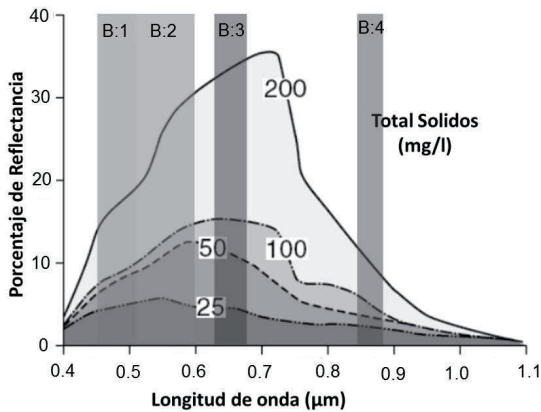


FIGURA 38. Agua con distintas concentraciones de sólidos suspendidos

Nótese que la mayor respuesta espectral de la clorofila ocurre en el verde, mientras que para el agua turbia ocurre en el rojo. Esto parece dar la explicación de los colores marrones encontrados en las plumas vectorizadas de las imágenes.

En la figura 39 se muestra la firma espectral de la materia orgánica en distintas fases de descomposición. La reflectancia se incrementa conforme aumenta la longitud de onda hasta un punto aproximado de 1400 nm en donde decrece de forma importante formando un valle y volviendo a aumentar aproximadamente a partir de los 1500 nm y formando nuevamente un valle a los 2000 nm.

Al sobreponer las bandas del sensor Landsat 8 sobre las firmas de la materia orgánica vemos que la menor reflectancia ocurre en el azul y a partir del cual va aumentando hasta llegar al infrarrojo medio que tiene el mayor valor de reflectividad. Las plumas de detritos encontradas en las imágenes no parecen tener esta tendencia.

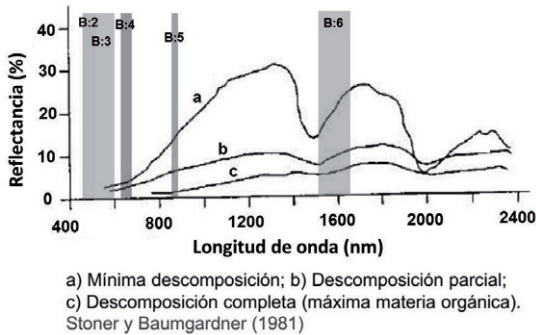


FIGURA 39. Materia orgánica con distintos grados de descomposición

A continuación se muestran transectos sobre cuatro imágenes distintas del satélite Landsat 8. Las imágenes corresponden al 19 de julio y 04 de agosto del 2013; y al 08 de septiembre y 10 de octubre del 2014. Nótese en las gráficas de cada una de las imágenes que, aunque la reflectividad de infrarrojo cercano “4 Pseudolayer” es alta sobre aguas con alta concentración de partículas, tiene menor amplitud en el espectro electromagnético que el verde, rojo y azul. Entre mayor sea la amplitud espectral de la respuesta, más fácil es de detectar con los sensores remotos.

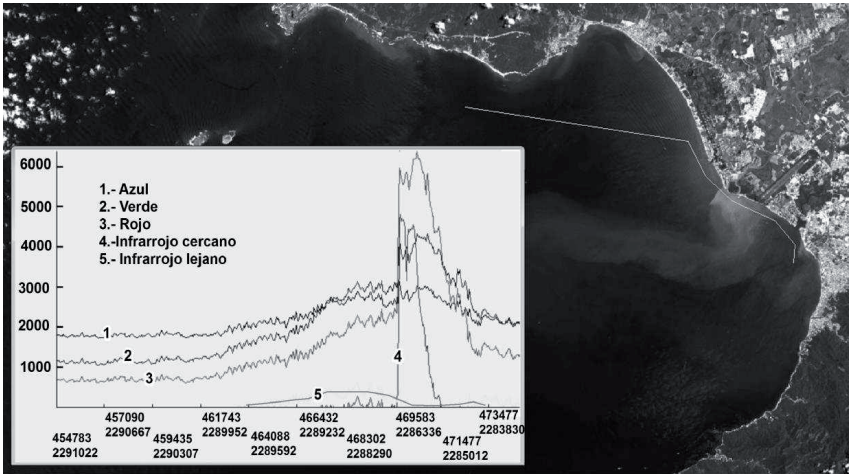


FIGURA 40. Transecto sobre los sedimentos suspendidos captados el 19 de julio del 2013

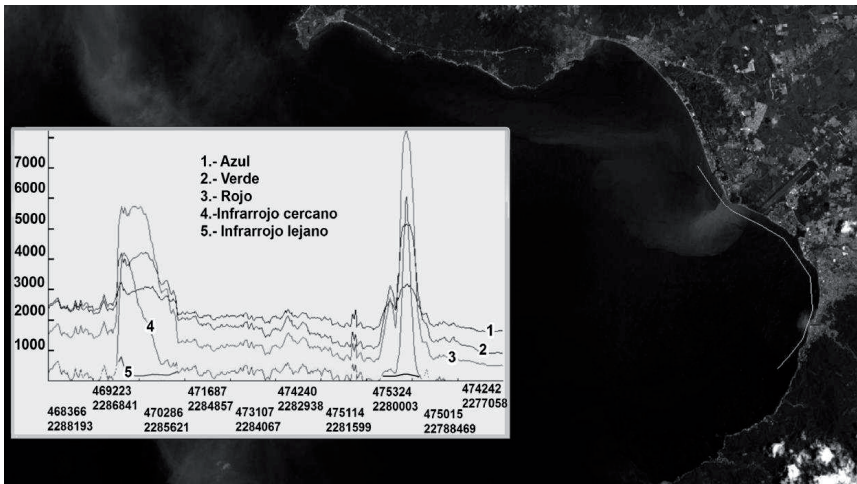


FIGURA 41. Transecto sobre los sedimentos suspendidos captados el 04 de agosto del 2013

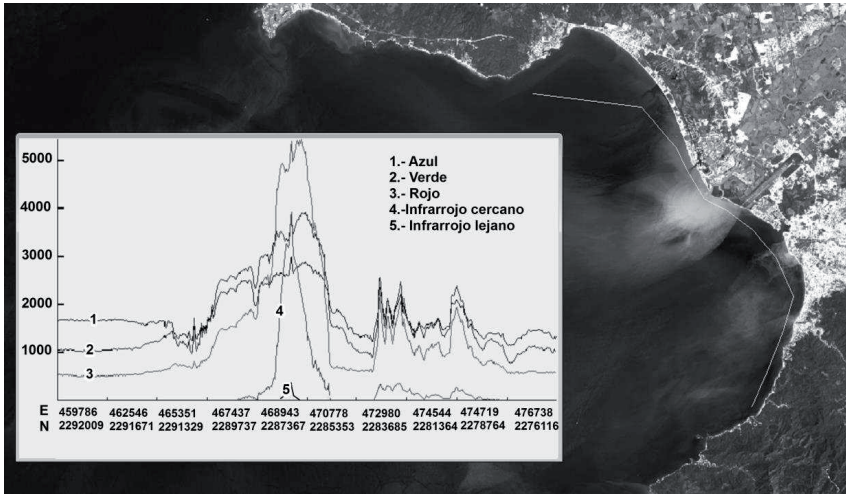


FIGURA 42. Transecto sobre los sedimentos suspendidos captados el 08 de septiembre del 2014

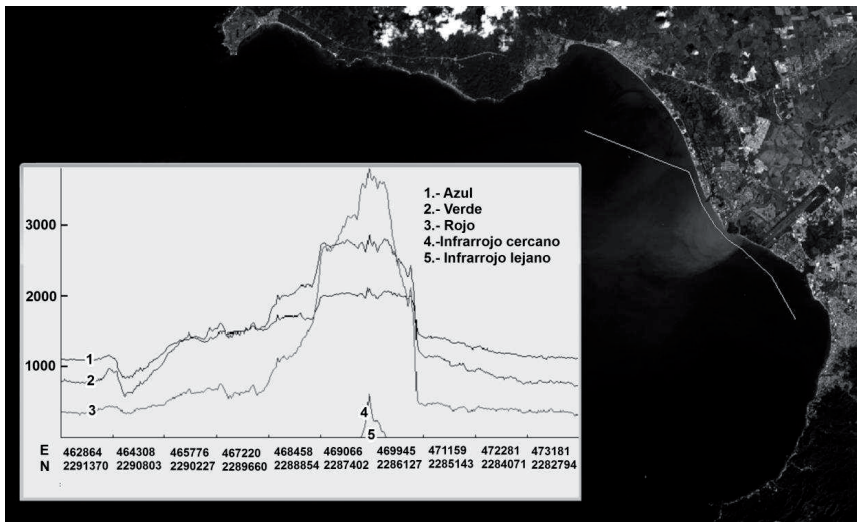


FIGURA 43. Transecto sobre los sedimentos suspendidos captados el 10 de octubre del 2014

Para un mejor análisis se graficó la firma espectral para cada una de las cuatro imágenes y por cada uno de los tres puntos de análisis: agua de mar relativamente pura, agua de mar con concentración regular de partículas suspendidas y agua de mar con alta concentración de partículas suspendidas.

En la Tabla 13 y figura 44 se muestran los valores de agua de mar relativamente pura extraídos de las imágenes. La mayor reflectividad en este punto ocurre en el color azul seguido por el verde y rojo; el infrarrojo cercano e infrarrojo medio tienen valores nulos. La forma de la firma espectral coincide con la del agua clara.

Tabla 13. Valores de reflectividad medidos en imágenes Landsat 8 en puntos correspondientes a agua de mar relativamente pura

Agua de mar relativamente pura										
FECHA	Azul		Verde		Rojo		IR cercano		IR medio	
	0.45	0.515	0.525	0.6	0.63	0.68	0.845	0.885	1.56	1.66
19-jul-13	1900	1900	1100	1100	850	850	0	0	0	0
04-ago-13	1800	1800	1000	1000	800	800	0	0	0	0
08-sep-14	1700	1700	1000	1000	500	500	0	0	0	0
10-oct-14	1100	1100	900	900	450	450	0	0	0	0

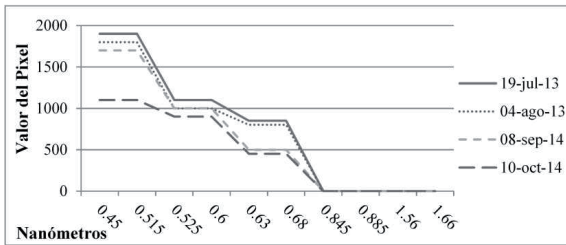


FIGURA 44. Firma espectral sobre imágenes Landsat 8 en puntos correspondientes a agua de mar relativamente pura

Como se observa en la tabla 14 y figura 45, la firma espectral sobre el agua de mar con concentración de categoría 2 de partículas suspendidas tiene mayor reflectividad en el verde seguido por el azul y el rojo. Sin embargo, aunque el verde y el azul predominan, vemos que el rojo tiene un crecimiento más marcado al ir aumentando la concentración de partículas suspendidas. Vemos también que la reflectividad del infrarrojo cercano e infrarrojo medio empieza a incrementarse aunque de forma muy lenta, lo que infiere la transición a agua turbia.

TABLA 14. Valores de reflectividad medidos en imágenes Landsat 8 en puntos correspondientes a agua de mar con concentración regular de partículas suspendidas.

Agua de mar con concentración regular de partículas suspendidas										
FECHA	Azul		Verde		Rojo		IR cercano		IR medio	
	0.45	0.515	0.525	0.6	0.63	0.68	0.845	0.885	1.56	1.66
19-jul-13	2900	2900	3000	3000	2100	2100	100	100	400	400
04-ago-13	2500	2500	2550	2550	1850	1850	350	350	300	300
08-sep-14	2300	2300	2400	2000	1800	1800	100	100	0	0
10-oct-14	1500	1500	1600	1600	800	800	0	0	0	0

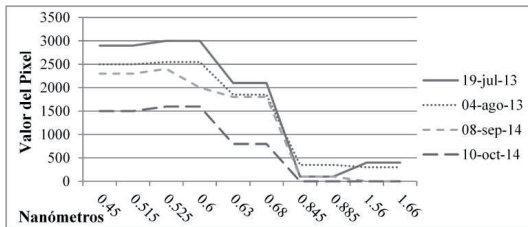


FIGURA 45. Firma espectral sobre imágenes Landsat 8 en puntos correspondientes a agua de mar con concentración regular de partículas suspendidas.

En el tercer punto correspondiente a aguas con alta densidad de partículas suspendidas (categoría 3), la mayor respuesta espectral ocurre en el rojo seguido por el verde, infrarrojo cercano, azul y, finalmente, el infrarrojo medio. En la tabla 15 y figura 46 vemos los valores tabulares y la gráfica de la firma espectral de la imagen analizada en donde es evidente la predominancia del rojo seguido por el verde caracterizando esta superficie como agua turbia.

TABLA 15. Valores de reflectividad medidos en imágenes landsat 8 en puntos correspondientes a agua de mar con alta concentración de partículas suspendidas.

Agua de mar con alta concentración de partículas suspendidas										
FECHA	Azul		Verde		Rojo		IR cercano		IR medio	
	0.45	0.515	0.525	0.6	0.63	0.68	0.845	0.885	1.56	1.66
19-jul-13	2800	2800	3500	3500	5500	5500	3000	3000	100	100
04-ago-13	2900	2900	3900	3900	5500	5500	2800	2800	100	100
08-sep-14	2800	2800	3500	3500	5000	5000	2100	2100	100	100
10-oct-14	2000	2000	2700	2700	3200	3200	200	200	0	0

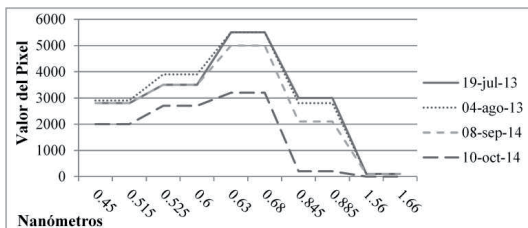


FIGURA 46. Firma espectral sobre imágenes Landsat 8 en puntos correspondientes a agua de mar con alta concentración de partículas suspendidas.

Si comparamos la firma espectral de las plumas de categoría 3 obtenidas en las imágenes con las primeras gráficas de este capítulo, vemos una mejor correspondencia con la firma espectral del agua turbia.

En la figura 47 se muestra el agua con distintas concentraciones de algas/clorofila y sedimentos suspendidos la cual será comparada con la figura 46 de la categoría 3 obtenida en las imágenes y estimar la concentración en miligramos por litro (mg/l) de ésta última.

En la siguiente figura, las líneas representan las distintas concentraciones que van de 0 a 500 mg/l y con una línea punteada la concentración intermedia de 250 mg/l. Se observan dos picos importantes de alta reflectividad o respuesta espectral: el primero a 600 nanómetros (nm) y el segundo a 700 nm. Sin embargo, el ancho de la banda verde y roja, correspondiente al satélite Landsat 8, no coincide exactamente con estos máximos teniendo que promediarse con los valles de baja respuesta espectral.

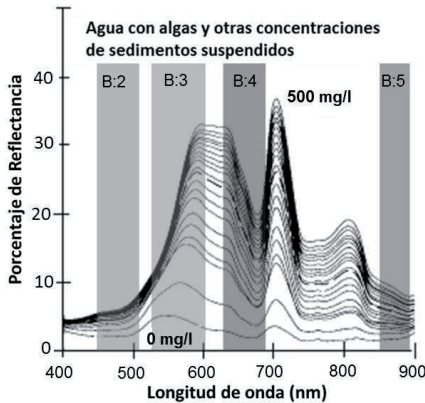


FIGURA 47. Agua de mar con distintas concentraciones de alga/clorofila y sedimentos suspendidos.

No obstante a este desfase, es claro ver que a bajo contenido de clorofila/algas y sedimentos suspendidos, predomina el color verde seguido del azul, rojo e infrarrojo cercano, similar al agua pura. Conforme aumenta la concentración de estas partículas se observa que predomina el verde pero con un aumento más acelerado en

el rojo; el infrarrojo cercano y el azul muestran un incremento lento en la reflectancia. Al llegar a 500 mg/l la longitud de onda predominante corresponde al rojo seguido por el verde, infrarrojo cercano y azul respectivamente.

La figura 48 corresponde a la firma espectral de la categoría 3 en valores porcentuales de reflectancia. Se observa que la diferencia entre el verde y el rojo es cercana al 9%. Si seguimos las distintas curvas de concentración de clorofila y sedimentos de la figura 47 vemos que la más cercana a esta diferencia está entre en el rango de 350 y 400 mg/l. Para el caso de la línea del 10 de octubre del 2014, cuya concentración es inferior, su correspondencia con la gráfica anterior esta entre 250 y 300 mg/l

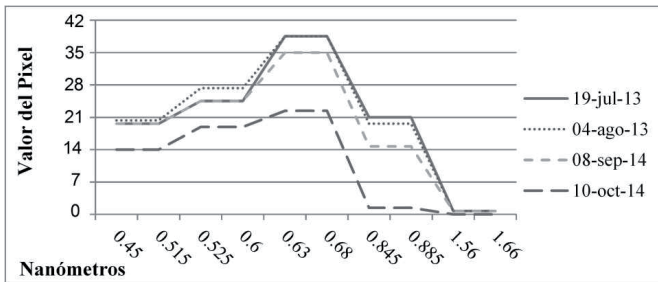


FIGURA 48. Reflectancia en porcentaje de agua de mar con alta concentración de partículas suspendidas

Por otra parte, con base a mediciones *in situ* de Kelly (2010) se observa que en la desembocadura del Río Ameca existe una concentración máxima cercana a 350 mg/l de partículas mayores a 1.2  $\mu\text{m}$  y una concentración máxima cercana a los 400 mg/l para partículas superiores a 0.45  $\mu\text{m}$ . Con lo anterior encontramos una correspondencia entre lo observado en la categoría 3 mediante percepción remota y mediciones *in situ*.

En cuanto a la composición general de las plumas en la desembocadura del Río Ameca, Kelly (2010) menciona que la salinidad, de acuerdo a mediciones *in situ*, varía a lo largo del año desde los 2 a los 15 PSU según la variación de la precipitación y caudal siendo el promedio de 35 PSU en zonas de la bahía lejanas de la desembocadura. También se reporta Amonio, cuyo valor promedio es de 20  $\mu\text{M}$  presentando su máximo en el mes de noviembre, nitrógeno inorgánico el cual

presenta un promedio de 50  $\mu\text{M}$  mostrando un máximo registrado en el mes de octubre del 2004 de hasta 300  $\mu\text{M}$ . En los sedimentos suspendidos se reporta la presencia de fósforo reactivo soluble de hasta 14  $\mu\text{M}$  con un promedio de 7  $\mu\text{M}$ . En las partículas suspendidas se encontraron silicatos los cuales llegan a presentarse hasta 1200  $\mu\text{M}$  con un promedio de 400  $\mu\text{M}$ .

Para el caso de los coliformes fecales, estos llegan a alcanzar los 30,000 ufc/ml en el mes de septiembre y octubre que es cuando existe mayor caudal. Y por último, aunque la clorofila puede llegar a alcanzar hasta los 120  $\mu\text{m/l}$  generalmente en el mes de septiembre, su valor promedio ronda alrededor de los 20  $\mu\text{m/l}$ .

## 6. CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis espectral de las imágenes de satélite y el análisis estadístico de la información vectorizada, se pudo detectar la tendencia de movimiento y concentración de las partículas suspendidas en la Bahía de Banderas.

Fue posible identificar o dividir en tres rangos, con base a la respuesta espectral, distintas concentraciones de las partículas suspendidas. Al sobreponer todas las plumas detectadas, y obtener un promedio por cada mes considerando los distintos rangos, durante todo el periodo de estudio, se pudo establecer tendencias de concentración para cada uno de los meses.

Los tres meses con mayor presencia de partículas y, que a la vez muestran las mayores concentraciones, corresponden a septiembre, agosto y julio. Así mismo, se observó que el mes con mayor caudal coincide con el mes donde se registran las mayores plumas mientras que el mes donde se registran las mayores precipitaciones coincide con el segundo mes de mayores plumas detectadas.

Se concluyó también que Las plumas del mes de agosto parecen responder al agua precipitada directamente sobre el cauce y a las escorrentías superficiales que alimentan a estos ríos mientras que, las grandes plumas del mes de septiembre donde las precipitaciones no presentan su máximo, parecen responder más a la aportación hacia los ríos de las grandes cantidades de agua precipitada en los meses anteriores incluyendo las del mes de agosto y almacenadas en los mantos freáticos que, junto con las lluvias propias del mes de septiembre, generan las mayores plumas registradas en el año.

La anterior hipótesis puede ser un tema de investigación en donde se deben involucrar mediciones en periodos lluviosos de mantos freáticos, represas entre otros y analizar más a detalle esta relación.

Por otra parte, se observó que gran parte de las partículas suspendidas tienden a desplazarse hacia la parte norte, pegados a la costa del municipio de Bahía de

Banderas, para posteriormente salir a mar abierto mientras que, otra parte se sedimentan en el fondo de la bahía antes de que puedan salir a mar abierto.

Las imágenes de satélite nos muestran que las mayores concentraciones de detritos solo se presentan en promedio en el año alrededor de la desembocadura del Río Ameca disminuyendo su concentración conforme se alejan de este punto. La parte sur de la bahía parece estar casi siempre libre de la presencia de estos detritos mostrando solo bajas concentraciones en eventos de precipitaciones aisladas.

Por último, se observa que el viento no tiene relación con la dirección de las plumas ya que es frecuente ver que la dirección observada de las plumas no siempre coincide con la dirección del viento aunado a que existen días donde no se registra viento y la pluma conserva la dirección de movimiento hacia el norte. Por lo anterior se deduce que el movimiento de las plumas es causado por fuerzas oceánicas como las corrientes, ondas o remolinos internos los cuales, estos últimos, se detectaron a través de un realce de falso color de escenas multiespectrales del satélite Landsat.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

### 7.1 Bibliografía de Referencias de Textos.

*Acker, J., Ouillon, S., Gould, R. & Arnone, R. (2005). Measuring Marine Suspended Sediment Concentrations from Space: History and Potential. International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Halifax, NS, Canada.*

*Campbell, J. B. (2007). Introduction to Remote Sensing. New York: The Guilford Press*

*CEDESTUR-CEED-AEBB. (2001). Bahía de Banderas a Futuro: 2000-2005. Centro de Estudios Estratégicos para el Desarrollo Turístico Sostenible. Technical Report, Asociación de Empresarios de Bahía de Banderas, Puerto Vallarta.*

*Cervantes-Duarte, R., J. L. Mueller, C. C. Trees, H. Maske, S. Alvarez Borrego & J. R. Lara Lara. (2000). Euphotic depth, irradiance, attenuation, and remote sensing K490 in bio-optical provinces of the Gulf of California. Ciencias Marinas, 26(4):533-560.*

*Del Castillo, C. E., F. Gilbes, P. G. Coble & F. E. Muller-Karger. (2000). On the Dispersal of Riverine Colored Dissolved Organic Matter (CDOM) over the West Florida Shelf. Limnology and Oceanography, 45(6):1425-1432.*

*Ekercin, S. (2007). Water Quality Retrievals from High Resolution IKONOS Multispectral Imagery: A Case Study in Istanbul, Turkey. Water Air Soil Pollut. 183: 239-251.*

*Filonov, A.E. (2010). Circulación y Transporte de Contaminantes Pasivos en la Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit, México. Reporte Técnico Final. COECyTJal.*

Gallegos, A., Rodríguez, R., Márquez, E., Lecuanda, R. y Zavala, J. (2004). *Una Climatología de la temperatura de la superficie del mar de las aguas adyacentes a las costas de Jalisco, Colima y Michoacán, México: 1996-2003.*

García, M.P. & Pérez, M.E. (1999). *Estudio mediante imágenes TM del entorno de Villacañas (Toledo). Revista de Teledetección, 11, pp. 13-22.*

Gower, J.F.R., 1972 *A survey of the uses of remote sensing from aircraft and satellite in oceanography and hydrography. Pac.Mar.Sci.Rep.Inst.Ocean.Sci., Sidney,B.C., Can., (72-3)*

Hu, C., E. T. Montgomery, R. W. Schmitt & F. E. Muller-Karger. (2004). *The dispersal of the Amazon and Orinoco River water in the tropical Atlantic and Caribbean Sea: Observation from space and S-PALACE floats. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 51(10-11):1151-1171.*

Kelly Liza, (2010). *Variación espacio temporal de la calidad del agua en la zona de mayor influencia continental en la Bahía de Banderas, México. Tesis de Doctorado, Centro Universitario de la costa, Universidad de Guadalajara, Puerto Vallarta, Jalisco, México.*

Knaeps, E., Sterckx, S., y Raymaekers, D. (2010). *A Seasonally Robust Empirical Algorithm to Retrieve Suspended Sediment Concentrations in the Scheldt River. Remote Sensing. 2:2040-2059.*

Lohrenz, S. E., Dagg, M.J. & Whittedge, T. E. (1990). *Enhanced primary production at the plume/oceanic interface of the Mississippi River. Continental Shelf Research, 10:639-664.*

Medina-Rosas, P. (1997). *El efecto de las actividades turísticas sobre los corales pétreos (Cnidaria, Anthozoa, Scleractinia) de Los Arcos, Jalisco, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México. 86 pp.*

Miller, R. L., y B. A. Mckee. (2004). *Using MODIS Terra 250 m Imagery to Map Concentrations of Total Suspended Matter in Coastal Waters. Remote Sensing of Environment. Remote Sensing of Environment.* 93:259-266.

Mireles, L. I. O. (2012). *Estructura Termohalina y Circulación Geostrofica en Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit, México. Tesis de Maestría, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías división de ciencias básicas / departamento de física Maestría en ciencias en Hidrometeorología, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México.*

Muller-Karger, F. E. & R. Varela. (1990). *Influjo del río Orinoco en el mar Caribe: Observaciones con el CZCS desde el espacio, Mem. Soc. Cien. Nat., La Salle, 131-134:365-384.*

Muller-Karger, F. E., C. R. McClain, T. R. Fisher, W. E. Esaias & R. Varela. (1989). *Pigment distribution in the Caribbean Sea: observations from the space. Progress in Oceanography, 23:23-69.*

Muller-Karger, F. E., P. L. Richardson y D. McGillicuddy. (1995). *On the offshore dispersal of the Amazon's Plume in the North Atlantic, Deep-Sea Research I, 42(11/12):2127-2137.*

Pegau, W. S., Zaneveld, J. R. V., Bernard, A. H., Maske, H., Álvarez-Borrego, S., Lara-Lara, R., & Cervantes-Duarte, R. (1999). *Inherent optical properties in the Gulf of California. Ciencias Marinas, 25(4):469-485.*

Pérez, B. D. y Nadja, O. C. F. (2011). *Comparación de la dinámica de sedimentos suspendidos entre una bahía tropical abierta y una bahía tropical cerrada. Departamento de Física y Departamento de Geología Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, Puerto Rico. 15-16.*

Pérez, O. M. (2011). *Aplicaciones de la teledetección y sig en la Caracterización de humedales en la Reserva de la biosfera de la mancha húmeda. Tesis de Maestría,*

*Facultad De Geografía E Historia Máster En Tecnologías De La Información Geográfica, Universidad Complutense De Madrid, Madrid España.*

*Plata, L.J. (2007). Dinámica de las Ondas Internas en la Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit, México. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas. Instituto de Investigaciones Oceanológicas. 152 pp.*

*Ritchie, J. C., y Cooper, C. M. (2001). Remote Sensing Techniques for Determining Water Quality: Applications to TMDLs. In TMDL Science Issues Conference, Water Environment Federation, Alexandria, VA, 367-374*

*Ritchie, J., y F. Schiebe. (1986). Monitoring Suspended Sediments with Remote Sensing Techniches. Hydrologic Applications of Space Technology. 233-243.*

*Rodríguez, G. V., y F. Gilbes S. (2009). Using MODIS 250 m Imagery to Estimate Total Suspended Sediment in a Tropical Open Bay. International Journal of Systems Applications, Engineering & Development. 3(1):36-44.*

*Sacristán, R. F. (2006). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. Revista AquaTIC, n° (24): 13-21.*

*Salinas, G.F. & Pinet, P.R. (1991). Corrientes Geostróficas frente a Bahía Magdalena Baja California Sur, México. CICIMAR, 1991. Vol 6, No. 2.*

## **7.2 Bibliografía de Referencias Digitales.**

*Aguaysig. (2012). Descargar imágenes Landsat de usgs. Recuperado de: <http://www.aguaysig.com/2012/05/descargar-imagenes-landsat-de-usgs.html>*

*Cambio climatico, energia. (2010). Cambio climático, energía: Las corrientes oceánicas (4) Las corrientes del Océano Pacífico. Recuperado de:*

<http://cambioclimaticoenergia.blogspot.mx/2010/10/las-corrientes-oceanicas-4-las.html>

Carmen González Toro, Octubre 2011, pág. 2-6. Monitoreo de la calidad del agua, La turbidez. Servicio de extensión agrícola, Colegio de Ciencias Agrícolas. <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-859/maguaturbidez.pdf>

Centro de Estudios Meteorológicos de la Costa. (2016). Estaciones Meteorológicas en Tiempo Real. Recuperado de: <http://cemco.org.mx/>.

Comisión Nacional del Agua (CNA). (1998). Cuencas Hidrológicas (CNA). Recuperado de: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis\\_root/hidro/chidro/rh250kgw](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/hidro/chidro/rh250kgw).

Conagua. (2015). Atlas Digital del Agua México 2012. Recuperado de: <http://www.conagua.gob.mx/atlas/ciclo09.html>

Earthdata, nasa. (2015). Rapid Response / Earthdata (Descarga de imágenes de satélite MODIS). Recuperado de: <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/rapid-response>

EL INFORMADOR. (2008). Ríos contaminan playas en Bahía de banderas. Recuperado de: <http://www.informador.com.mx/jalisco/2008/7414/1/rios-contaminan-playas-en-bahia-de-banderas.htm>

Estrucplan On Line. (2015). La contaminación del Río Ameca y su impacto en la salud. Recuperado de: <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=2235>

Haydee Karszenbaum et al, septiembre 2016. Teledetección cuantitativa, Introducción a la teledetección cuantitativa. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Universidad de Buenos Aires. <https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwj81NCP2ZvPAhUDdz4KHVSeCzsQFggbMAA&url=http%3A%2F%2Ffil>

*es.especializacion-tig.webnode.com%2F200000032-25950268dd%2F5.-  
Firmas%2520espectrales.pdf&usg=AFQjCNFi0AVnApsLN4dbxbgXPivC1he0hA&si  
g2=SoEdv\_cobHneKN5FU2sQBQ&bvm=bv.133178914,d.cWw&cad=rja*

*Pro.arcgis. (2015). Clasificación no supervisada de cluster ISO—Ayuda | ArcGIS for  
Desktop. Recuperado de: [http://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-  
analyst/iso-cluster-unsupervised-classification.htm](http://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/iso-cluster-unsupervised-classification.htm)*

*Semarnat. (2015): Programa de Playas Limpias, Puerto vallarta/bahía de banderas,  
Jalisco. Recuperado de:  
[http://www.semarnat.gob.mx/playas/playas\\_limpias/destinos/puerto-vallarta](http://www.semarnat.gob.mx/playas/playas_limpias/destinos/puerto-vallarta)*





**More  
Books!** 



**yes**  
**I want morebooks!**

Buy your books fast and straightforward online - at one of the world's fastest growing online book stores! Environmentally sound due to Print-on-Demand technologies.

Buy your books online at  
**[www.get-morebooks.com](http://www.get-morebooks.com)**

---

¡Compre sus libros rápido y directo en internet, en una de las librerías en línea con mayor crecimiento en el mundo! Producción que protege el medio ambiente a través de las tecnologías de impresión bajo demanda.

Compre sus libros online en  
**[www.morebooks.es](http://www.morebooks.es)**

OmniScriptum Marketing DEU GmbH  
Bahnhofstr. 28  
D - 66111 Saarbrücken  
Telefax: +49 681 93 81 567-9

[info@omniscrptum.com](mailto:info@omniscrptum.com)  
[www.omniscrptum.com](http://www.omniscrptum.com)

OMNIScriptum



