



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA
ESCUELA DE POSGRADO

**TÍTULO DEL TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN DE GRADO:**

**CARACTERIZACIÓN
SEDIMENTOLÓGICA DE LOS
CANALES ESTUARINOS DE LOS
MANGLARES DE TUMBES DURANTE
EL NIÑO 2015 – 2016.**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAESTRO EN
CIENCIAS DEL MAR**

**BLGO. IVÁN COLLIN GUEVARA
IZQUIERDO**

**LIMA – PERÚ
2018**

Asesor:
Dr. Bruno Turcq

Institut de Recherche pour le Développement-IRD
Laboratoire d'Océanographie et du Climat: Expérimentations et Analyses
Numériques (LOCEAN)-IPSL, París - Francia.

Universidad Peruana Cayetano Heredia-UPCH
Laboratorio de Ciencias del Mar, Maestría en Ciencias del Mar, Lima - Perú.

Co-asesor:
Dr. Dimitri Gutiérrez Aguilar

Instituto del Mar del Perú:
Director general de investigaciones oceanográficas y cambio climático.

Universidad Peruana Cayetano Heredia-UPCH
Coordinador del programa de Maestría en Ciencias del Mar, Laboratorio de
Ciencias del Mar, Lima - Perú.

A todos mis profesores de la **Maestría en Ciencias del Mar**
y a todos los que siempre confían en mí.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento más sincero al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC) y su programa de financiamiento de becas de postgrado, a la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH) y al laboratorio de Ciencias del Mar de la UPCH. Así como también a las instituciones que me brindaron su apoyo y financiamiento, como el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) - Callao y su laboratorio de Geología Ambiental, a MARPE-Tumbes, al *Institut de Recherche puor le Développement-IRD*, al servicio nacional de áreas naturales protegidas (SERNANP) al laboratorio de Sedimentología de la Universidad Federal Fluminense (UFF) de Brasil y el laboratorio de la Unidad de Investigación del Proyecto LMI-PALEOTRACES (*Paléoclimatologie tropicale: traceurs et variabilités*), en Bondy, Francia y a los proyectos LMI DISCOH.

A mi asesor Bruno Turcq un especial agradecimiento por guiarme en la realización de este trabajo, por todo el tiempo dedicado, su compromiso y paciencia para conmigo. Mi profundo agradecimiento también a mi coasesor el Dr. Dimitri Gutiérrez por la confianza depositada en cada uno de nosotros, los alumnos del programa de Maestría en Ciencias del Mar de la Universidad Peruana Cayetano Heredia y a todos nuestros profesores por sus enseñanzas, sus críticas constructivas en el afán de nutrirnos, formarnos y motivarnos con el conocimiento científico. Es imposible no estar agradecido también con el Dr. Renato Campello, la Dr. Luciani, con Leandro Candeia, quienes además de una grandiosa acogida en la UFF me brindaron apoyo incondicional en el análisis de las muestras.

Agradezco a mis compañeros y amigos de muestreo: Junior Advíncula, Ernesto Fernández, Pércy Montero, Solange, a los muchachos del SERNANP y al Sr.

Braulio por acompañarme en el fuerte pero agradable trabajo de campo, con unas que otras anécdotas. Así como también a mis amigos, Alex Pérez y Bruno Libardoni por el buen recibimiento y acogida en su casa, en Brasil, a pesar que no me conocían cuando fui a realizar el análisis de muestras, gracias por su amistad muchachos - “pasa el vaso ceremonial”.

A todos mis amigos-compañeros de aulas de la maestría, los “Scavengers”, los “R-X” y en especial a los “Graufvacos” por los más que buenos momentos compartidos, sobre todo en las amanecidas y tiempos de flaqueza. No podría dejar de lado a mis amigos Edgar y Jorge con quienes siempre estaré inmensamente agradecido por los “2 días” de acogida en su casa. Así como tampoco a, mi más que amigo, Martin por todo su apoyo.

Un profundo agradecimiento sin límites a los seres más importantes para mí: Mis padres, mis hermanos en especial a mi hermana Julie, mi tío Vilmar, gracias por todo y por la motivación que siempre me dan de seguir adelante.

A todos les digo muchísimas gracias!.

FUENTE DE FINANCIAMIENTO

Esta tesis, producto de los dos años de estudios en el programa de Maestría en Ciencias del Mar, desarrollada por la Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima – Perú, fue 100% financiada por el estado Peruano, a través del FONDECYT, mediante el programa de becas entre la universidad mencionada y Ciencia Activa, organismo del CONCYTEC.

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	3
II.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
II.2. MARCO TEÓRICO	5
II.2.1. Ecosistemas de manglares	5
II.2.2. Hidrología en manglares	7
II.2.3. Variabilidad climática en manglares	12
II.2.4. Sedimentología en manglares.....	17
II.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	21
II.4. OBJETIVOS.....	22
II.4.1. Objetivo general.....	22
II.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
II.5. HIPÓTESIS.....	23
III. METODOLOGÍA	24
III.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	24
III.2. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	25
III.3. DISEÑO DE ESTUDIO	26
III.4. PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS DE MUESTREO	27
III.4.1. Componente agua.....	27
III.4.2. Componente sedimento	28
III.5. ANÁLISIS DE MUESTRAS EN LABORATORIO.....	31
III.5.1. Granulometría.....	31
III.5.2. Carbono orgánico total, nitrógeno total, relación C/N, isotopos $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$	32
III.5.3. Sólidos en suspensión	35
III.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	36
III.6.1. Análisis granulométrico	36
III.6.2. Análisis de varianza	37
III.6.3. Análisis de correlación	38
IV. RESULTADOS.....	39
IV.1. ESTUDIO DE LA VARIACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA FISICOQUÍMICA DEL AGUA.....	39

IV.1.1. Temperatura del agua superficial.....	40
IV.1.2. Salinidad del agua superficial.....	44
IV.1.3. Oxígeno disuelto del agua superficial.....	44
IV.1.4. pH del agua superficial.....	48
IV.1.5. Eh del agua superficial.....	50
IV.1.6. Sólidos suspendidos.....	52
IV.2. ESTUDIO DE LA VARIACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LAS VARIABLES SEDIMENTARIAS.....	53
IV.2.1. Clasificación textural y granulometría.....	53
IV.2.2. Parámetros ligados al contenido de material orgánico.....	65
IV.2.3. pH del sedimento superficial.....	75
V. DISCUSIÓN.....	78
V.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS, EL NIÑO 2015–2016.....	78
V.2. FISICOQUÍMICA DEL AGUA.....	81
V.2.1. Temperatura del agua superficial.....	81
V.2.2. Salinidad del agua superficial.....	83
V.2.3. Oxígeno disuelto, pH y Eh del agua superficial.....	85
V.2.4. Sólidos en suspensión.....	90
V.3. VARIABLES SEDIMENTARIAS.....	92
V.3.1. Transectos en los canales Matapalo, Lagarto y Zarumilla.....	93
V.3.2. Variables sedimentarias en las estaciones.....	100
VI. CONCLUSIONES.....	109
VII. RECOMENDACIONES.....	110
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	111
IX. ANEXOS.....	118

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cuadro de flujo de los impactos de los eventos el Niño sobre la sedimentología y biogeoquímica de los manglares de Tumbes (modificado de IGP, 2015).	5
Figura 2. Distribución espacial global de los manglares, seccionados en 6 regiones (según Augustinus, 1995).	7
Figura 3. Vistas esquemáticas de las mareas (a) sin y con (b) llanuras de inundación y flujos de marea alrededor de la boca de un río (según Mazda, et al., 20007).	8
Figura 4. Mapa del SNLMT con sus principales esteros y ambientes sedimentarios: ambiente sedimentario de canales principales (azul), ambiente sedimentario del canal Zarumilla (verde) y ambientes sedimentarios de canales secundarios (anaranjado), (según Pérez 2014).	10
Figura 5. Principales ríos de la red fluvial del SNLMT. Río Jubones en Ecuador y río Zarumilla en Perú (modificado de Google Earth Pro).	11
Figura 6. Patrón climático del Evento El Niño (según NOAA/PMEL/TAO).....	13
Figura 7. Plano de cuencas hidrográficas en la región noroeste de 3.4 a 5.7 ° S. (a-c) muestra la media anual de precipitación, la escorrentía media anual y los aportes anuales de sedimentos en suspensión respectivamente, excluyendo el periodo de enero a abril de 1998). (d-f) Muestra la precipitación acumulada observada y estimada, la escorrentía y los aportes de sedimentos suspendidos durante el evento el EN 1997–1998 (enero a abril de 1998). El número 1 indica la cuenca del río Zarumilla. (Morera et al., 2017).	14
Figura 8. Flujos fluviales específicos de sedimentos en condiciones normales (negro) y durante El Niño 1997-1998 (rojo). Las cuencas 1 y 2 corresponden a Zarumilla (Palmales) y Tumbes (El Tigre), respectivamente (Morera et al., en desarrollo) (según de IGP, 2015).	15
Figura 9. Régimen pluviométrico de la cuenca del río Zarumilla (según de INAMHI, 2005).	16
Figura 10. a) Precipitación anual (mm) en los manglares de Puerto Pizarro y SNLMT (El Salto), complementada con los datos de Zorritos y El Guri. Como referencia se muestran los datos de Guayaquil en Ecuador. b) Anomalía de temperatura del aire en los manglares de Tumbes (negro), así como de la temperatura superficial del mar tomado por barcos (rosa); fuente: HadSST3. (Según IGP, 2015).....	17
Figura 11. Procesos de erosión, deposición y resuspensión de los sedimentos implicados en la agregación y la ruptura de las partículas (según Wang & Andutta, 2013).	19
Figura 12. Área de muestreo y ubicación geográfica del SNLMT (modificada de Pérez, 2014).	25

Figura 13. (a) Lectura de pH in situ y (b y c) procedimiento de colección de las muestras de sedimento.	30
Figura 14. Intervalos típicos de $\delta^{13}\text{C}$ y C/N para diferentes fuentes de materia orgánica en ambientes costeros (adaptada de Lamb et al., 2006).....	34
Figura 15. Intervalos típicos de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ para diferentes ambientes (adaptada de Castro et al., 2010).	35
Figura 16. Variación espacio-temporal de las variables fisicoquímicas del agua superficial en el SNLMT. Temperatura, oxígeno disuelto, salinidad, pH, potencial óxido-reducción (Eh) y sólidos suspendidos durante noviembre 2015, marzo y junio 2016. Oxígeno disuelto y sólidos suspendidos no presentan datos de noviembre 2015.	41
Figura 17. Variación espacial de temperatura del agua superficial en el SNLMT durante noviembre 2015 (N), marzo (M) y junio 2016 (J).	43
Figura 18. Variación espacial del oxígeno disuelto del agua superficial en el SNLMT durante marzo 2016 (M) y junio 2016 (J).	45
Figura 19. Variación espacial de la salinidad del agua superficial en el SNLMT durante noviembre 2015 (N), marzo (M) y junio 2016 (J).	47
Figura 20. Variación espacial del pH del agua superficial en el SNLMT durante noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M) y junio 2016 (J).	49
Figura 21. Variación espacial del potencial óxido-reducción (Eh) del agua superficial en el SNLMT durante noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M) y junio 2016 (J).	51
Figura 22. Variación espacial de sólidos suspendidos del agua superficial en el SNLMT durante marzo 2016 (M) y junio 2016 (J).	53
Figura 23. Curvas de distribución a partir de datos granulométricos de los sedimentos superficiales del SNLMT de las estaciones y transectos de los canales principales (líneas azules), canal Zarumilla (líneas verdes) y canales secundarios (líneas rojas), durante noviembre 2015, marzo 2016 y junio 2016.	56
Figura 24. Curva acumulada por tamaño de partícula de la composición de arenas de los sedimentos superficiales para las estaciones del SNLMT durante marzo 2016 (M) y junio 2016 (J).	58
Figura 25. Curva acumulada por tamaño de partícula de la fracción de arenas de los sedimentos superficiales en el transecto de canal Matapalo (M-1 a M-6) del SNLMT; por periodos (A) y por transectos (B), durante noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M) y junio 2016 (J).	59
Figura 26. Curva acumulada por tamaño de partícula de la fracción de arena de los sedimentos superficiales en el transecto del canal Lagarto (L-1, L-2 y L-3) del SNLMT,	

por periodo (A) y por transectos (B), durante noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M) y junio 2016 (J).....	60
Figura 27. Curva acumulada por tamaño de partícula de las arenas de los sedimentos superficiales del SNLMT, en el transecto del canal Zarumilla (Z-1 a Z-2), por periodos (A) y por transectos (B), durante noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M) y junio 2016 (J).	61
Figura 28. Variación espacial y temporal de las medianas de las arenas de los sedimentos superficiales del SNLMT, en las estaciones (a) y transectos (b-d) muestreados durante noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M), junio 2016 (J). s.p: sin presencia.	62
Figura 29. Variación espacial del porcentaje limo-arcilla (%) de los sedimentos superficiales del SNLMT, durante marzo 2016 (M), junio 2016 (J).....	63
Figura 30. Variación espacial y temporal del porcentaje limo-arcilla de los sedimentos superficiales del SNLMT, en las estaciones (a) y transectos (b-d) muestreados durante noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M), junio 2016 (J).	65
Figura 31. Variación espacial del contenido de carbono orgánico total de los sedimentos superficiales del SNLMT, durante marzo 2016 (M), junio 2016 (J).....	66
Figura 32. Variación espacial y temporal del contenido de carbono orgánico total (COT) de los sedimentos superficiales del SNLMT, en las estaciones (a) y transectos (b-d) muestreados durante noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M), junio 2016 (J).....	68
Figura 33. Variación espacial del contenido de nitrógeno total de los sedimentos superficiales del SNLMT, durante marzo 2016 (M), junio 2016 (J).....	69
Figura 34. Variación espacial y temporal del contenido de nitrógeno total (NT) de los sedimentos superficiales del SNLMT, en las estaciones (a) y transectos (b-d) muestreados durante noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M), junio 2016 (J).	71
Figura 35. Variación espacial de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en los sedimentos superficiales del SNLMT, durante marzo 2016 (M), junio 2016 (J).....	72
Figura 36. Variación espacial de los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en los sedimentos superficiales del SNLMT, durante marzo 2016 (M), junio 2016 (J).....	73
Figura 37. Variación espacial de la relación C/N en los sedimentos superficiales del SNLMT, durante marzo 2016 (M), junio 2016 (J).....	75
Figura 38. Variación espacial del pH de los sedimentos superficiales del SNLMT durante marzo 2016 (M), junio 2016 (J).	77
Figura 39. Anomalía de TSM ($^{\circ}\text{C}$) durante el año 2015 - 2016 (negro), 1982 (rojo), 1997 (azul) y 1972 (verde) según los datos infrarrojos (NOAA Daily OI SST v2 AVHRR), en	

las regiones Niño 3.4 (a) y Niño 1+2 (b). Procesamiento IGP, (según ENFEN, 07-2016).	79
Figura 40. Hidrograma del río Zarumilla en la estación hidrológica Palmales (Tumbes) durante los periodos 2015-2016 (azul) y promedio histórico (verde). (Según SENAMHI, 2017).	81
Figura 41. Variación temporal y espacial (canales estuarinos) promedio de la temperatura superficial del agua en los Manglares de Tumbes durante septiembre 2012, abril 2013, noviembre 2015 marzo y junio 2016 (los datos de setiembre 2012 y abril 2013 fueron tomados de los promedios reportados por Pérez (2014) para esta misma zona de estudio).	83
Figura 42. Variación temporal y espacial (canales estuarinos) promedio de la salinidad superficial del agua en los Manglares de Tumbes durante septiembre 2012, abril 2013, noviembre 2015 marzo y junio 2016 (los datos de setiembre 2012 y abril 2013 fueron tomados de los promedios reportados por Pérez (2014) para esta misma zona de estudio).	84
Figura 43. Variación temporal y espacial (canales estuarinos) promedio del oxígeno disuelto del agua en los Manglares de Tumbes durante septiembre 2012, abril 2013, marzo y junio 2016 (los datos de setiembre 2012 y abril 2013 fueron tomados de los promedios reportados por Pérez (2014) para esta misma zona de estudio).	87
Figura 44. Variación temporal y espacial (canales estuarinos) promedio del pH del agua en los Manglares de Tumbes durante septiembre 2012, abril 2013, noviembre, marzo y junio 2016 (los datos de setiembre 2012 y abril 2013 fueron tomados de los promedios reportados por Pérez (2014) para esta misma zona de estudio).	89
Figura 45. Caracterización batimétrica (1 y 2) durante los periodos de noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M) y junio 2016 (J). Distribución espacial de los promedios del porcentaje de limo-arcilla (a), carbono orgánico total (COT) (b), $\delta^{13}\text{C}$ (c), y relación C/N (d) del sedimento superficial a lo ancho del canal Matapalo, desde el margen sur (S), en la isla Matapalo hacia el margen norte (N), en la isla Correa. 1, 2 son el mismo esquema.	96
Figura 46. Caracterización batimétrica (1 y 2) durante los periodos de noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M) y junio 2016 (J). Distribución espacial de los promedios del porcentaje de limo-arcilla (a), carbono orgánico total (COT) (b), $\delta^{13}\text{C}$ (c), y relación C/N (d) del sedimento superficial a lo ancho del canal Lagarto, desde el margen norte (N), en una isla hacia el margen sur (S), en el continente. 1, 2 son el mismo esquema.	97
Figura 47. Caracterización batimétrica (1 y 2) durante los periodos de noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M) y junio 2016 (J). Distribución espacial de los promedios del porcentaje de limo-arcilla (a), carbono orgánico total (COT) (b), $\delta^{13}\text{C}$ (c), y relación C/N (d) del sedimento superficial a lo ancho del canal Zarumilla, desde el margen norte (N) en la isla Matapalo hacia el margen sur (S), en el Continente. 1, 2 son el mismo esquema.	100

Figura 48. Variación temporal y espacial (ambiente sedimentario) promedio del porcentaje de arenas de los sedimentos superficiales de los canales estuarinos del SNLMT durante septiembre 2012, abril 2013, marzo y junio 2016 (los datos de septiembre 2012 y abril 2013 fueron tomados de los promedios reportados por Pérez (2014) para esta misma zona de estudio).	102
Figura 49. Variación temporal y espacial (ambiente sedimentario) promedio del porcentaje de limo-arcilla de los sedimentos superficiales de los canales estuarinos del SNLMT durante septiembre 2012, abril 2013, marzo y junio 2016 (los datos de setiembre 2012 y abril 2013 fueron tomados de los promedios reportados por Pérez (2014) para esta misma zona de estudio).....	104
Figura 50. Variación temporal y espacial (ambiente sedimentario) promedio del contenido de materia orgánica total durante septiembre 2012 (temporada seca no-Niño), abril 2013(temporada Húmeda no-Niño) y carbono orgánico total durante marzo (temporada húmeda El Niño) y junio 2016 (temporada seca post El Niño). (Los datos de la materia orgánica total de setiembre 2012 y abril 2013 fueron tomados de los promedios reportados por Pérez (2014) para esta misma zona de estudio).	106
Figura 51. Diagrama de la relación entre los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y C/N de las estaciones muestreadas del SNLMT en los meses de marzo y junio 2016, con interpretación de acuerdo a lo propuesto por Lamb et al., 2006.	108

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.** Escalas de selección, Asimetría y kurtosis de Folk & Ward (1957). 37
- Tabla 2.** Condiciones fisicoquímicas del agua del SNLMT en las estaciones muestreadas durante noviembre 2015, marzo y junio 2016. T: temperatura, SAL: salinidad, OD: oxígeno disuelto, Eh: potencial de óxido-reducción, SS: sólidos suspendidos..... 39
- Tabla 3.** Medianas de la fracción de arena (M.A), contenido de limo-arcilla (Lim-arc), carbono orgánico total (COT), nitrógeno total (NT), $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, relación C/N y niveles de pH presentes en los sedimentos superficiales en las estaciones muestreadas del SNLMT durante marzo y junio 2016. 54
- Tabla 4.** Medianas de la fracción de arena (M.A), contenido de limo-arcilla (Lim-arc), carbono orgánico total (COT), nitrógeno total (NT), $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y relación C/N presentes en los sedimentos superficiales de los transectos muestreados en los canales Lagarto (L-1 a L-3), Matapalo (M-1 a M-6) y Zarumilla (Z-1 a Z-2) del SNLMT durante noviembre 2015, marzo y junio 2016. 55
- Tabla 5.** Medición de la erosión-deposición del sedimento en la zona intermareal de los canales Lagarto (S: sur, N: norte), Matapalo (SE: sureste, SO: suroeste, NE: noreste, NO: noroeste) y Zarumilla (Z-A: intercepción de los canales Zarumilla y Algarrobo) del SNLMT, entre los periodos de muestreos de noviembre 2015, marzo y junio 2016. 93

LISTA DE ANEXOS

- A 1.** Análisis de varianza de las variables fisicoquímicas del agua estudiadas durante noviembre 2015 (N), marzo (M) y junio (J) 2016. Ambiente sedimentario: canales principales (CP), canales secundarios (CS) y canal Zarumilla (CZ). ***($p < 0.05$), **($0.05 > p < 0.1$), *($p = 0.1$). n.s: estadísticamente no significativo. T: temperatura, SAL: salinidad, OD: oxígeno disuelto, Eh: potencial de óxido-reducción, SS: sólidos suspendidos..... 118
- A 2.** Análisis de varianza de las variables sedimentarias de las estaciones estudiadas durante marzo (M) y junio (J) 2016. Ambiente sedimentario: canales principales (CP), canales secundarios (CS) y canal Zarumilla (CZ). *** ($p < 0.05$), **($0.05 > p < 0.1$), *($p = 0.1$), n.s: estadísticamente no significativo, %Lim-arc: porcentaje de limo-arcilla, COT: carbono orgánico total, NT: nitrógeno total, C/N: relación carbono/nitrógeno. 118
- A 3.** Análisis de varianza de las variables sedimentarias de los transectos estudiadas durante noviembre 2015 (N) marzo (M) y junio (J) 2016 en los canales Lagarto (CL), Matapalo (CM) y Zarumilla (CZ). ***($p < 0.05$), **($0.05 > p < 0.1$), *($p = 0.1$), n.s: estadísticamente no significativo, %Lim-arc: porcentaje de limo-arcilla, COT: carbono orgánico total, NT: nitrógeno total, C/N: relación carbono/nitrógeno..... 119
- A 4.** Correlaciones de rango de Spearman entre variables fisicoquímicas del agua para noviembre 2015, marzo y junio 2016. Correlaciones significativas $p < 0.05$ en negro y $p < 0.1$ en azul. T: temperatura, SAL: salinidad, OD: oxígeno disuelto, SS: sólidos suspendidos, Eh: potencial de óxido-reducción..... 119
- A 5.** Correlaciones de rango de Spearman entre variables geoquímicas del sedimento para marzo 2016. Correlaciones significativas $p < 0.05$ en negro y $p < 0.1$ en azul. %Lim-arc: porcentaje de limo-arcilla, COT: carbono orgánico total, NT: nitrógeno total, C/N: relación carbono/nitrógeno. 120
- A 6.** Correlaciones de rango de Spearman entre variables biogeoquímicas del sedimento para junio 2016. Correlaciones significativas $p < 0.05$ en negro y $p < 0.1$ en azul. %Lim-arc: porcentaje de limo-arcilla, COT: carbono orgánico total, NT: nitrógeno total, C/N: relación carbono/nitrógeno. 120
- A 7.** Correlaciones de rango de Spearman entre variables fisicoquímicas del agua (T: temperatura, SAL: salinidad, OD: oxígeno disuelto, pH, Eh: potencial de óxido-reducción, SS: sólidos suspendidos) y biogeoquímicas del sedimento (%Lim-arc: porcentaje de limo-arcilla, COT: carbono orgánico total, NT: nitrógeno total, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, C/N: relación carbono/nitrógeno) para marzo y junio 2016. Correlaciones significativas $p < 0.05$ en negro y $p < 0.1$ en azul..... 121
- A 8.** Factor de determinación (R^2) entre variables geoquímicas del sedimento para marzo y junio 2016. %Lim-arc: porcentaje de limo-arcilla, COT: carbono orgánico total, NT: nitrógeno tota, C/N: relación carbono/nitrógeno. 122
- A 9.** Parámetros estadísticos de la granulometría de la fracción de arena para las estaciones muestreadas en el SNMT durante marzo y junio 2016..... 122
- A 10.** Parámetros estadísticos de la granulometría de la fracción de limo-arcilla para las estaciones muestreadas en el SNMT durante marzo y junio 2016..... 123

A 11. Parámetros estadísticos de la granulometría de la fracción de arena para los transectos muestreados en el SNMT durante noviembre 2015, marzo y junio 2016.....	124
A 12. Parámetros estadísticos de la granulometría de la fracción de limo-arcilla para los transectos muestreados en el SNMT durante noviembre 2015, marzo y junio 2016.....	125
A 13. Correlación entre porcentaje de limo-arcilla con los parámetros de caracterización de materia orgánica (COT: carbono orgánico total, NT: nitrógeno total, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, C/N: relación carbono/nitrógeno) y pH del sedimento, salinidad del agua (SAL) y Sólidos suspendidos (SS) del SNLMT durante marzo y junio 2016, n.s: estadísticamente no significativo.....	126
A 14. Anomalías de precipitaciones en el norte del Perú durante marzo 2016 (según de SENAMHI, 2016).....	127
A 15. Diagrama de la relación entre los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ del transecto del Canal Matapalo, con interpretación de acuerdo a lo propuesto por Castro et al., 2010, durante noviembre 2015, marzo y junio 2016. M1, M6: puntos de muestreo a orillas del canal, M2, M5: puntos de muestreo intermedios, M3, M4: puntos de muestreo al centro del canal.....	¡Error! Marcador no definido.
A 16. Diagrama de la relación entre los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de las estaciones muestreadas del SNLMT en los meses de marzo y junio 2016, con interpretación de acuerdo a lo propuesto por Castro et al., 2010.....	128

RESUMEN

Se estudiaron los cambios en los parámetros físico-químicos del agua, la batimetría y las características de los sedimentos durante el evento El Niño moderado 2015-2016 en el "Santuario Nacional de los Manglares de Tumbes", que es un área natural protegida ubicada en el norte del Perú entre los 3.38 a 3.46 °S y los 80.22 a 80.32 °W. El muestreo de sedimentos y las mediciones de parámetros ambientales se realizaron en noviembre del 2015, marzo del 2016 (máximo desarrollo del evento), y junio del 2016. El suministro de agua dulce a través del río Zarumilla tuvo en marzo un caudal anómalo de $190 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, mientras que el promedio máximo diario histórico es alrededor de $100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Los principales parámetros impactados en el estuario fueron la salinidad y el pH que exhibieron sus valores más bajos en marzo del 2016 (12.6 y 7.35), mientras que los más elevados fue en noviembre del 2015 (31.8 y 7.81).

Se observaron muy pocos cambios en la batimetría de los canales con sedimentación local limitada. La acumulación de sedimentos también se observó en las llanuras intermareales cercanas a los canales. El cambio en el sedimento se muestra principalmente a través de la fracción fina (arena muy fina a limo) que fue proporcionalmente mayor durante el evento de El Niño, en las estaciones más cercanas al mar, con respecto al periodo post-El Niño. Esto es probablemente debido a un desplazamiento de la cuña de sal más cerca del océano. La concentración de carbono orgánico y nitrógeno fue directamente proporcional al aumento de la fracción de sedimento fino, aunque no se observaron cambios en las características de la materia orgánica (C/N, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$). Esto indica que las fuentes dominantes de materia orgánica son los ambientes de manglar y estuario.

En conclusión, el evento El Niño 2015-2016 tuvo un impacto leve y probablemente reversible en los ambientes de manglar. La descarga de agua dulce no fue tan alta como en los eventos catastróficos anteriores del 1982-1983 y 1997-1998, que modificaron significativamente la morfología del canal de manglar. Es probable que sólo los eventos El Niño fuerte en el futuro tengan impactos notables en la sedimentología y morfología de los canales estuarinos, más no algún evento de mediana magnitud como el observado en el periodo 2015-2016.

Palabras clave: Manglares de Tumbes, El Niño 2015-2016, sedimentos superficiales, parámetros fisicoquímicos, estuarios.

ABSTRACT

Changes in physical-chemical parameters of water, bathymetry and sediments characterization were studied during the moderate El Niño event of 2015-2016 at "Tumbes Mangroves National Sanctuary", a protected natural area located in northern Peru between 3.38 to 3.46 °S and 80.22 to 80.32 °W. Sediment sampling and measurements of environmental parameters were carried out in November 2015, March 2016 (maximum development of the event), and June 2016. The supply of freshwater through the Zarumilla River had an anomalous flow of $190 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, while the historical maximum daily average is around $100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. The main parameters which impacted the estuary were salinity and pH, exhibiting their lowest values in March 2016 (12.6 and 7.35), while the highest were in November 2015 (31.8 and 7.81).

Very few changes were observed in the creek bathymetry with limited local sedimentation. Sediment accumulation was also observed in the intertidal plains near the channels. Changes in sediment texture were mainly at the fine fraction (very fine sand to silt) that was proportionally greater during the El Niño event in the stations closest to the sea, with respect to the post-El Niño period. This is probably due to a displacement of the salt wedge closer to the ocean. The concentration of organic carbon and nitrogen was directly proportional to the increase of the fine sediment fraction, although no changes were observed in the characteristics of organic matter (C/N, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$). This indicates that the dominant sources of organic matter are the mangrove trees and, in lesser extent, the algal component.

In conclusion, El Niño 2015-2016 event had a slight and probably reversible impact on mangrove environments. The discharge of fresh water was not as high as in the previous catastrophic events of 1982-1983 and 1997-1998, which significantly modified the morphology of the mangrove channel. It is likely that only strong El Niño events in the future will have significant impacts on the sedimentology and morphology of estuarine channels, but not a moderate event such as that observed in the 2015-2016 period.

Key words: Tumbes Mangroves National Sanctuary, El Niño 2015-2016, surface sediments, physical and chemical parameters, estuaries.

I. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de manglar se limitan a las costas tropicales y subtropicales (Dittmar et al., 2006) del planeta, extendiéndose entre el mar y el continente. Se caracterizan por ser zonas boscosas altamente productivas, presentar sedimentos orgánicamente enriquecidos y mantener condiciones predominantemente reductoras (Donato et al., 2011). Estos sistemas proporcionan a la vez bienes y servicios como el transporte de nutrientes, ciclos biogeoquímicos, hundimiento de sedimentos en suspensión, entierro de carbono y protección ante eventos extremos como ciclones aluviones y mareas de tempestad. Asimismo, los hábitats de manglares actúan también como trampa de sedimentos usando sus raíces para controlar la erosión.

El ecosistema de manglares de Tumbes, está localizado al norte del Perú, muy cerca de la zona de influencia de aguas tropicales y aguas ecuatoriales, al límite norte del sistema de la Corriente de Humboldt (Malca, 2005). Se caracteriza por estar sometido al régimen natural de mareas y sujeto a una fuerte variabilidad estacional e interanual en precipitaciones y flujo de agua dulce (INRENA, 2011), ocasionando así distintivas condiciones de salinidad en la columna de agua (Domínguez, 2005). Esta variabilidad influye en la intensidad y distribución del gradiente salino, el cual juega un rol clave en las propiedades fisicoquímicas y biogeoquímicas de los sedimentos superficiales, repercutiendo directamente sobre el ciclo de carbono y nutrientes en el sistema (Kristensen et al., 2008). Asimismo, contribuye a una redistribución periódica de los sedimentos, modulando el aporte en calidad y en cantidad de la materia orgánica (Black & Shimmiel, 2003; Alongi et al., 2005; Kristensen et al., 2008).

Los bosques de manglares, son importantes hábitats costeros tropicales que están en declive en todo el mundo, principalmente debido al impacto humano. De manera similar a otros hábitats de manglares (Granek y Ruttenberg, 2008), el Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes (SNLMT) presenta una interacción humana principalmente por la extracción de moluscos, crustáceos y descargas de subproductos agrícolas y acuicultura en su cuenca afectando el funcionamiento natural del ecosistema.

II. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

II.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los manglares son ecosistemas que exhiben variaciones espacio-temporales debido a diferentes tipos de variabilidad, entre ellos tenemos: 1) variabilidad espacial controlada por la geomorfología del terreno y 2) variabilidad temporal que depende de la marea, el régimen estacional de lluvias, cambios oceanográficos. Igualmente presenta una variabilidad climática de tipo inter-anual asociada al ciclo El Niño Oscilación Sur (ENOS) y el evento El Niño (EN) (Alongi, 2007).

El EN es el ejemplo más espectacular de la variabilidad interanual en el océano, con repercusiones en el clima. Este fenómeno está relacionado con el calentamiento del Pacífico ecuatorial oriental y Pacífico ecuatorial central, con manifestaciones de intensas lluvias en la región costera del Pacífico de América del Sur (Zambrano, 1986), teniendo como consecuencias variaciones temporales en la dinámica hídrica. El régimen hídrico influenciado por oscilaciones del nivel relativo del mar, tormentas tropicales y el suministro de sedimentos (IGP, 2015) regula en última instancia los procesos de sedimentación en los sistemas estuarinos de manglares (Sanders, 2008; Alongi, 2008), y es el principal factor que influye de manera directa en la variación espacio-temporal de las condiciones geoquímicas del estuario (Pérez, 2014).

Actualmente existen varios estudios del efecto de las precipitaciones en la sedimentología de los cuerpos de agua. Conroy et al. (2008), en una investigación relacionada con la variabilidad del nivel del lago El Junco (Galápagos) en el Holoceno, sostienen que el aporte de sedimentos hacia dicha

zona está relacionado con el aumento de precipitaciones asociadas a episodios El Niño y periodos húmedos. En el mismo sentido en Brasil, Kjerfve et al. (1999), establecen que las lluvias e inundaciones fluviales subsiguientes llevan lodos (compuestos limo-arcillosos) y arenas aluviales a planicies de marea, formando un sustrato para la colonización de manglares. Por otro lado los conocimientos acerca del impacto que genera los eventos EN sobre la estructura y geomorfología del ecosistema estuarino de los manglares de Tumbes son muy limitados y los estudios en los sedimentos en estos ecosistemas son escasos al igual que la investigación sobre las características sedimentológicas de los mismos asociados a dichos eventos y a la variación espacio-temporal que causa en los caudales de los afluentes hídricos. Un esquema teórico para los manglares de Tumbes (IGP, 2015) incluye los efectos del aumento de los caudales, del nivel del mar y de la temperatura superficial del mar (TSM) (Figura 1).

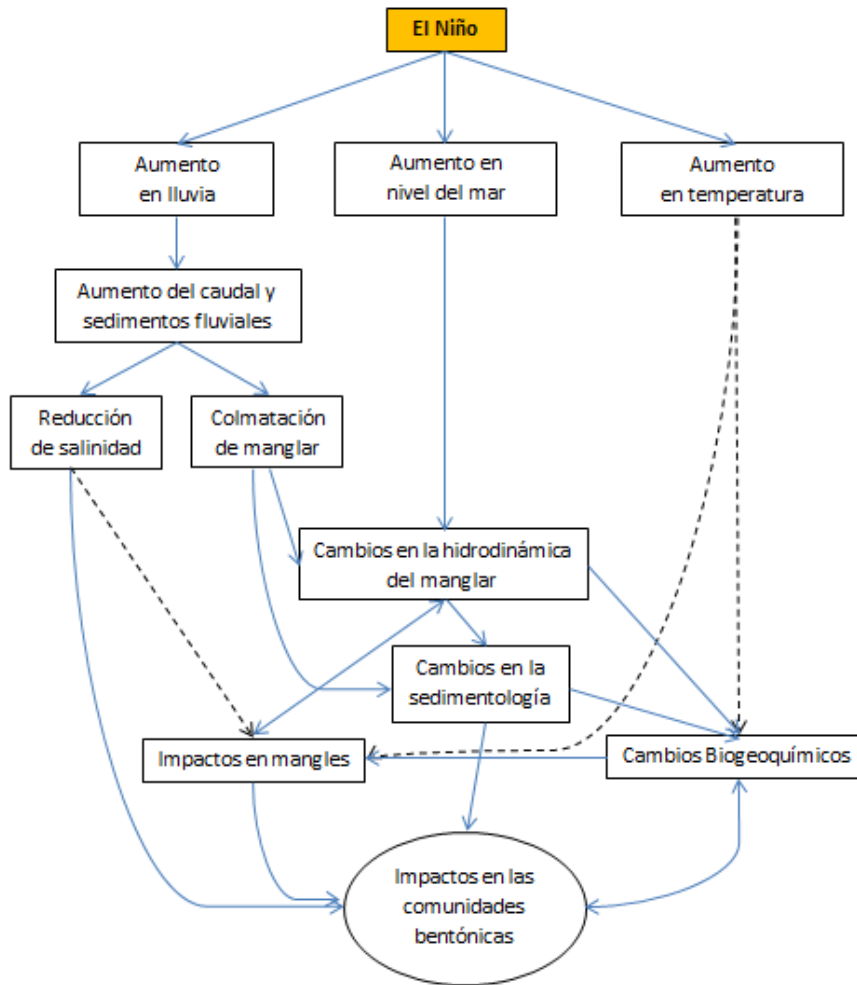


Figura 1. Cuadro de flujo de los impactos de los eventos el Niño sobre la sedimentología y biogeoquímica de los manglares de Tumbes (modificado de IGP, 2015).

Ante lo mencionado surge la siguiente incógnita que motiva al presente estudio: ¿Qué cambios acarrió la variación de los caudales en los afluentes hídricos asociados al evento El Niño 2015–2016 sobre la fisicoquímica del agua y la sedimentología en los canales de los manglares de Tumbes?

II.2. MARCO TEÓRICO

II.2.1. Ecosistemas de manglares

El ecosistema de manglar es uno de los ecosistemas más productivos del planeta, se encuentran en climas húmedos y áridos, siendo dominantes en zonas

tropicales, donde la lluvia es abundante y uniforme durante todo el año (Kjerfve et al., 1999). Se desarrollan a lo largo de márgenes marinos costeros, bajo condiciones de salinidad fluctuante, régimen de mareas, altas temperaturas y suelos fangosos de condiciones anaeróbicas y salobres (Kristensen et al., 2008).

Los bosques de manglar se distribuyen a nivel mundial dentro de 6 regiones geográficas (Augustinus, 1995) (Figura 2) ocupando a nivel mundial alrededor de 112 países, con una cobertura aproximada de 15 millones de hectáreas (Schwamborn & Saint-Paul, 1996). Spalding (1997) estima que en América latina estos ecosistemas sobrepasan los 40,000 km², distribuyéndose aproximadamente un 30 % en las costas del Océano Pacífico.

La extensión de los ecosistemas de manglar en las costas del Pacífico oriental en América del Sur se ve restringida hasta sólo los 05°34' S, incluyendo el relicto del Manglar de Vice, Piura. Hacia los 3°30' S, en el estuario del río Tumbes, Perú, se desarrolla el Manglar de Tumbes, que se forma debido al clima y las peculiaridades oceanográficas ocasionadas por la corriente subtropical superficial. Más hacia el Sur y a lo largo de casi toda la costa del Perú, la interacción de la Corriente Peruana de aguas frías suprime la actividad convectiva, originando climas muy áridos, suelos muy salados y limitados suministros dulceacuícolas (Yáñez & Lara, 1999).

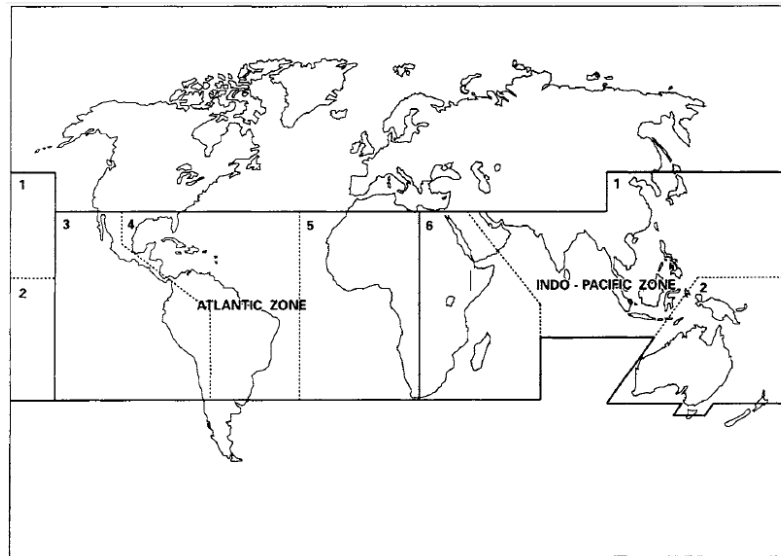


Figura 2. Distribución espacial global de los manglares, seccionados en 6 regiones (según Augustinus, 1995).

En general, los manglares están constituidos por un conjunto de plantas de al menos cinco familias, con características ecológicas, morfológicas y fisiológicas comunes que les permiten vivir en los pantanos de marea, siendo *Rizophora* y *Avicenia* los géneros más representativos (Rützler & Feller, 1999). Los bosques de manglares proporcionan una base detritica importante de cadenas orgánicas de alimentos, hábitat importante para los organismos arbóreos, intermareales y submareales. (Walters et al., 2008).

II.2.2. Hidrología en manglares

Los procesos hidrológicos junto con las variaciones en la topografía (Figura 2), son el punto central en los procesos dinámicos en los ecosistemas de manglar (Mazda et al., 2007; Ong et al., 1991). Los bosques de manglares están fuertemente influenciados por procesos hidrológicos (Ovalle et al., 1990) que incluyen la variabilidad del clima, las características de precipitación y escorrentía, el flujo de agua subterránea y su almacenamiento, la frecuencia y la

magnitud de la inundación de las mareas, ondas de marea, exposición al oleaje, las inundaciones por abundantes aportes fluviales, la salinidad del agua y del suelo, la vegetación de mangle, la geometría y la batimetría de los canales (Mazda, et al., 2007; Hogue et al., 1999; Valle-Levinson & Atkinson, 1999) (Figura 3).

El movimiento de sedimentos que acompaña al flujo de agua (forzada por las corrientes de marea, el oleaje y obstaculizada por la geografía del manglar, las plantas del mangle y las raíces entrelazadas de este) modifica la topografía del manglar, a veces originando meandros en arroyos o esteros y otras veces erosionando las costas (Brinkman et al., 2005; Winterwerp et al., 2005). Los meandros formados experimentan deposición de sedimentos en su parte convexa y erosión en su parte cóncava.

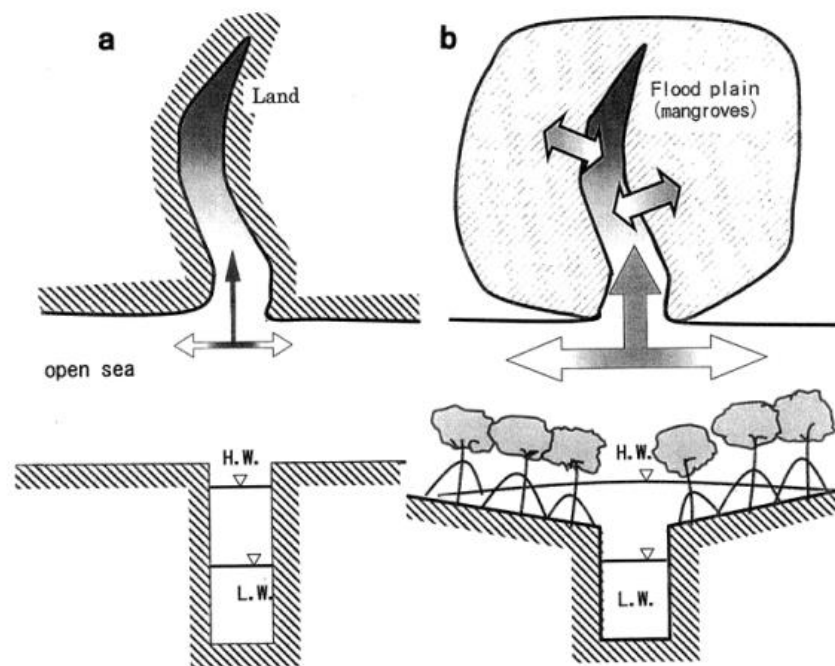


Figura 3. Vistas esquemáticas de las mareas (a) sin y con (b) llanuras de inundación y flujos de marea alrededor de la boca de un río (según Mazda, et al., 2007).

La geomorfología del SNLMT depende de tres factores: mareas, corrientes costeras y el flujo de sedimentos que arrastra el río Zarumilla (Pérez, 2014), especialmente durante el periodo lluvioso; originando bancos de arenas que a veces son colonizados por mangle y otras son removidos por la erosión costera. La topografía presenta una ligera pendiente entre el mar y la costa de aproximadamente 1 a 5%; siendo uniforme y casi plana. Además los suelos del SNLMT se caracterizan por ser profundos y estar cubiertos por vegetación arbustiva del tipo matorral (INRENA, 2011).

Las tierras del SNLMT tienden a inundarse porque están cruzadas por esteros sujetos al régimen de mareas y a la influencia del aporte fluvial del río Zarumilla (INRENA, 2011). Estos esteros, por sus características físicas propias en sus dimensiones, distancia del océano e influencia del aporte fluvial, originan diferentes tipos de ambiente sedimentarios, teniendo así (Figura 4) (IGP, 2015):

1) Ambiente sedimentario de canales principales, representados por el estero Matapalo y canal Internacional. Son canales con mayor interacción con el océano porque son más grandes y abiertos en comparación a los demás canales, presentan una anchura de canal promedio aproximada de 400 m.

2) Ambiente sedimentario del canal Zarumilla, comprendido por el curso del estero Zarumilla. Se encuentra en la cabecera del estuario, más cercano a la fuente de agua dulce y presenta una anchura de canal promedio de 50 m. Este canal está sometido vía sus esteros afluentes a las inundaciones del río Zarumilla.

3) Ambiente sedimentario de canales secundarios, representados por los esteros Lagarto, El Gallo, Gallegos, La Envidia. Estos son canales semi-cerrados

asociados al curso medio e inferior del estuario. El ancho promedio de estos canales es de 30 m.

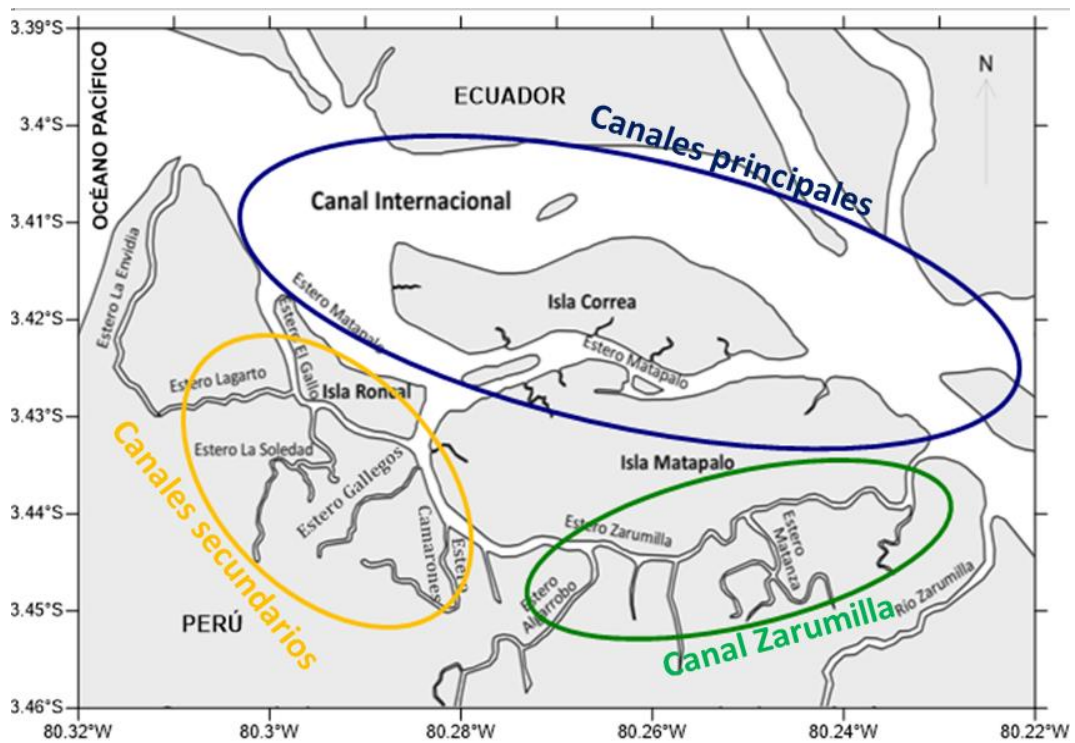


Figura 4. Mapa del SNLMT con sus principales esteros y ambientes sedimentarios: ambiente sedimentario de canales principales (azul), ambiente sedimentario del canal Zarumilla (verde) y ambientes sedimentarios de canales secundarios (anaranjado), (según Pérez 2014).

El SNLMT recibe agua del mar tanto de Perú como del Ecuador, a través de los estuarios y los esteros. En el Perú, mediante los esteros Capones (canal Internacional - Punta Capones) y desde el Ecuador mediante los esteros Jambelí (boca del Jambelí), Pongal, Grande, Chupadores (boca de Chupadores) y Payana, los cuales en conjunto fluyen hacia el canal Internacional y a partir de éste, por los esteros Matapalo, Zarumilla, Gallegos, La Soledad, Lagarto, El Gallo, Juanito y Envidia (INRENA, 2001). El flujo y reflujo de agua o hidropериodo se presenta con mareas altas y bajas cada seis horas. En marea alta, el agua ingresa por los esteros antes mencionados y se distribuye en los manglares de acuerdo a las

gradientes topográficas, permitiendo luego en marea baja redistribuir los sedimentos, el exceso de sales y la hojarasca hacia el mar abierto (INRENA, 2001).

De acuerdo a su fisiografía, el SNLMT es un bosque de manglar de tipo ribereño, que se desarrolla a lo largo del canal Internacional. La red fluvial de este sistema está constituida en territorio peruano principalmente por el río Zarumilla, las quebradas Piedritas, Tronco Seco y El Padre, cuyos flujos son intermitentes (INRENA, 2001). En tanto, en el territorio ecuatoriano, los ríos Guayas y Jubones desembocan en el Golfo de Guayaquil donde también desemboca el estero Grande que es la continuación del canal Internacional (Figura 5). Los ríos Santa Rosa y Arenillas desembocan directamente en el estero Grande. Todos los flujos de los ríos de la parte ecuatoriana son permanentes, pero irregulares y torrentosos.



Figura 5. Principales ríos de la red fluvial del SNLMT. Río Jubones en Ecuador y río Zarumilla en Perú (modificado de Google Earth Pro).

II.2.3. Variabilidad climática en manglares

Los ecosistemas de manglar están influenciados considerablemente por los cambios estacionales en el clima (Mazda et al., 2007); siendo los elementos climáticos dominantes, la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y los fenómenos climáticos locales (Herrera, 1986). Igualmente, el SNLMT está influenciado por la variabilidad climática de tipo inter-anual asociada al ciclo El Niño Oscilación del Sur (ENOS) y el evento El Niño (EN) (Alongi, 2007).

En términos generales, los cambios estacionales contribuyen a los cambios ocurridos en la escorrentía de los ríos debido a las precipitaciones (Kjerfve, 1990). La estacionalidad climática de esta zona está sujeta y dominada por los movimientos latitudinales de la ZCIT. A inicios de mayo la ZCIT migra hacia el norte ubicándose cerca de los 6° N, generando lluvias entre los 14° N y los 2° S y periodos de estiaje hacia la parte sur del Ecuador entre los meses de mayo y noviembre (invierno América del Sur) (Jiménez, 1999). En diciembre la migración de la ZCIT hacia el sur provoca un efecto opuesto a lo antes señalado.

II.2.3.1. Evento El Niño Oscilación Sur

Los EN a menudo comienzan en la mitad del año con una duración estimada de hasta 18 meses generando el calentamiento a gran escala de las aguas superficiales en la zona ecuatorial del Océano Pacífico Central-Oriental y cambios en la circulación atmosférica tropical como son: vientos, presión y precipitaciones (Figura 6). La variabilidad en las lluvias asociadas al Evento el Niño Oscilación Sur (ENOS), presenta una estrecha relación con las anomalías de la TSM en la zona Niño 1+2 (Pacífico Ecuatorial Oriental) (Lagos et al., 2008), observándose de esta forma que en el periodo de diciembre a mayo, la parte norte de la vertiente

del Perú de las cuencas del Pacífico muestra un aumento de las lluvias durante un evento El Niño Fuerte (ENF) (Lavado & Espinoza, 2014) (Figura 7 d).

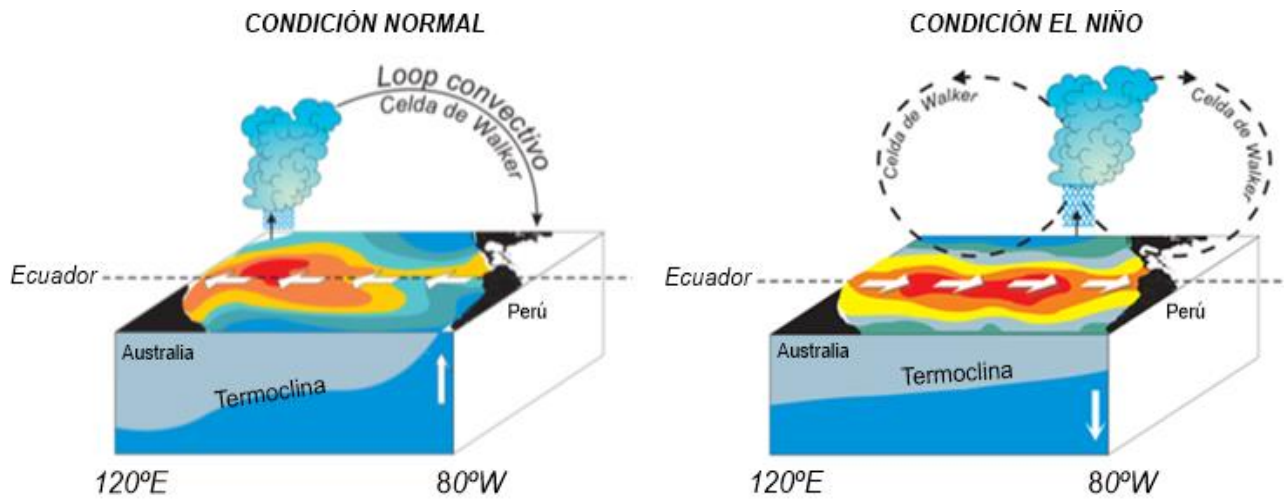


Figura 6. Patrón climático del Evento El Niño (según NOAA/PMEL/TAO).

Tapley & Waylen (1990) indican que durante los años EN, el norte de la costa del Pacífico Oriental percibe excesos significativos de lluvias anuales con valores superiores al 88% respecto a años no EN. Pero estos cambios observados en los patrones de lluvias son diferentes de un evento a otro (Rome-Gaspaldy & Ronchail, 1998).

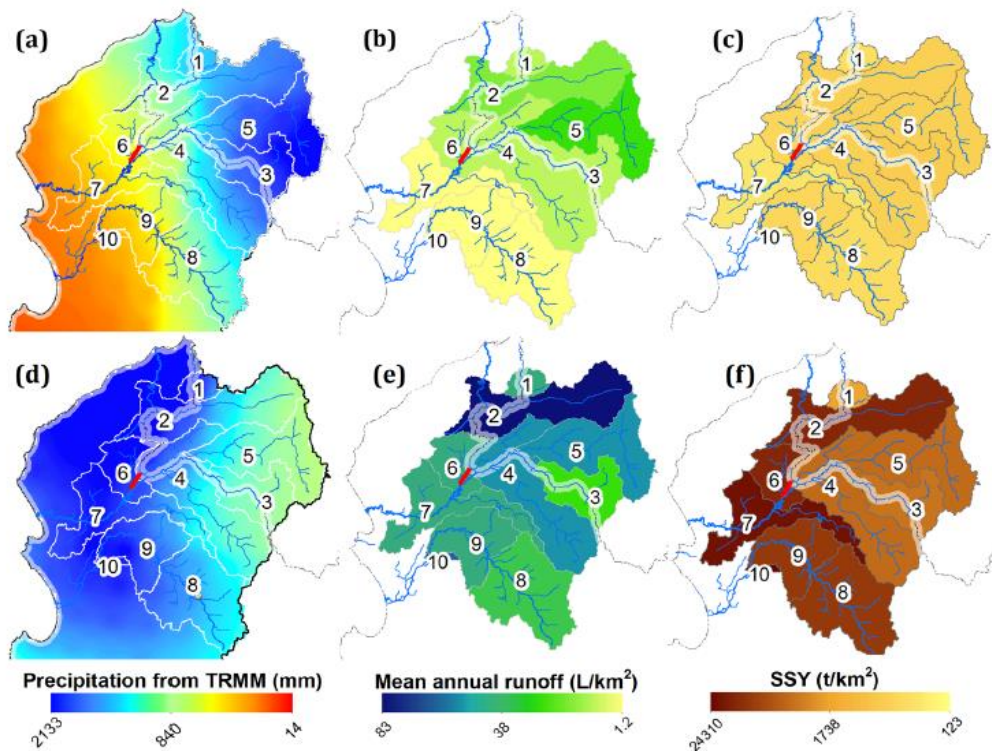


Figura 7. Plano de cuencas hidrográficas en la región noroeste de 3.4 a 5.7 ° S. (a-c) muestra la media anual de precipitación, la escorrentía media anual y los aportes anuales de sedimentos en suspensión respectivamente, excluyendo el periodo de enero a abril de 1998). (d-f) Muestra la precipitación acumulada observada y estimada, la escorrentía y los aportes de sedimentos suspendidos durante el evento el EN 1997–1998 (enero a abril de 1998). El número 1 indica la cuenca del río Zarumilla. (Morera et al., 2017).

Durante EN, el movimiento de grandes volúmenes de sedimentos es frecuente y se presenta mediante un proceso de erosión rápido y dramático. En el norte del Perú los caudales se incrementan fuertemente. La resuspensión de los granos de sedimento fino del fondo del río con el aumento del caudal son la causa del mayor incremento de los sólidos suspendidos (IGP, 2014) (Figuras 7 y 8).

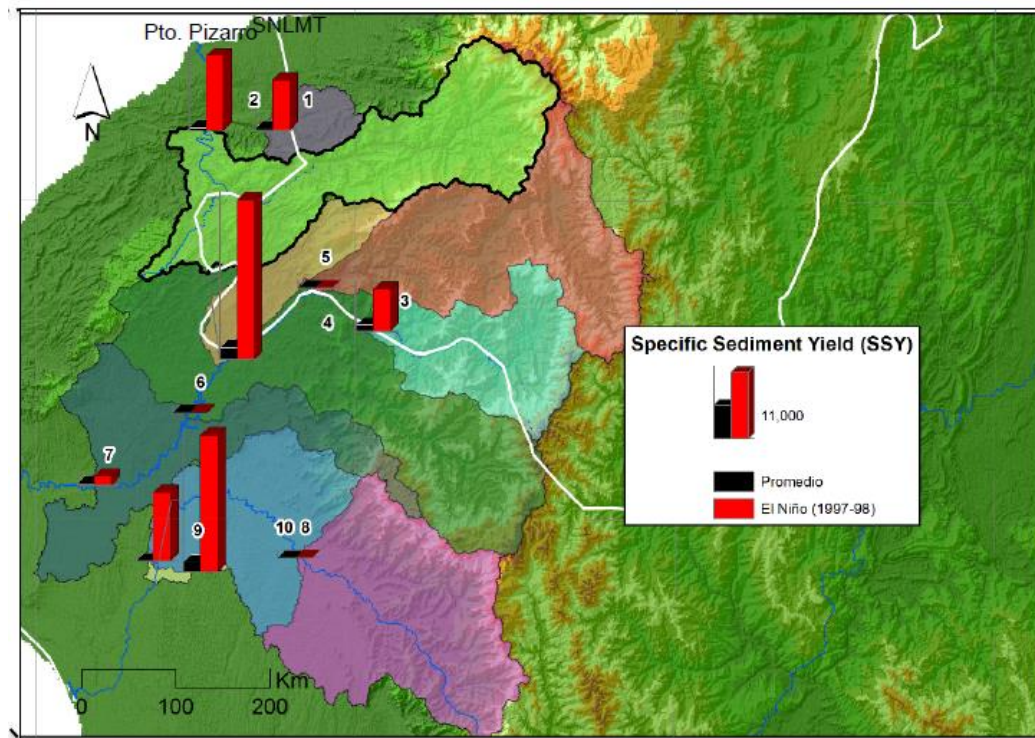


Figura 8. Flujos fluviales específicos de sedimentos en condiciones normales (negro) y durante El Niño 1997-1998 (rojo). Las cuencas 1 y 2 corresponden a Zarumilla (Palmales) y Tumbes (El Tigre), respectivamente (Morera et al., en desarrollo) (según de IGP, 2015).

II.2.3.2. Clima del Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes y de la cuenca del río Zarumilla

El sistema estuarino del SNLMT se desarrolla bajo un clima semiárido, con influencia oceánica (INRENA, 2011) y con el abastecimiento de agua dulce de la cuenca del río Zarumilla (880 km²) (Quincho, 2015). Si bien se sabe, el clima del río Zarumilla varía espacialmente desde un clima desértico (cuenca baja) en la zona costera al semiárido en las zonas montañosas (cuenca alta). La cuenca del río Zarumilla también se ve afectada por cambios climáticos temporales anuales (Pérez, 2014) con periodos húmedos (diciembre-marzo) (IGP, 2015) y periodos secos (abril-noviembre) (INRENA, 2011; ANA, 2010) (Figura 9) relacionados con el desplazamiento de la ZCIT y además por episodios

anómalos a escala interanual, tipo El Niño (Pérez et al., 2017) y La Niña (Pérez et al., 2014).

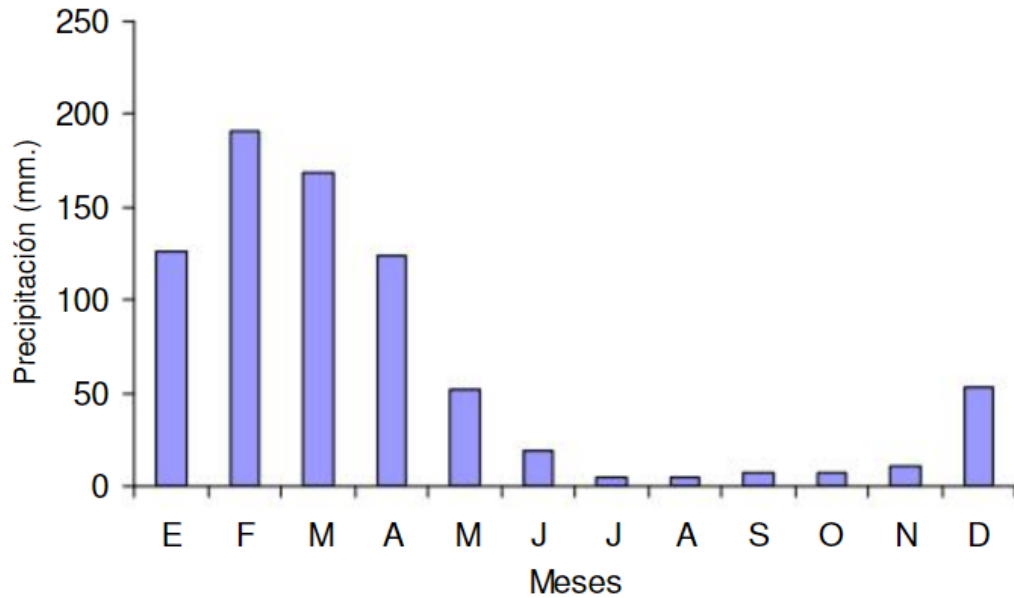


Figura 9. Régimen pluviométrico de la cuenca del río Zarumilla (según de INAMHI, 2005).

En el río Zarumilla hasta la estación Palmales presenta una precipitación media de 1001,0 mm concentrada entre los meses de enero a marzo (Figura 9) y la evapotranspiración potencial es 1325 mm (Arévalo & Acuña, 2000), generando caudales promedio de $4,48 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Quincho, 2015), con una temperatura media entre los 22 y 27 °C (INRENA, 2011; IGP, 2015). Sin embargo, las variaciones interanuales de las precipitaciones y los caudales asociadas al fenómeno El Niño pueden ser bastante mayores a las típicas estacionales (Figuras 7a, 7b, 7d y 7e), ocurriendo precipitaciones extremadamente intensas, como las registradas en los periodos 1925-1926, 1982-1983 y 1997-1998 (Figura y 10a), alcanzando los 2700 mm. Asociadas a temperaturas muy altas en la costa durante la temporada húmeda que tropicaliza el clima (Figura 10) (INRENA, 2011, IGP, 2015).

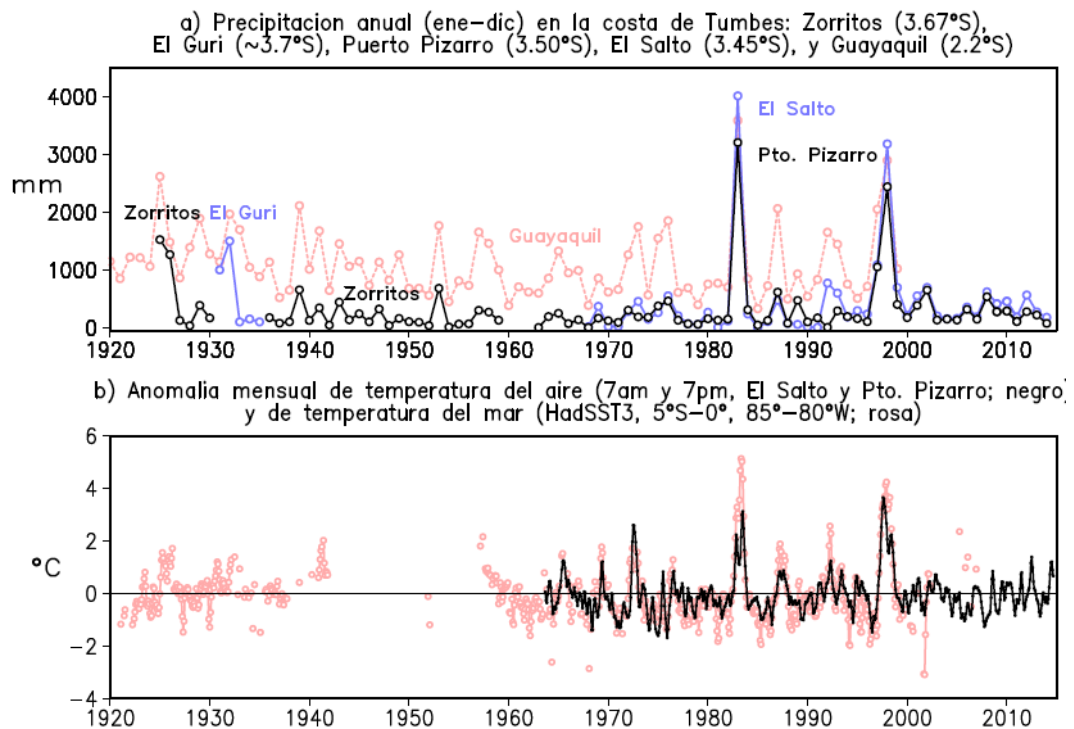


Figura 10. a) Precipitación anual (mm) en los manglares de Puerto Pizarro y SNLMT (El Salto), complementada con los datos de Zorritos y El Guri. Como referencia se muestran los datos de Guayaquil en Ecuador. b) Anomalia de temperatura del aire en los manglares de Tumbes (negro), así como de la temperatura superficial del mar tomado por barcos (rosa); fuente: HadSST3. (Según IGP, 2015).

II.2.4. Sedimentología en manglares

Los sedimentos están formados por 4 tipos de constituyentes principales que son producto de una alta sucesión generalizada. Estos constituyentes sedimentarios son: partículas siliciclásticas terrígenas, constituyentes biológicos, químicos/bioquímicos y carbonosos (Folk, 1980; Boggs, 2009).

La textura de los sedimentos siliciclásticos, está basada en el tamaño de partícula, teniendo así, arcillas (< 0.004 mm) como las partículas de grano más fino, seguida por el limo (> 0.004 mm y < 0.063 mm), la arena (> 0.063 mm y < 2.00 mm) y grava (> 2.00 y < 256 mm) que son las partículas de mayor tamaño (Folk, 1980; Boggs, 2009; Nichols, 2009; Wang & Andutta, 2013).

Las partículas sedimentarias son removidas de la tierra por erosión y transportadas por el agua y el viento a las cuencas de deposición a altitud más baja y/o redistribuidas por olas y corrientes. Las partículas de menor tamaño (arcillas, limos y arena muy fina), en los ríos son transportadas por suspensión (Maza, 1996), mientras que las arenas más gruesas y las gravas lo hacen por saltación, arrastres o rodando (Quincho, 2015) dependiendo de la energía y velocidad de la corriente de agua. Además, se pueden depositar residuos orgánicos de plantas o animales que se lavan desde tierra o se originan dentro de las cuencas de deposición, junto con detritos derivados de la tierra o precipitados químicos/bioquímicos (Boggs, 2009).

Los procesos sedimentarios (Figura 11) en sistemas de manglares están sujetos a factores como el transporte del sedimento, la velocidad de la corriente (Wang & Andutta, 2013), acción de las olas, presencia de troncos, raíces adventicias, neumatóforos (ejercen una función de filtro) y a la variabilidad climática (Ashya et al., 2015). Relieves abruptos, climas tropicales y lluviosos favorecen la erosión y el consecuente suministro de abundantes sedimentos terrígenos a la zona costera. El abundante aporte de sedimentos por los ríos a partir de la erosión de los suelos (montañas, llanuras, bosques, y tierras de cultivo) provoca alta turbidez en los canales de manglares (material en suspensión) (Wang & Andutta, 2013) y a la vez genera extensos bancos de sedimentos (Jiménez, 1999).

Las lluvias e inundaciones fluviales subsiguientes llevan lodos y arenas aluviales a planicies de marea, formando un sustrato para la colonización de manglares (Bird & Rosengren, 1986); Así mismo, inundaciones repentinas

producto de las precipitaciones, pueden depositar rápidamente cantidades extremas de sedimentos y causar la destrucción de los manglares (Kjerfve et al, 1999).

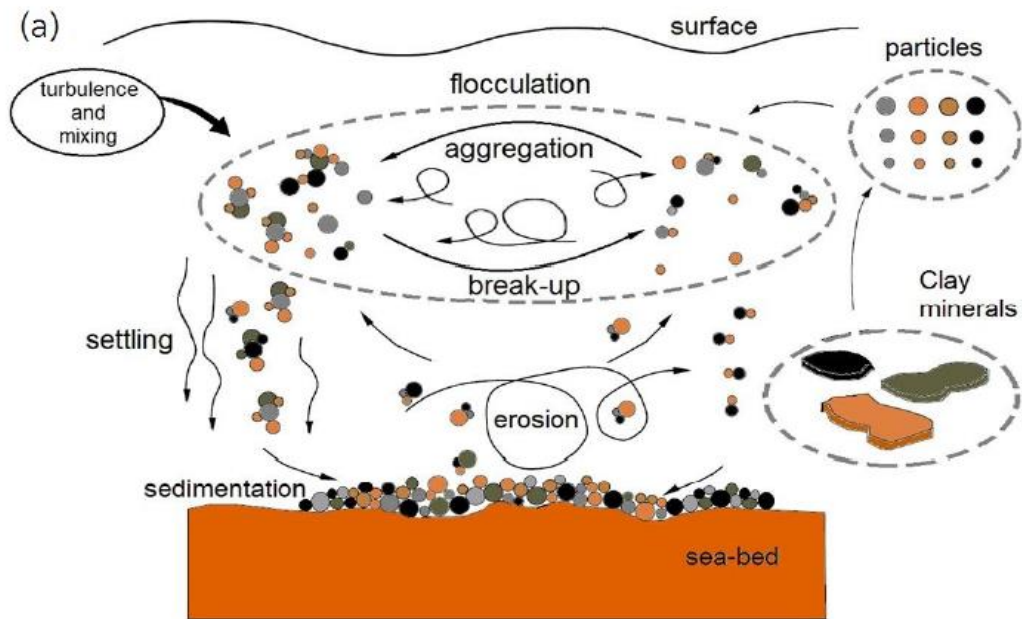


Figura 11. Procesos de erosión, deposición y resuspensión de los sedimentos implicados en la agregación y la ruptura de las partículas (según Wang & Andutta, 2013).

Por otro lado, los sedimentos en los manglares son altamente heterogéneos y la composición varía desde sedimentos fangosos (limo-arcillosos) en el bosque intermareal a arenas gruesas en los compartimentos frente al bosque de manglar (Kristensen et al., 1995, 1998; Alongi et al., 1998). Además, los sedimentos de los manglares se caracterizan por la abundancia de limo y arena con pequeñas cantidades de arcilla (Badarudeen et al., 1996), las cuales en caso del SNLMT son acarreadas por el río Zarumilla (INRENA, 2011).

En particular la composición granulométrica de los sedimentos de los canales de los manglares de Tumbes presenta ligeras variaciones estacionales y espaciales que obedecen a la dinámica hídrica estacional y mareal dentro del

estuario. Siendo así, que en contraste a los lugares con mayores porcentajes de limo-arcilla, las zonas con mayor porcentaje de arenas se ubican en los canales principales y algunos canales del curso medio e inferior del estuario (Pérez, 2014), en donde zonas sometidas a un constante flujo y reflujos de agua son erosionadas constantemente (Derrau, 1978). Mientras que temporalmente, la temporada húmeda presenta un ligero aumento del contenido de grava y menores porcentajes de las fracciones de limo-arcilla y arenas (Pérez, 2014).

II.2.4.1. Materia orgánica

Los manglares son usuarios eficientes de nutrientes y esta propiedad coincide con su función como sumideros de carbono y minerales (Lugo, 1999). En estos sistemas, una densa vegetación proporciona una fuente directa de materia orgánica en el sedimento, por ejemplo, a través de la exudación de la raíz y muerte de los organismos. Los sedimentos de manglares son ricos orgánicamente debido a la gran producción de materia orgánica y a su composición refractaria, caracterizándose en general por una baja tasa neta de mineralización (Kristensen et al., 1992, 1995), con un rápido entierro y diagénesis temprana dependiendo en gran medida del tipo de tamaño de grano del sedimento (Ashya, 2015; Sanders, et al., 2012).

Bajos niveles de nitrógeno particulado y disuelto son comunes en estos sistemas. En particular, la concentración de nitrato en los sedimentos tropicales es baja, y por lo tanto se considera que la desnitrificación es de poca importancia para la descomposición de la materia orgánica (Kristensen et al., 1998). Siendo preponderante la sulfato reducción que contribuye significativamente en la mineralización del carbono orgánico y la disponibilidad de nutrientes, originando

condiciones reductoras. Prueba de ello son las altas tasas de la reducción de este compuesto, reportadas por Kristensen, 1997; Alongi et al, 1998 y Holmer et al., 1999 en diferentes ambientes de manglar.

Según Pérez (2014) la materia orgánica total en los sedimentos de los canales del SNLMT tiende a acumularse en un mayor grado en el canal Zarumilla (cabecera del estuario) y canales semi-cerrados del curso medio e inferior del estuario, tanto en periodos secos como húmedos. Siendo mayor en la época seca que durante la época húmeda. Preservándose en mayor grado en sedimentos de grano fino, lo que provoca condiciones reductoras.

II.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El ecosistema de manglares se ve afectado directamente por la variabilidad climática, en esencia por el aumento en las precipitaciones durante un EN, las cuales tienen repercusiones en la variación sedimentológica. Estos cambios en la sedimentología y en los parámetros fisicoquímicos de aguas intersticiales están relacionados directamente con la biota en general, afectando la biodiversidad, abundancia y distribución de los organismos. Con la información de este trabajo se obtendrá una caracterización geoquímica y sedimentológica de los sedimentos de los canales de los manglares de Tumbes durante y después del EN 2015–2016. La información adquirida nos ayudará a desarrollar planes adecuados de prevención y mitigación de impactos provocados por este fenómeno, por ejemplo mediante la construcción de sistemas de drenaje como diques, canales artificiales y/o compuertas con el fin de regular o contrarrestar el efecto del aumento de los caudales y la posible erosión, transporte y deposición abrupta de sedimentos que pueden causar la colmatación de los cauces naturales;

así como también la conservación de los recursos bentónicos y de los diferentes tipos de servicios ecosistémicos de este sistema que es muy vulnerable. Además, se podrá desarrollar escenarios hipotéticos sobre el impacto que puede causar el cambio climático sobre variabilidad geoquímica, sedimentaria y por ende en las comunidades bentónicas.

II.4. OBJETIVOS

II.4.1. Objetivo general.

Estudiar las variaciones en la sedimentología de los canales estuarinos de los Manglares de Tumbes durante el evento El Niño 2015–2016.

II.4.2. Objetivos específicos

1. Determinar la variación de la fisicoquímica del agua superficial en los canales del estuario de los manglares de Tumbes durante El Niño 2015–2016.
2. Determinar la textura de los sedimentos y la variación espacial de los depósitos sedimentarios mediante la estimación de la variación de batimetría en transectos representativos en diferentes canales y estaciones del sistema estuarino.
3. Determinar la variación espacial de la concentración de materia orgánica en el sedimento, mediante los contenidos de carbono orgánico total y nitrógeno total,
4. Determinar el origen de la materia orgánica presente en el sedimento superficial, a través de las relaciones de carbono/nitrógeno y las firmas isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$.

II.5. HIPÓTESIS

El régimen hídrico influenciado por la variación de los caudales en los afluentes continentales es el principal factor que regula la sedimentología en los canales de los manglares de Tumbes, por lo tanto, las características sedimentológicas son alteradas significativamente por la erosión y el transporte de sedimentos durante el evento El Niño 2015-2016.

III. METODOLOGÍA

III.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes (SNLMT) es un área Natural Protegida, creada en marzo de 1988 por D.S. N° 018-88-AG. Se encuentra en el litoral de la costa norte del Perú, en la cuenca baja del río Zarumilla, entre la Base Naval El Salto y la frontera con el Ecuador, bajo la dependencia de la provincia de Zarumilla, departamento de Tumbes (Figura 12). Geográficamente está ubicado entre las coordenadas 3.38° S - 3.46° S y 80.22° W - 80.32° W, comprendiendo un área total de 2,972 ha. (INRENA, 2011; IGP, 2015).

Esta zona geográfica presenta un escenario con características diferentes al resto de la costa peruana. Aquí se suscitan complejas interacciones de componentes atmosféricos, continentales y marinos. Está condicionado por la corriente marítima cálida o corriente de “El Niño” (parte de la contracorriente ecuatorial), el anticiclón del Pacífico Sur, la presencia de la Cordillera de los Andes, y una posición cercana a la línea ecuatorial (INRENA, 2011).

Los Manglares de Tumbes ocupan terrenos llanos en el litoral del norte peruano, formando un denso bosque, cruzados por esteros (canales de agua de baja salinidad), los cuales están influenciados por los cambios en la marea (INRENA, 2011) y en el caudal de sus afluentes continentales.

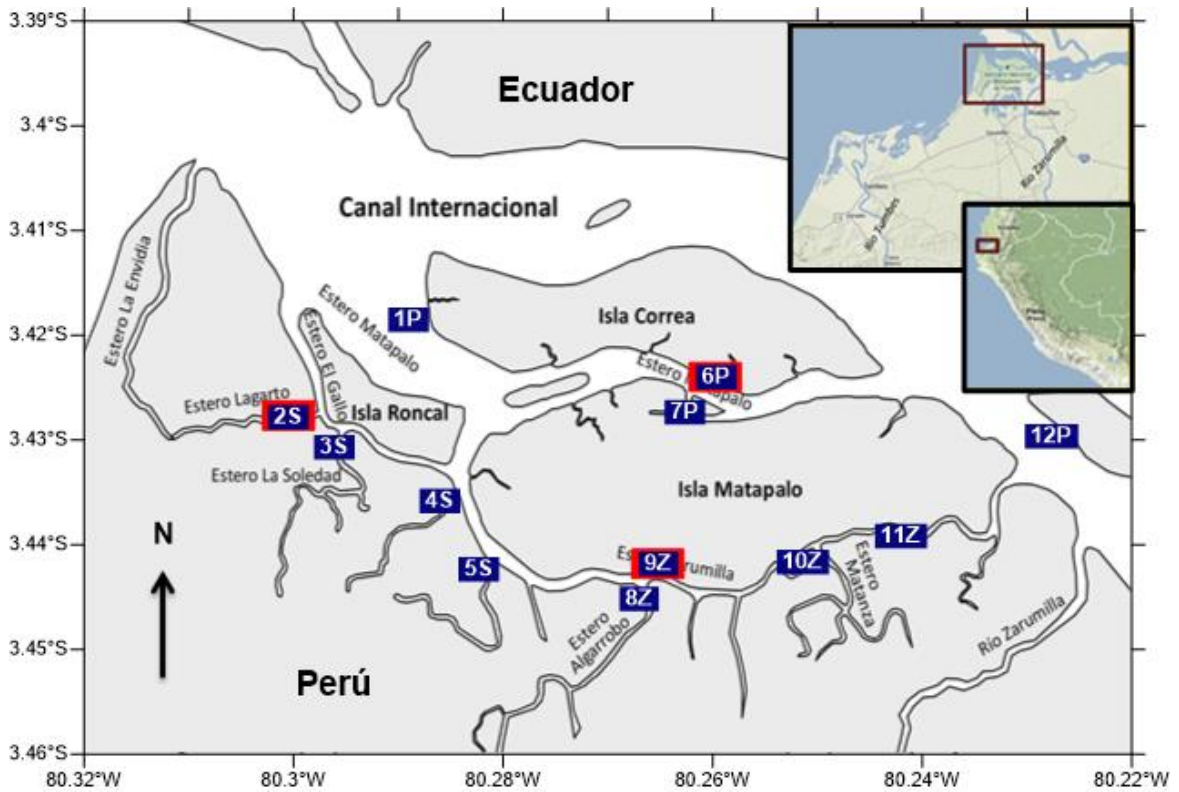


Figura 12. Área de muestreo y ubicación geográfica del SNLMT (modificada de Pérez, 2014).

III.2. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Las variables en estudio junto a sus unidades de medición se detallan de la siguiente manera:

Componente columna de agua

Profundidad de los canales.....	(m)
Oxígeno disuelto (OD).....	(mL.L^{-1})
Temperatura.....	($^{\circ}\text{C}$)
Salinidad.....	..(ups)
pH.....	(sin unidad)
Potencial óxido-reducción (Eh).....	(mV)
Sólidos suspendidos (SS).....	(gL^{-1})

Componente Sedimento

Tamaño de grano.....	(μm)
Concentración de limo-arcillas y arenas.....	(%)
Carbono orgánico total (COT).....	(%)
Nitrógeno total (NT).....	(%)
Relación carbono/nitrógeno (C/N).....	(sin unidad)
Isotopos $\delta^{13}\text{C}$	(‰)
Isotopos $\delta^{15}\text{N}$	(‰)
pH.....	(sin unidad)

III.3. DISEÑO DE ESTUDIO

En primer lugar, se realizó un muestreo piloto en noviembre de 2015 en el SNLMT, en donde se hizo un reconocimiento de la zona de trabajo y se establecieron las estaciones de muestreo.

Para poner a prueba la hipótesis y debido a que el estudio estuvo asociado al evento El Niño 2015 – 2016, se realizaron tres muestreos: noviembre de 2015 (fin del periodo seco); marzo de 2016 (periodo de máximas precipitaciones y aumento de los caudales de los afluentes continentales) y junio de 2016 (periodo de estiaje).

Con el objetivo de conocer, comparar y observar cambios en la batimetría, distribución espacial de la composición sedimentaria y las características geoquímicas en los sedimentos de los canales estuarinos de los manglares de Tumbes, se evaluaron 12 estaciones de muestreo (1P, 2S, 3S, 4S, 5S, 6P, 7P, 8Z, 9Z, 10Z, 11Z, 12P) (Figura 12), cuyo orden numérico ascendente estuvo en función a la distancia del océano (números más bajos, más cercanos al

céano) y las designaciones de las letras “P”, “S” y “Z” hacen referencia a los tipos de ambientes sedimentarios donde se encuentran las estaciones de muestreo. Siendo “P” canal principal; “Z”, canal Zarumilla (canal con dimensiones intermedias) y “S”, canales secundarios.

Cabe señalar que en las estaciones 2S, 6P y 9Z (representadas con color rojo en el mapa de ubicación) (Figura 12) se realizó una caracterización batimétrica, así como también la generación de transectos con 3, 6 y 3 puntos de muestreo para las estaciones 2S (L-1, L-2, L-3); 6P (M-1, M-2, M-3, M-4, M-5, M-6) y 9Z (Z-1, Z-2, Z-3) respectivamente.

III.4. PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS DE MUESTREO

III.4.1. Componente agua

III.4.1.1. Batimetría

Con una ecosonda a bordo de una embarcación se realizó el recorrido de manera transversal a los canales (3 recorridos por canal) Lagarto (estación 2S), Zarumilla (estación 9Z) y Matapalo (estación 6P) tomando las medidas de profundidad, durante los muestreos de noviembre 2015, marzo y junio de 2016. Las medidas batimétricas se realizaron con el objetivo de conocer la variación provocada por la erosión o deposición de material sedimentario en el fondo de los canales durante el periodo de estudio.

III.4.1.2. Parámetros fisicoquímicos

Con el fin de determinar los cambios físico-químicos ocurridos en la columna de agua por el aumento del aporte fluvial durante la época húmeda, se

tomó lectura *in situ* de la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH, potencial de óxido-reducción, a través de un equipo multiparámetro Hanna (Instruments HI9828). Las mediciones se tomaron de la capa superficial de la columna de agua en todas las estaciones antes descritas. El equipo de medición fue calibrado antes de cada muestreo realizado.

Para medir la concentración de sólidos suspendidos, se colectó de manera manual 1 muestra del agua superficial por cada estación de muestreo, haciendo uso de frascos de vidrio de 500 ml.

III.4.2. Componente sedimento

Después de probar de diferentes métodos durante el muestreo piloto escogimos utilizar un saca testigo manual. La utilización de una draga de tipo Eckman nos permite extraer un mayor volumen de sedimento, pero nos da un margen de error más amplio; ocurre una cierta homogenización de las muestras, las capas superficiales se pueden mezclar con las de mayor profundidad modificando la granulometría y la lectura del pH del sedimento, puesto que la muestra estaría expuesta al oxígeno ambiental. Además, durante las pruebas en el piloto, la draga fue muy difícil de manejar cuando aumentaba la corriente y la profundidad. Las trampas de sedimentos son también otro método para la obtención de muestras de sedimentos en fase de deposición. Estas nos permiten obtener la cantidad de sedimento acumulado durante un determinado periodo en específico, por ejemplo, desde la instalación (en el inicio de los muestreos y del estudio), hasta su extracción en el siguiente periodo de muestreo. Sin embargo, el área de estudio no permite este tipo de procedimiento; muchos de los canales son muy someros y corrientosos. Además, los pescadores de la zona pueden remover

las trampas y hasta podrían desinstalarlas a causa de sus actividades de pesca diaria.

Entonces para la obtención de las muestras necesarias para la determinación de las características sedimentológicas y pH de los sedimentos superficiales se usó un equipo Hand-Core Sampler de Wildco Instruments, el cual fue manipulado desde la borda de una embarcación proporcionado por el SERNAMP. El sacatestigo manual está equipado con un tubo de material acrílico de 50 cm de longitud, diámetro interno de 5 cm, que permitió la extracción del material sedimentario a modo de testigo, de los cuales se colectaron los 2 cm superiores.

Las muestras de sedimento superficial de todas las estaciones y transectos fueron colectadas en bolsas ziploc y transportados al laboratorio en un cooler bajo refrigeración (para evitar la oxidación del material orgánico), manteniéndolas así hasta su posterior análisis de granulometría, carbono orgánico total (COT), nitrógeno total (NT), $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$.

A todas las muestras extraídas de sedimento se les tomo lectura *in situ* de pH a través de un equipo pH-metro Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH (WTW). Las medidas de pH se realizaron manteniendo el tubo sacatestigo con el sedimento en vertical y fijo sobre un soporte-base equipado con un extruidor de acrílico. Un orificio en la parte superior (a 2 cm del extremo) del tubo contenedor, permitió la introducción del sensor del equipo pH-metro para realizar las lecturas requeridas. Este procedimiento evitó la oxidación de las muestras por exposición al oxígeno ambiental (Figura 13).

Es importante mencionar que el equipo pH-metro, fue calibrado antes de cada muestreo con buffers de condición ácida (4) y neutra (7).

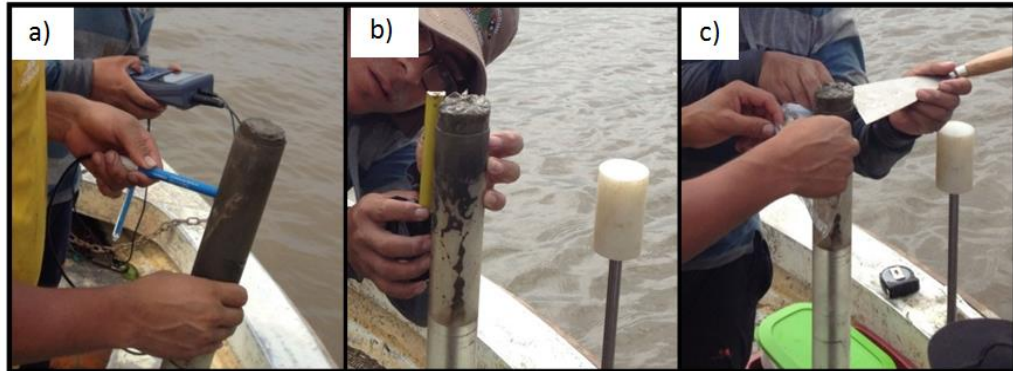


Figura 13. (a) Lectura de pH in situ y (b y c) procedimiento de colección de las muestras de sedimento.

III.4.2.1. Dinámica de los sedimentos

Para determinar la variación en la sedimentación (deposición – erosión) en la parte intermareal de los canales estuarinos, se plantaron de forma vertical varillas de fierro (aproximadamente 2.5 m) en la zona intermareal (para una mejor visualización y medición) de los canales Lagarto, Matapalo y Zarumilla a la altura de estaciones 2S, 6P y 8Z-9Z. Una vez plantadas estas varillas (noviembre de 2015) se midieron con una cinta métrica las distancias existentes desde el nivel superior del sedimento hasta el extremo superior de la varilla. Las mediciones se realizaron en el mes de noviembre de 2015, marzo de 2016 y junio de 2016. Luego, mediante la diferencia entre las distancias medidas en cada uno de los muestreos se determinó la deposición o erosión del sedimento en la parte intermareal de los canales, durante el tiempo de estudio.

En la estación 2S, se colocó una varilla a cada orilla del canal Lagarto, una en el margen cóncavo (norte) y otra en la parte convexa de dicho canal (sur).

En la estación 6P se plantaron 2 varillas en cada margen del canal Matapalo, a una distancia aproximada de 4 metros entre ellas, 2 en la zona intermareal de la isla Correa (norte) y 2 en la parte intermareal de la isla Matapalo (sur). En tanto, en la zona intermareal de la intersección de las estaciones 8Z–9Z pertenecientes a los canales Algarrobo y Zarumilla respectivamente, se instaló una sola varilla.

III.5. ANÁLISIS DE MUESTRAS EN LABORATORIO

III.5.1. Granulometría

El análisis granulométrico fue llevado a cabo en el Laboratorio de Sedimentología del Departamento de Geoquímica Ambiental de Universidad Federal Fluminense, Brasil.

Se utilizó un equipo CILAS 1064, el cual tiene un Contador de partículas laser, (Sanders et al., 2012). Esta técnica se basa en el principio de que las partículas más pequeñas dispersan un haz paralelo de luz monocromático a intensidades particulares y a mayores ángulos que las partículas más gruesas (Malvern Instruments Ltd, 2004). El software del contador de partículas calcula la distribución de tamaño de granos, según el patrón de dispersión de la luz, como un porcentaje en volumen de los rangos de tamaños, asumiendo que las partículas de sedimento tienen una geometría esférica (Cheethman et al., 2008).

El CILAS 1064 nos permitió el análisis granulométrico de las partículas de sedimento en un rango de 0.003 μm hasta 500 μm . Para este fin, fue necesario eliminar la materia orgánica y los carbonatos presentes, por lo que se ejecutó un pretratamiento a las muestras, el cual se detalla de la siguiente manera:

1. Submuestreo de cuarteo a cada una de las muestras colectadas.

2. Secado de submuestras a 50 °C por 72 horas.
3. Ataque con peróxido de hidrógeno al 30 % a una temperatura de 60 °C con el fin de eliminar la materia orgánica.
4. Ataque con ácido clorhídrico (HCl) al 46 % a temperatura de ambiente, para la eliminación de carbonatos.
5. Adición de hexametáfosfato de sodio al 4 %, con el objetivo de disgregar las partículas cohesionadas.

La granulometría se realizó con el objetivo de determinar la composición textural de los sedimentos y su variación espacial y temporal en los ambientes sedimentarios durante y después del evento El Niño 2015 – 2016.

III.5.2. Carbono orgánico total, nitrógeno total, relación C/N, isotopos $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$

Los análisis elementales de materia orgánica se llevaron a cabo en la plataforma ALYSES del centro IRD France Nord. Las muestras se analizaron después de la descarbonatación total con HCl al 10 % con un analizador elemental Thermofisher Flash HT acoplado a un espectrómetro de masas Delta V Thermofisher (EA-IRMS). La medición de isótopos sólo se puede realizar si la cantidad de carbono es más de 0,1 % y la cantidad de nitrógeno es mayor que 0,36 %. La precisión (error absoluto) de las mediciones elementales es del 0,05 % para el carbono y del 0,01 % para el nitrógeno y de las medidas isotópicas de 0,1 % para $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$.

Los porcentajes de COT y NT permiten determinar la concentración de material orgánico presente en los sedimentos. Mientras que la razón isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ permite distinguir entre fuentes marinas y continentales de materia orgánica,

así como identificar tipos de plantas, dado que estas pueden tener diferentes procesos Bioquímicos de incorporación de carbono. Meyers (1994) determinó los valores para plantas C3, obteniendo valores en el orden de -27 ‰; en cuanto que para plantas C4, la razón isotópica es en torno a torno de -14 ‰. Con respecto a algas de agua dulce, estas incorporan el CO₂ disuelto, obteniendo valores de $\delta^{13}\text{C}$ de -27 ‰. Mientras que las algas marinas poseen una señal isotópica distinta de las de agua dulce, con $\delta^{13}\text{C} = -20$ ‰. Por otro lado Lamb et al. (2006), estableció los siguientes valores de $\delta^{13}\text{C}$: para plantas C3 entre -32 ‰ y -21 ‰, plantas C4 ≥ -17 ‰, algas marinas de -24 ‰ a -16 ‰ y algas de agua dulce de -33 ‰ a -25 ‰. Cuando se determina la composición isotópica de un sedimento que acumuló materia orgánica oriunda de diversas fuentes, esta refleja siempre una mixtura de esas mismas fuentes, siendo necesario analizar varios parámetros para una mejor diferenciación (Cesario, 2013).

El cálculo de la razón entre la composición elemental de carbono y nitrógeno (C/N), mejora la identificación de las fuentes con mayor influencia en la formación de la materia orgánica (Cesario, 2013). Meyers (1994), presenta las razones C/N (molar) para diferentes fuentes de materia orgánica, obteniendo valores entre 4 y 10 para algas y, superiores a 20 para plantas terrestres. Este último debido a la presencia de celulosa y consecuentemente a un mayor contenido en carbono. En tanto, Lamb et al. (2006), sugiere que valores de C/N mayores a 12 ya son compatibles con plantas terrestres (Figura 14).

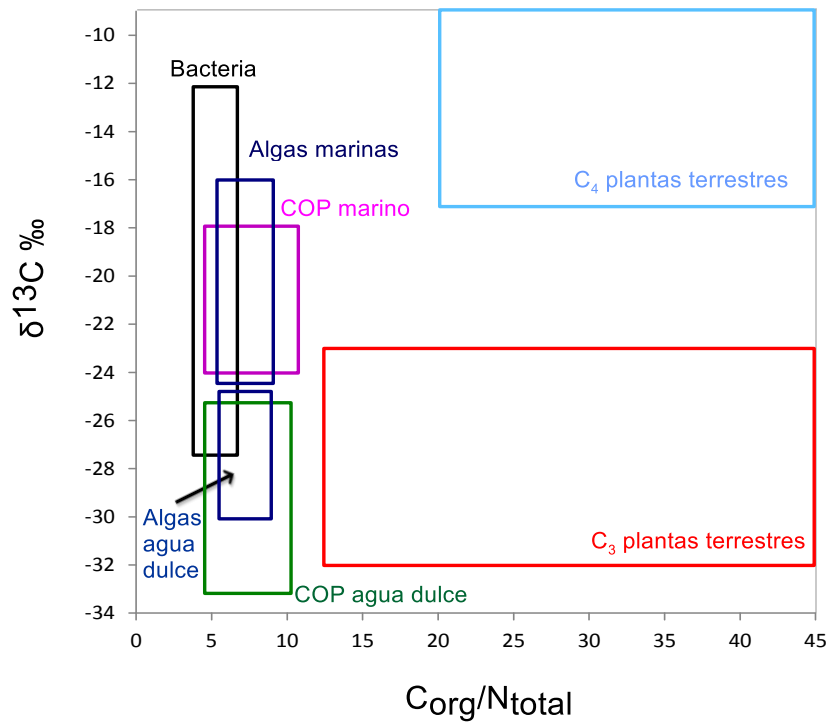


Figura 14. Intervalos típicos de $\delta^{13}\text{C}$ y C/N para diferentes fuentes de materia orgánica en ambientes costeros (adaptada de Lamb et al., 2006).

Las firmas isotópicas de $\delta^{15}\text{N}$, pueden ser integradas con el $\delta^{13}\text{C}$, facilitando la distinción entre plantas terrestres y fitoplancton. Por ejemplo, La semejanza que hacen Lamb et al. (2006) y Castro et al. (2010) compilando los resultados obtenidos por varios autores y representándolos gráficamente los intervalos típicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de diferentes fuentes (Figura 15).

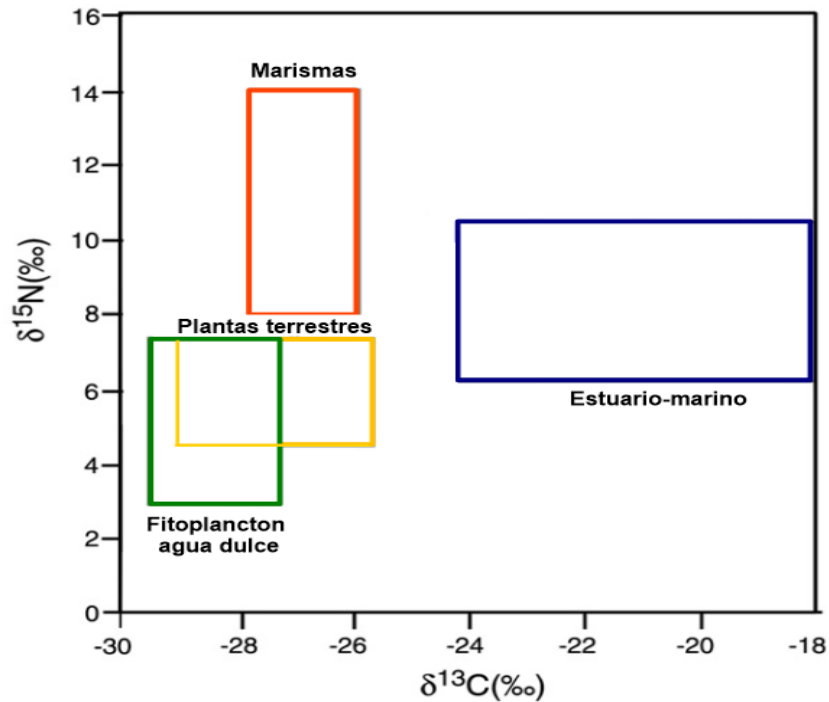


Figura 15. Intervalos típicos de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ para diferentes ambientes (adaptada de Castro et al., 2010).

III.5.3. Sólidos suspendidos

Por cada una de las estaciones de muestreo se tomaron 200 ml de agua como submuestra para la determinación de SS. Las muestras fueron filtradas a través de filtros Whatman de fibra de vidrio, haciendo uso de una bomba de succión. Los filtros fueron previamente “quemados” en un horno a 105 °C durante una hora. Después, se prosiguió a pesar los filtros quemados, obteniendo así el peso seco de cada uno de ellos. Posteriormente los filtros con el material filtrado, se volvieron a secar y se pesar. Por medio de la diferencia de pesos se determinó la concentración de SS a razón de gL^{-1} . Este análisis se realizó en el laboratorio de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

La concentración de SS nos ayudó a determinar la cantidad de sedimento transportado en suspensión hacia el estuario del SNLMT por parte del afluente continental durante el desarrollo del evento El Niño 2015 – 2016.

III.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

El procesamiento de datos y análisis estadísticos se realizaron con el programa estadístico R-Project y Microsoft Excel considerando las características de número de datos, normalidad y homocedasticidad de las variables (Medernach, 2000; Sellanes, 2002).

III.6.1. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico se realizó basándose en el Método de Momentos de Folk & Ward (1957) (μ_m), mediante la utilización del programa computarizado GRADISTAT, Version 8.0 (Blott & Pye, 2001), donde los datos proporcionados por los histogramas, curvas de frecuencia y curva de porcentaje acumulado o curva granulométrica, se utilizaron para calcular los parámetros estadísticos (media aritmética, desviación estándar, asimetría y kurtosis) tal como se define en la Tabla 1.

Tabla 1. Escalas de selección, Asimetría y kurtosis de Folk & Ward (1957).

Selección		Asimetría		Kurtosis	
muy bien seleccionado	<0,35	asimetría muy positiva	+ 0,3 a +1,0	muy platicúrtico	< 0,67
bien seleccionado	0,35 - 0,5	asimetría positiva	+0,1 a +0,3	platicúrtico	0,67 - 0,90
moderadamente bien seleccionado	0,5 - 0,70	simétrica	+0,1 a -0,1	mesocúrtico	0,90 - 1,11
moderadamente seleccionado	0,7 - 1,00	asimetría negativa	-0,1 a -0,3	leptocúrtico	1,11 - 1,50
pobremente seleccionado	1,00 - 2,00	asimetría muy negativa	-0,3 a -1,0	muy leptocúrtico	1,50 - 3,00
muy pobremente seleccionado	2,00 - 4,00			Extremadamente leptocúrtico	> 3,00
extremadamente mal seleccionado	>4,00				

III.6.2. Análisis de varianza

Para evaluar el efecto de las variaciones espaciales (entre ambientes sedimentarios de los canales) y temporales (entre periodos de fuertes precipitaciones - aumento de caudales y periodo de cese de lluvias - disminución de caudales) sobre las distintas variables fisicoquímicas en columna de agua y las variables sedimentarias, se utilizó análisis de varianza (ANOVA) de dos vías ($p < 0.05$), para las cuales se verificó previamente la condición de homocedasticidad (Test de Barlett) de los datos (Zar, 1974). Se realizaron transformaciones de $\log(x+1)$ y raíz cuarta a los datos, y aquellos que no pasaron la prueba de homocedasticidad fueron analizados mediante el test no paramétrico Kruskal Wallis. Posteriormente se realizó el test post hoc Tukey HSD para identificar los grupos significativamente diferentes.

III.6.3. Análisis de correlación

Correlaciones de rango de Spearman ($\alpha \leq 0.1$) se utilizaron para evaluar la relación entre las distintas variables fisicoquímicas y geoquímicas durante el estudio de la variación asociada al evento El Niño 2015 – 2016, puesto que el número de datos de cada matriz fue menor a 30 (Kendall, 1970, Walpole et al., 2012). Las correlaciones fueron hechas por separado para el periodo de aumento de los caudales de los canales por efecto de las precipitaciones (marzo 2016) y el periodo de disminución de los caudales (Junio 2016) a manera de separar el efecto generado por la variabilidad provocada por el evento El Niño 2015–2016.

Todos los análisis estadísticos mencionados, fueron procesados en Software R (Versión 3.0.2), Gradistad (Version 8.0) y Microsoft Excel (2010). Los mapas y figuras se realizaron por medio del Software Surfer (12.0.626).

IV. RESULTADOS

IV.1. ESTUDIO DE LA VARIACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA FISICOQUÍMICA DEL AGUA

La Tabla 2 muestra las variables fisicoquímicas (temperatura, salinidad, OD, pH, Eh y SS) del agua superficial tomadas en las distintas estaciones durante los tres periodos de muestreo; noviembre 2015, marzo y junio 2016. No se registraron datos de OD, ni de SS en noviembre del 2015 por problemas en el equipo de muestreo.

Tabla 2. Condiciones fisicoquímicas del agua del SNLMT en las estaciones muestreadas durante noviembre 2015, marzo y junio 2016. T: temperatura, SAL: salinidad, OD: oxígeno disuelto, Eh: potencial de óxido-reducción, SS: sólidos suspendidos.

Noviembre 2015						
Estación	T (°C)	SAL	OD (mg/L)	pH	Eh (mv)	SS (g/L)
1P	29.37	30.84	-	7.77	33.30	-
2S	28.27	32.46	-	7.56	19.20	-
3S	27.86	31.92	-	7.74	27.70	-
4S	27.81	31.74	-	7.71	32.10	-
5S	27.79	31.72	-	7.87	21.40	-
6P	28.66	31.35	-	7.78	27.50	-
7P	28.83	31.47	-	7.90	27.90	-
8Z	28.89	32.15	-	8.04	25.50	-
9Z	28.88	32.76	-	7.90	29.24	-
10Z	28.20	31.93	-	7.90	18.10	-
11Z	-	-	-	-	-	-
12P	30.76	31.39	-	7.71	34.40	-

Marzo 2016						
Estación	T (°C)	SAL	OD (mg/L)	pH	Eh (mv)	SS (g/L)
1P	29.04	19.25	3.88	7.40	18.10	0.10
2S	29.21	22.50	3.74	7.48	22.25	0.16
3S	28.15	23.43	3.66	7.08	16.30	0.13
4S	28.13	19.77	4.81	7.18	18.50	0.17
5S	27.89	25.56	5.39	7.44	18.30	0.20
6P	29.34	11.65	3.83	7.47	26.85	0.14
7P	29.36	17.00	3.83	7.49	29.10	0.10
8Z	27.45	3.44	5.82	7.28	27.50	0.19
9Z	26.68	0.32	7.54	7.45	27.00	1.14
10Z	27.57	1.56	5.60	7.33	30.70	2.19
11Z	27.53	1.05	6.81	7.27	34.10	0.95
12P	28.72	6.57	5.07	7.35	29.53	0.35

Continuación tabla 2. Condiciones fisicoquímicas del agua del SNLMT en las estaciones muestreadas durante noviembre 2015, marzo y junio 2016. T: temperatura, SAL: salinidad, OD: oxígeno disuelto, Eh: potencial de óxido-reducción, SS: sólidos suspendidos.

Junio 2016						
Estación	T (°C)	SAL	OD (mg/L)	pH	Eh (mv)	SS (g/L)
<i>1P</i>	28.10	29.64	5.49	7.60	11.30	0.02
<i>2S</i>	28.00	32.40	4.55	7.29	16.10	0.02
<i>3S</i>	26.52	31.06	3.64	7.47	13.40	0.02
<i>4S</i>	26.60	31.20	6.26	7.84	11.40	0.03
<i>5S</i>	26.60	31.38	7.01	7.97	10.60	0.01
<i>6P</i>	28.80	28.64	5.17	7.51	13.30	0.02
<i>7P</i>	28.60	28.32	5.11	7.42	12.40	0.03
<i>8Z</i>	29.50	10.11	6.46	7.78	12.60	0.02
<i>9Z</i>	26.80	30.39	6.46	7.50	12.00	0.02
<i>10Z</i>	27.10	29.36	5.58	7.08	12.90	0.03
<i>11Z</i>	27.29	30.14	6.53	7.24	11.80	0.05
<i>12P</i>	28.30	29.56	6.63	7.31	14.20	0.02

IV.1.1. Temperatura del agua superficial

La distribución espacial de la temperatura superficial del agua, en noviembre del 2015 (periodo seco) muestra que los valores más altos se encontraron en los canales de mayor dimensión (valor promedio, 29.4 °C) y estaciones del canal Zarumilla (promedio, 28.7 °C) cercanos a la cabecera del estuario, mientras que los menores valores estuvieron en los canales más pequeños y geográficamente más cerrados (promedio, 27.9 °C) (Figuras 16a y 17N). El rango de temperatura varió entre un mínimo de 27.8 °C (estación 5S) y un máximo de 30.76 °C (estación 12P) (Tabla 2).

Durante el mes de marzo del 2016 (periodo húmedo) la distribución espacial de la temperatura superficial mostró valores más altos en las estaciones de los canales principales (promedio, 29.1 °C) y cercanas a la boca del estuario, mientras que los valores más bajos estuvieron en las estaciones del canal Zarumilla (promedio, 27.3 °C) cercanos a la cabecera de estuario (Figuras 16a y

17M). El rango varió entre un mínimo de 26.68 °C (estación 9Z) y un máximo de 29.4 °C (estación 7P) (Tabla 3).

Mientras que en junio 2016 se mantuvo en un rango de 26.5 °C (estación 3S) como mínimo y 29.5 °C (estación 8Z) como máximo (Tabla 2), presentando los mayores valores en los canales de mayor dimensión (promedio, 28.5 °C) y los valores más bajos en los canales semicerrados, de menor flujo de agua (promedio, 26.9 °C) (Figuras 16a y 17J).

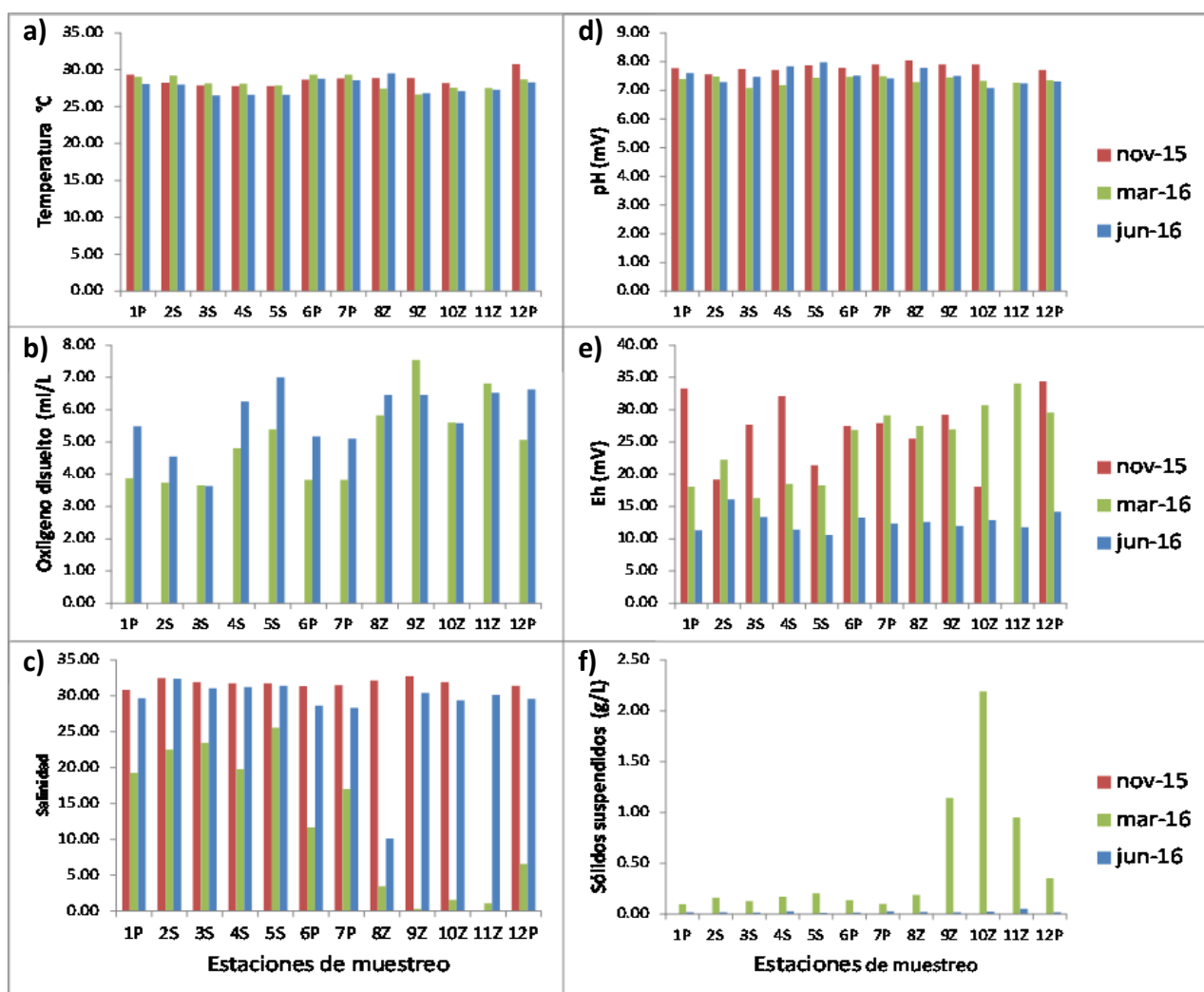


Figura 16. Variación espacio-temporal de las variables fisicoquímicas del agua superficial en el SNLMT. Temperatura, oxígeno disuelto, salinidad, pH, potencial óxido-reducción (Eh) y sólidos suspendidos durante noviembre 2015, marzo y junio 2016. Oxígeno disuelto y sólidos suspendidos no presentan datos de noviembre 2015.

Por otro lado las diferencias en la temperatura superficial del agua no fueron estadísticamente significativas entre el periodo húmedo (promedio, 28.3 °C) y los periodos secos. Sin embargo la temperatura superficial del agua en el mes de noviembre 2015 (promedio, 28.7 °C) fue significativamente mayor al mes de junio 2016 (promedio, 27.7 °C) (Anexo A1).

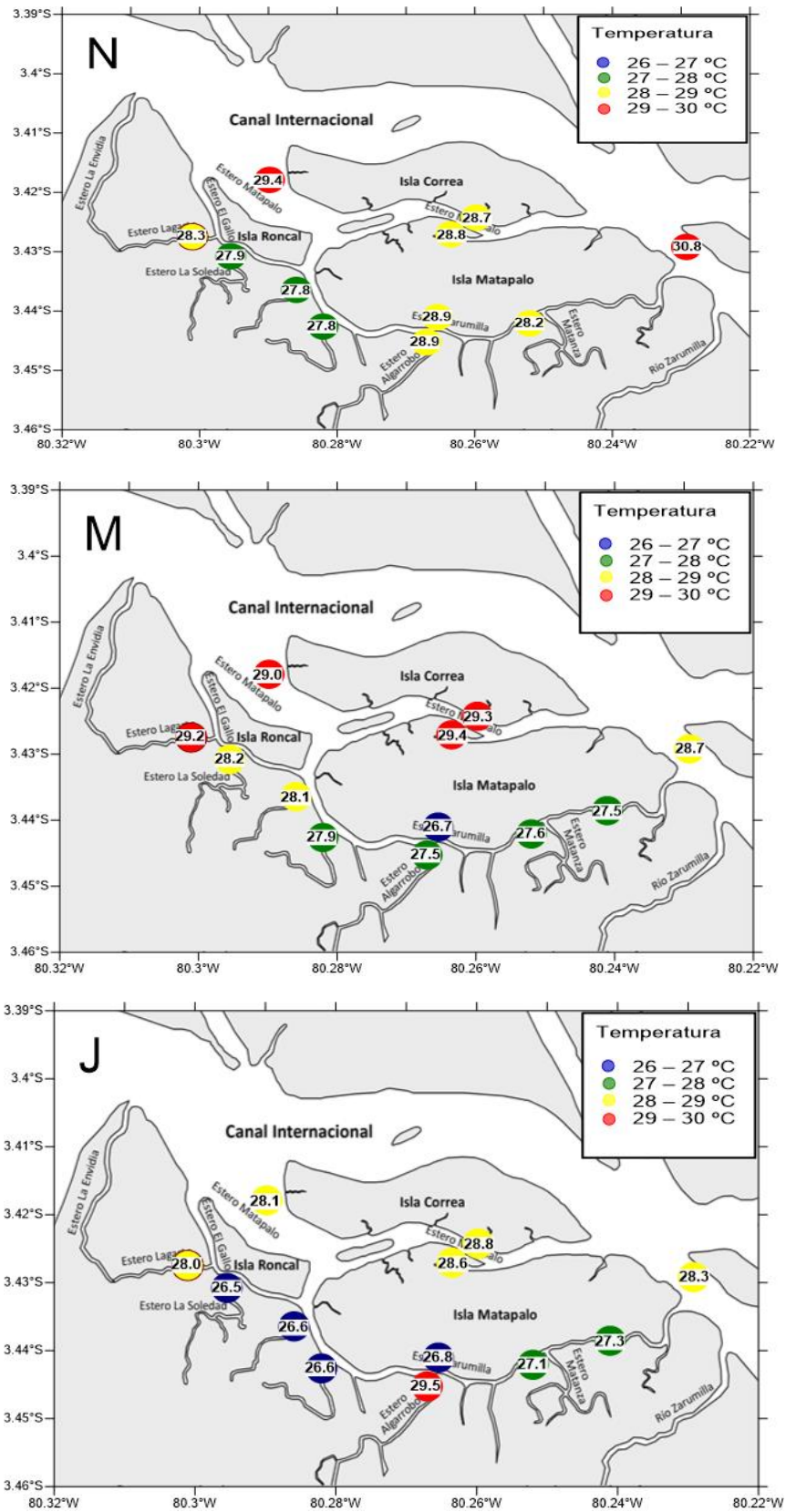


Figura 17. Variación espacial de temperatura del agua superficial en el SNLMT durante noviembre 2015 (N), marzo (M) y junio 2016 (J).

IV.1.2. Oxígeno disuelto del agua superficial

Los valores de OD en el agua superficial en el mes de marzo de 2016, se centraron en un rango de entre 3.66 mL^{-1} (estación 3S) como mínimo y 7.54 mL^{-1} (estación 9Z) como máximo (Tabla 2). Con respecto a la distribución espacial, los menores valores de OD se encontraron en las estaciones de los canales principales y secundarios próximas a la boca del estuario (valores alrededor de 3.8 mL^{-1}). Mientras que los mayores valores se pronunciaron en el canal Zarumilla (promedio, 6.44 mL^{-1}), hacia la cabecera del estuario (Figuras 16b y 18M).

Durante el mes de junio del 2016, los valores de OD en agua superficial variaron entre un mínimo de 3.64 mL^{-1} (estación 3S) y un máximo de 7.01 mL^{-1} (estación 5S) (Tabla 2). Con respecto a la distribución espacial, de la misma manera que en marzo, los valores más altos se mantuvieron en el canal Zarumilla (promedio, 6.25 mL^{-1}), hacia la cabecera del estuario y los valores más se encontraron en estaciones cercanas a la boca del estuario (Figuras 16b y 18J).

La variación temporal de los valores de OD en agua superficial no fue estadísticamente significativa, sin embargo se registraron valores más altos durante junio de 2016 (promedio, 5.74 mL^{-1}) que en marzo 2016 (promedio, 5.00 mL^{-1}) (Anexo A1).

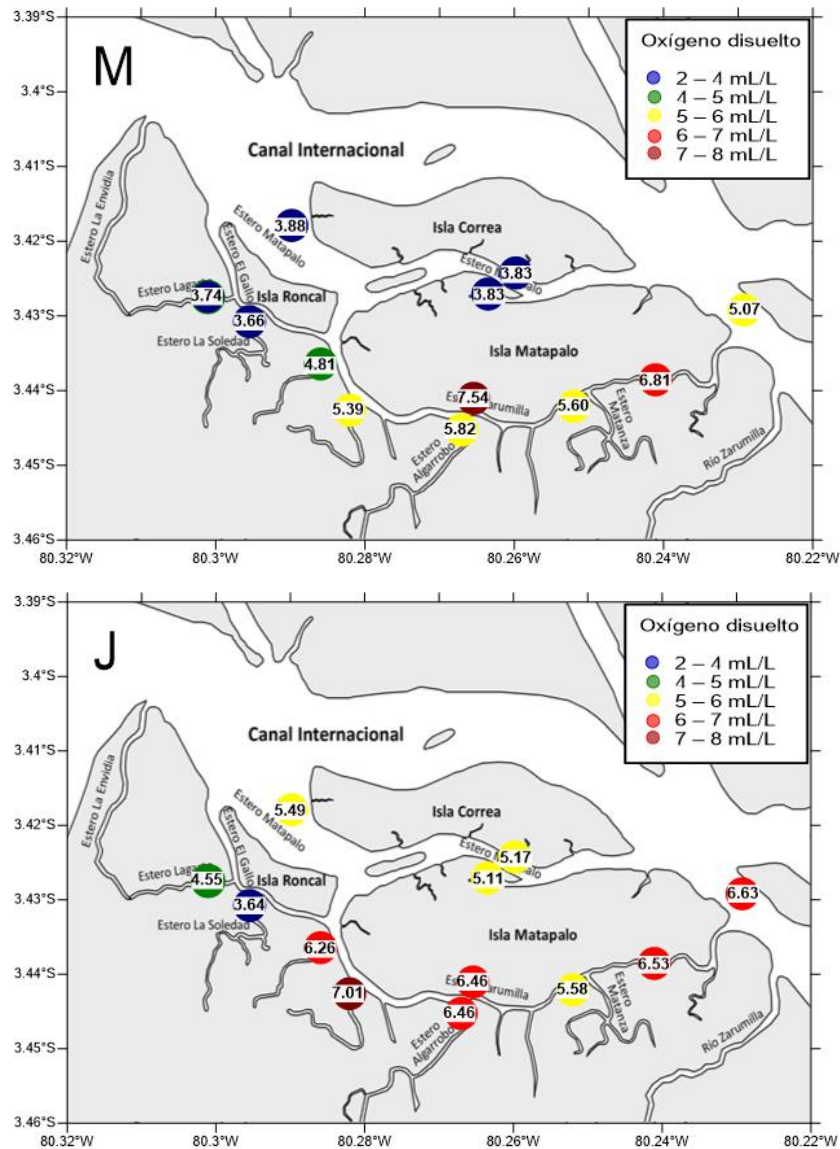


Figura 18. Variación espacial del oxígeno disuelto del agua superficial en el SNLMT durante marzo 2016 (M) y junio 2016 (J).

IV.1.3. Salinidad del agua superficial

Durante noviembre 2015, el rango de salinidad superficial del agua varió entre un mínimo de 30.8 (estación 1P) y un máximo de 32.5 (estación 2S) (Tabla 2). Con respecto a la distribución espacial en este periodo, la salinidad superficial se encontró con valores similares en todas las estaciones, obteniendo un valor promedio de 31.8 (Figuras 16c y 19N).

En marzo 2016, el rango de salinidad superficial del agua varió entre un mínimo de 0.3 (estación 9Z) y un máximo de 25.6 (estación 5S) (Tabla 2). En la distribución espacial correspondiente a este mes, los menores valores se encontraron en el canal Zarumilla (promedio, 01.6), en la cabecera del estuario, mientras que los mayores valores estuvieron en los canales secundarios (promedio, 22.8) (Figuras 16c y 19M).

Para el mes de junio 2016, el rango de salinidad superficial del agua volvió a aumentar, variando entre un mínimo de 10.1 (estación 8Z) y un máximo de 32.4 (estación 2S) (Tabla 2). En este periodo, los menores valores de salinidad superficial se encontraron en los canales de mayor dimensión y estaciones del canal Zarumilla, mientras que los valores más altos, se distribuyeron en los canales geográficamente más cerrados (promedio, 31.5) (Figuras 16c y 19J).

En cuanto a la variación temporal, los niveles de salinidad fueron significativamente mayores durante las temporadas secas (promedios de 31.8 en noviembre y 28.5 en junio) que durante temporada húmeda (promedio, 12.7) (Anexo A1).

IV.1.4. pH del agua superficial

En noviembre del 2015, los valores de pH del agua superficial variaron entre un mínimo de 7.56 (estación 2S) y un máximo de 8.04 (estación 8Z) (Tabla 2). La distribución espacial de esta variable mostró valores más bajos en los canales geomorfológicamente más cerrados (promedio, 7.72), mientras que los valores más altos se encontraron en el canal Zarumilla (promedio, 7.91) (Figuras 16d y 20N).

En marzo del 2016, los valores de pH variaron entre un mínimo de 7.08 (estación 3S) y un máximo de 7.49 (estación 7P) (Tabla 2). La distribución espacial de pH en este mes evidenció valores más bajos en estaciones cercanas a la cabecera del estuario y canales con menor flujo de agua. En tanto, los valores más altos se mantuvieron en los canales principales (promedio, 7.43) (Figuras 16d y 20M).

Para el mes de junio 2016 los valores de pH en agua superficial variaron entre un mínimo de 7.08 (estación 10Z) y un máximo de 7.97 (estación 5S) (Tabla 2). En cuanto a la distribución espacial, los valores más bajos se encontraron en estaciones próximas a la cabecera del estuario (valores alrededor de 7.20) y los valores más altos estuvieron en los canales semicerrados (promedio, 7.64) (Figuras 16d y 20J).

La variación temporal del pH en el agua superficial fue estadísticamente significativa, registrándose valores más altos durante el mes de noviembre 2015 (promedio, 7.81) con respecto a los meses de marzo 2016 (promedio, 7.35) y junio 2016 (promedio, 7.50), mas entre estos 2 últimos meses la variación del pH del agua superficial no fue significativa (Anexo A1).

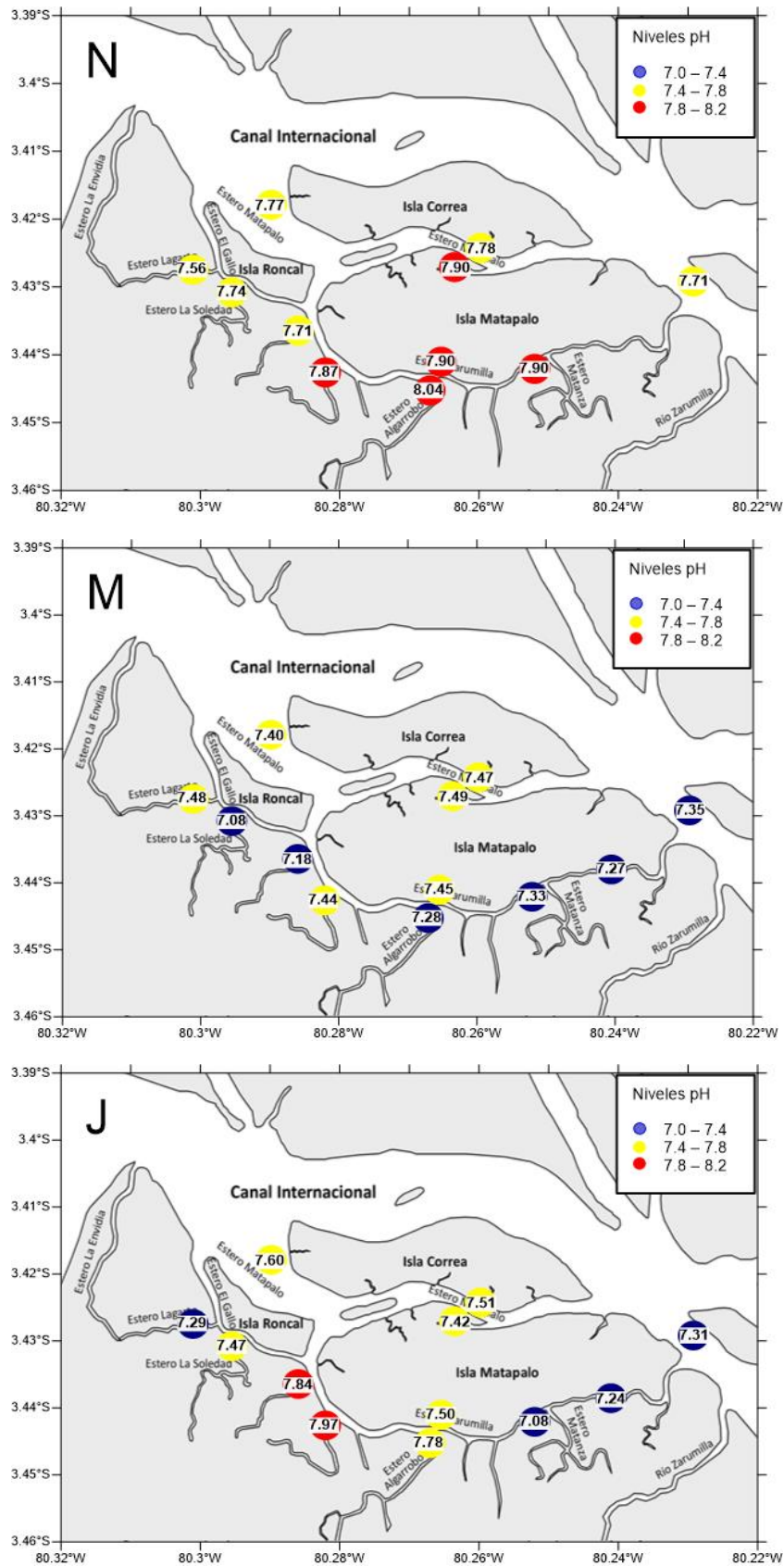


Figura 20. Variación espacial del pH del agua superficial en el SNLMT durante noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M) y junio 2016 (J).

IV.1.5. Potencial de óxido-reducción del agua superficial

En el mes de noviembre del 2015, los valores de Eh del agua superficial variaron entre un mínimo de 18.1 mV (estacione 10Z) y un máximo de 34.4 mV (estación 12P) (Tabla 2). En referencia a la distribución espacial, los valores más altos se encontraron en los canales de mayores dimensiones (promedio, 30.7 mV) (Figuras 16e y 21N).

Durante marzo del 2016, los valores de Eh variaron entre un mínimo de 16.3 mV (estación 3S) y un máximo de 34.2 mV (estación 11Z) (Tabla 2). Con respecto a la distribución espacial, los valores más bajos se encontraron en los canales geográficamente más cerrados (promedio, 18.9 mV) y los valores más altos estuvieron en las estaciones del canal Zarumilla (promedio, 29.9 mV) y hacia la cabecera del estuario, (Figuras 16e y 21M).

Para el mes de junio 2016 (periodo seco) los valores de Eh en agua superficial variaron entre un mínimo de 10.6 mV (estación 5S) y un máximo de 16.1 mV (estación 2S) (Tabla 2); en cuanto a la distribución espacial, el Eh se mantuvo prácticamente bajo y con una ligera variación entre todos los canales (valores alrededor de 13.0 mV) (Figuras 16e y 21J).

La variación temporal del Eh en el agua superficial no fue estadísticamente significativa entre los meses de noviembre 2015 (promedio, 26.7 mV) y marzo 2016 (promedio, 24.9 mV), en cambio el mes de junio 2016 (promedio, 12.9 mV) presento valores significativamente menores a los 2 meses antes mencionados (Anexo A1).

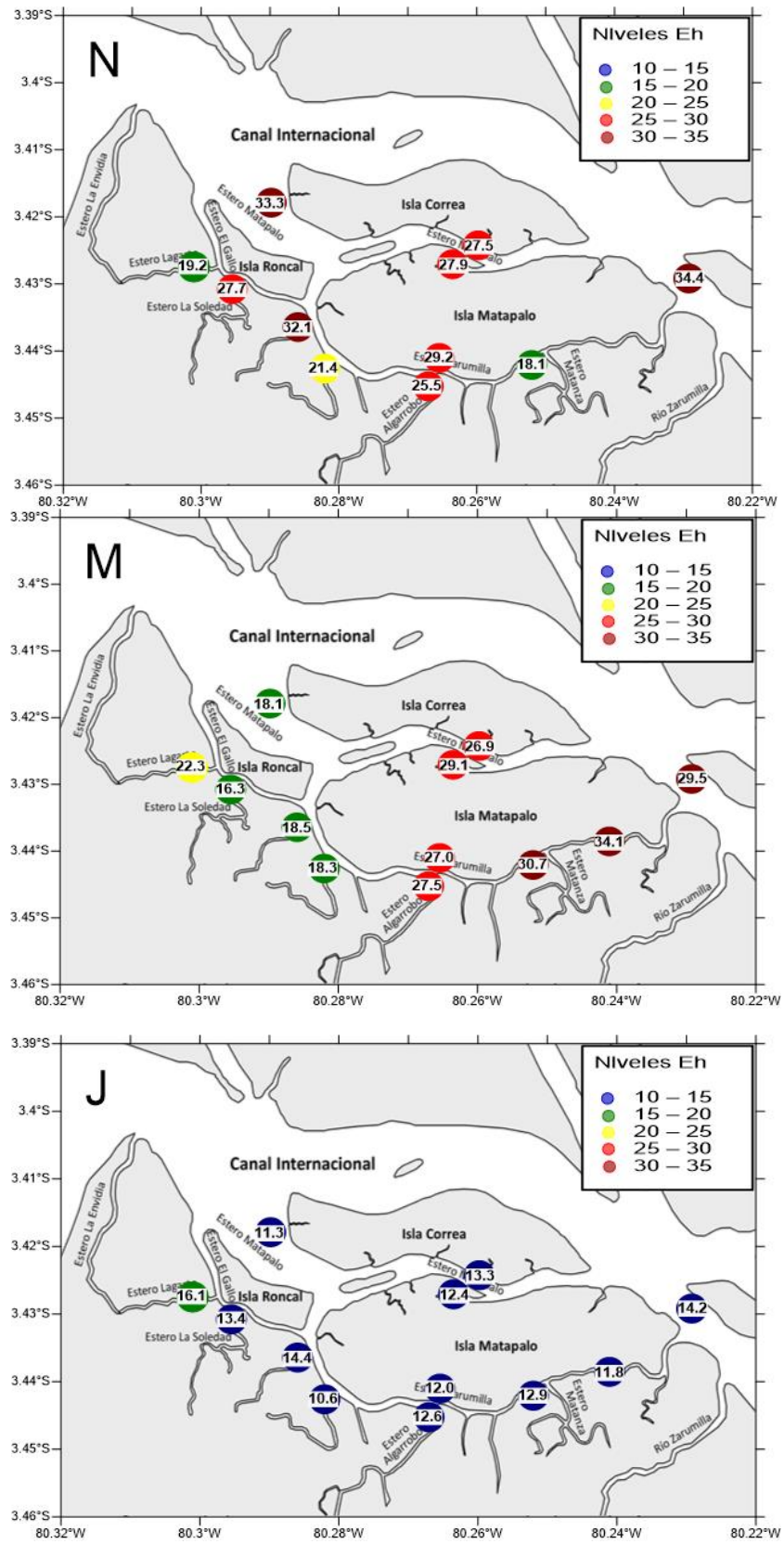


Figura 21. Variación espacial del potencial óxido-reducción (Eh) del agua superficial en el SNLMT durante noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M) y junio 2016 (J).

IV.1.6. Sólidos suspendidos

Durante el mes de marzo del 2016, la cantidad de SS en los canales SNLMT variaron entre un mínimo de 0.10 gL^{-1} (estación 1P) y un máximo de 2.19 gL^{-1} (estación 10Z) (Tabla 2). Respecto a la distribución espacial, los menores valores de SS se encontraron entre las estaciones de los canales principales y secundarios más cercanas a la boca del estuario (valores alrededor de 0.15 gL^{-1}). Mientras que las mayores concentraciones se pronunciaron hacia la cabecera del estuario, entre las estaciones del canal Zarumilla y las estaciones del canal principal (promedio, 1.16 g L^{-1}) (Figuras 16f y 22M).

En junio del 2016, las concentraciones de SS variaron entre un mínimo de 0.01 gL^{-1} (estación 5S) y un máximo de 0.05 gL^{-1} (estación 11Z) (Tabla 2). Con respecto a la distribución espacial, esta fue uniforme, todas las estaciones presentaron valores bajos (promedio, 0.02 gL^{-1}) (Figuras 16f y 22J).

La variación entre temporadas de las concentraciones de SS fue estadísticamente significativa, registrándose valores más altos durante el periodo húmedo del estudio (promedio, 0.49 gL^{-1}) (Anexo A1).

relación C/N y pH de los sedimentos superficiales del SNLMT se muestran en la tabla 3 y 4.

Tabla 3. Medianas de la fracción de arena (M.A), contenido de limo-arcilla (Lim-arc), carbono orgánico total (COT), nitrógeno total (NT), $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, relación C/N y niveles de pH presentes en los sedimentos superficiales en las estaciones muestreadas del SNLMT durante marzo y junio 2016.

Marzo 2016								
Transecto	M.A (μm)	Lim-arc (%)	COT (%)	NT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	C/N	pH
<i>1P</i>	186.2	54.6	1.38	0.12	-24.92	5.14	11.86	6.99
<i>2S</i>	208	1.05	0.07	0.01	-25.57	6.82	5.69	7.31
<i>3S</i>	-	100	0.51	0.03	-24.7	4.12	16.26	6.63
<i>4S</i>	190.8	33.46	1.27	0.09	-24.53	5.06	13.85	7.04
<i>5S</i>	-	100	1.69	0.16	-24.78	5.91	10.51	6.63
<i>6P</i>	-	100	1.91	0.15	-20.03	5.92	12.71	6.35
<i>7P</i>	-	97.23	1.74	0.14	-25.37	5.16	12.2	6.89
<i>8Z</i>	190.5	34.13	0.86	0.05	-25.15	4.53	16.1	7.02
<i>9Z</i>	200.9	10.97	0.14	0.01	-22.67	3.04	12.54	7.65
<i>10Z</i>	190.4	16.62	0.15	0.02	-26.12	2.77	9.89	7.10
<i>11Z</i>	199.9	7.19	0.07	0.01	-24.9	2.25	6.49	7.25
<i>12P</i>	190.9	35.01	1.39	0.11	-25.93	4.71	12.4	7.06

Junio 2016								
Transecto	M.A (μm)	Lim-arc (%)	COT (%)	NT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	C/N	pH
<i>1P</i>	188	15.68	0.31	0.03	-18.43	3.5	10.37	7.78
<i>2S</i>	208	2.95	0.42	0.03	-26.53	6.54	14.61	7.59
<i>3S</i>	207.8	1.8	0.19	0.03	-24.47	2.83	7.53	7.56
<i>4S</i>	189.4	33.74	1.37	0.1	-25.95	4.38	13.25	7.65
<i>5S</i>	-	100	1.56	0.14	-25.17	5.3	10.81	6.82
<i>6P</i>	-	98.03	3	0.15	-16.49	5.23	19.5	7.52
<i>7P</i>	190.4	33.73	1.6	0.11	-25.26	4.27	14.54	7.35
<i>8Z</i>	198.4	13.44	0.13	0.01	-23.69	4.45	9.81	7.78
<i>9Z</i>	197	23.41	0.54	0.05	-24.17	4.64	10.76	7.47
<i>10Z</i>	191.7	46.86	1.59	0.13	-25.38	3.91	12.72	6.72
<i>11Z</i>	-	100	1.48	0.11	-25.42	5.16	14.08	6.42
<i>12P</i>	192.1	42.23	0.99	0.09	-25.64	4.94	11.58	7.03

Tabla 4. Medianas de la fracción de arena (M.A), contenido de limo-arcilla (Lim-arc), carbono orgánico total (COT), nitrógeno total (NT), $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y relación C/N presentes en los sedimentos superficiales de los transectos muestreados en los canales Lagarto (L-1 a L-3), Matapalo (M-1 a M-6) y Zarumilla (Z-1 a Z-2) del SNLMT durante noviembre 2015, marzo y junio 2016.

Noviembre 2015							
Transecto	M.A (μm)	Lim-arc (%)	COT (%)	NT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	C/N
L-1	188.2	41.45	2.50	0.14	-25.86	4.76	18.39
L-2	207.1	1.17	0.06	0.01	-25.33	7.64	5.55
L-3	189.7	28.79	2.59	0.15	-25.24	4.88	17.25
M-1	-	100.00	3.43	0.27	-25.45	5.62	12.84
M-2	189.1	57.08	1.90	0.15	-25.03	5.04	13.03
M-3	188.4	12.32	0.69	0.05	-19.16	5.08	15.09
M-4	-	94.05	2.15	0.15	-19.60	5.27	14.84
M-5	-	100.00	-	-	-	-	-
M-6	188.8	24.02	1.16	0.07	-25.66	4.54	17.77
Z-1	189.1	3.35	0.13	0.01	-20.76	4.44	14.34
Z-2	188.4	9.41	0.29	0.02	-25.95	4.57	13.05
Z-3	188.8	45.97	1.61	0.13	-25.72	5.40	12.13

Marzo 2016							
Transecto	M.A (μm)	Lim-arc (%)	COT (%)	NT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	C/N
L-1	187.5	26.02	2.03	0.13	-25.55	4.75	15.77
L-2	208.0	1.05	0.07	0.01	-25.57	6.82	5.69
L-3	-	100.00	1.44	0.16	-24.55	6.99	9.05
M-1	-	100.00	2.21	0.20	-25.54	5.28	11.01
M-2	188.8	28.77	0.47	0.06	-25.36	6.24	7.82
M-3	188.4	40.48	1.37	0.09	-24.78	4.89	14.53
M-4	-	100.00	1.91	0.15	-20.03	5.92	12.71
M-5	407.1	77.96	1.93	0.12	-20.97	4.50	16.47
M-6	188.7	28.77	1.00	0.07	-24.72	4.87	15.02
Z-1	195.6	60.95	1.69	0.16	-25.18	5.44	10.85
Z-2	200.9	10.97	0.14	0.01	-22.67	3.04	12.54
Z-3	194.7	59.95	1.49	0.14	-25.68	4.16	10.53

Junio 2016							
Transecto	M.A (μm)	Lim-arc (%)	COT (%)	NT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	C/N
L-1	189.5	26.69	1.94	0.13	-25.85	4.28	15.25
L-2	208.8	2.95	0.42	0.03	-26.53	6.54	14.61
L-3	189.1	35.38	2.49	0.15	-23.25	4.61	16.29
M-1	-	98.33	3.37	0.25	-25.95	4.83	13.76
M-2	189.0	24.97	0.53	0.05	-26.03	6.27	10.06
M-3	190.7	12.56	0.59	0.07	-25.98	5.92	8.13
M-4	-	98.03	3.00	0.15	-16.49	5.23	19.50
M-5	190.1	37.49	0.68	0.09	-24.48	7.72	7.21
M-6	-	99.74	2.26	0.20	-25.21	5.15	11.54
Z-1	193.2	46.98	1.24	0.11	-25.26	4.63	11.11
Z-2	197.0	23.41	0.54	0.05	-24.17	4.64	10.76
Z-3	195.5	64.53	1.86	0.16	-25.39	5.30	11.46

Los datos granulométricos de los sedimentos superficiales del SNLMT presentaron una tendencia bimodal, formando así 2 grandes grupos. Uno caracterizado por sedimentos limo-arcillosos con tamaño de grano fino $< 63 \mu\text{m}$ y otro formado por sedimentos arenosos con tamaño de grano $> 125 \mu\text{m}$ y $< 500 \mu\text{m}$ (Figura 23).

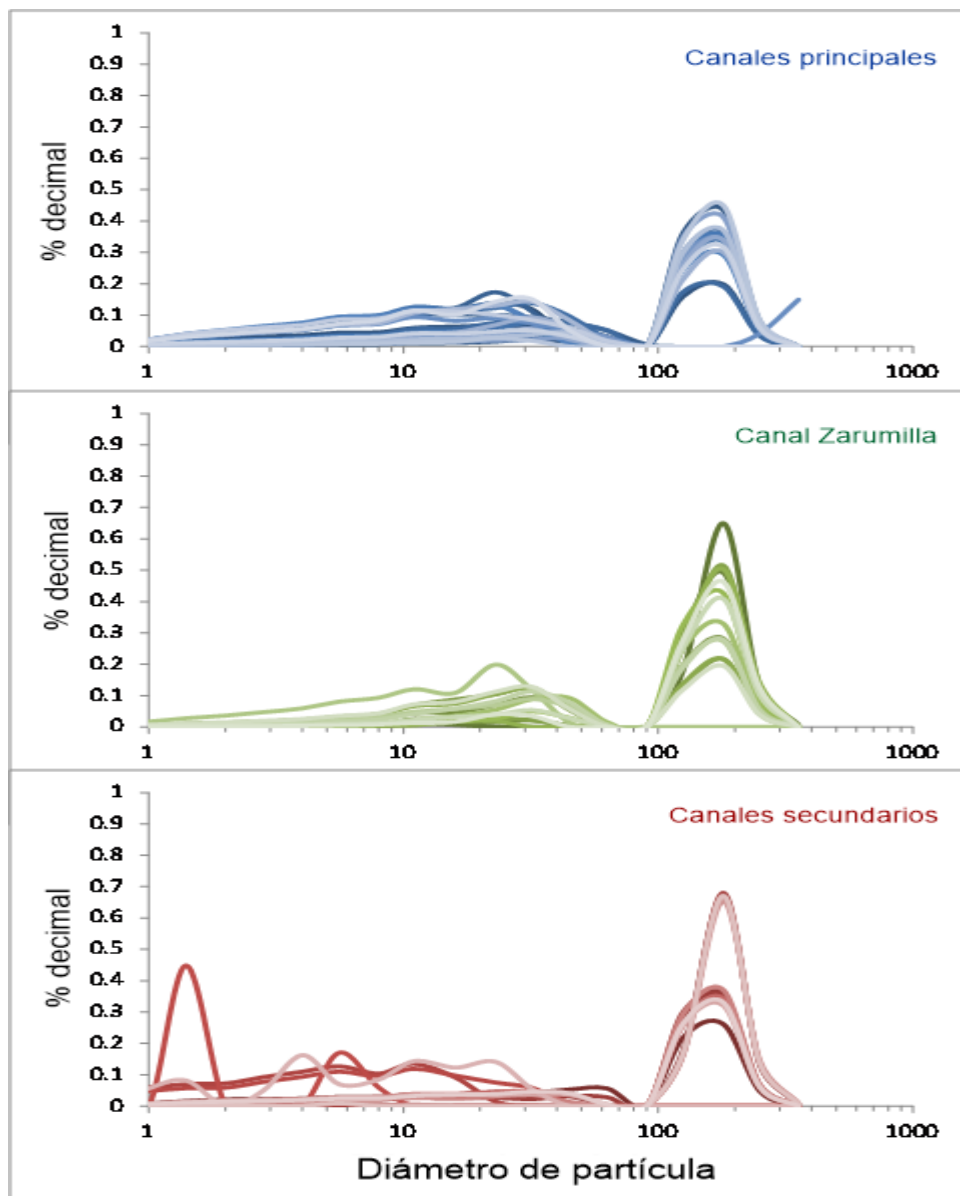


Figura 23. Curvas de distribución a partir de datos granulométricos de los sedimentos superficiales del SNLMT de las estaciones y transectos de los canales principales (líneas azules), canal Zarumilla (líneas verdes) y canales secundarios (líneas rojas), durante noviembre 2015, marzo 2016 y junio 2016.

IV.2.1.1. Fracción arena

A partir de los datos obtenidos de las arenas se realizaron curvas acumuladas, así como también se calculó sus medianas, tanto para las estaciones como para los transectos. Al analizar las curvas acumuladas de grano grueso de cada estación se observó que las estaciones 7P y 3S sufrieron un gran cambio entre el periodo húmedo (marzo 2016) y seco (junio 2016), mostrando ausencia de material de grano grueso en marzo 2016 y presencia de este material en junio (Figura 24), obteniendo medianas de 190 μm en la estación 7P y 207 μm en la estación 3S (Tabla 3 y Figura 28); a diferencia de estas 2 estaciones, la estación 11Z tuvo una mediana de 200 μm en marzo 2016 (Tabla 4 y Figura 28a) y no presentó material de grano grueso en el mes de junio 2016 (Figura 24). En tanto, las estaciones 5S y 6P no presentaron arenas en ninguno de estos 2 periodos (Figura 24).

En el canal Matapalo (estación 6P) durante el mes de noviembre 2015 los puntos M-2, M-3 y M-6 fueron los únicos que presentaron material grueso (Figura 25A) con características semejantes en su curva acumulada y con medianas de 189, 188, 189 μm respectivamente (Tabla 5 y Figura 28a). En marzo 2016 la curva acumulada del punto M-5 evidenció, que este presentó el material con mayores dimensiones (Figura 25A), con una mediana correspondiente a 407 μm (Tabla 5 y Figura 28a) y al igual que en el mes de noviembre 2015; las curvas acumuladas de los puntos M-2, M-3 y M-6 mantuvieron similitud entre sí. Mientras los puntos M-1, M-4 no presentaron arenas (Figura 25A). Para junio 2016, el punto M-5 tuvo características similares a los puntos M-2 y M-3 (Figura 25A), presentando medianas de 190, 189, 191 μm respectivamente (Tabla 5 y

Figura 28a), a diferencia de los puntos M-1, M-4 y M-6 que no presentaron material grueso (Figura 25A). Temporalmente el punto M-5 fue el que más varió, presentando material de mayor tamaño en el mes de marzo 2016 y careciendo de arenas en noviembre 2015; en el punto M-6 las dimensiones del material grueso fueron similares en noviembre 2015 y marzo 2016, para luego en junio de 2016 carecer de este tipo de sedimento. Por otra parte el material grueso se mantuvo ausente en los puntos M-1 y M-4 durante los 3 meses de muestreo (Figura 25B).

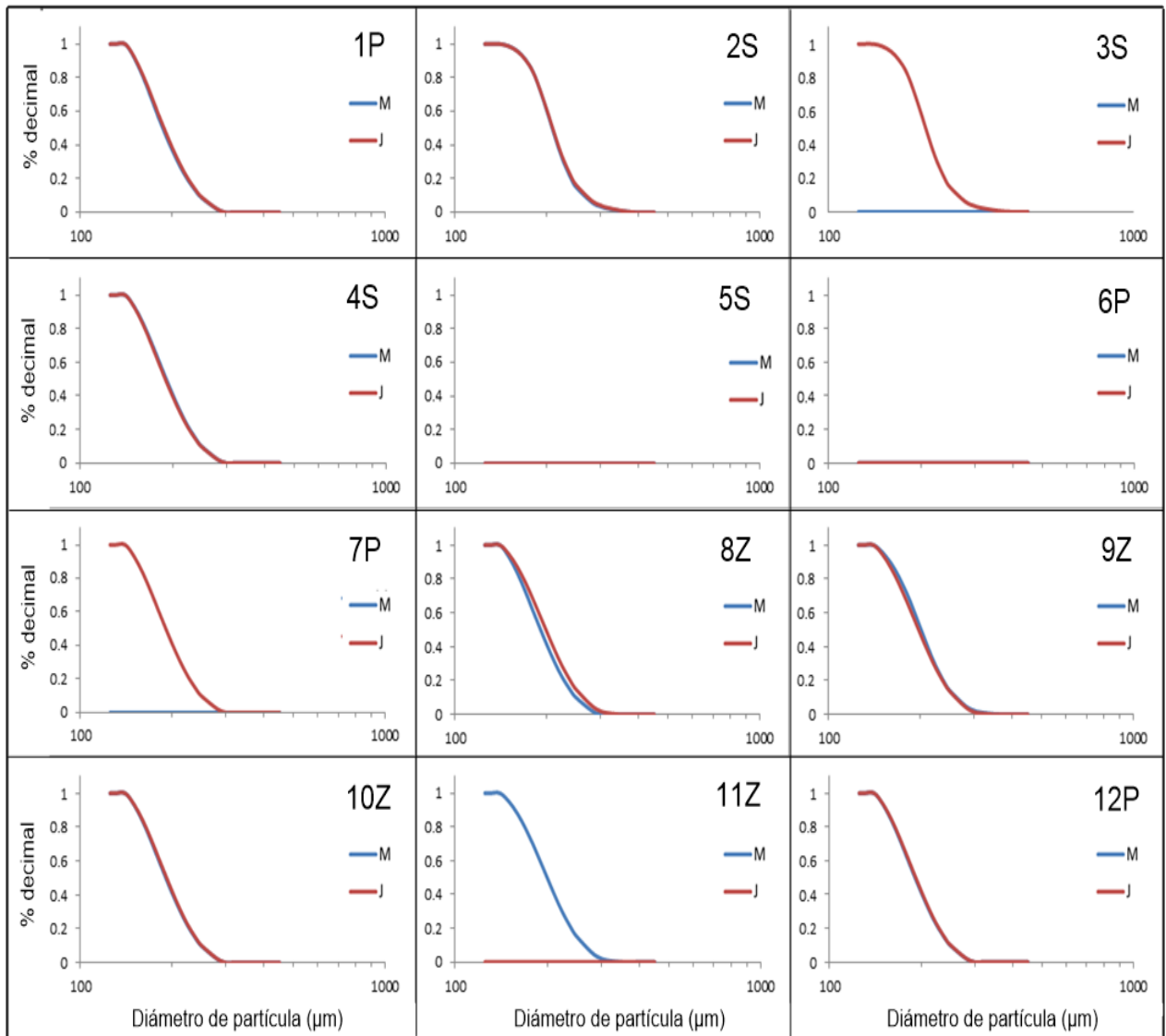
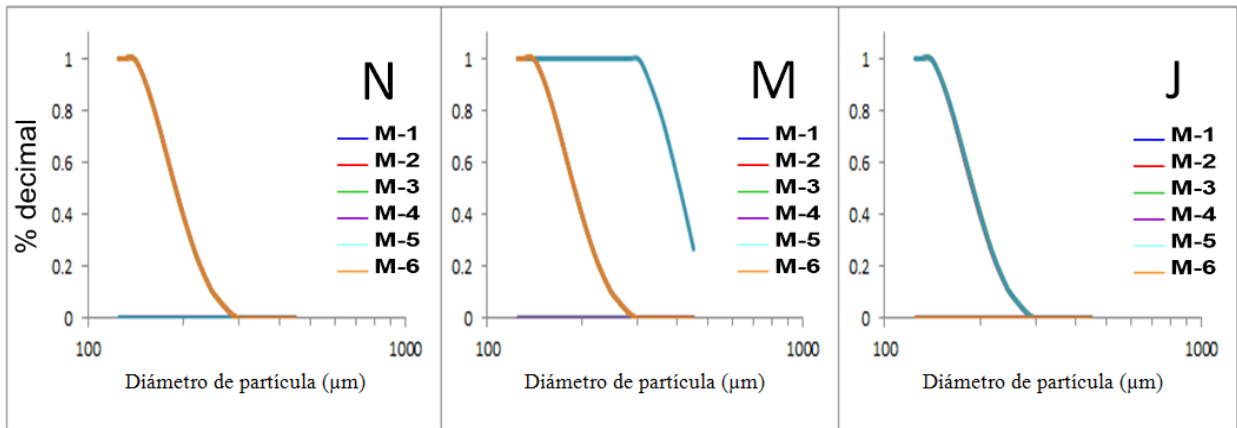


Figura 24. Curva acumulada por tamaño de partícula de la composición de arenas de los sedimentos superficiales para las estaciones del SNLMT durante marzo 2016 (M) y junio 2016 (J).

A



B

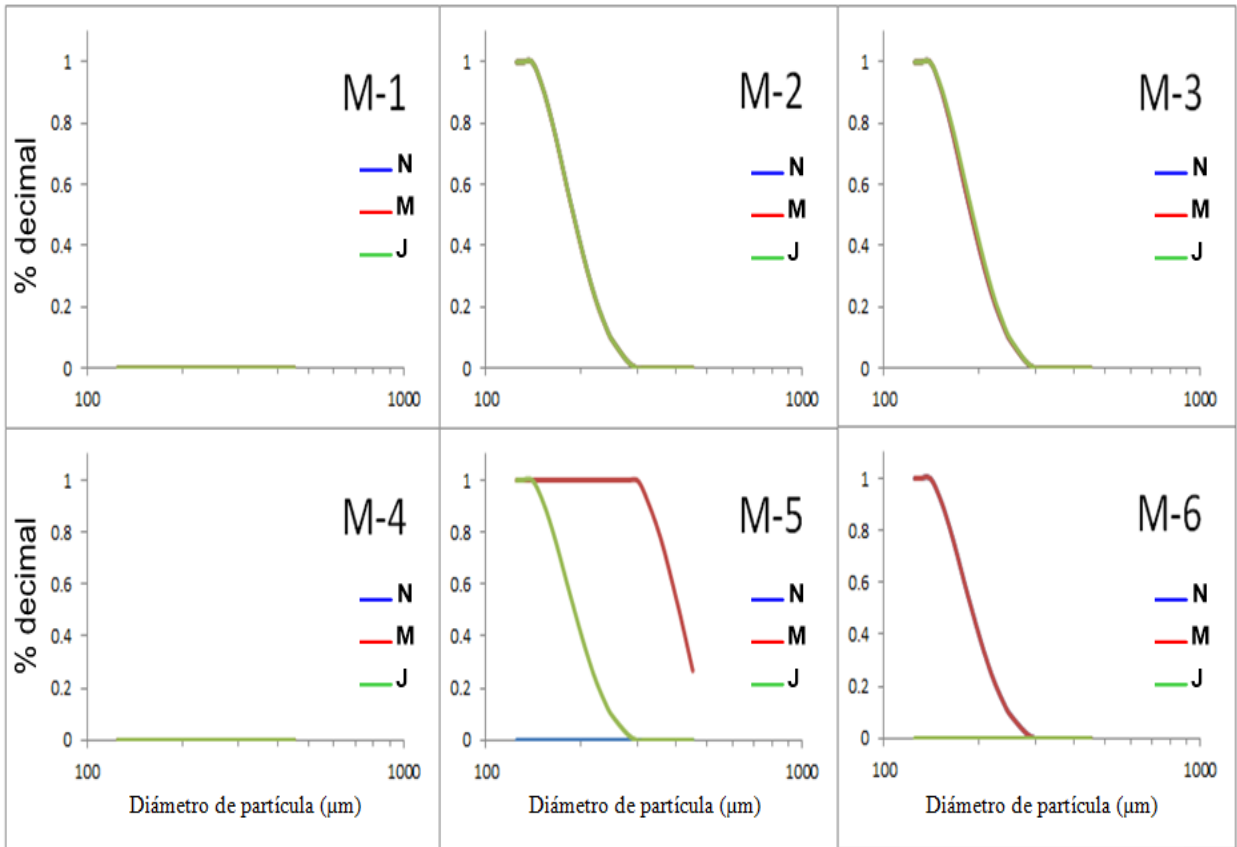


Figura 25. Curva acumulada por tamaño de partícula de la fracción de arenas de los sedimentos superficiales en el transecto de canal Matapalo (M-1 a M-6) del SNLMT; por periodos (A) y por transectos (B), durante noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M) y junio 2016 (J).

Las curvas acumuladas de grano grueso de los transectos muestran que el canal Lagarto presenta diferencias espaciales. Siendo el transecto L-2 el que contiene partículas de mayor tamaño de grano (Figura 26A) con una mediana de

207 μm (Tabla 4 y Figura 28b); por otro lado los puntos L-1 y L-2 presentan una misma tendencia a lo largo de los tres meses del estudio. Mientras que el punto L-3 no presenta material grueso en el mes de marzo (Figura 26B).

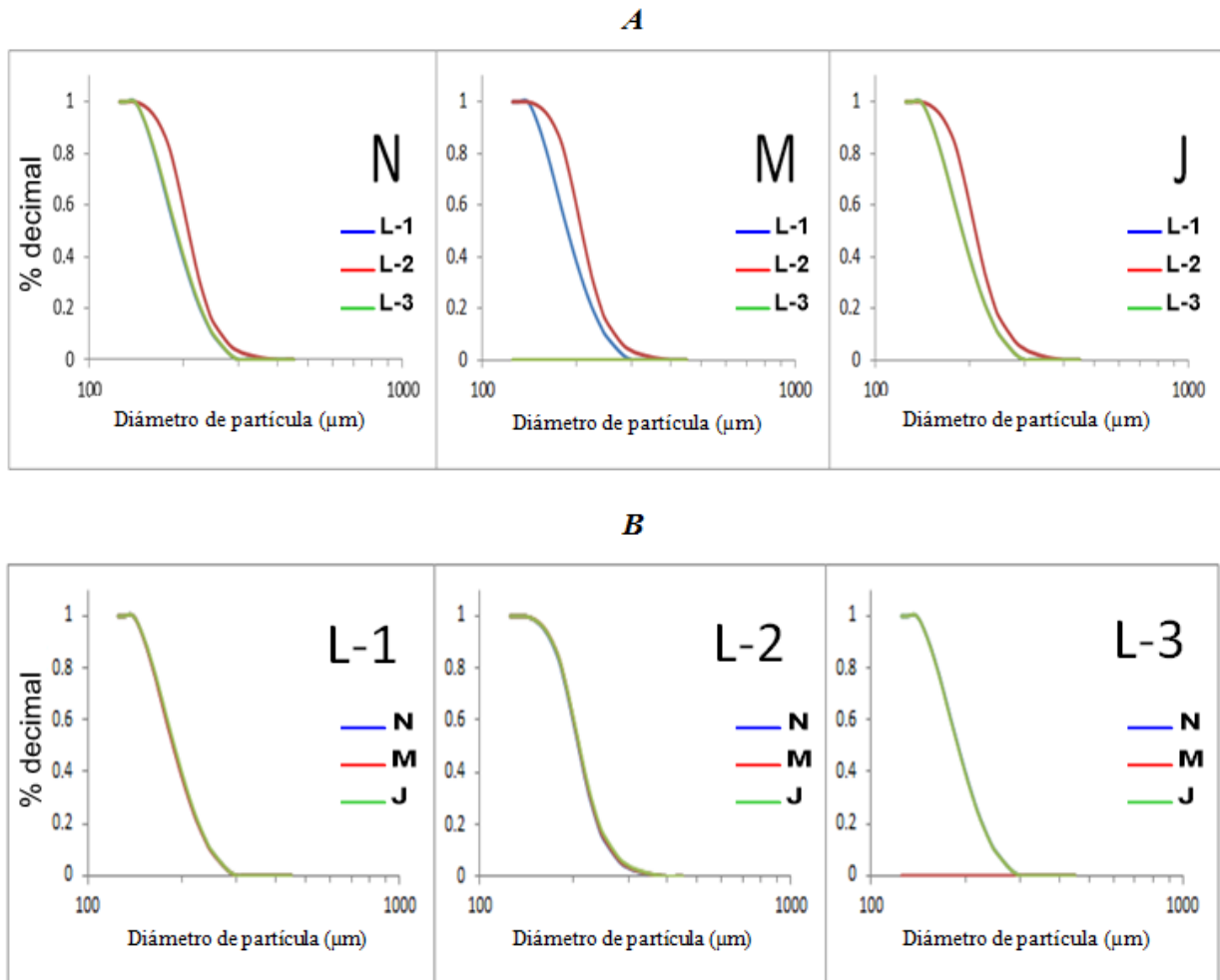


Figura 26. Curva acumulada por tamaño de partícula de la fracción de arena de los sedimentos superficiales en el transecto del canal Lagarto (L-1, L-2 y L-3) del SNLMT, por periodo (A) y por transectos (B), durante noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M) y junio 2016 (J).

En el canal Zarumilla (estación 9Z), el punto Z-1 tuvo mayor cantidad de material grueso en el mes de noviembre 2015 y menor en junio 2016 (Figura 27B) con medianas de 207 y 193 μm respectivamente (Tabla 4 y Figura 28c); el punto Z-2 obtuvo material de mayores dimensiones en marzo 2016 (Figura 27B) con una mediana de 201 μm (Tabla 4 y Figura 28c), observándose en noviembre 2015

y junio 2016 muy similares, al igual que el punto Z-3 que mostró curvas con la misma tendencia para los 3 meses de muestreo (Figura 27B). En la variación espacial por temporada, se puede observar que en noviembre, el punto Z-1 tuvo material con mayor tamaño de grano que los otros 2; mientras, que el punto Z-3 presento tamaño de grano ligeramente más pequeño que el Z-2. En marzo 2016, el punto Z-2 contuvo material ligeramente más grueso que los otros 2 puntos y, en junio 2016 los 3 puntos fueron muy similares (Figura 27A).

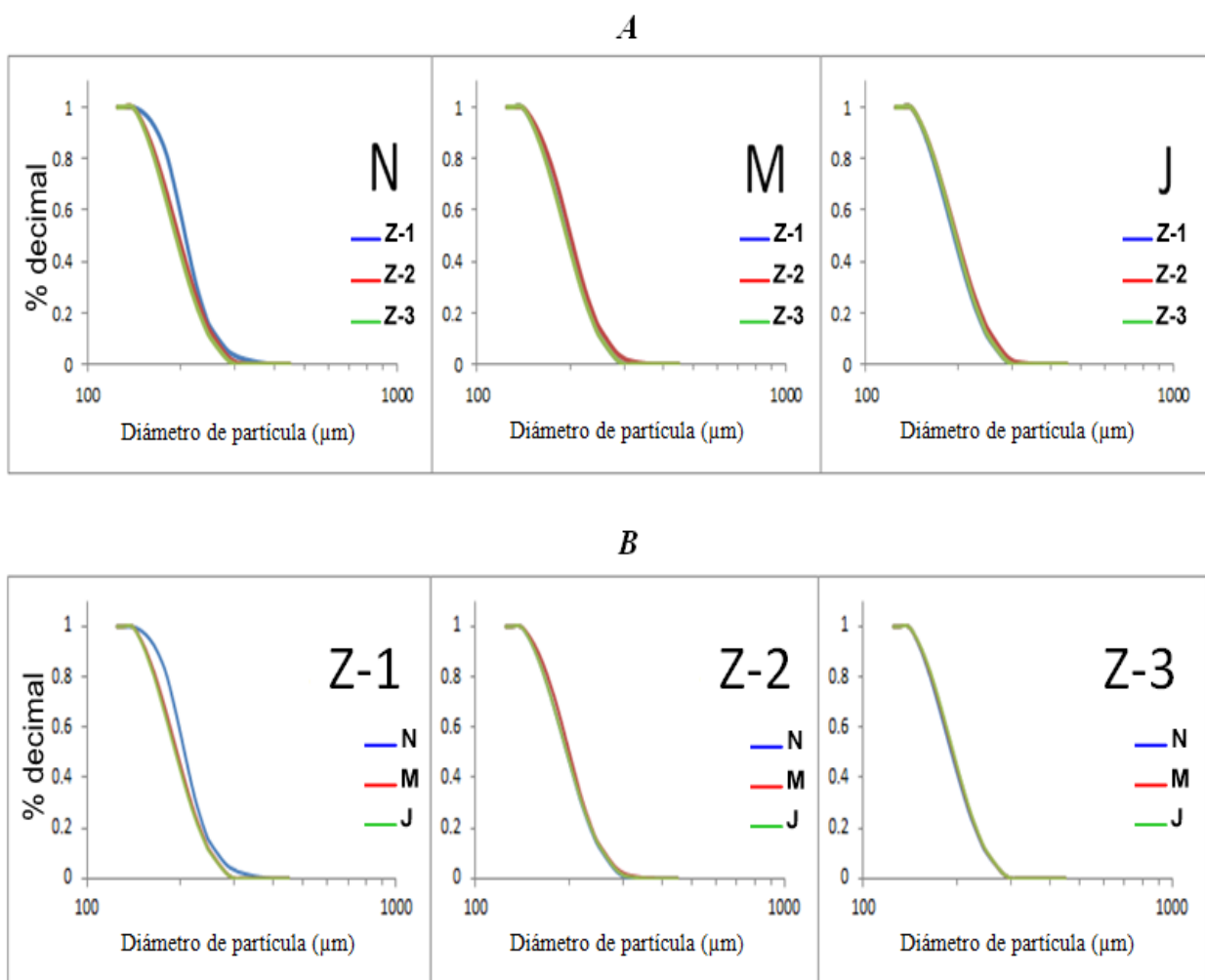


Figura 27. Curva acumulada por tamaño de partícula de las arenas de los sedimentos superficiales del SNLMT, en el transecto del canal Zarumilla (Z-1 a Z-2), por periodos (A) y por transectos (B), durante noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M) y junio 2016 (J).

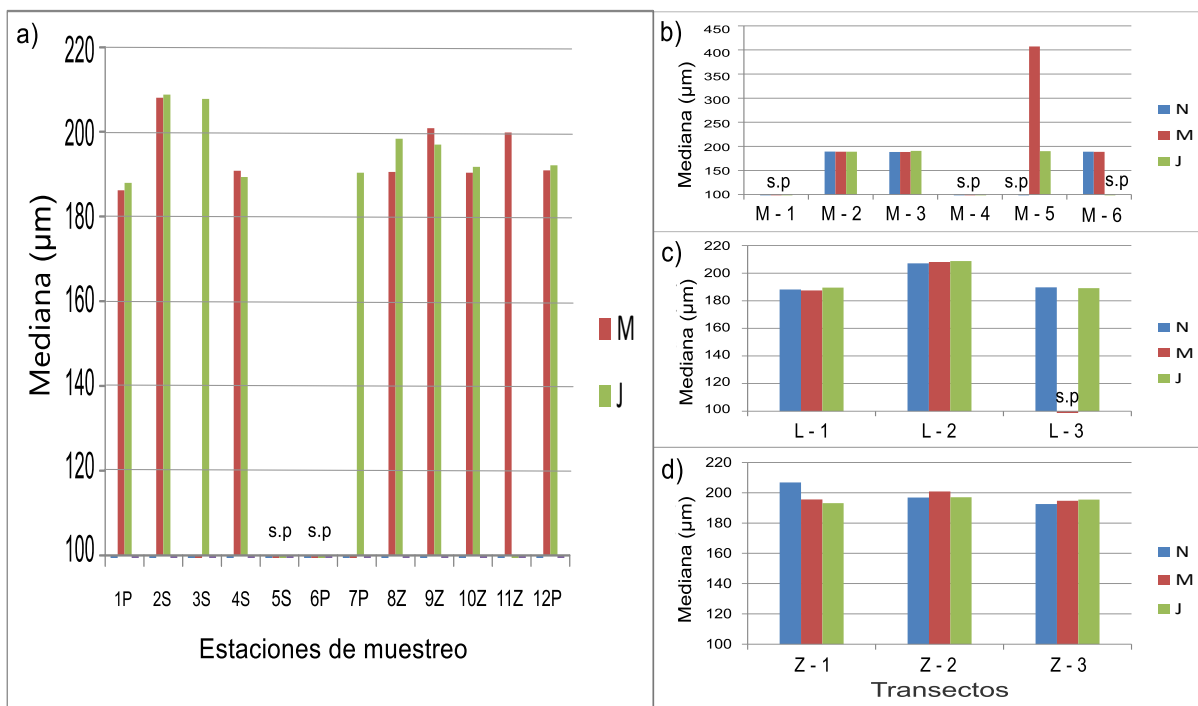


Figura 28. Variación espacial y temporal de las medianas de las arenas de los sedimentos superficiales del SNLMT, en las estaciones (a) y transectos (b-d) muestreados durante noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M), junio 2016 (J). s.p: sin presencia.

IV.2.1.2. Fracción limo-arcilla

En el mes de marzo de 2016 los menores porcentajes de limo-arcilla se mantuvieron en las estaciones del canal Zarumilla (promedio, 17.2 %) y cercanas a la cabecera del estuario, mientras que los mayores porcentajes estuvieron entre las estaciones de los canales principales y secundarios de ubicación intermedia en el estuario. Los porcentajes variaron en un rango, entre 1.1 % (estación 2S) como valor mínimo y 100 % (estación 3S, 5S y 6P) como máximo (Tabla 3, Figuras 29M y 30a). En sentido opuesto, los porcentajes de limo-arcilla en junio 2016 fueron menores entre las estaciones de los canales principales y secundario cercanas a la boca del estuario; los valores variaron entre un mínimo de 1.8 % (estación 3S) y un máximo de 100 % (estación 5S y 11Z) (Tabla 3, Figuras 29M y 30a).

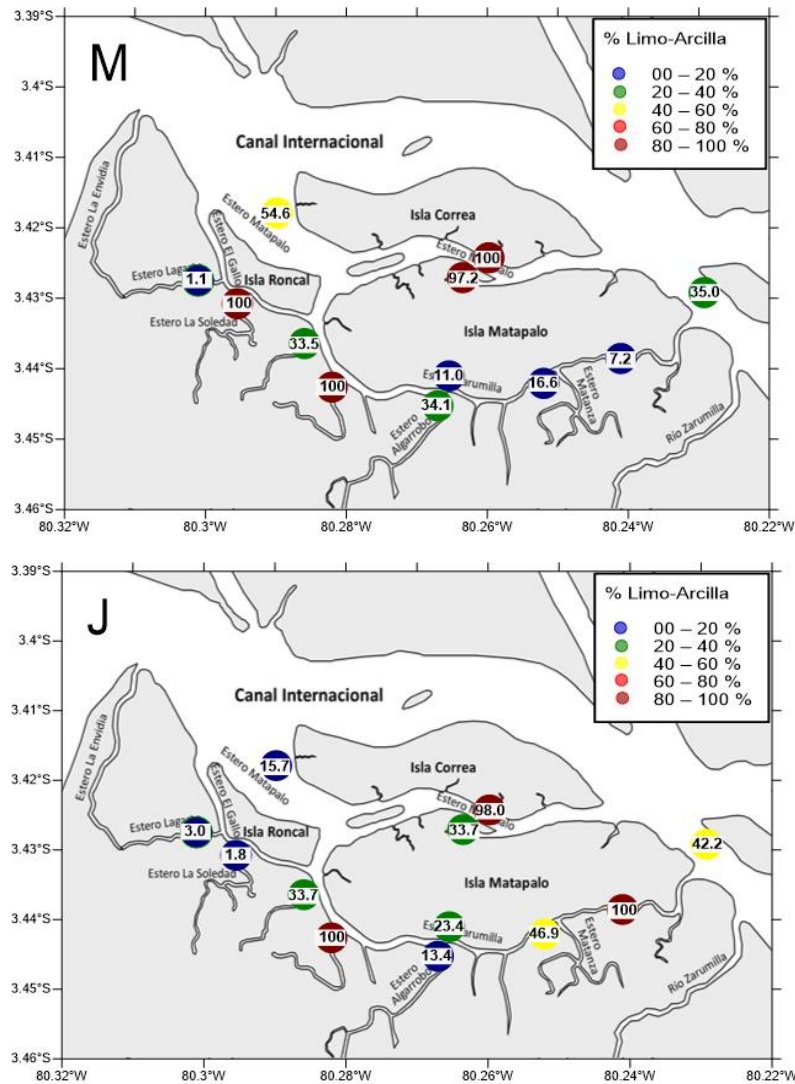


Figura 29. Variación espacial del porcentaje limo-arcilla (%) de los sedimentos superficiales del SNLMT, durante marzo 2016 (M), junio 2016 (J).

Con respecto a la variación del porcentaje de material limo-arcilloso en los transectos, los puntos de muestreo ubicados en el centro de los canales fueron los que presentaron los menores porcentajes de limo-arcilla (Figuras 30 (b-d), 45, 46 y 47).

En el canal Matapalo, en el mes de noviembre 2015 los porcentajes de limo-arcilla variaron de un mínimo de 12.3 % (punto M-3) a un máximo de 100 % (punto M-1 y M-5). Para marzo 2016 las menores concentraciones de limo-arcilla estuvieron entre un mínimo de 28.8% (punto M-2) y un máximo de 100 % (punto

M-1 y M-4). Por su parte el mes de junio 2016, las variaciones del contenido de limo-arcilla se mantuvieron entre 12.6% (punto M-3) como mínimo y 99.7 % (punto M-6) como máximo (Tabla 5, Figuras 30b y 45).

En el canal Lagarto (estación 2S), los mínimos valores encontrados fueron de 1.2 %, 1.1 % y 2.9 % (punto L-2) para los meses de noviembre 2015, marzo y junio 2016 respectivamente. En contraparte los mayores porcentajes se encontrados fueron de 41.5 % (punto L-1), 100 % y 35.4 % (punto L-3) correspondientes a los meses de noviembre 2015, marzo y junio 2016 respectivamente (Tabla 4, Figuras 30c y 46)

Las variaciones en los porcentajes de material limo-arcilloso en el canal Zarumilla (estación 9Z) durante noviembre 2015 variaron de un mínimo de 3.4% (punto Z-1) a un máximo de 45.9 % (punto Z-3). En marzo y junio de 2016, los mínimos valores fueron de 10.9 % y 23.4 % respectivamente (punto Z-2) y los máximos valores estuvieron a la orden de 60.9 % (punto Z-1) y 64.5 % (punto Z-3) para marzo y junio 2016 respectivamente (Tabla 4, Figuras 30d y 47).

El análisis de varianza mostró que no hubo una variación significativa espacial ni temporal del porcentaje de limo-arcilla con respecto a las estaciones (Anexo A2), pero si entre canales Lagarto (2S) y Matapalo (6P) (Anexo A3).

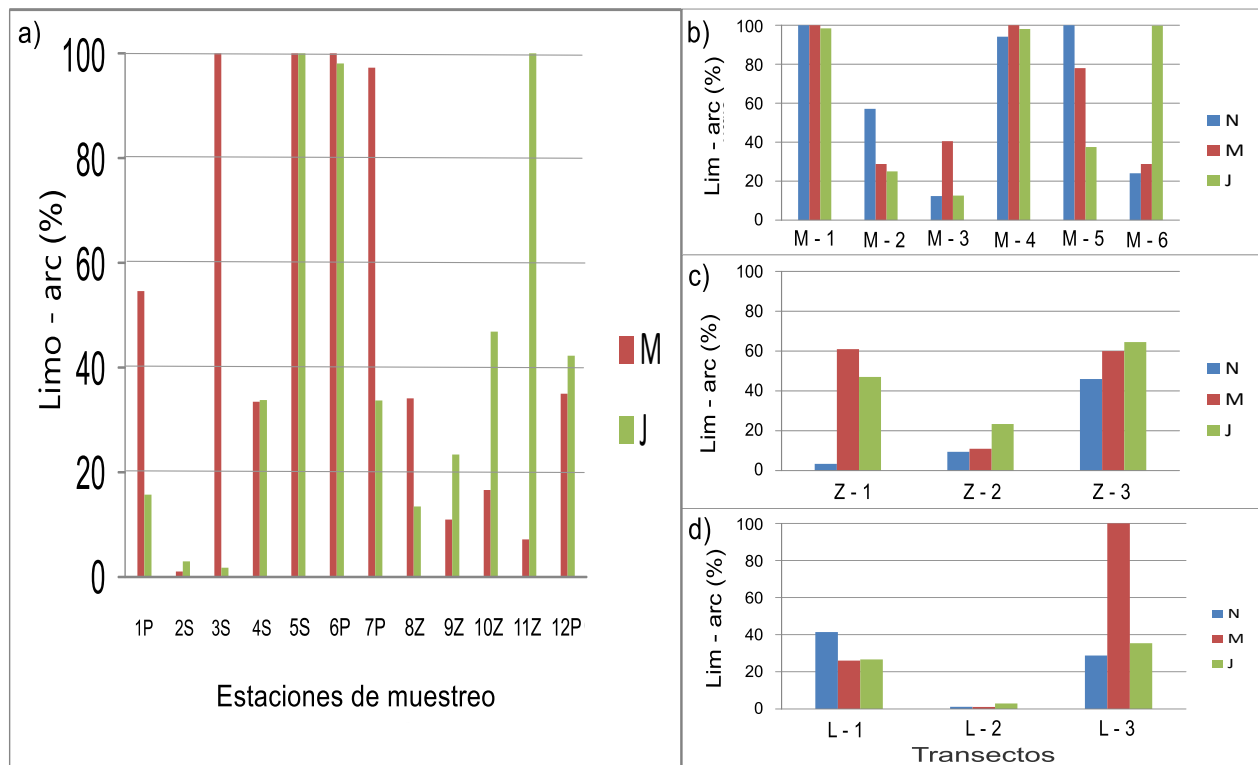


Figura 30. Variación espacial y temporal del porcentaje limo-arcilla de los sedimentos superficiales del SNLMT, en las estaciones (a) y transectos (b-d) muestreados durante noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M), junio 2016 (J).

IV.2.2. Parámetros ligados al contenido de material orgánico

IV.2.2.1. Carbono orgánico total

La distribución espacial del contenido de COT del sedimento superficial durante marzo 2016 varió de un mínimo de 0.07 % (estación 2S y 11Z) a un máximo de 1.91 % (estación 6P) (Tabla 3 y Figura 32a), ubicándose los menores valores hacia las estaciones del canal Zarumilla (promedio, 0.31 %), cerca de la cabecera del estuario (Figura 31M). Durante junio 2016, los porcentajes de COT de la parte superficial de los sedimentos variaron de un mínimo de 0.13 % (estación 8Z) a un máximo de 3.00 % (estación 6P) (Tabla 3, Figura 32a), encontrándose los valores más altos en los canales de mayores dimensiones

(promedio, 1.48 %) (Figura 31J). Por otro lado, el análisis de varianza demostró que no hubo variaciones significativas temporales ni espaciales (Anexo A2).

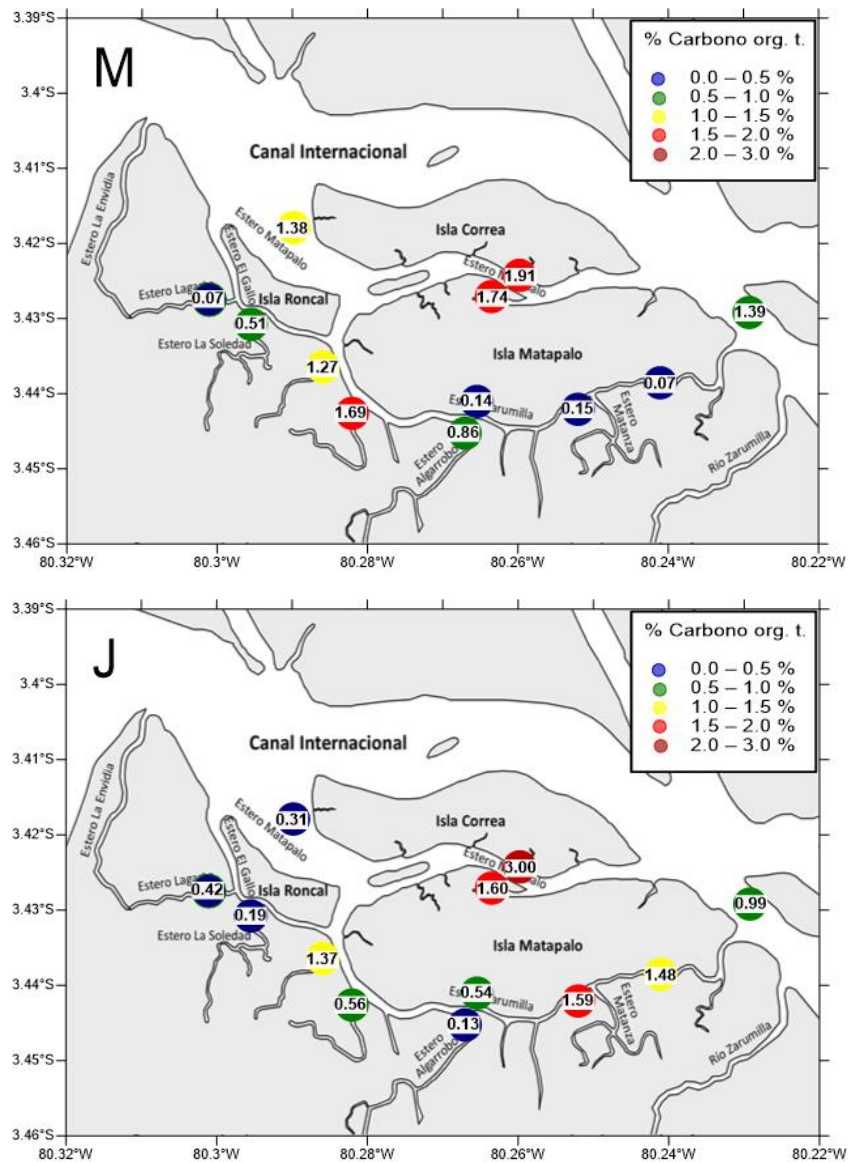


Figura 31. Variación espacial del contenido de carbono orgánico total de los sedimentos superficiales del SNLMT, durante marzo 2016 (M), junio 2016 (J).

En lo que concierne a la variación del COT en los transectos, se puede observar una tendencia de mantener valores más bajos en el centro de los canales.

En el canal Matapalo (estación 6P), en el mes de noviembre 2015 los porcentajes de COT variaron de un mínimo de 0.69 % (punto M-3) a un máximo

de 3.43 % (punto M-1), para marzo 2016 las menores valores de COT estuvieron entre un mínimo de 0.47 % (punto M-2) y un máximo de 2.21 % (punto M-1). Por su parte el mes de junio 2016 las variaciones en las concentraciones de COT se mantuvieron entre 0.53 % (punto M-2) como mínimo y 3.37 % (punto M-1) como máximo (Tabla 4, Figuras 32b y 45).

En el canal Lagarto la concentración de este elemento varió de un mínimo de 0.06 %, 0.07 % y 0.42 % en noviembre 2015, marzo y junio 2016 respectivamente a un máximo de 2.59 % (punto L-3) en noviembre 2015, 2.03 % (punto L-1) en marzo 2016 y 2.49 % (punto L-3) en junio 2016 (Tabla 4, Figuras 32c y 46).

En el mismo sentido, en el canal Zarumilla los contenidos de COT variaron de 0.13 % (punto Z-1) a 1.61 % (punto Z-3) en noviembre 2015; de 0.14 % (punto Z-2) a 1.69 % (punto Z-1) en marzo 2016 y de 0.54 % (punto Z-2) a 1.86 % (punto Z-3) en junio 2016 (Tabla 4, Figuras 32d y 47).

Los 3 transectos no presentaron diferencia significativa espacial ni temporales en la proporción de COT (Anexo A3).

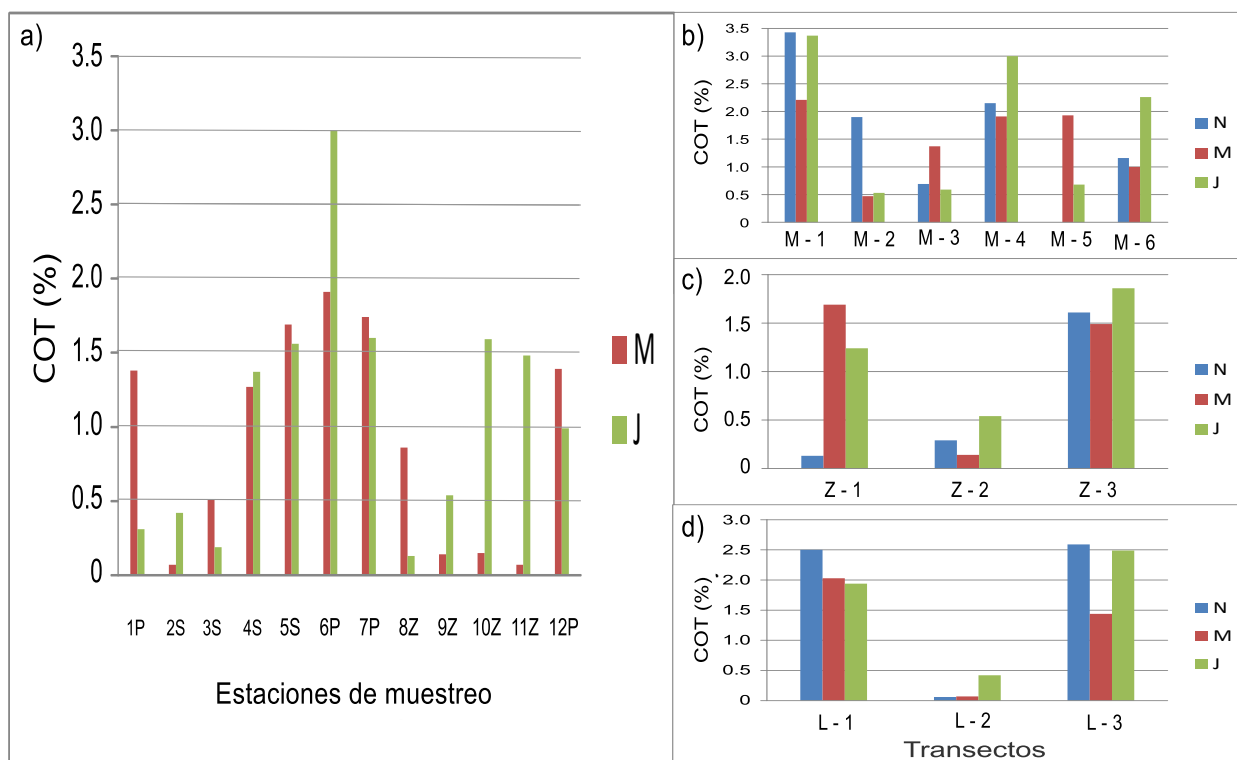


Figura 32. Variación espacial y temporal del contenido de carbono orgánico total (COT) de los sedimentos superficiales del SNLMT, en las estaciones (a) y transectos (b-d) muestreados durante noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M), junio 2016 (J).

IV.2.2.2. Nitrógeno total

Espacialmente los porcentajes de NT del sedimento superficial durante marzo 2016 se mantuvieron entre un mínimo de 0.01 % (estaciones 2S, 11Z y 9Z) y un máximo de 0.16 % (estación 5S) (Tabla 3 Figura 34a), ubicándose los menores valores hacia las estaciones del canal Zarumilla (promedio, 0.02 %) (Figura 33M). Durante junio 2016, los niveles de NT de la parte superficial de los sedimentos variaron de un mínimo de 0.01 % (estación 8Z) a un máximo de 0.15 % (estación 6P) (Tabla 3, Figura 34a). Siendo los canales de mayores dimensiones los que mostraron niveles más altos (promedio, 0.10 %) (Figura 33J). Por otro lado, el análisis de varianza mostró que no hubo variaciones significativas entre periodos ni estaciones (Anexo A2).

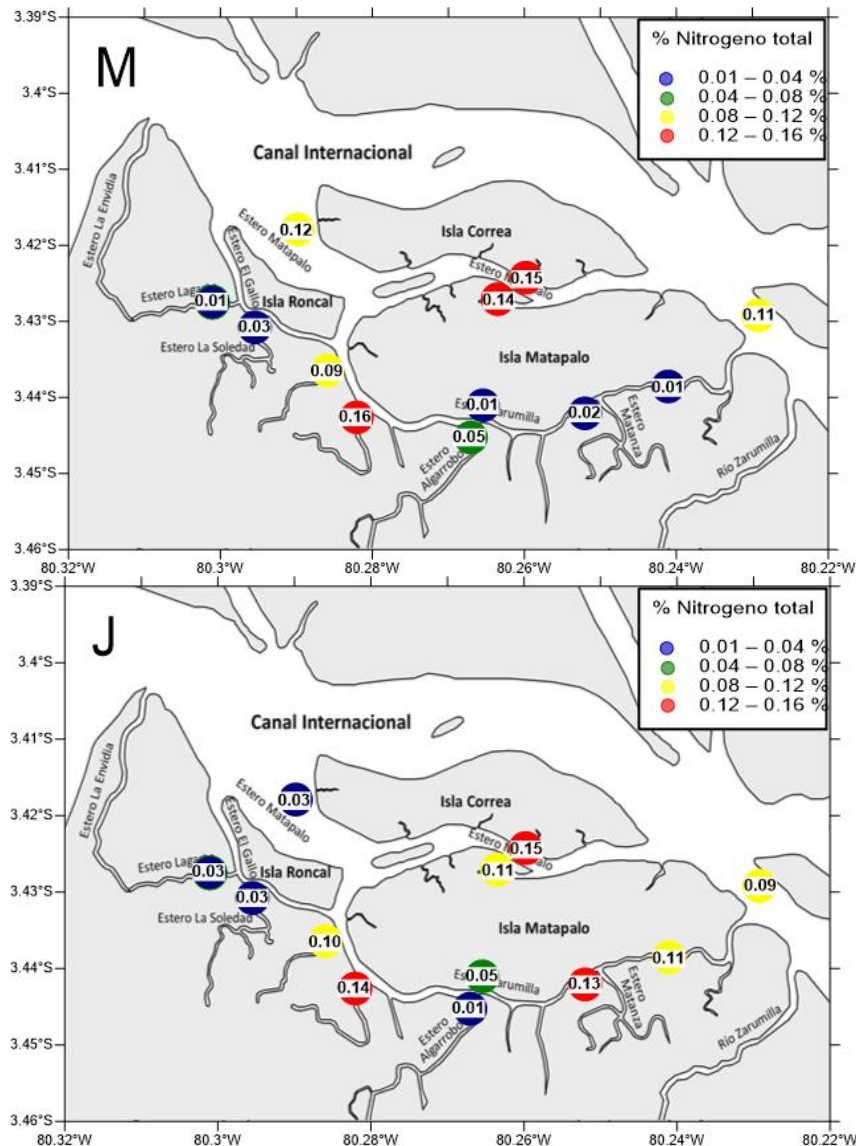


Figura 33. Variación espacial del contenido de nitrógeno total de los sedimentos superficiales del SNLMT, durante marzo 2016 (M), junio 2016 (J).

En el canal Matapalo, en el mes de noviembre 2015 los porcentajes de NT variaron de un mínimo de 0.05 % (punto M-3) a un máximo de 0.27 % (punto M-1). Para marzo 2016 las menores valores de NT estuvieron entre un mínimo de 0.06 % (punto M-2) y un máximo de 0.20 % (punto M-1). Por otro lado, el mes de junio 2016 las variaciones en las proporciones de NT se mantuvieron entre 0.05 % (punto M-2) como mínimo y 0.25 % (punto M-1) como máximo (Tabla 4, Figuras 34b y 45).

En cuanto a la variación de la concentración de NT en los transectos, se puede observar que en el canal Lagarto los valores de NT variaron de un mínimo de 0.01 %, 0.01 % y 0.03 % (punto L-2) en noviembre 2015, marzo y junio 2016 respectivamente a un máximo de 0.15 %, 0.16 % y 0.15 % (punto L-3) para noviembre 2015, marzo y junio 2016 respectivamente (Tabla 4, Figuras 33c y 46).

En el mismo sentido, en el canal Zarumilla los contenidos de NT variaron de un mínimo a un máximo a la orden de 0.01 % (punto Z-1) a 0.13 % (punto Z-3) en noviembre 2015, 0.01 % (punto Z-2) a 0.16 % (punto Z-1) en marzo 2016 y de 0.05 % (punto Z-2) a 0.16 % (punto Z-3) en junio 2016 (Tabla 4, Figuras 34d y 47).

En general, la variación de la concentración de NT en los transectos de los 3 canales, evidenció de manera similar al COT, la tendencia de mantener menores valores en el centro de los canales. Aunque los 3 transectos no presentaron diferencia significativa espacial ni temporal en el porcentaje de NT (Anexo A3).

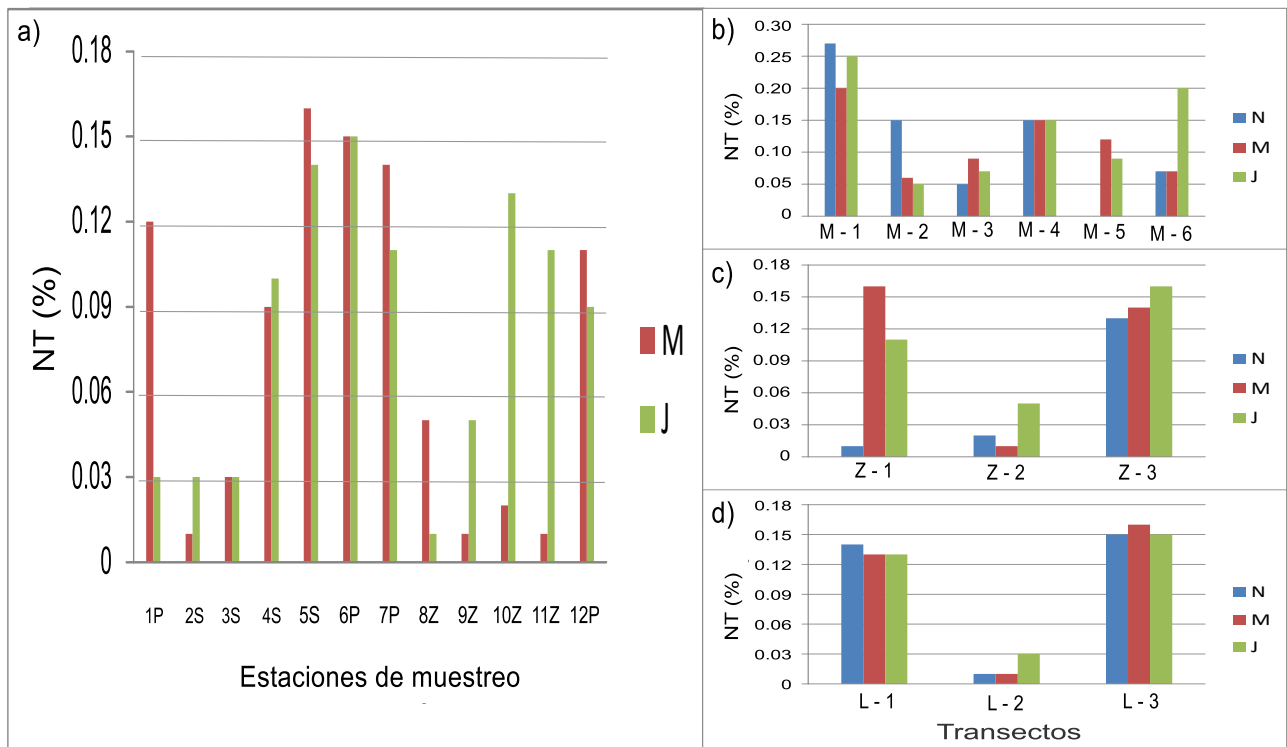


Figura 34. Variación espacial y temporal del contenido de nitrógeno total (NT) de los sedimentos superficiales del SNLMT, en las estaciones (a) y transectos (b-d) muestreados durante noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M), junio 2016 (J).

IV.2.2.3. Isótopo $\delta^{13}\text{C}$

Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ del sedimento superficial durante marzo 2016 variaron de un mínimo de -26.1‰ (estación 10Z) a un máximo -20.0‰ (Estación 6P), presentando el resto de estaciones valores muy cercanos a los de la estación 10Z, a excepción de la estación 9Z (-22.7‰) (Tabla 3, Figura 35M). Durante junio 2016 (periodo seco), los valores de $\delta^{13}\text{C}$ variaron de un mínimo de -26.5‰ (Estación 2S) a un máximo de -16.5‰ (estación 6P), registrándose para las otras estaciones restantes valores próximos a esta última, con excepción de las estaciones 1P (-18.4‰) y 8Z (-23.7‰) (Tabla 3, Figura 36J). Según el análisis de varianza, las variaciones temporales y espaciales del $\delta^{13}\text{C}$ no fueron significativas (Anexo A2).

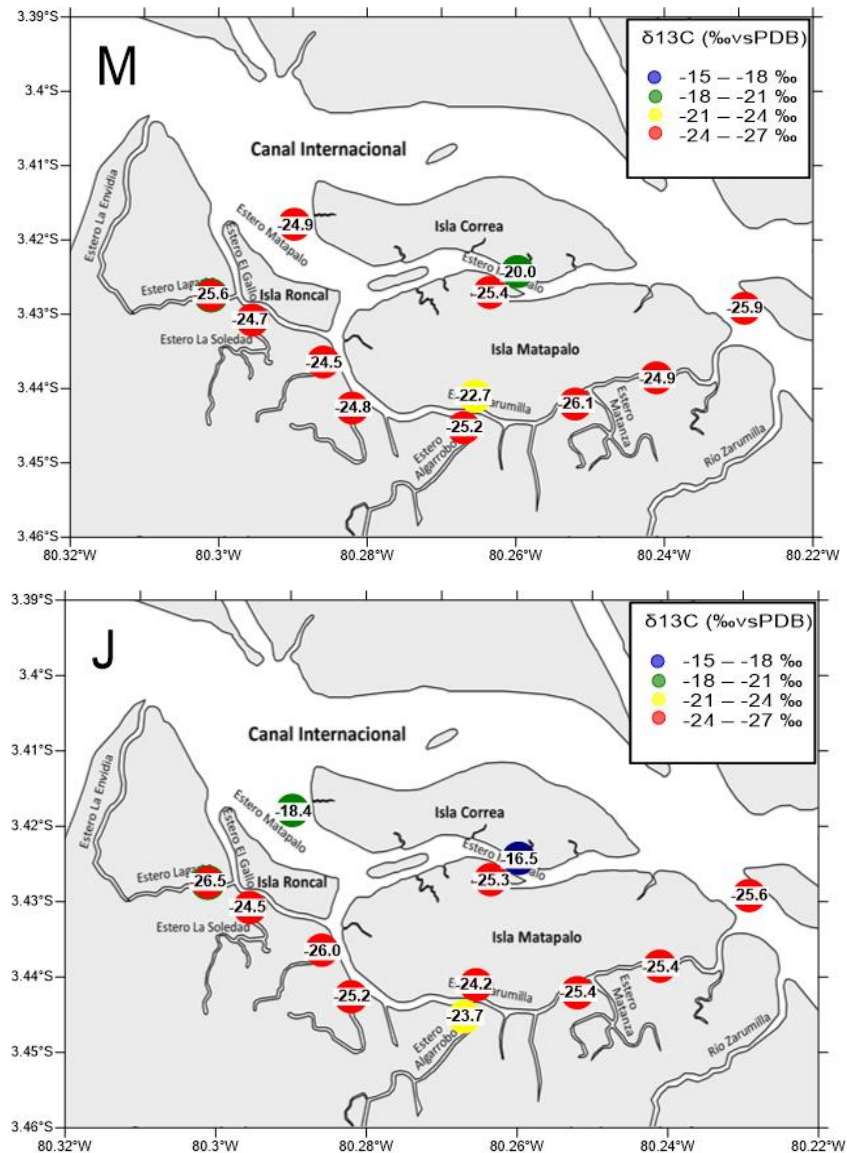


Figura 35. Variación espacial de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en los sedimentos superficiales del SNLMT, durante marzo 2016 (M), junio 2016 (J).

IV.2.2.4. Isótopo $\delta^{15}\text{N}$

La fracción de $\delta^{15}\text{N}$ durante marzo 2016 varió de un mínimo de 2.25 ‰ (estación 11Z) a un máximo de 6.82 ‰ (Estación 2S) (Tabla 3, Figura 36M), presentando menores valores hacia la cabecera de estuario, en el canal Zarumilla (promedio, 3.14 ‰) y los menores valores en las estaciones de los canales semicerrados (promedio, 5.48 ‰). Durante junio 2016, la fracción de $\delta^{15}\text{N}$ de los sedimentos superficiales varió de un mínimo de 2.83 ‰ (estación 3S) a un

máximo de 6.54 ‰ (estación 2S) (Tabla 3, Figura 36J), en este periodo no fue posible observar una determinada zonificación a partir de los valores de esta variable. La prueba de varianza mostró que estadísticamente no fueron significativas las variaciones de los valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre meses de muestreo, pero si entre los ambientes sedimentarios (Anexo A2).

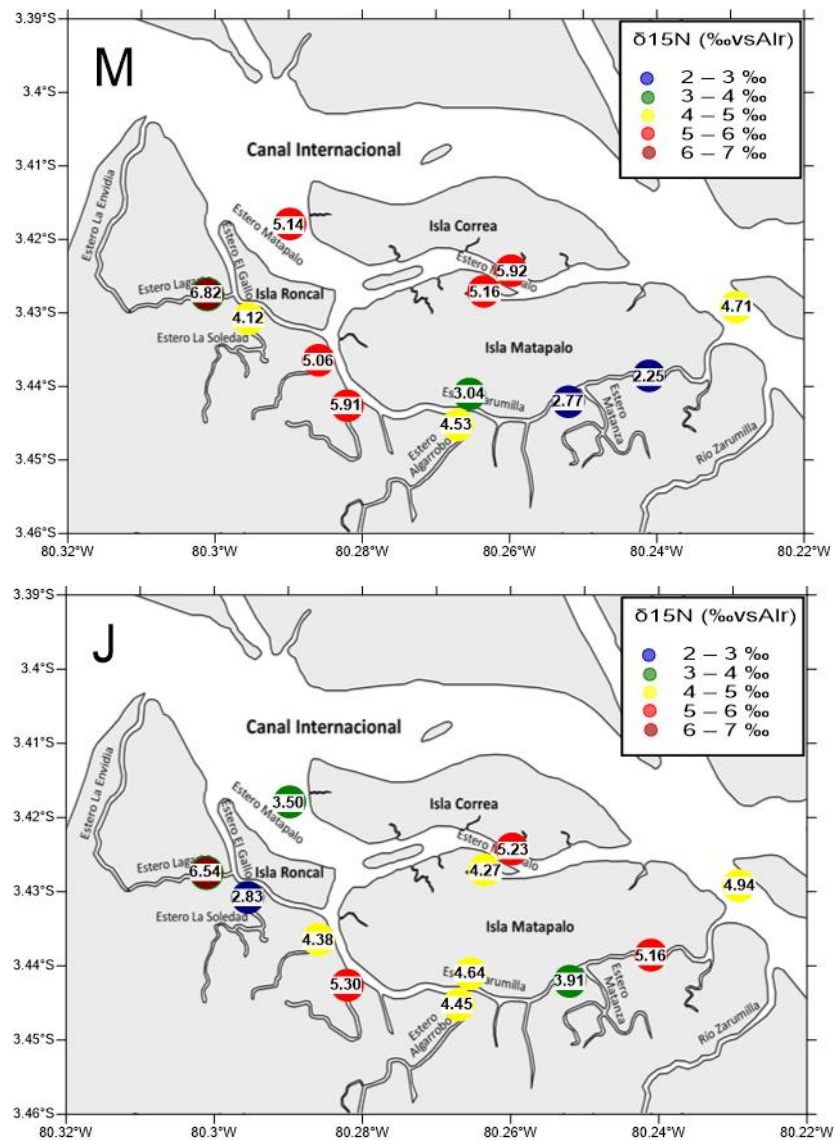


Figura 36. Variación espacial de los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en los sedimentos superficiales del SNLMT, durante marzo 2016 (M), junio 2016 (J).

IV.2.2.5. Relación C/N

La distribución espacial de las relaciones de C/N del sedimento superficial durante marzo 2016 cambió de un mínimo de 5.7 (estación 2S) a un máximo de 16.3 (Estación 3S) (Tabla 3, Figura 37M), pudiéndose observar un zonificación con valores intermedios y más estables en los canales (promedio, 12.3). Durante junio 2016 (periodo seco), los valores de las relaciones C/N de los sedimentos superficiales variaron de un mínimo de 7.5 (estación 3S) a un máximo de 19.5 (estación 6P), en este periodo los valores más bajos estuvieron entre las estaciones del canal Zarumilla y los canales geográficamente más cerrados (Tabla 4, Figura 37J). Con el análisis de varianza se pudo demostrar que las variaciones espaciales y temporales de los valores de las relaciones C/N no fueron significativas (Anexo A2).

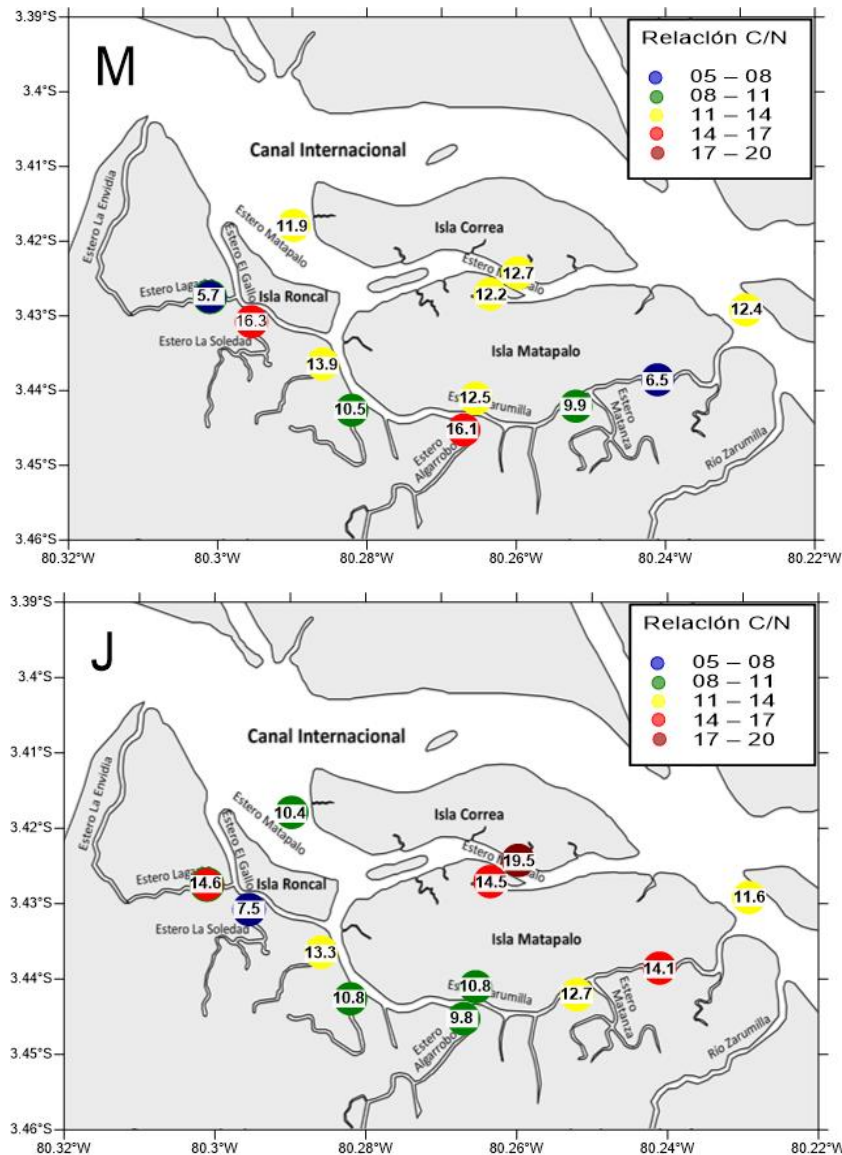


Figura 37. Variación espacial de la relación C/N en los sedimentos superficiales del SNLMT, durante marzo 2016 (M), junio 2016 (J).

IV.2.3. pH del sedimento superficial

Durante marzo del 2016, los valores de pH en el sedimento superficial variaron entre un mínimo de 6.35 (estación 6P) y un máximo de 7.65 (estación 9Z) (Tabla 3). Con respecto a la distribución espacial, los valores más bajos de pH se encontraron en las estaciones cercanos a la boca del estuario (valores próximos a 6.8) y los valores más altos estuvieron hacia la cabecera del estuario (valor promedio 7.3) (Figura 38M).

Para junio 2016 los valores de pH en agua superficial variaron entre un mínimo de 6.42 (estación 11Z) y un máximo de 7.78 (estación 1P y 8Z) (Tabla 3). En cuanto a la distribución espacial, los valores más altos de pH se encontraron hacia la boca del estuario (valores promedio de 7.57) (Figura 38J) y los más altos hacia la cabecera del estuario (valor promedio de 7.04).

Los valores de pH en el sedimento no presentaron diferencias significativas entre estaciones, pero si entre los periodos del estudio, encontrándose en marzo 2016 los valores más bajos (6.99) (Anexo A2).

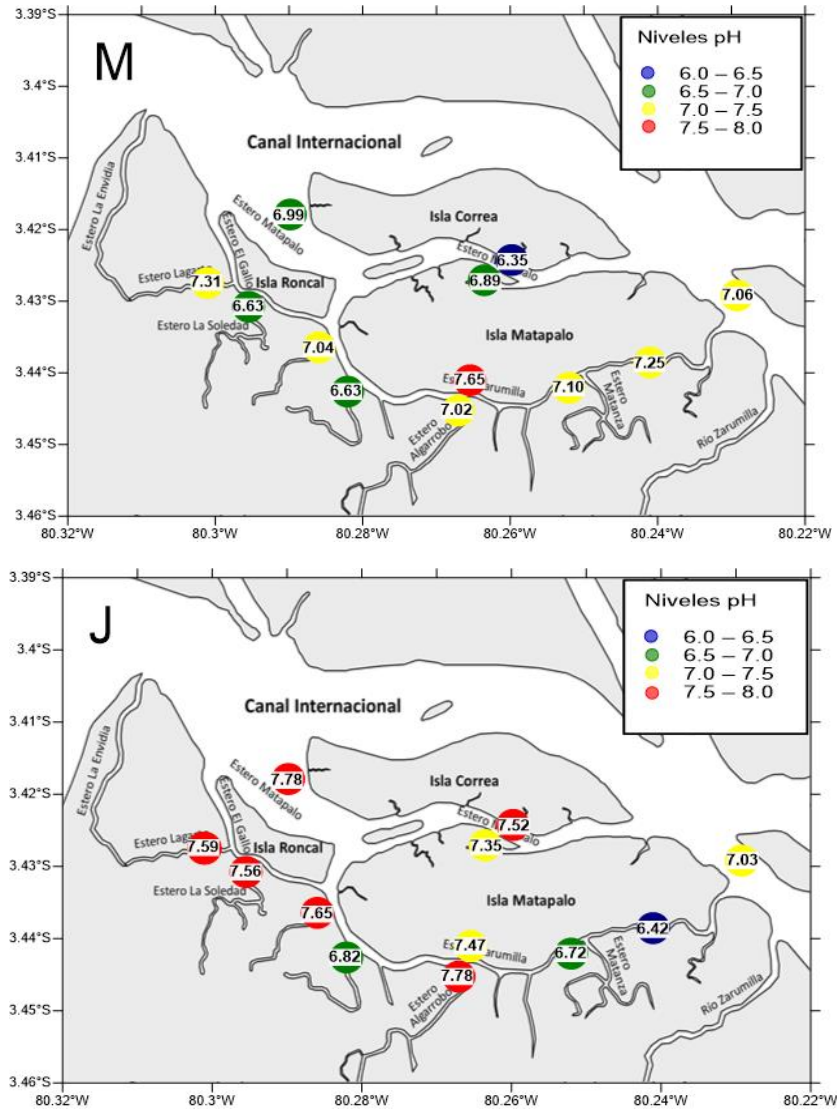


Figura 38. Variación espacial del pH de los sedimentos superficiales del SNLMT durante marzo 2016 (M), junio 2016 (J).

V. DISCUSIÓN

V.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS, EL NIÑO 2015–2016

Durante noviembre del 2015, las temperaturas extremas del aire, estuvieron 1.9 °C por encima de lo normal a lo largo de la costa norte. A pesar que los datos de la TSM en el Pacífico central ecuatorial mostraron una continuidad de la fase cálida de El Niño-Oscilación Sur (2015-2016), arrojando valores por encima de los registrados en 1982 y 1997, con anomalías positivas que alcanzaron +2.9 °C (Figura 39); el aumento en las precipitaciones en la costa oriental no alcanzaron los observados en 1982 y 1997, manteniéndose los caudales de los ríos dentro de los valores normales (ENFEN, 2015a).

En marzo 2016 (periodo húmedo) las temperaturas extremas del aire en la costa norte presentaron anomalías de +1.4 °C para la temperatura máxima y +1.3 °C para la temperatura mínima (valores por encima de lo normal). Las anomalías de la TSM en el Pacífico central ecuatorial disminuyeron a +1.9 °C y las anomalías del Pacífico ecuatorial oriental aumentaron a +1.1 °C (Figura 39) alcanzando un promedio de 27 °C en la zona El Niño 1+2. Entre la cuarta semana de febrero y la primera semana de marzo 2016 se desarrolló una banda secundaria de la ZCIT en el hemisferio sur favorecido por la intensificación de los vientos superficiales provenientes del golfo de Panamá en el Pacífico ecuatorial oriental que, sumado a la presencia de aguas cálidas y a la contribución de vientos del este (provenientes de la amazonía) en los niveles medios y altos, dio lugar a lluvias extremadamente fuertes en la región de Tumbes (ENFEN 2016a), pero solamente llegando a alcanzar una anomalía del 15% en la cuenca del río Zarumilla (Anexo A14).

Por otro lado, durante junio 2016 la anomalía de la TSM en el Pacífico ecuatorial central mantuvo una tendencia negativa, con una anomalía mensual de -0.1 °C, mientras que la anomalía del Pacífico ecuatorial oriental (región Niño 1+2) mostró valores fluctuantes con promedio mensual de +0.4 °C. Las temperaturas extremas del aire en la costa norte se presentaron por encima de lo normal con anomalías de +1.7 °C para la temperatura máxima y +0.9 °C para la temperatura mínima. Los caudales de los ríos de la costa peruana, en su mayoría como en el caso de río Zarumilla, evidenciaron características del periodo de estiaje, con caudales promedios diarios por debajo de lo normal (ENFEN, 2016b) (Figura 40).

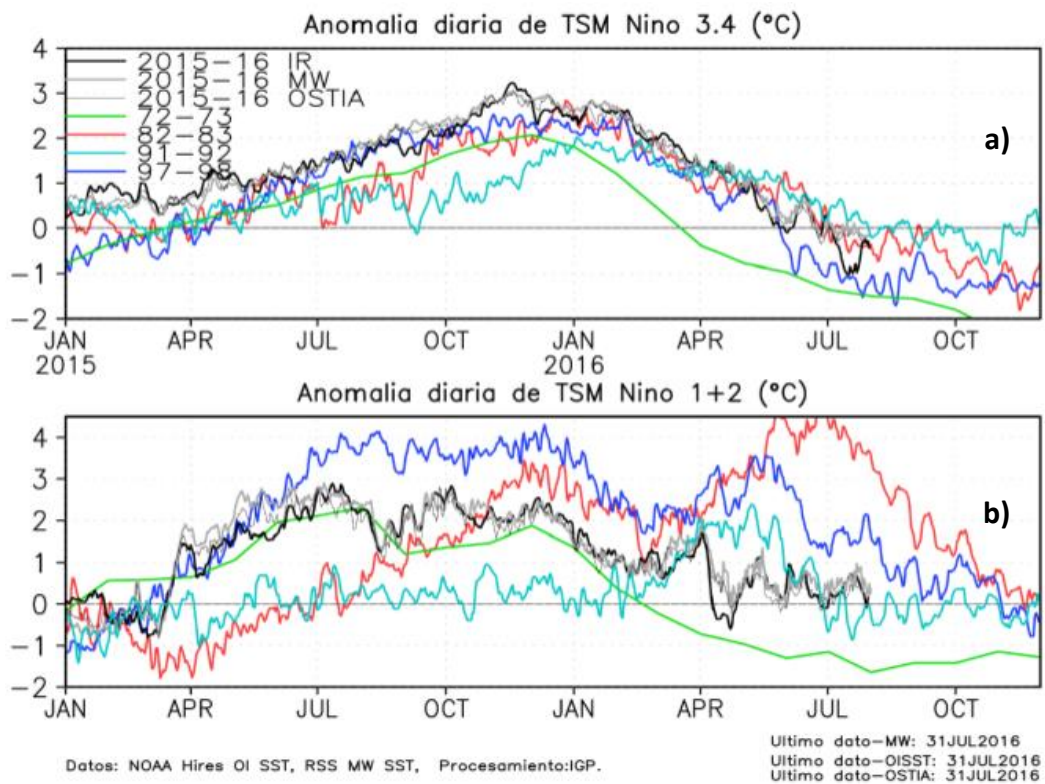


Figura 39. Anomalía de TSM (°C) durante el año 2015 - 2016 (negro), 1982 (rojo), 1997 (azul) y 1972 (verde) según los datos infrarrojos (NOAA Daily OI SST v2 AVHRR), en las regiones Niño 3.4 (a) y Niño 1+2 (b). Procesamiento IGP, (según ENFEN, 07-2016).

Es importante mencionar que los valores estimados del Índice Costero El Niño (ICEN) determinaron condiciones de cálida fuerte (+2.23 °C), cálida

moderada (+1.5 °C) y neutral (+0.27 °C) para los periodos de noviembre 2015, marzo y junio 2016 respectivamente (ENFEN, 2015a; ENFEN, 2016a; ENFEN, 2016b). El ICEN, consiste en la media corrida de tres meses de las anomalías mensuales de la TSM en la región Niño 1+2. Estas anomalías se calculan usando la climatología mensual para el periodo base 1981-2010. La fuente de datos para este índice son las TSM absolutas del producto ERSST v3b de la NOAA (EEUU) para la región Niño 1+2 (ENFEN, 2016a).

De acuerdo con el análisis de precipitación realizado por Arévalo & Acuña (2000), el periodo lluvioso se inicia en noviembre y termina en abril del año siguiente (75 % de la precipitación total del año), siendo febrero el mes más lluvioso. Mientras que en el periodo julio–octubre ocurren las menores precipitaciones (35 % de la precipitación acumulada anual), mostrando a setiembre como el mes más seco de la época (INRENA, 2011). Durante el mes de noviembre 2015, los registros del caudal de la cuenca del río Zarumilla arrojaron un promedio de $0.15 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, precedido de valores inferiores a $0.01 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ del mes de octubre 2015 (SENAMHI, 2017). En el mes de febrero y marzo 2016 (periodo húmedo) los caudales del río Zarumilla aumentaron considerablemente, observándose las descargas promedio mensuales más altas con $28.21 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ y $41.81 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ respectivamente; para luego ir disminuyendo hasta el mes de junio 2016, mes en que se registró un promedio inferior a $0.01 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Además se registró un pico de elevación anómalo diario de $190 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ en marzo 2016, mientras que el promedio máximo diario histórico es de alrededor de $100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (SENAMHI, 2017) (Figura 40).

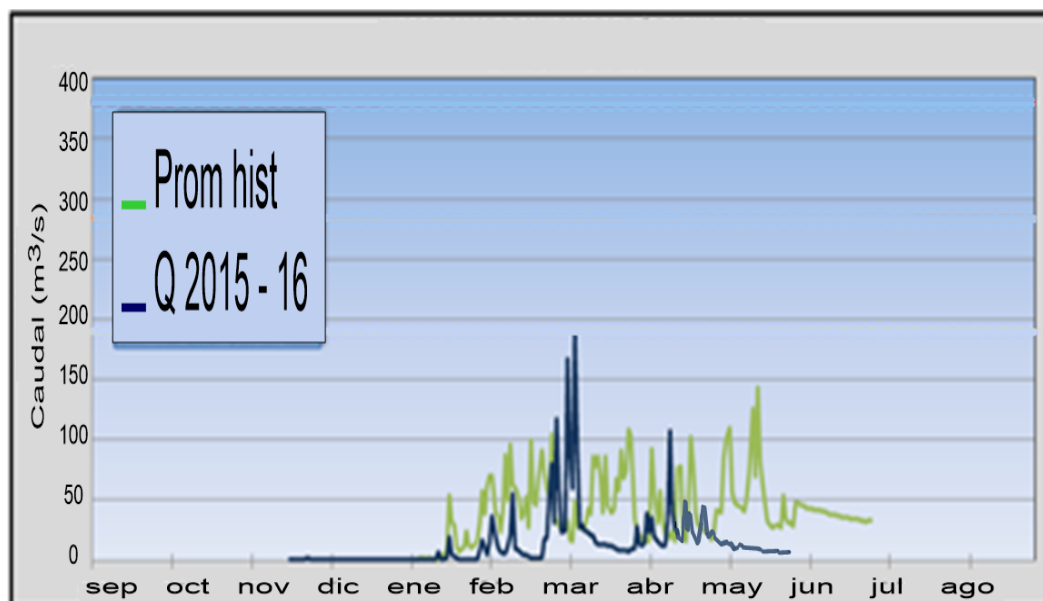


Figura 40. Hidrograma del río Zarumilla en la estación hidrológica Palmales (Tumbes) durante los periodos 2015-2016 (azul) y promedio histórico (verde). (Según SENAMHI, 2017).

V.2. FISICOQUÍMICA DEL AGUA

La fisicoquímica del agua de los canales del SNLMT reflejó una clara variación estacional entre los periodos de noviembre 2015 (temporada seca), marzo 2016 (temporada húmeda) y junio 2016 (temporada seca).

V.2.1. Temperatura del agua superficial

Los valores promedio de temperatura registrados muestran un ambiente más cálido en el mes de noviembre 2015 (Figura 17); un patrón diferente a lo observado por Pérez (2014), quien reportó temperaturas significativamente más bajas para estas temporadas (octubre 2012) en comparación con el periodo húmedo (abril 2013) (Figura 41). Esto es debido en parte a la influencia del desarrollo del evento el Niño 2015-2016 (que hasta ese momento era categorizado con magnitud fuerte), el cual, en la costa norte peruana había generado anomalías de +2.9 °C en la TSM (Figura 39) y +1.9 °C en la temperatura del aire (ENFEN,

2015b). La menor temperatura en marzo 2016 con respecto al periodo anterior y a lo reportado por Pérez (2014) (periodo húmedo, abril 2013), (Figura 41), es debido a la mayor descarga de agua fresca por parte del río Zarumilla (Figura 40), influenciado directamente y en mayor grado sobre las estaciones de muestreo ubicadas cerca de la cabecera de estuario (Figura 17M).

Cabe mencionar que la temperatura del agua disminuyó de noviembre 2015 – marzo 2016 – junio 2016 (Figura 16, Tabla 2) presentando diferencias estadísticamente significativas solo entre noviembre 2015 y junio 2016 (Anexo A1). Los valores más bajos encontrados en este último periodo fue consecuencia de la disminución de la TSM, la cual mantuvo una tendencia negativa, con una anomalía de -0.1 °C mensual (Figura 39) (ENFEN, 2016b).

Durante el periodo húmedo del muestreo, las menores temperaturas se registraron hacia el canal Zarumilla (Figura 17M) y para el caso de épocas secas se encontraron en los canales secundarios (Figuras 17N y 17J). Los canales secundarios por contener comúnmente aguas con mayor tiempo de residencia, suelen ser más cálidas (Pérez, 2014), pero en este caso, tendrían los valores más bajos debido a su cercanía al océano. Por otro lado se registraron altas temperaturas en zonas de canales principales, lo que obedecería a un proceso natural de insolación (Domínguez, 2005; Tenorio & Beltrán, 2005; INRENA, 2011).

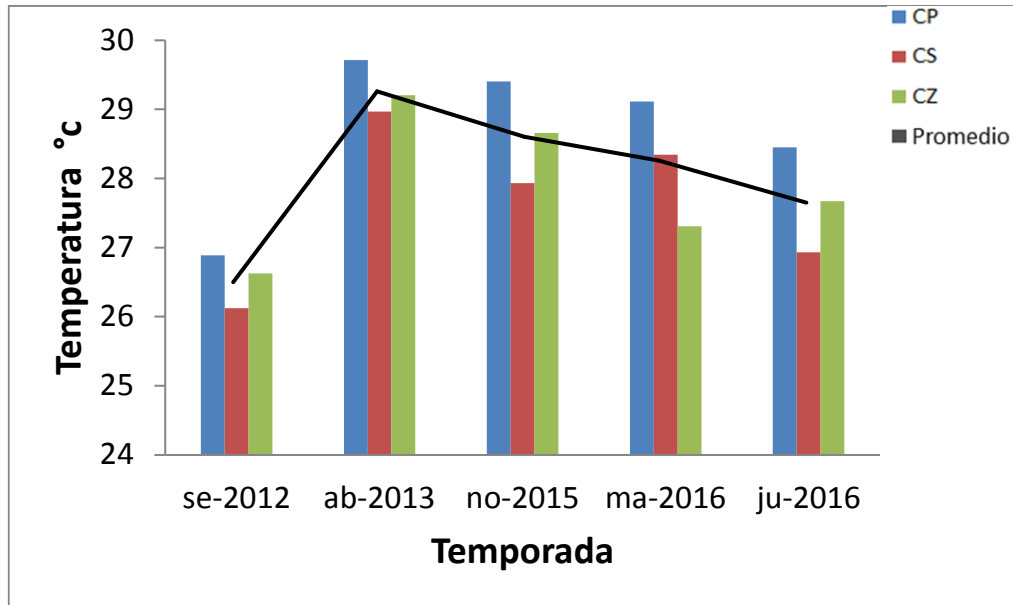


Figura 41. Variación temporal y espacial (canales estuarinos) promedio de la temperatura superficial del agua en los Manglares de Tumbes durante septiembre 2012, abril 2013, noviembre 2015 marzo y junio 2016 (los datos de setiembre 2012 y abril 2013 fueron tomados de los promedios reportados por Pérez (2014) para esta misma zona de estudio).

V.2.2. Salinidad del agua superficial.

Los niveles de salinidad evidencian la variación y transición de las condiciones seco-húmedo-seco y, como este influye en el régimen hídrico de los canales del SNLMT. La época húmeda del periodo marzo 2016 fue significativamente menos salina que la época húmeda de abril 2013 (registrado por Pérez (2014)) y las temporadas secas que, estadísticamente no difirieron (Anexo A1) (Figura 42). Los menores valores de salinidad en marzo 2016 es producto de la mayor descarga de agua dulce por parte del río Zarumilla, que registró un caudal de $41.81 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ frente a un $0.15 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ y $< 0.01 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ en los meses de noviembre 2015 y junio 2016 respectivamente (SENAMHI, 2017) (Figura 40), disminuyendo de esta manera la concentración de sal proveniente del mar (INRENA, 2011; Pérez, 2014) y formando además un frente halino. El frente halino dividió al estuario en 2 zonas, una con las estaciones ubicadas hacia la

cabecera del estuario, con un promedio de salinidad de 2.59 y otra hacia la boca de estuario con salinidad promedio de 19.88 (Figura 18M).

En concordancia con lo encontrado por Pérez (2014) y lo reportado por Tenorio & Beltrán (2005), INRENA (2011) y IGP (2015), los menores valores de salinidad fueron encontrados en el canal Zarumilla (Figuras 18M y 42), próximo al origen de la descarga de agua dulce (Arévalo & Acuña, 2000). Por otro lado, durante junio 2016 (época seca) la mayor salinidad se registró en los canales secundarios cercanos a la boca del estuario reflejando la intrusión de agua salada desde el océano y una evaporación más alta, por contener aguas con mayor tiempo de residencia (Pérez, 2014) (Figuras 18J y 42).

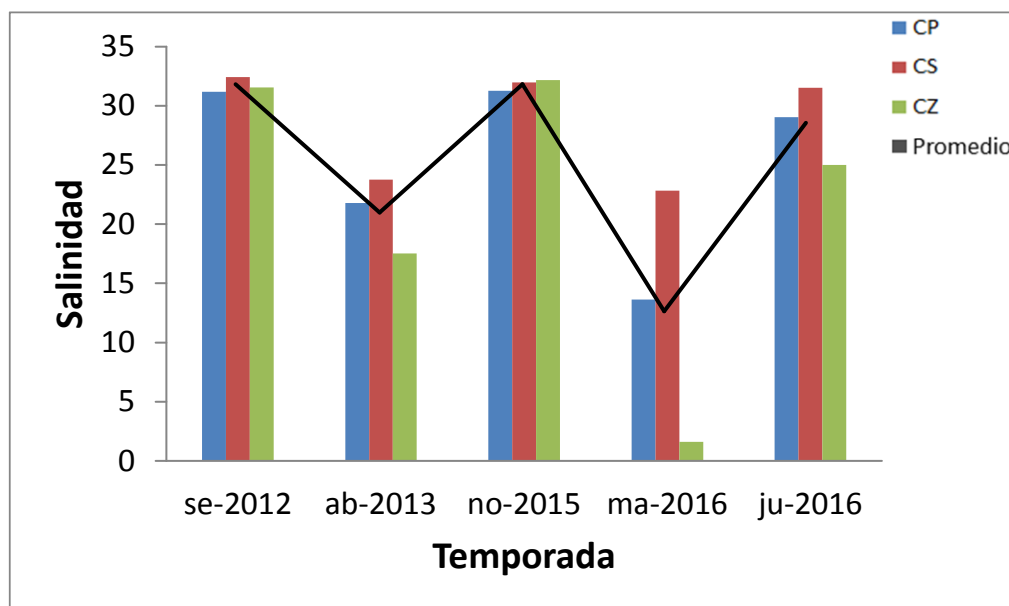


Figura 42. Variación temporal y espacial (canales estuarinos) promedio de la salinidad superficial del agua en los Manglares de Tumbes durante septiembre 2012, abril 2013, noviembre 2015 marzo y junio 2016 (los datos de setiembre 2012 y abril 2013 fueron tomados de los promedios reportados por Pérez (2014) para esta misma zona de estudio).

V.2.3. Oxígeno disuelto, pH y potencial de óxido-reducción del agua superficial

Entre los parámetros fisicoquímicos, los niveles de oxígeno disuelto, el pH y el Eh son los indicadores clave para determinar si un cuerpo de agua presenta un alto enriquecimiento orgánico. Pues, cuando aumenta la cantidad de materia orgánica en la columna de agua y en los sedimentos, da lugar a altas demandas de oxígeno a través de los procesos respiratorios (Ambio, 1990; Kemp et al., 1997) brindando de esta manera una aproximación de la actividad biogeoquímica y del tiempo de residencia de los cuerpos de agua (Black & Shimmiel, 2003). Los gradientes significativos de oxígeno que se encuentran comúnmente en las aguas estuarinas y en los sedimentos de superficie están controlados en gran parte por la estratificación, que es función de la mezcla de mareas, vientos y de la carga de materia orgánica (Borsuk et al., 2001). Las condiciones biogeoquímicas resultantes en los sedimentos se ven afectadas por concentraciones bajas de oxígeno, y uno de los impactos más graves es la pérdida de la macrofauna bentónica responsable de procesos de bioturbación. La falta de bioturbación altera el reciclado de la materia orgánica en los sedimentos reduciendo la descomposición mecánica de los detritos y la alteración física de los sedimentos y, por tanto, la oxidación de los sedimentos (Andersen & Kristensen, 1991).

El OD registrado en los canales del SNLMT (Tabla 2) evidenció valores más altos durante el periodo seco (no significativos) y en estaciones situadas en el canal Zarumilla (significativamente mayores) y cercanas a la cabecera de estuario (Anexo A1), a diferencia de lo encontrado por Pérez en 2014, quien reportó niveles de OD mayores durante el periodo húmedo (Figura 43), época en donde el

flujo y reflujo de agua es en promedio mucho mayor (INRENA 2011, IGP 2015). Además, se pudo notar que durante el periodo seco se registraron valores bajos de OD en los canales secundarios 3S y 2S (Figura 19J) ya que estas zonas (sumando a que el muestreo se realizó en marea baja) presentan menor probabilidad de ventilación y recirculación de aguas y una mayor deposición de material orgánico particulado (Pérez, 2014), donde los procesos de respiración aeróbica de la materia orgánica son significativamente mayores (Kristensen et al, 2008). Las menores concentraciones de OD observado por Pérez (2014) en este periodo con respecto al de nuestro estudio (Figura 43), es debido a la mayor temperatura encontrada, la cual estaría acelerando los procesos de respiración y oxidación de la materia orgánica. Los valores de OD en el periodo húmedo (marzo 2016) (Figura 19M) fueron inversamente relacionados con la temperatura ($r = -0.85$, $p < 0.05$) (coincidiendo con lo reportado por Pérez, 2014) y la salinidad ($r = -0.73$, $p < 0.1$) (Anexo A4), mostrando una clara zonificación. Las menores concentraciones de OD se localizan cerca a la boca de estuario, probablemente por la mayor concentración y respiración del material orgánico de origen marino. Asumimos que se produjo una mayor concentración y un tipo de aislamiento de materia orgánica lábil marina cerca de la boca de estuario debido a la formación de un frente halino originado por el empuje del aumento del caudal del río Zarumilla.

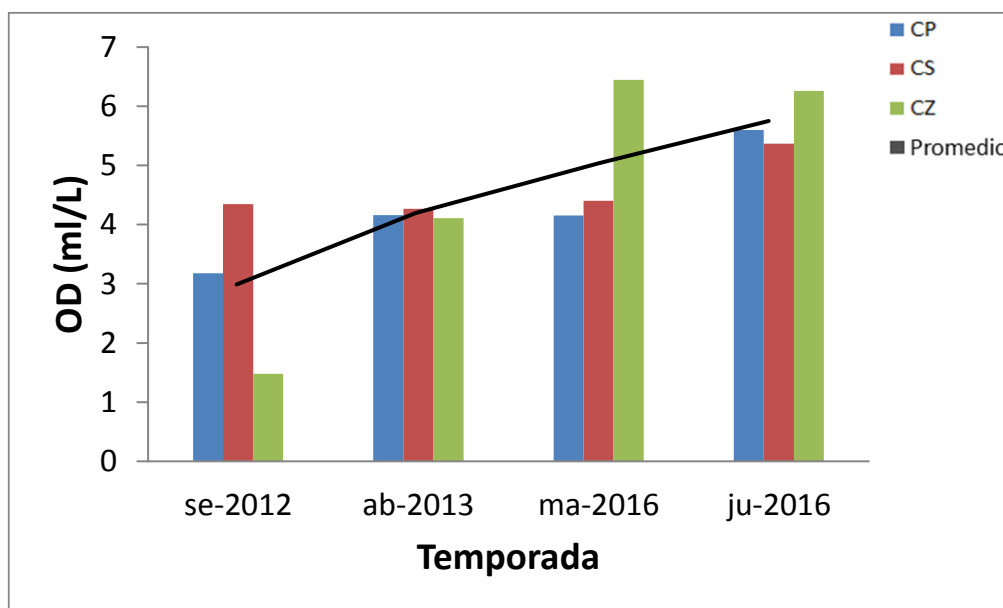


Figura 43. Variación temporal y espacial (canales estuarinos) promedio del oxígeno disuelto del agua en los Manglares de Tumbes durante septiembre 2012, abril 2013, marzo y junio 2016 (los datos de setiembre 2012 y abril 2013 fueron tomados de los promedios reportados por Pérez (2014) para esta misma zona de estudio).

De igual manera que el OD y la salinidad, los niveles de pH mostraron valores más bajos durante el periodo húmedo debido al mayor abastecimiento de aguas continentales (Tenorio & Beltrán, 2005; INRENA, 2011) mediado por un aumento de precipitaciones, las cuales presentan características más ácidas (Marambio, 2012; Persat, 2009; Sienfeld & Pandis, 2006), en comparación con las aguas oceánicas ligeramente alcalinas ($\text{pH} = 7.5 - 8.4$) (Cifuentes et al., 1997). En consecuencia los valores más bajos de pH del agua superficial en la época húmeda se localizaron en las estaciones del canal Zarumilla, en la cabecera del estuario y sobre todo en canales geográficamente más cerrados (Figuras 20M y 44), donde el flujo de agua es menor y la respiración de material orgánico es mayor (Pérez, 2014); los valores más bajos observados en marzo 2016 con respecto a la temporada húmeda de abril 2012 estudiada por Pérez (2014), se debe al mayor flujo de agua proveniente de las precipitaciones (pH más ácido), eso se puede

corroborar con la menor salinidad registrada en la temporada húmeda de nuestro estudio (Figura 44). En el periodo seco; los valores más bajos de pH se localizaron próximos a la boca del estuario en noviembre 2015 (Figura 20N); debido probablemente al mayor aporte de material orgánico lábil, el cual es respirado en mayores proporciones en esta zona. Por otro lado, en junio 2016 las estaciones próximas a la cabecera de estuario fueron las que se caracterizaron por presentar niveles más bajos de pH (Figura 20J), posiblemente a causa de la influencia del pH del sedimento, puesto que mostró condiciones ligeramente más ácidas en estas estaciones (Figura 38J) correlacionándose ligeramente de manera positiva ($r=0.53$, $p=0.08$) (Anexo A7); esto es ocasionado, quizás por la poca profundidad del canal y por la liberación de H_2S (hacia la columna de agua) producto de las reacciones bioquímicas reductoras de la materia orgánica acumulada. Condiciones de bajo pH en el agua superficial perteneciente a este periodo también se observaron en el canal Lagarto (estación 2S) (Figura 20J), geográficamente caracterizado por presentar pequeñas dimensiones y en el cual el análisis se realizó en el punto más bajo de la marea.

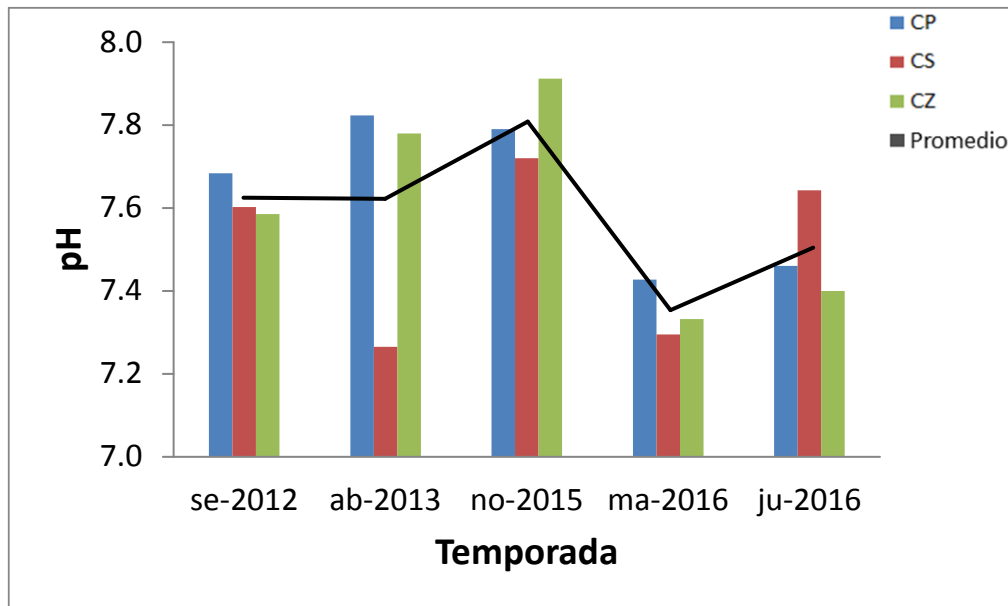


Figura 44. Variación temporal y espacial (canales estuarinos) promedio del pH del agua en los Manglares de Tumbes durante septiembre 2012, abril 2013, noviembre, marzo y junio 2016 (los datos de setiembre 2012 y abril 2013 fueron tomados de los promedios reportados por Pérez (2014) para esta misma zona de estudio).

Las reacciones redox y ácido-base son importantes para determinar el estado de un ion en aguas estuarinas (Bianchi, 2007). Las condiciones redox así como en el caso de los fiordos (McKee & Skei, 1999), en los manglares dependen de la periodicidad del intercambio de agua y de la tasa de consumo de oxígeno debido a la productividad y descomposición de la materia orgánica. Variando considerablemente según la frecuencia y duración de la inundación de las mareas, el drenaje, el contenido de materia orgánica y la disponibilidad de aceptores de electrones. En general, se espera que el potencial de óxido-reducción aumente con la disminución de la frecuencia y la duración de la inundación de las mareas (Boto & Wellington, 1984). En nuestro estudio los potenciales óxido-reducción (Figura 21) presentaron variación significativa entre los periodos noviembre 2015 – junio 2016, marzo 2016 – junio 2016, mas no entre noviembre 2015 - marzo

2016 (Anexo A1); además, sus valores se correlacionaron ligeramente de manera directa con la temperatura ($r = 0.52$, $p = 0.1$) en noviembre, directa con el OD ($r = 0.56$, $p = 0.06$) e inversa con la salinidad ($r = -0.79$, $p < 0.05$) en marzo y de manera indirecta con el pH del agua ($r = -0.57$, $p = 0.06$) en junio (Anexo A4). Los resultados del potencial oxido-reducción de este último mes muestra características opuestas a las enunciadas en la literatura; revelan una tendencia inversa a los niveles de oxígeno disuelto, mientras que estudios, por ejemplo Alongi et al., 1998; Nielsen & Andersen, 2003 aseveran que compuestos altamente oxidados, revelan potenciales rédox más positivos que favorecen los procesos de mineralización.

V.2.4. Sólidos suspendidos

La concentración de SS fue significativamente más alta en el periodo húmedo (marzo 2016) con respecto al periodo seco (junio 2016), debido a la erosión y al transporte de material en suspensión de origen continental a través del río Zarumilla, por causa de las precipitaciones y el consecuente aumento de los caudales de los tributarios (Kitheka et al., 2005); lo cual es corroborado por la correlación negativa encontrada con la salinidad ($r=-0.62$, $p<0.05$) (Anexo A4). Siguiendo de esta manera el patrón enunciado por Morera et al. (2017), quienes postulan que la erosión de los suelos, el aumento de la concentración y transporte de SS está íntimamente ligado al aumento de la escorrentía de los ríos por efecto del aumento de precipitaciones; demostrado así durante el periodo húmedo de El Niño 1997–1998 (enero–abril), donde los flujos de SS en los ríos Tumbes y Zarumilla alcanzaron niveles hasta 30 veces más que en un año no-Niño. Sin embargo, las precipitaciones en la cuenca del río Zarumilla durante la temporada

húmeda de el Niño 2015–2016 presentó anomalías positivas que no superaron el 15% del promedio histórico (SENAMHI, 2016) (Anexo A14), lo que generó un caudal máximo promedio mensual de sólo $43 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ y un pico diario de $190 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ durante marzo 2016 (Figura 40), por lo que el transporte de SS no fue muy alto en comparación al EN 1997-1998, alcanzando así una concentración máxima de 2.19 gL^{-1} en el estuario del SNLMT (estación 10Z).

Al igual -que Kiteka et al. (2002, 2005) y Capo et al. (2006); en este estudio también se logró identificar una zona de máxima turbidez bien diferenciada pero, sólo en la época húmeda cuando el caudal del río Zarumilla alcanzó los $43 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. La localización de las zonas de máxima turbidez está asociada generalmente con el frente de salinidad y la circulación gravitacional y se caracteriza por contener la mayor concentración de SS (Kitheka et al., 2005). En nuestro estudio, la zona de máxima turbidez estuvo localizada en las estaciones del canal Zarumilla, en la cabecera del estuario (9Z, 10Z, 11Z y 12P) (Figura 22M) con una concentración promedio de SS de 1.16 gL^{-1} . Un resultado cercano a los 1.5 gL^{-1} se registró en el estudio de Capo et al. (2006) para la zona de máxima turbidez cerca de la cabecera de estuario del manglar Konkoure en Guinea cuando su tributario presento un caudal de $30 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Las menores concentraciones de SS cercanos a la boca de estuario en el periodo húmedo quizá se deba también a las pobres concentraciones de material suspendido en aguas oceánicas, a parte de la sedimentación existente por procesos de floculación química iniciada por iones de salinidad (Capo et al., 2006). Los iones de salinidad se unen a las pequeñas partículas de arcilla y limo fino, provocando fuerzas electrónicas entre estas, agrupándolas y formando así un fango de barro de mayor

tamaño (100-200 μm) (Wang & Anduta, 2013). De otro lado, en junio 2016, con el cese de las lluvias y la disminución de los caudales del río Zarumilla hasta menos de $0,01 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ se limitó la descarga de sedimentos en suspensión hacia el SNLMT; el frente de salinidad desapareció, desapareciendo consigo también la zona de máxima turbidez, conduciendo a las concentraciones de SS a ser prácticamente uniformes en todo el estuario (Figura 22J), con un valor promedio de $0,02 \text{ gL}^{-1}$; estando solamente determinado por la resuspensión de sedimentos, por la acción de llenante y vaciante de las mareas (Kitheka et al., 20002, 2005; Capo et al., 2006; Pérez, 2014).

V.3. VARIABLES SEDIMENTARIAS

En vista que el SNLMT es un ecosistema de manglar fluvial y marino, abierto y dinámico que depende de flujos de agua para el transporte y la redistribución de la materia orgánica y sedimentos (INRENA, 2011) - lo cual podría estar generando variaciones en sus características sedimentarias a diferentes escalas - Se vio conveniente para un mejor entendimiento, realizar el estudio de las variables sedimentarias de los canales en dos escalas espacio-temporales: 1) mediante transectos enfocando las variaciones dentro de los canales Matapalo, Lagarto y Zarumilla durante los meses de noviembre 2015, marzo y junio 2016; y 2) enfocado en las variaciones de las 12 estaciones de muestreo, durante marzo y junio 2016.

V.3.1. Transectos en los canales Matapalo, Lagarto y Zarumilla

V.3.1.1. Deposición-erosión intermareal en los canales

Los datos recogidos mediante la medición de las varillas colocadas a las orillas (zona intermareal) de los tres canales (Tabla 5) revelan que hubo una deposición continua de material sedimentario. Especialmente la mayor deposición ocurrió en la zona intermareal de los canales más pequeños (Lagarto y Zarumilla). La vegetación encontrada circundante a los canales Lagarto y Zarumilla está formada por mangles más pequeños y enraizamientos más estrechos con respecto al canal Matapalo (canal principal), hecho que facilitaría un mejor entrapamiento de los sedimentos (Brinkman et al., 2005), facilitando posiblemente procesos de progradación. Además, las orillas del canal Matapalo, tanto en isla Correa como en isla Matapalo presentan mayor influencia de los extractores de mariscos quienes juegan un papel fundamental en la erosión a nivel de esta zona en estudio.

Tabla 5. Medición de la erosión-deposición del sedimento en la zona intermareal de los canales Lagarto (S: sur, N: norte), Matapalo (SE: sureste, SO: suroeste, NE: noreste, NO: noroeste) y Zarumilla (Z-A: intercepción de los canales Zarumilla y Algarrobo) del SNLMT, entre los periodos de muestreos de noviembre 2015, marzo y junio 2016.

Periodo	Altura de Sedimentos depositados (cm)						
	Canal Lagarto		Canal Matapalo				Canal Zarumilla
	S	N	SE	SO	NE	NO	Z-A
Nov. 2015 – mar. 2016	5.5	3.5	0.6	-2.5	5.5	5.4	4.8
Mar. 2016 – jun. 2016	3.0	0.0	1.0	1.5	1.8	2.2	-

Temporalmente entre los periodos noviembre 2015 a marzo 2016 se dio la mayor deposición de sedimentos respecto al periodo comprendido entre marzo y junio 2016, consecuencia que atribuimos al mayor importe de material

sedimentario desde el continente por el efecto del aumento de la escorrentía durante la época húmeda.

Por otro lado, en la parte submareal, los perfiles batimétricos observados en los tres canales prácticamente no mostraron cambios entre los periodos de estudio, siendo el más estable de ellos, el canal Matapalo. Por lo que postulamos, que el aumento de la descarga de agua dulce por parte del río Zarumilla durante el evento El Niño 2015-2016 (pico máximo diario, cerca de $200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en marzo 2016 (SENAMHI, 2017) (Figura 40) no fue suficientemente fuerte como para generar cambios significativos en los cuerpos sedimentarios, en lo que a deposición o erosión de la parte submareal se refiere (Figuras 45, 46 y 47). A diferencia de los eventos El Niño 1982-1983 y 1997-1998 que se caracterizaron por presentar intensas lluvias causantes de avenidas caudalosas en el río Zarumilla, arrastrando consigo una mayor cantidad de sedimentos que, además de bloquear muchos esteros y ocasionar la muerte de varias especies vegetales y animales, causaron la ruptura de los estanques de langostineras colindantes (IGP, 2013).

V.3.1.2. Granulometría

Los sedimentos de los canales del SNLMT presentaron características bimodales, observándose 2 grupos bien individualizados, una fracción conformada por arena muy fina y otra por limo y arcilla (Figura 23). Esto es coherente, pues los manglares de Tumbes se ubican sobre depósitos continentales del Pleistoceno y Holoceno, conformados por materiales como: arena, arcilla y cascajo, ocupando la zona interface marino-aluvial, dependiendo particularmente en la parte del canal Internacional de tres factores independientes entre sí: mareas

costeras, corrientes costeras y el flujo de sedimentos que importa los ríos (INRENA, 2011).

Las diferencias significativas del contenido porcentual de material limo-arcilloso (Anexo A3) y de las medianas de la porción de arenas encontradas entre los canales Lagarto, Matapalo y Zarumilla evidencian lo dinámico que es este sistema. Siendo el canal Matapalo el que presenta el mayor contenido de material fino y el canal Lagarto el menor (Tabla 4). Estas diferencias están ligadas a la proporcionalidad de las dimensiones de los canales y a su ubicación o distancia respecto al océano, ya que zonas más cercanas al mar, tendrían una mayor influencia de las mareas (Pérez, 2014, Kitheka et al., 2005), presentando mayor flujo y reflujos de agua (Derrau, 1978).

Como podemos observar en las figuras 45, 46 y 47, la geomorfología (Brinkman et al., 2005) juega un papel fundamental en los procesos sedimentológicos de los canales del SNLMT. Existe una tendencia de mantener porcentajes de limo-arcilla más bajos en las zonas de mayor corriente del canal (en algunos casos en el centro de los canales). Esto es consecuencia de la mayor energía y velocidad de las corrientes del flujo y reflujos del agua, lo cual dificulta el asentamiento de sedimentos finos (Howard et al., 1975, Kitheka et al., 2005, Capo et al., 2006, Bianchi, 2007) en estas zonas. Por ejemplo, la corriente más fuerte en el canal Matapalo se encuentra en el punto de muestreo M-5 (ubicado al lado sur del canal) (Figura 45). En el canal Lagarto, en el punto de muestreo L-2 (ubicado en el centro del canal) (Figura 46), mientras que en el canal Zarumilla la corriente más alta estuvo en el punto Z-1 (localizado al lado norte del canal) (Figura 47).

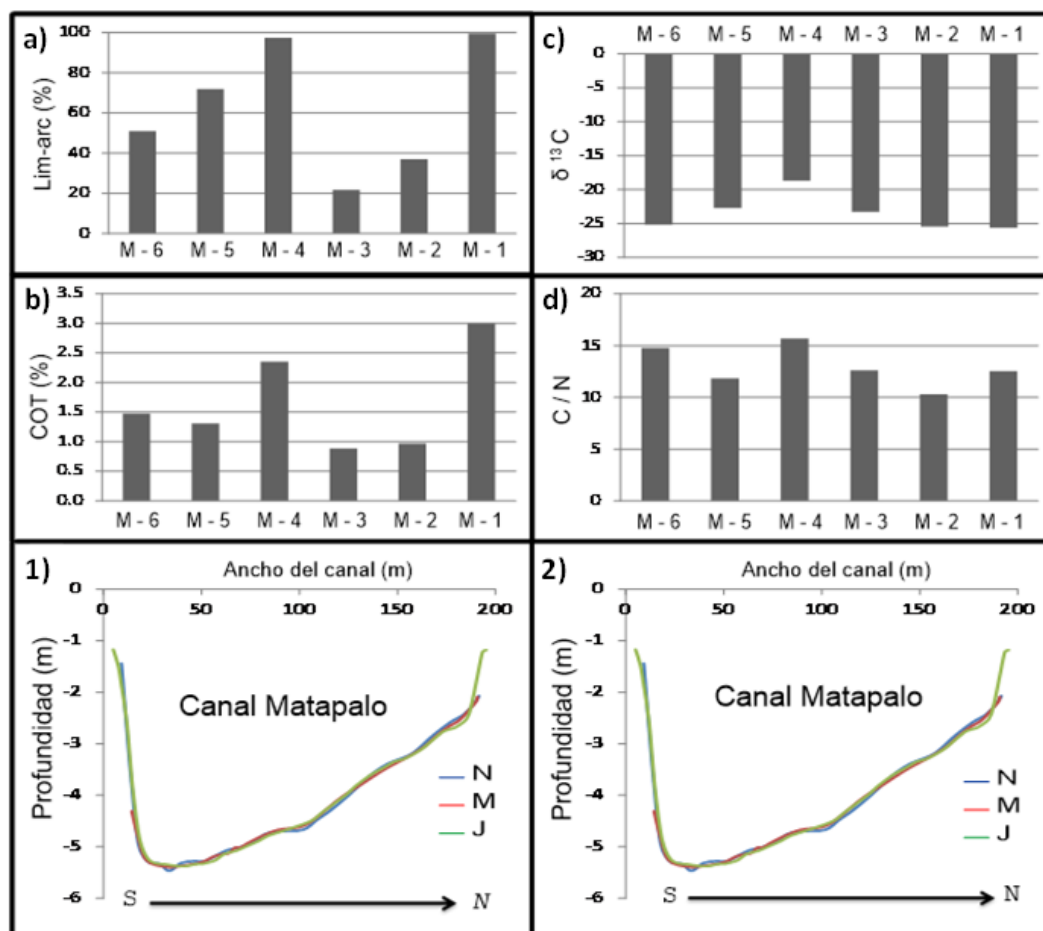


Figura 45. Caracterización batimétrica (1 y 2) durante los periodos de noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M) y junio 2016 (J). Distribución espacial de los promedios del porcentaje de limo-arcilla (a), carbono orgánico total (COT) (b), $\delta^{13}C$ (c), y relación C/N (d) del sedimento superficial a lo ancho del canal Matapalo, desde el margen sur (S), en la isla Matapalo hacia el margen norte (N), en la isla Correa. 1, 2 son el mismo esquema.

La cercanía al océano y las pequeñas proporciones del canal Lagarto favorecen el predominio de sedimentos de mayor tamaño de grano en esta zona, hecho dado por el constante flujo (Winterwerp et al., 2005) y reflujo de agua provocado por las mareas (Derrau, 1978; Kitheka et al., 2005). Caso contrario parece suceder en el canal Matapalo donde la mayor anchura del canal estaría propiciando la preservación de sedimentos más finos, como consecuencia de la distribución de la energía del flujo y reflujo del agua en una área mucho más grande. Además, al igual que Capo et al. (2006) en su estudio del estuario del manglar Konkoure en Guinea, atribuimos que en este lugar se estaría formando la

cuña halina del estuario sobre todo en época húmeda lo que favorecería la deposición de sedimentos finos. Por otro lado los porcentajes intermedios de limo-arcilla del canal Zarumilla es consecuencia de su ubicación cerca de la cabecera del estuario y a sus dimensiones relativamente pequeñas. La lejanía del canal Zarumilla del océano y la baja influencia de las mareas, estaría debilitando el embate de las corrientes de marea causantes de la erosión (Capo et al., 2006; Pérez, 2014).

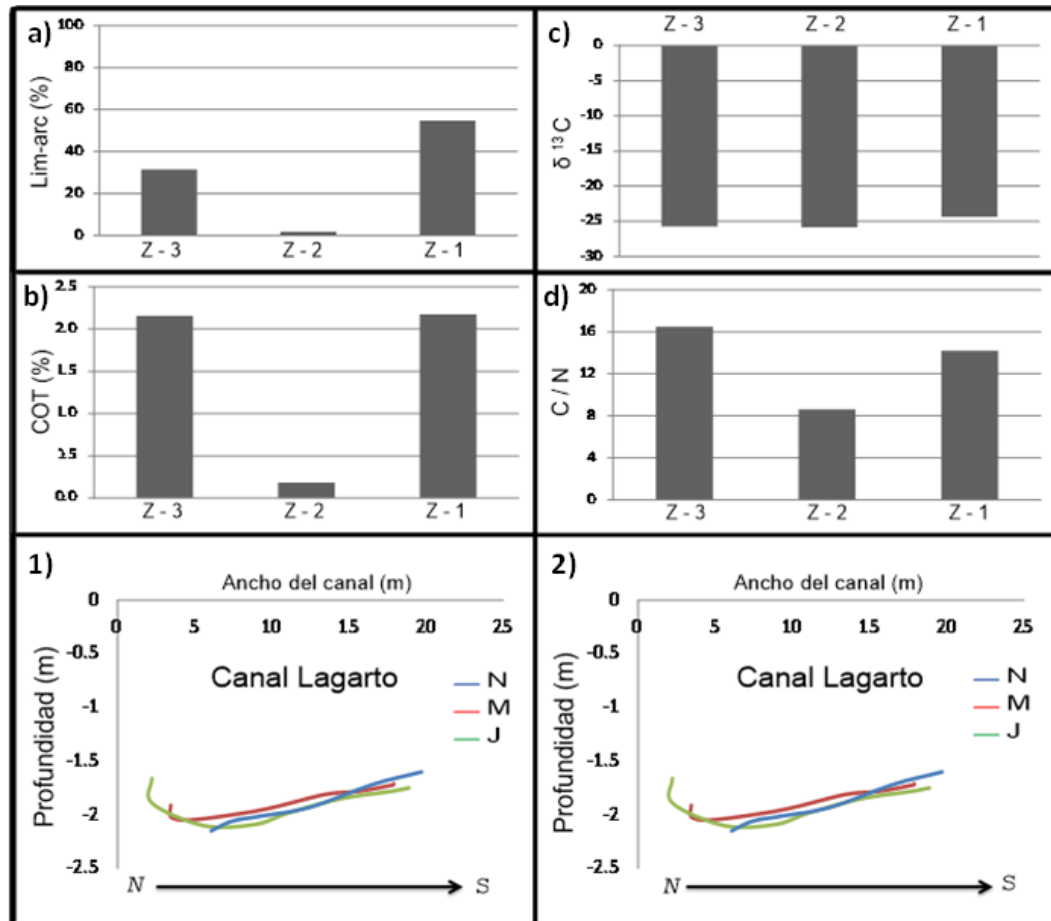


Figura 46. Caracterización batimétrica (1 y 2) durante los periodos de noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M) y junio 2016 (J). Distribución espacial de los promedios del porcentaje de limo-arcilla (a), carbono orgánico total (COT) (b), $\delta^{13}\text{C}$ (c), y relación C/N (d) del sedimento superficial a lo ancho del canal Lagarto, desde el margen norte (N), en una isla hacia el margen sur (S), en el continente. 1, 2 son el mismo esquema.

Es importante señalar que si bien el punto de muestreo M-5 del canal Matapalo no presentó el menor porcentaje de limo-arcilla de todo el canal, este lugar fue el único donde se encontró gran cantidad de grava. El contenido de grava en este punto estaría relacionado con las altas velocidades de flujo del agua (Boggs, 2009).

V.3.1.3. Parámetros de caracterización de materia orgánica

El COT y NT al igual que el porcentaje de limo-arcilla, las cuales se correlacionaron de manera positiva; también variaron entre los puntos de muestreo en los transectos, pero sin llegar a ser estadísticamente significantes entre los canales. El canal Matapalo presentó los valores de COT y NT más altos, mientras que los valores más bajos se encontraron en el canal Zarumilla. Por otro lado, los valores de la relación C/N y del $\delta^{13}\text{C}$ tampoco fueron significativamente diferentes en ninguno de estos casos (Tabla 4). Sin embargo la variación del $\delta^{15}\text{N}$ sólo fue significativa entre los canales (Anexo A3).

Los valores más altos de COT y NT en los puntos más cercanos a las orillas de los canales muestran el aporte de la materia orgánica desde los manglares (Pérez, 2014), que posteriormente estaría segregándose hacia la parte central de los canales. La presencia de mayor contenido de COT y NT en el punto M-4 (parte central) del canal Matapalo, predice la circulación del agua en el estuario (Capo et al., 2006), donde en el tiempo de llenante el agua ingresaría por la parte norte (altura de los puntos punto M-2, M-3) del canal y en vaciante retornaría al océano por la parte sur (altura del punto M-5) con mayor velocidad. Lo expuesto se puede corroborar con el mayor contenido de limo-arcilla en el

punto M-4 (Figura 45) (lo que indica un menor flujo de energía por parte del agua en esta zona) y la presencia de grava que se encontró en el punto M-5.

Los valores más altos de C/N en las orillas de los canales respecto a las zonas centrales de los mismos, indican que reciben mayor aporte de materia orgánica proveniente del manglar y conforme se avanza hacia el centro del canal (Figuras 45 y 46) esta se va disipando y mezclando con aportes fuertes de materia orgánica de origen microbiótico. Por lo tanto, estos valores de C/N indican que la materia orgánica tiene origen terrestre, proveniente de los mangles (Meyers, 1994; Lamb et al., 2006). Además, los valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre 3.04 y 7.72 y de $\delta^{13}\text{C}$ entre -25.86 y -19.16 (Tabla 4, Anexo A15) evidencian una mixtura entre la materia orgánica de origen marina y terrestre, con predominancia de esta última. Altos valores de $\delta^{15}\text{N}$ señalan un mayor reciclaje de nitrógeno y por ende una mayor producción planctónica favoreciendo el origen microbiótico, mientras que valores bajos son propios de plantas terrestres (Cesario, 2013). De otro lado, los valores de $\delta^{13}\text{C}$, no sólo muestra la deposición de material orgánico de origen de manglar, si no también, como podemos observar en el punto M-4 (-18.7%), la presencia de material orgánico provenientes de zonas con vegetación herbácea (plantas C4) (Cesario, 2013) presentes dentro del SNLMT (Parra, 2014; IGP, 2015). El mecanismo de deposición de este material orgánico de plantas C4 aparentemente estaría favorecido por los procesos de circulación del agua en el estuario antes mencionada.

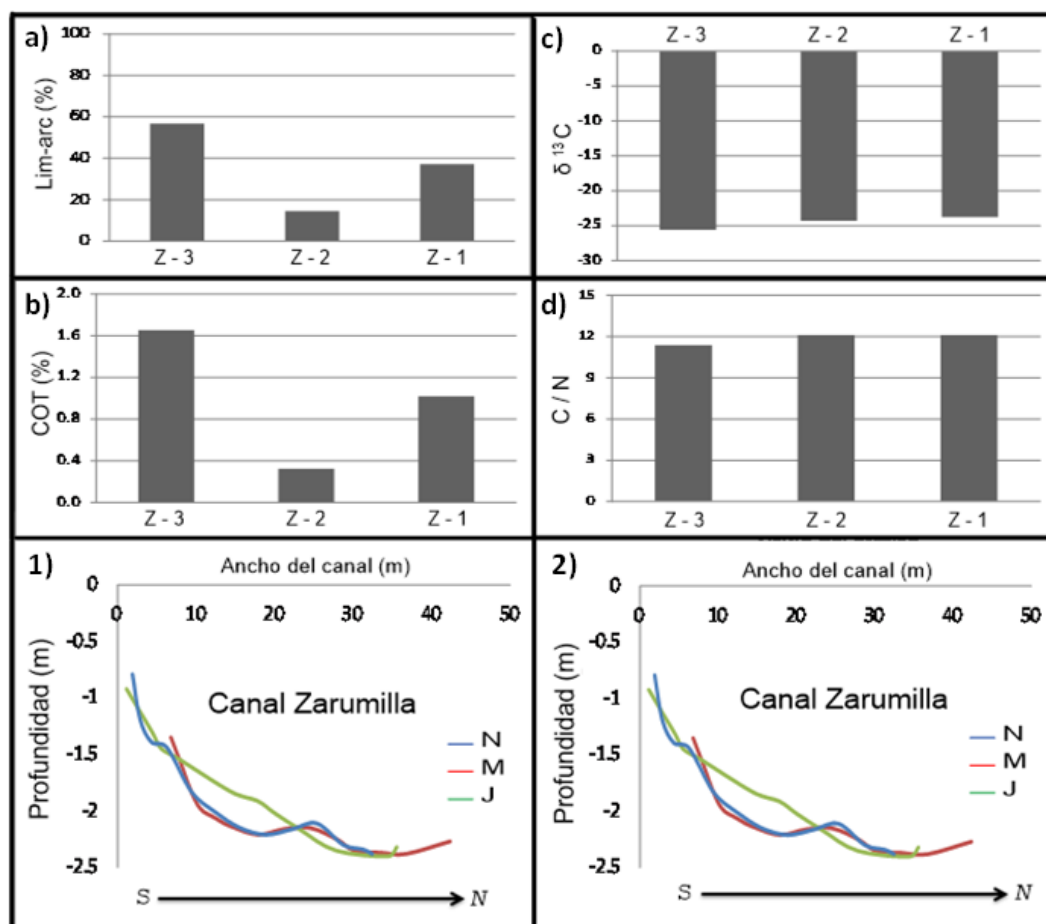


Figura 47. Caracterización batimétrica (1 y 2) durante los periodos de noviembre 2015 (N), marzo 2016 (M) y junio 2016 (J). Distribución espacial de los promedios del porcentaje de limo-arcilla (a), carbono orgánico total (COT) (b), $\delta^{13}C$ (c), y relación C/N (d) del sedimento superficial a lo ancho del canal Zarumilla, desde el margen norte (N) en la isla Matapalo hacia el margen sur (S), en el Continente.. 1, 2 son el mismo esquema.

V.3.2. Variables sedimentarias en las estaciones

V.3.2.1. Granulometría

Al igual que en los puntos de muestreo de los transectos, los datos granulométricos obtenidos de las 12 estaciones del SNLMT presentaron características bimodales, observándose 2 grupos bien individualizados, una fracción conformada por arena muy fina y otra por limo y arcilla (Figura 23). La fracción gruesa del sedimento se mantuvo ausente en algunas estaciones en marzo 2016 y otras en junio 2016 y, en la estación 5S durante las dos temporadas de

muestreo. Las arenas analizadas mediante sus medianas y contenido porcentual, no presentaron diferencias significativas tanto espaciales ni temporales (Anexo A2), coincidiendo con lo encontrado por Pérez (2014) en esta misma zona de estudio.

Sin embargo, se pudo notar un pequeño aumento en el porcentaje de marzo a junio 2016 (Tabla 3). Este patrón es diferente a lo sucedido entre las temporadas seca (septiembre 2012) y húmeda (abril 2013) de un año no-Niño; en donde Pérez (2014) demostró que había una mayor sedimentación de material arenoso en la época húmeda (Figura 48). La menor cantidad de material arenoso en la época húmeda respecto a la época seca de nuestro estudio, se debió al mayor aporte fluvial de material limo-arcilloso. Por otro lado, los valores más altos de arenas reportados en el canal Zarumilla es producto de la erosión y resuspensión provocada por el aumento del caudal del río Zarumilla. Las arenas encontradas en este estudio, al igual que en los transectos, fueron muy bien seleccionadas (Figura 24) y presentaron mesocurtosis (Anexo A8) y dominio de asimetría positiva (Folk & Ward, 1957, Boggs, 2009), lo que indica que son sedimentos muy maduros, encontrándose en equilibrio con la dinámica del manglar.

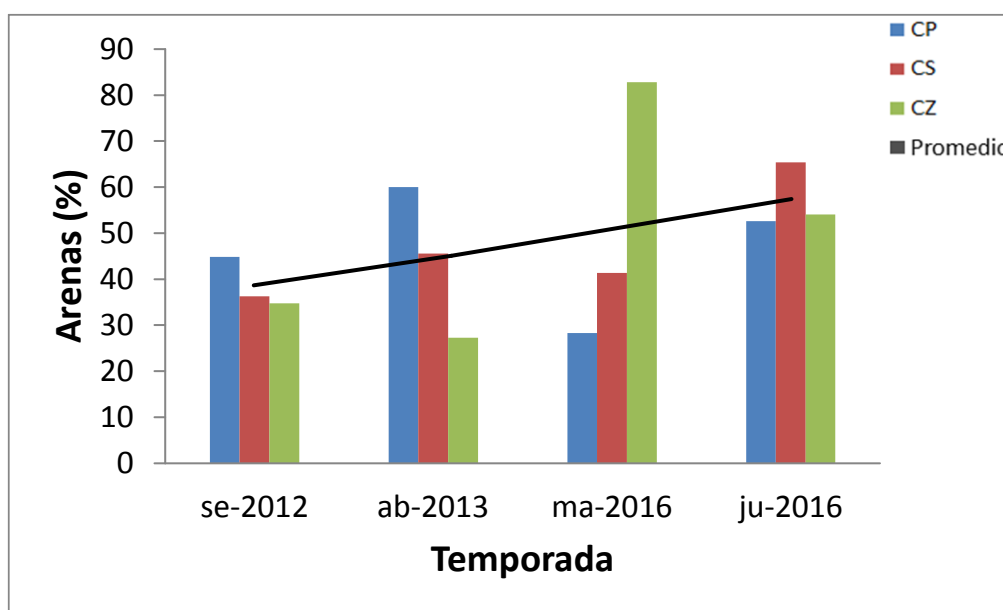


Figura 48. Variación temporal y espacial (ambiente sedimentario) promedio del porcentaje de arenas de los sedimentos superficiales de los canales estuarinos del SNLMT durante septiembre 2012, abril 2013, marzo y junio 2016 (los datos de septiembre 2012 y abril 2013 fueron tomados de los promedios reportados por Pérez (2014) para esta misma zona de estudio).

La fracción de sedimento más fino, formado por material limo-arcilloso fue pobremente y muy pobremente seleccionados, mostrando mesocurtosis, platicurtosis y leptocurtosis según la estación de muestro, así como también evidenció el predominio de asimetría muy negativa (Folk & Ward, 1957, Boggs, 2009) (Anexo A8). Esta porción de material sedimentario como era de esperar, al igual que las arenas y lo reportado por Pérez (2014) para el SNLMT, no varió significativamente entre el periodo húmedo (marzo 2016) y el periodo seco (junio 2016) ni tampoco se observó diferencias estadísticamente significativas espacialmente (Anexo A2). Mas, como podemos observar en la Figura 29; en la temporada húmeda, las concentraciones de limo-arcilla se correlacionaron débilmente de manera positiva con la salinidad ($r = 0.51$, $p < 0.1$) (Anexo A7) mostrando también que el cambio del régimen hídrico por el aumento del caudal del río Zarumilla en el evento el Niño 2015-2016 determinó el 31% de su

variabilidad (factor de determinación entre %limo-arcilla con la salinidad $R^2 = 0.31$) (Anexo A8). La localización de las concentraciones más altas de limo-arcilla cerca a la boca del estuario y canales principales (Figura 29M) - patrón diferente a lo mencionado por Pérez (2014) (Figura 49) - fue por efecto del aumento del ingreso de las aguas continentales (que generaron un aumento el gradiente de salinidad) que aparte de generar mayor erosión en la cabecera del estuario, convirtió a la parte baja del mismo en una zona más estancada, disminuyendo la velocidad de las corrientes de marea y por ende disminuyó la dinámica de erosión mareal en esta zona, preservando el material particulado más fino (Derrau, 1978, Kitheka et al., 2002). Esto propició condiciones favorables a los procesos de floculación química (Schubel, 1972; Wang & Andutta, 2013) con los iones salinos para que el material fino en suspensión proveniente desde el continente a través del río Zarumilla aumente su velocidad de sedimentación. Una excepción es la estación 2S (canal Lagarto) que nos atrevemos a afirmar que su bajo contenido limo-arcilloso es debido a que es un canal de pequeñas dimensiones y con gran influencia de las mareas por su cercanía al océano. Por otro lado en la época seca, el material fino se concentró en la zona más cercana a la cabecera de estuario (como lo observado por Pérez (2014)) y en canales de mayores dimensiones, sin presentar ningún tipo de correlación con la salinidad; lo que nos lleva a postular que esta zonación obedece a la dinámica hídrica mareal y estacional dentro del estuario (Pérez, 2014), típico de este periodo donde la distribución y/o redistribución del material sedimentario se debió al impacto de las mareas, siendo las zona más cercana a la cabecera del estuario y los canales de mayores dimensiones los que tienen una menor descarga de energía (Howard et al., 1975,

Bianchi, 2007). Esto lo podemos corroborar con las estaciones 2S (canal con dimensiones pequeñas y cercana a la boca del estuario) y 6P (canal de grandes dimensiones) ya que sus valores prácticamente se mantuvieron casi inalterables entre los 2 periodos, con 1.1% de limo-arcilla en marzo y 3.0% en junio, en el caso de la estación 2S; 100% de limo-arcilla en marzo 2016 y 98% en junio 2016, correspondiente a la estación 6P (Tabla 3, Figura 29).

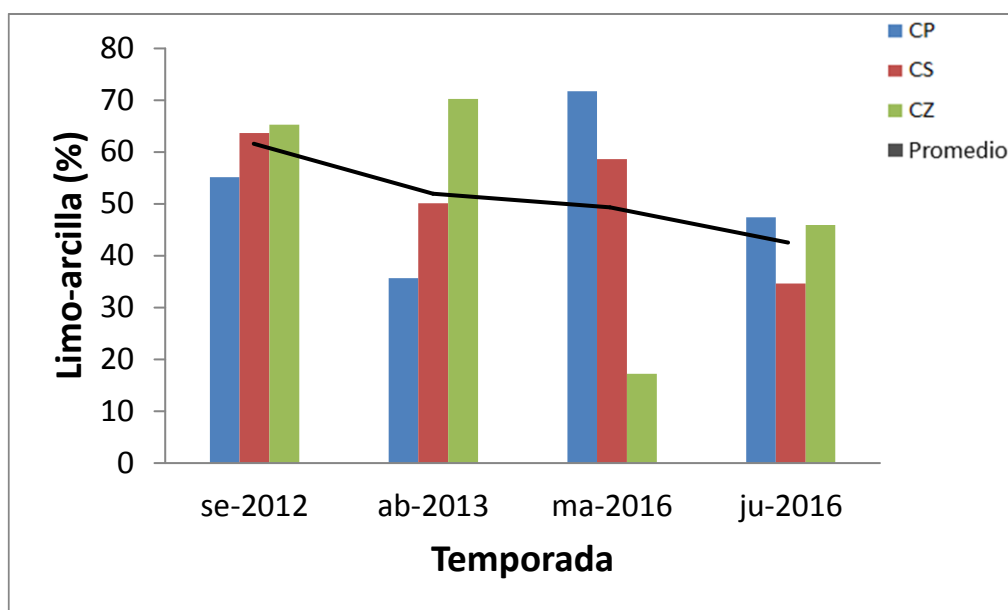


Figura 49. Variación temporal y espacial (ambiente sedimentario) promedio del porcentaje de limo-arcilla de los sedimentos superficiales de los canales estuarinos del SNLMT durante septiembre 2012, abril 2013, marzo y junio 2016 (los datos de setiembre 2012 y abril 2013 fueron tomados de los promedios reportados por Pérez (2014) para esta misma zona de estudio).

V.3.2.2. Parámetros ligados al contenido de material orgánico

a. Carbono orgánico total, Nitrógeno total y pH del sedimento

La similar distribución espacial y relación entre los valores de COT y NT con el porcentaje de limo-arcilla en los 2 periodos de muestreo, permite correlaciones positivas entre estas 3 variables, además, también existe una fuerte correlación inversa con el pH del sedimento (Anexo A5), sugiriendo que los

sedimentos con mayor contenido de partículas finas que presentan propiedades cohesivas más fuertes (Boggs, 2009), son más reductores (Thomas, 2000), retienen y entierran mayor cantidad de material orgánico (Sanders, et al. 2012). La cohesión del sedimento, al disminuir la ventilación y/o el flujo intersticial de agua con oxígeno entre los granos, lleva los procesos respiratorios por vías anaerobias menos eficientes, predominando los procesos de sulfato reducción, bajando considerablemente los niveles de pH (Libes, 2009). Cabe señalar que a pesar que los valores de COT y NT en el sedimento no presentaron diferencias significativas (Anexo A1) entre las temporadas húmeda y seca, estos valores fueron ligeramente más elevados en la época seca, patrón equivalente a los presentados por Pérez (2014) para la materia orgánica total (Figura 50). Por tanto esto no puede ser explicado por los datos de la fracción limo-arcilla que es ligeramente más alta en marzo 2016.

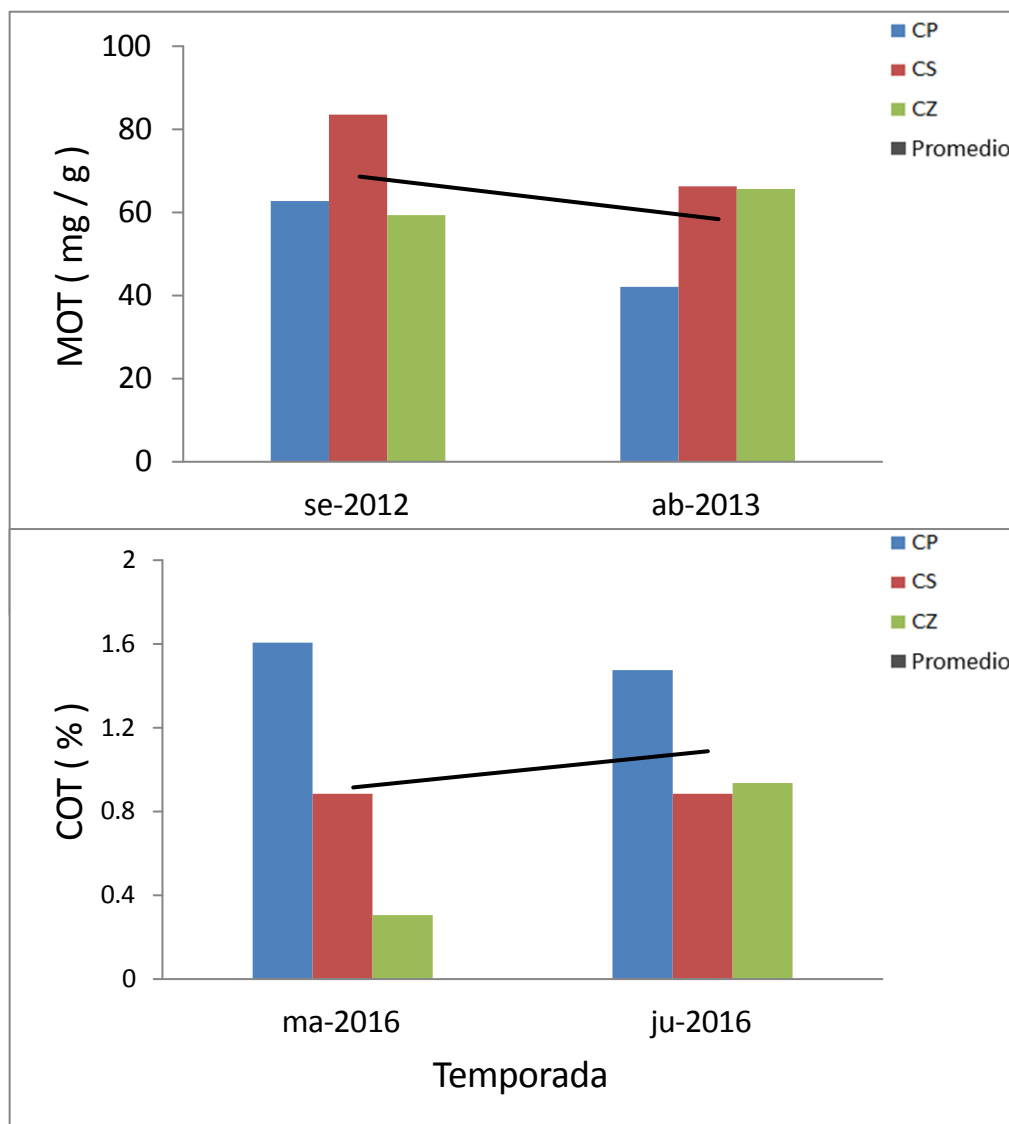


Figura 50. Variación temporal y espacial (ambiente sedimentario) promedio del contenido de materia orgánica total durante septiembre 2012 (temporada seca no-Niño), abril 2013(temporada Húmeda no-Niño) y carbono orgánico total durante marzo (temporada húmeda El Niño) y junio 2016 (temporada seca post El Niño). (Los datos de la materia orgánica total de setiembre 2012 y abril 2013 fueron tomados de los promedios reportados por Pérez (2014) para esta misma zona de estudio).

b. Relación C/N e isotopos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$

Los valores de la relación C/N muestran una gran variabilidad espacial, particularmente durante la estación seca. Estos valores están en el rango de 5 a 20 (Tabla 3, Figura 37), que evidencian una influencia de microorganismos acuáticos (C/N = 5) así como de materia orgánica de macrófitas del manglar (C/N = 20)

(Meyers, 1994; Lamb et al., 2006). Estas influencias varían en función de las características de las estaciones: Dimensión de los canales, velocidad de corrientes, aporte continental, amplitud de marea, entre otros.

Al relacionar los valores de $\delta^{13}\text{C}$ con los de C/N y $\delta^{15}\text{N}$ como lo indica Lamb et al. (2006) y Castro et al. (2010) respectivamente, se pudo determinar el origen de la materia orgánica (Figuras 15 y 16). Esta relación reveló que la materia orgánica de los canales del SNLMT tiene un origen mixto, entre fuentes marinas y terrestres, pero con una fuerte predominancia del aporte de plantas terrestres C3, plantas del mangle (Figura 51, Anexo A16), confirmando lo encontrado por Pérez (2014). Además, tal como se puede observar en la Figura 51, existe una pequeña influencia de las algas de agua dulce en el periodo húmedo y algas marinas en el periodo seco. En este último periodo también se puede notar el aporte de materia orgánica de plantas C4 ($\delta^{13}\text{C} \geq -17 \text{‰}$ y $\text{C/N} > 12$), posiblemente plantas herbáceas que habitan en la isla Matapalo, registradas por Parra (2014). La transición entre las señales del origen de la materia a partir de algas de agua dulce y agua marina, está relacionado con el cambio en la salinidad entre los periodos de estudio, favoreciendo el crecimiento de algas dulceacuícolas en la época húmeda.

Nos atrevemos a argumentar que el aumento de las descargas de agua del río Zarumilla acarrió consigo sedimento continental con bajo contenido orgánico, que fue aumentando, resuspendiendo y redepositando los sedimentos orgánicos del mismo manglar y adsorviendo la materia orgánica disuelta producida por el manglar hacia la boca del estuario (estación 1P).

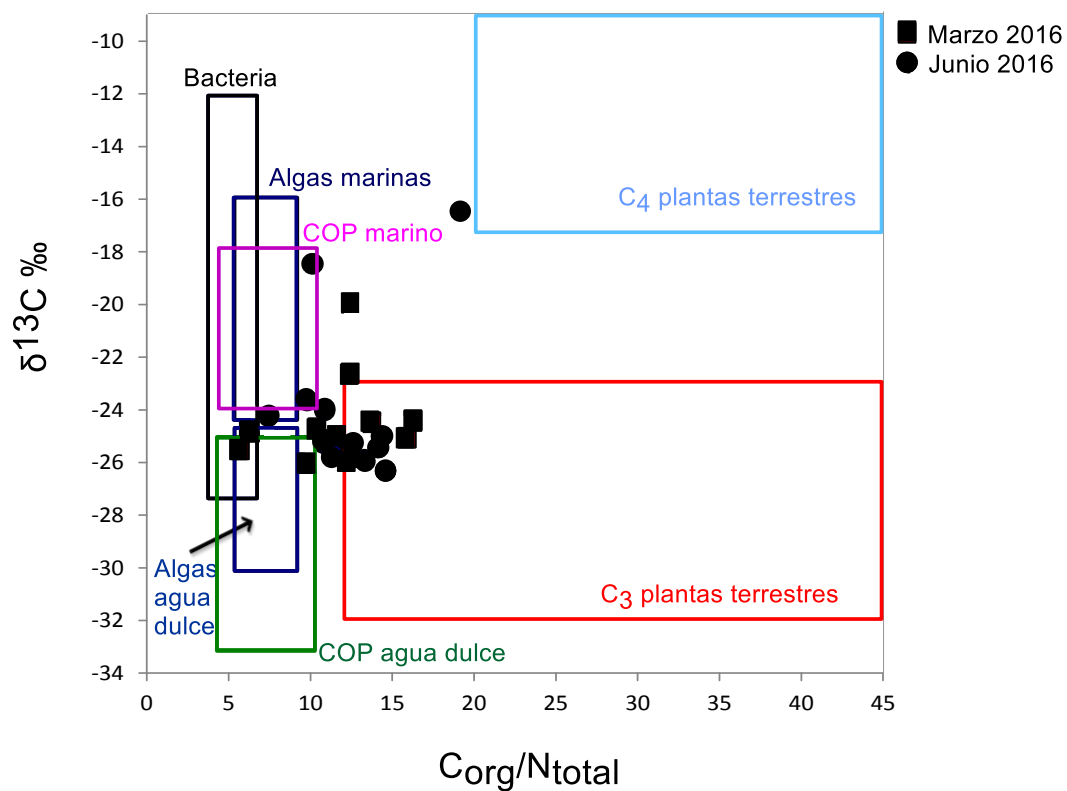


Figura 51. Diagrama de la relación entre los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y C/N de las estaciones muestreadas del SNLMT en los meses de marzo y junio 2016, con interpretación de acuerdo a lo propuesto por Lamb et al., 2006.

VI. CONCLUSIONES

Los parámetros fisicoquímicos del SNLMT fueron significativamente afectados por el evento El Niño 2015-2016. Por el aumento de la TSM, en noviembre 2015 y por el mayor importe de aguas continentales a raíz de las precipitaciones, bajando la salinidad significativamente en el periodo húmedo, además de observarse una disminución del pH y el OD.

Los sedimentos submareales se caracterizaron por presentar dos texturas muy distintas: 1) arenas finas bien clasificadas que constituyen la morfología de los canales y bancos de arenas; 2) sedimentos limo arcillosos en los canales del estuario. La sedimentología no se vio significativamente afectada por el evento El Niño 2015-2016. La intensidad del evento que alcanzó el nivel de moderado no fue lo suficientemente fuerte para cambiar las características del ambiente sedimentario superficial, mostrando solamente variaciones estacionales leves por el transporte y resuspensión de los sedimentos finos por el régimen hídrico.

La materia orgánica, basado en el contenido de COT, NT, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y C/N, fue elevada en los sedimentos de los canales del SNLMT.

En los márgenes de los canales, el origen de esta materia orgánica está dominado por aportes del mangle; mientras que hacia el centro del canal la materia orgánica va adquiriendo tanto una mayor composición de microorganismos acuáticos como mixto terrestre-acuático.

VII. RECOMENDACIONES

Es necesario realizar extracción de testigos de sedimento para analizar y elaborar perfiles de granulometría, parámetros de caracterización de materia orgánica y parámetros fisicoquímicos del agua intersticial. Para de esta manera poder identificar las señales que posiblemente se estén perdiendo después de algún evento climático fuerte con el caso de los eventos el Niño. De esta manera también se obtendría una mejor visualización de la dinámica sedimentaria intermareal.

Llevar a cabo muestreos continuos para lograr establecer una base de datos sólida y poder hacer evaluaciones a través de series de tiempo.

Considerar en qué medida influye la descarga del el río Jubones proveniente del Ecuador sobre la fisicoquímica del agua así como también en la sedimentología.

Elaborar una caracterización de C/N, $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ tanto de la vegetación del manglar, la microbiota del estuario y de los SS de las muestras obtenidas, para así determinar con más exactitud la procedencia de la materia orgánica.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Alongi, DM. The energetics of mangrove forest. Springer science. ISBN 978-1-4020-4270 6. American Geophysical Union, Washington, DC. 2008.
- Alongi, DM The contribution of mangrove ecosystems to global carbon cycling and greenhouse gas emissions. In: Tateda & (ed) Greenhouse gas and carbón balances in mangrove coastal ecosystems, 1–10. Gendai Tosho, Kanagawa, Japan. 2007.
- Alongi DM. Mangrove-microbe-soil relations. In: Kristensen E, Haese RR, Kostka JE (eds). Interactions between macro- and microorganisms in marine sediments, 85–103. American Geophysical Union, Washington, DC. 2005.
- Alongi, DM., Sasekumar, A., Tirendi, F. and Dixon, P. The influence of stand age on benthic decomposition and recycling of organic matter in managed mangrove forests of Malaysia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 225, 197–218. 1998.
- Ambio, Special issue: Marine Eutrophication. 19, 101–176. 1990.
- ANA: Autoridad Nacional del Agua Monitoreo de las aguas subterráneas en el valle del río Zarumilla. 78. 2010.
- Andersen, F. Ø. & Kristensen, E. Effects of burrowing macrofauna on organic matter decomposition in coastal marine sediments. *Symp zool Soc Lond* 63, 69–84. 1991.
- Arévalo, H & Acuña, J. Balance hídrico superficial de las cuencas de los ríos Tumbes y Zarumilla. Dirección general de hidrología y recursos hídricos. Publicación institucional interna. 2000.
- Aysha A, Abu Hena MK, Mishra M, Nesarul MH, Padhi BK, Mishra SK, Islam MS, Idris MH, Masum MB. Sediment and carbon accumulation in sub-tropical salt marsh and mangrove habitats of north-eastern coast of Bay of Bengal, Indian Ocean. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 2(4), 184-189. 2015.
- Augustinus, p. eomorphology and sedimentology of mangroves, *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. Developments in Sedimentology*. 53. 1995.
- Badarudeen, A., Damodaran, K., Sajan, K. & Padmalal, D. Texture and geochemistry of the sediments of a tropical mangrove ecosystem, southwest coast of India. *Environmental Geology*, 27, 164–169. 1996.
- Bianchi. Biogeochemistry of estuaries. Oxford university press. ISBN-13: 978-0-19-5160826. 2007.
- Bird, E., & Rosengren, N. Mangrove and coastal morphology. 17-28. In: Report of the Workshop on mangrove ecosystems dynamics. Motupore Island Research Station, Port Moresby, New Guinea. UNDP/UNESCO Regional Project RAS/79/002. 1986.
- Black, K.D, & G.B. Shimmiel. Biogeochemistry of Marine Systems. Blackwell Publishing Ltd. ISBN 1–84127–327–9. 2003.

- Blott, S. J., Pye, K. GRADISTAT: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth surface processes and Landforms*, 26(11), 1237-1248. 2001.
- Boggs, S. J. *Petrology of sedimentary rocks*, second edition. Cambridge University Press, New York, United States, 1-63. 2009.
- Borsuk, M., Stowe, C., Luetlich, R.A., Paerl, H., & Pinckney, J. Modeling oxygen dynamics in an intermittently stratified estuary: estimation of process rates using field data. *Estuar. Coastal Shelf Sci.* 52, 33–49. 2001
- Brinkman, R., G. Wattayakorn, E. Wolanski, S. Spagnol & K. Marshall. Storm-driven erosion of fine sediment and its subsequent transport and trapping in fringing mangroves, Sawi Bay, Thailand. *J. Coastal Research*, 42, 211–220. 2005
- Capo, S., A. Sottolichio, I. Brenon, P. Castaing, L. Ferry. Morphology, hydrography and sediment dynamics in a mangrove estuary: The Konkoure Estuary, Guinea. *Marine Geology*, 23. 199-215. 2006.
- Castro D., D. Rossetti, L. Pessenda. Facies, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ and C/N analyses in a late Quaternary compound estuarine fill, northern Brazil and relation to sea level. *Marine Geology*. 274:135–150. 2010.
- Cheethman, M.D., Keene, A., Bush, R.T., Sullivan, L.A., & Erskine, W.D., A comparison of grain-size analysis methods for sand-dominated fluvial sediments. *Sedimentology*, 55: 1905-1913. 2008.
- Cesarario, P. *Ánàlisis elementar e isotópica de sedimentos estuarinos do río alcabrichel (Torres Vedras) e da ribeira de Bensanfrim (Lagos)*. Dissertação Mestrado em Geologia do Ambiente, Risco Geológico e Ordenamento do Território. Universidad de Lisboa, Facultad de Ciencias. Departamento de Geologia. 2013
- Cifuentes, J., M. Torres, M. Frías. *El océano y sus recursos, II. Las ciencias del mar: Oceanografía Geológica y oceanografía química*. Segunda edición (la ciencia para todos), México. 75. 1997.
- Conroy, J.; Overpeck, J., Cole, J.; Shanahan T.; Steinitz-Kannan, M., Holocene changes in eastern tropical Pacific climate inferred from a Galápagos lake sediment record. *Quaternary Science Reviews*. 27: 1166– 1180. 2008.
- Derrau M. *Geomorfologia*. Prólogo de Luis Sole Sabaris. Editorial Ariel. 1978.
- Dittmar, T., Hertkorn, N., Kattner, G., & Lara, R. Mangroves, a major source of dissolved organic carbon to the oceans, *Global Biogeochem. Cy.*, 20, GB1012. 2006.
- Domínguez, N. *Prospección de Conchas Negras (Anadara tuberculosa) en el ecosistema de los manglares de Tumbes*. Instituto del Mar del Perú. IMARPE. 2005.
- Donato, D., Kauffman, J., Murdiyarsa, D., Kurnianto, S., Stidham, M., Kanninen, M. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics, *Nature Geoscience*. 2011.

- ENFEN. Comunicado del comité multisectorial encargado del estudio nacional del fenómeno El Niño, comunicado No. 6-2016. 2016a.
- ENFEN. Comunicado del comité multisectorial encargado del estudio nacional del fenómeno El Niño, comunicado N°. 11-2016. 2016b.
- ENFEN. Comunicado del comité multisectorial encargado del estudio nacional del fenómeno El Niño, comunicado Nro. 19-2015. 2015a.
- ENFEN. Comunicado del comité multisectorial encargado del estudio nacional del fenómeno El Niño, comunicado N°. 21-2015. 2015b.
- Folk, R. L. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Company Austin, Texas 78703. 50. 1980.
- Folk, R. L. & W. C. Ward. Brazos River bar. A study in the significance of grain-size parameters, *J. Sediment. Petrol.*, 27, 3–26. 1957.
- Granek, E., Ruttenberg, I. Changes in biotic and abiotic processes following mangrove clearing, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 80 555–562. 2008.
- Hoguane, A.M., Hill, A.E., Simpson, J.H. & Bowers, D.G. Diurnal and tidal variation in temperature and salinity in the Ponta Rosa mangrove swamp, Mozambique. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 49, 251–264. 1999.
- Holmer, M., Andersen, F., Holmboe, N., Kristensen, E. & Thongtham, N. Transformation and exchange processes in the Bangrong mangrove forest-seagrass bed system, Thailand. Seasonal and spatial variations in benthic metabolism and sulfur biogeochemistry. *Aquatic Microbial Ecology*, 20, 203–212. 1999.
- Howard, J.D., Remmer, G.H., & Jewitt, J.L. Hydrography and sediments of the Duplin River, Sapelo Island, Georgia. *Senckenberg. Mar.* 7, 237–256. 1975.
- IGP: Instituto Geofísico del Perú. Impacto de la variabilidad y cambio climático en el ecosistema de manglares de Tumbes, Perú. Informe técnico 2011- 2015. 2015.
- IGP: Instituto Geofísico del Perú. Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño, artículo de divulgación científica vol.1 N° 17. 2014.
- IGP: Instituto Geofísico del Perú. Identificación de los servicios en el Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes. Informe técnico especial 2013. 2013.
- INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidráulica. Estudio hidrológico de los caudales máximos y levantamiento de información ambiental de la cuenca del río Zarumilla. Ecuador. 2005.
- INRENA: Instituto Nacional de Recursos Naturales. Plan Maestro del Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes 2007 - 2011. 2011.
- INRENA: Instituto Nacional de Recursos Naturales. Plan Maestro del Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes. Perú. 2001

- Jiménez, J. Ambiente, distribución y características estructurales en los Manglares del Pacífico de Centro América: Contrastes climáticos, 51-70. 1999.
- Kemp, W. M., Smith, E. M., Marvin-DePasquale, M. & Boynton, W. R. Organic carbon balance and net ecosystem metabolism in Chesapeake Bay. *Marine Ecology Progress Series* 150, 229–248. 1997.
- Kendall, MG. Rank correlations methods. Griffin. London. 1970.
- Kitheka, J.U., Obiero, M., Nthenge, P. River discharge, sediment transport and exchange in the Tana Estuary, Kenya. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 63, 455–468. 2005.
- Kitheka, J.U., Ongwenyi, G.S., Mavuti, K.M. Dynamics of suspended sediment exchange and transport in a degraded mangrove Creek in Kenya. *Ambio* 31 (7–8), 580–587. 2002.
- Kjerfve, B. Drude de Lacerda, L., Rezende, C. & Coelho Ovalle, A. Hydrological and hydrogeochemical variations in mangrove ecosystems, 71-82. 1999.
- Kjerfve, B. Manual for Investigation of Hydrological Processes in Mangrove Ecosystems. The UNESCO/UNDP Regional Project “Mangrove Ecosystems in Asia and the Pacific,” RAS/79/002 and RAS/86/120, Thomson Press, 79. 1990.
- Kristensen, E.; Bouillon, S.; Dittmar T. & Marchand, C. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review. *Aquatic Botany*. 89: 201-219. 2008.
- Kristensen, E., Jensen, M., Banta, G., Hansen, K., Holmer, M. & King, G. Transformation and transport of inorganic nitrogen in sediments of a Southeast Asian mangrove forest. *Aquatic Microbial Ecology*, 15, 165–175. 1998.
- Kristensen, E. Carbon, sulfur, and nitrogen biogeochemistry of tropical mangrove sediments, in *Coastal Zone Management Imperative for Maritime Developing Nations* (eds B.U. Haq, S.M. Haq, G. Kullenberg and J.H. Stel), Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 199–232. 1997.
- Kristensen, E., Holmer, M., Banta, G., Jensen, M. & Hansen, K. Carbon, nitrogen and sulfur cycling in sediments of the Ao Nam Bor mangrove forest, Phuket, Thailand: a review. *Phuket Marine Biological Centre*, 60, 37–64. 1995
- Kristensen, E., Devol, A., Ahmed, S. & Saleem, M., Preliminary study of benthic metabolism and sulfate reduction in a mangrove swamp of the Indus Delta, Pakistan. *Marine Ecology Progress Series*, 90, 287–297. 1992.
- Lagos, P.; Silva, Y.; Nickl, E.; Mosquera, K. El Niño-related precipitation variability in Perú. *Advances in Geosciences*. 14: 231-237, 2008.
- Lamb, A.L.; Wilson, G.P.; Leng, M.J. A review of coastal paleoclimatic and relative sea-level reconstructions using $\delta^{13}\text{C}$ and C/N ratios in organic material. *Earth-Science Reviews*, 75, 29-57. 2006.
- Lavado, W.; Espinoza, J. Impactos de El Niño y la niña en las lluvias del Perú (1965-2007). *Revista Brasileira de Meteorología*, v.29, n.2, 171 – 182. 2014.

- Libes, S., Introduction to Marine Biogeochemistry. Second Edition. Elsevier ISBN: 978-0-12-088530-5. 2009.
- Lugo, E. Mangrove ecosystem research with emphasis on nutrient cycling. 17-38. 1999.
- Malca, C. G. Ordenamiento de la actividad extractiva de los recursos hidrobiológicos del Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes. Informes I y II de Consultoría para el Proyecto "Gestión Participativa de Áreas Naturales Protegidas". 2005.
- Marambio M. Fundamentos y alcances del régimen de la convención de Ginebra sobre contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia de 1979. Tesis doctoral. Universidad Rovira I Virgili. Tarragona, 87. 2012.
- Malvern Instruments Ltd. Mastersizer 2000E Operators Guide. Malvern Instruments Ltd, Malvern, 136. 2004.
- Maza, J. Transporte de sedimentos. México. Instituto de ingeniería UNAM. 531. 1996.
- Mazda, Y., Wolanski E., Ridd, P. "Part I. Outline of the Physical Processes within Mangrove Systems." Physical Factors that Shape Mangroves - Manual for the Preservation and Utilization of Mangrove Ecosystems. Terrapub. 2007.
- McKee, B.A., & Skei, J. Framvaren Fjord as a natural laboratory for examining biogeochemical processes in anoxic environments. *Mar. Chem.* 67, 147–148. 1999.
- Medernach, L. Relations entre la matière organique et la faune benthique dans le golfe du Lion. Thèse de Doctorat de l' Université de Paris 6. 2000.
- Meyers, P.A. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology*, 114, 289-302. 1994.
- Morera S., T. Condom, A. Crave, P. Steer & J. Guyot. The impact of extreme El Niño events on modern sediment transport along the western Peruvian Andes (1968–2012). *Scientific reports*. 2017.
- Nichols, G. *Sedimentology & Stratigraphy*. Chichester, United Kingdom: Wiley-Blackwell. 2009.
- Nielsen, T. & Andersen, F.Ø. Importance of leaf decomposition on phosphorus cycling in a mangrove sediment. 2003.
- NOAA/PMEL/TAO. El Niño (patrón climático). [Citado en noviembre 2016]. Disponible en <https://es.scribd.com/document/256422383/El-Nino-patron-climatico-pdf>.
- Ong, J.E., W.K. Gong, C.H. Wong, Z.H. Din & B. Kjerfve. Characterization of a Malaysian mangrove estuary. *Estuaries*, 14, 38–48. 1991.
- Ovalle, A., Rezende, C., Lacerda L., & Silva, C. Factors affecting the hydrochemistry of a mangrove tidal creek, Sepetiba Bay, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 31: 639-650. 1990.
- Parra, C. Efecto de la altitud del terreno sobre la estructura y distribución espacial de las comunidades vegetales del Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes. Tesis

- para optar el grado de título. Universidad Nacional Agraria La Molina, facultad de Ciencias. Lima-Perú. 2014.
- Pérez, A. Influencia del régimen hídrico y de las condiciones geoquímicas sobre la comunidad y el flujo energético del meiobentos metazoario de los sedimentos intermareales y submareales de los Manglares de Tumbes. Tesis para la obtención del grado de Magíster en Ciencias del Mar. Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH). Lima, Perú. 2014.
- Pérez, A., D. Gutierrez, M .S. Saldarriaga, C. J. Sanders, Hidrological control son the biogeochemical dynamics in a Peruvian mangrove forest. *Mangroves in changing enviroments. Hydrobiología* 803:69-86. 2017.
- Pérez A., Velazco F., Carhuapoma W. & Gutierrez D. Efectos del régimen hídrico sobre las condiciones geoquímicas de los sedimentos submareales de los manglares de Tumbes. Ministerio del Ambiente. Dirección General de Investigación e Información Ambiental, Memoria Tercer Encuentro de Investigadores Ambientales, 13-15 de agosto de 2014 (Piura,Perú). 2016.
- Persat, A., Chambers, R.D.; santiago, J.D. “Basic principles Of electrolyte Chemistry for microfluidic electrokinetics. Part I: Acid–base equilibria and pH buffers”. *Journal Of The Royal Society Of Chemistry* 2009 *Lab Chip*. 2009.
- Quincho, J. Estudio experimental del transporte de sedimentos en suspensión y fondo y comparación con fórmulas empíricas en los ríos Puyango~Tumbes y Zarumilla. Tesis para optar el título de ingeniero agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina, facultad de ingeniería agrícola, Lima-Perù. 2015.
- Rome-Gaspaldy, S.; Ronchail, J. La pluviométrie au Pérou pendant les phases ENSO et LNSO. *Bulletin de l’Institut Française d’Etudes Andins*, v. 27, 675 – 685. 1998.
- Rützler, K. & Feller, C. Mangroves swamp communities: An approach in Belize, 39-50. 1999.
- Sanders, C., Smoak, J., Naidu, A., Patchineelam, S. Recent sediment accumulation in a mangroveforest and its relevance to local sea level rise (Ilha Grande, Brazil). *Journal of Coastal Research* 24, 533e536. 2008.
- Sanders C., M. Smoak, M. Waters, L. Sanders, N. Brandini, S. Patchineelam. Organic matter content and particle size modifications in mangrovesediments as responses to sea level rise. *Marine Environmental Research*. 77: 150, 155. 2012.
- Schubel, J.R. Classification according to mode of basin formation. In *The Estuarine Environment: Estuaries and Estuarine Sedimentation*, 2–8, American Geological Institute, Washington, DC. 1972.
- Schwamborn, R. & Saint-Paul, U. Mangroves - Forgotten Forests? *Natural Resources and Development* 43-44, 13-36. 1996.
- Seinfeld, J. H. & Pandis, S. N. *Atmospheric chemistry and physics from air pollution to climate change*. Segunda Edición; John Wiley & Sons, Inc., EEUU. 2006.

- Sellanes, J. Efectos de El Niño 1997–98 sobre los indicadores bioquímicos de la materia orgánica sedimentaria y la meiofauna en un area de surgencia costera de Chile central. PhD thesis, Universidad de Concepcion, Chile. 2002.
- SENAMHI. Servicio nacional de meteorología e hidrología, Direccion zonal 1. Monitoreo hidrológico año 2016 – 2017, N° 091-17. 2107.
- Spalding, M. The global distribution and status of mangrove ecosystems. International News Letter of Coastal Management-Intercoast Network, Special edition 1, 20-21. 1997.
- Tapley, T., Waylen, P. Spatial variability of Annual Precipitation and ENSO events in Western Peru. Hydrological Sciences Journal-Journal des Sciences Hydrologiques, 35, 4, 429-446. 1990.
- Tenorio, J. & L. Beltrán., Prospección de Conchas Negras (*Anadara tuberculosa*) en el ecosistema de los manglares de Tumbes. Instituto del Mar del Perú .IMARPE (Noviembre). 2005.
- Thomas J. Smith III. Forest structure. In Robertson A.I. & D.M. Alongi (eds), 2000. Tropical Mangrove ecosystems. Coastal and estuarine studies, 41. 100 – 136. American Geophysical Union, Washington, DC.
- Valle-Levinson, A. & Atkinson, L. Spatial gradients in the flow over an estuarine channel. Estuaries, 22, 179–193. 1999.
- Walters, B.B., Ronnback, P., Kovacs, J.M., Crona, B., Hussain, S.A., Badola, R., Primavera, J.H., Barbier, E., Dahdouh-Guebas, F. Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: A review. Aquat. Bot. 89, 220–236. 2008.
- Wang.X. H & F. P. Andutta. Sediment Transport Dynamics in Ports, Estuaries and Other Coastal Environments. INTECH, open science/open minds. 2013.
- Winterwerp, J.C., W.G. Borst & M.B. de Vries. Pilot study on the erosion and rehabilitation of a mangrove mud coast. J. Coastal Research, 21, 223–230. 2005.
- Walpole Ronald E., Raymond H. Myers, Sharon L. Myers & Keying Ye. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. Novena edición, Pearson Educación, México, 675-765. 2012.
- Yáñez–Arancibia, A., Lara–Domínguez, A. Los manglares de América Latina en la encrucijada, 9-16. 1999.
- Zambrano, E. El Fenómeno El Niño y la Oscilación del Sur (ENSO), Acta Oceanográfica del Pacífico, INOCAR, Ecuador, Tomo 3(1). 195-201. 1986.
- Zar J. Biostatistical analysis. Prentice hall Inc. Englewood. Cliffs, NJ. USA. 620. 1974.

IX. ANEXOS

A 1. Análisis de varianza de las variables fisicoquímicas del agua estudiadas durante noviembre 2015 (N), marzo (M) y junio (J) 2016. Ambiente sedimentario: canales principales (CP), canales secundarios (CS) y canal Zarumilla (CZ). ***($p < 0.05$), **($0.05 > p < 0.1$), *($p = 0.1$). n.s: estadísticamente no significativo. T: temperatura, SAL: salinidad, OD: oxígeno disuelto, Eh: potencial de óxido-reducción, SS: sólidos suspendidos.

Variables	Factores	
	Tiempo	Espacio
T (°C)	*** (J M M N)	*** (CS CZ < CP)
SAL	*** (M < J N)	** (CS CP CP CZ)
OD (ml/L)	n.s	*** (CZ < CP CS)
pH	*** (M J < N)	n.s
Eh	*** (J < M N)	n.s
SS (g/L)	*** (J < M)	n.s

A 2. Análisis de varianza de las variables sedimentarias de las estaciones estudiadas durante marzo (M) y junio (J) 2016. Ambiente sedimentario: canales principales (CP), canales secundarios (CS) y canal Zarumilla (CZ). *** ($p < 0.05$), **($0.05 > p < 0.1$), *($p = 0.1$), n.s: estadísticamente no significativo, %Lim-arc: porcentaje de limo-arcilla, COT: carbono orgánico total, NT: nitrógeno total, C/N: relación carbono/nitrógeno.

Variables	Factores	
	Tiempo	Espacio
%Lim-arc	n.s	n.s
COT (%)	n.s	n.s
NT (%)	n.s	n.s
$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	n.s	n.s
$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	n.s	** (CZ CP CP CS)
C/N	n.s	n.s
pH	*(M < J)	n.s

A 3. Análisis de varianza de las variables sedimentarias de los transectos estudiadas durante noviembre 2015 (N) marzo (M) y junio (J) 2016 en los canales Lagarto (CL), Matapalo (CM) y Zarumilla (CZ). ***($p < 0.05$), **($0.05 > p < 0.1$), *($p = 0.1$), n.s: estadísticamente no significativo, %Lim-arc: porcentaje de limo-arcilla, COT: carbono orgánico total, NT: nitrógeno total, C/N: relación carbono/nitrógeno.

Variables	Factores	
	Tiempo	Espacio
%Lim-arc	n.s	***(<u>CL CZ CZ CM</u>)
COT (%)	n.s	n.s
NT (%)	n.s	n.s
$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	n.s	n.s
$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	n.s	***(<u>CZ < CL CM</u>)
C/N	n.s	n.s

A 4. Correlaciones de rango de Spearman entre variables fisicoquímicas del agua para noviembre 2015, marzo y junio 2016. Correlaciones significativas $p < 0.05$ en negro y $p < 0.1$ en azul. T: temperatura, SAL: salinidad, OD: oxígeno disuelto, SS: sólidos suspendidos, Eh: potencial de óxido-reducción.

			Variables del Agua				
			T(°C)	Sal	OD (ml/L)	pH	Eh
Noviembre 2015	SAL	Coef. Sig.					
	pH	Coef. Sig.					
	Eh	Coef. Sig.	0.52 0.10				
Marzo 2016	SAL	Coef. Sig.	0.51 0.094				
	OD (ml/L)	Coef. Sig.	-0.85 0.4×10^{-3}	-0.73 0.007			
	pH	Coef. Sig.	0.51 0.094				
	Eh	Coef. Sig.		-0.79 0.004	0.56 0.060		
	SS (g/L)	Coef. Sig.	-0.76 0.007	-0.62 0.037	0.81 0.002		0.62 0.037
Junio 2016	SAL	Coef. Sig.	-0.76 0.004				
	OD (ml/L)	Coef. Sig.					
	pH	Coef. Sig.					
	Eh	Coef. Sig.				-0.57 0.059	
	SS (g/L)	Coef. Sig.					

A 5. Correlaciones de rango de Spearman entre variables geoquímicas del sedimento para marzo 2016. Correlaciones significativas $p < 0.05$ en negro y $p < 0.1$ en azul. %Lim-arc: porcentaje de limo-arcilla, COT: carbono orgánico total, NT: nitrógeno total, C/N: relación carbono/nitrógeno.

Variables sedimentarias - marzo 2016							
		%Lim-arc	COT (%)	NT (%)	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	C/N
COT (%)	<i>Coef.</i>	0.82					
	<i>Sig.</i>	0.001					
NT (%)	<i>Coef.</i>	0.84	0.97				
	<i>Sig.</i>	0.6E^{-03}	0.3E^{-08}				
$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	<i>Coef.</i>						
	<i>Sig.</i>						
$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	<i>Coef.</i>		0.54	0.58			
	<i>Sig.</i>		0.068	0.045			
C/N	<i>Coef.</i>				0.50		
	<i>Sig.</i>				0.099		
pH	<i>Coef.</i>	-0.95	-0.79	-0.83			
	<i>Sig.</i>	0.2E^{-07}	0.002	0.001			

A 6. Correlaciones de rango de Spearman entre variables biogeoquímicas del sedimento para junio 2016. Correlaciones significativas $p < 0.05$ en negro y $p < 0.1$ en azul. %Lim-arc: porcentaje de limo-arcilla, COT: carbono orgánico total, NT: nitrógeno total, C/N: relación carbono/nitrógeno.

Variables sedimentarias - junio 2016							
		%Lim-arc	COT (%)	NT (%)	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	C/N
COT (%)	<i>Coef.</i>	0.78					
	<i>Sig.</i>	0.003					
NT (%)	<i>Coef.</i>	0.88	0.96				
	<i>Sig.</i>	0.1E^{-03}	0.1E^{-05}				
$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	<i>Coef.</i>						
	<i>Sig.</i>						
$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	<i>Coef.</i>						
	<i>Sig.</i>						
C/N	<i>Coef.</i>		0.72	0.58		0.53	
	<i>Sig.</i>		0.011	0.047		0.075	
pH	<i>Coef.</i>	-0.73	-0.64	-0.68			
	<i>Sig.</i>	0.007	0.026	0.013			

A 7. Correlaciones de rango de Spearman entre variables fisicoquímicas del agua (T: temperatura, SAL: salinidad, OD: oxígeno disuelto, pH, Eh: potencial de óxido-reducción, SS: sólidos suspendidos) y biogeoquímicas del sedimento (%Lim-arc: porcentaje de limo-arcilla, COT: carbono orgánico total, NT: nitrógeno total, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, C/N: relación carbono/nitrógeno) para marzo y junio 2016. Correlaciones significativas $p < 0.05$ en negro y $p < 0.1$ en azul.

			Variables del agua					
			T(°C)	SAL	OD (ml/L)	pH	Eh	SS (g/L)
Marzo 2016	%Lim-arc	Coef.		0.51				-0.53
		Sig.		0.092				0.076
	COT (%)	Coef.	0.55					
		Sig.	0.064					
	NT (%)	Coef.	0.51					
		Sig.	0.092					
	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Coef.						
		Sig.						
	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	Coef.	0.74	0.66	-0.63	0.65		-0.61
		Sig.	0.008	0.024	0.028	0.026		0.040
C/N	Coef.							
	Sig.							
pH	Coef.		-0.56	0.51			0.62	
	Sig.		0.060	0.089			0.032	
			T(°C)	SAL	OD (ml/L)	pH	Eh	SS (g/L)
Junio 2016	%Lim-arc	Coef.			0.62			
		Sig.			0.032			
	COT (%)	Coef.						
		Sig.						
	NT (%)	Coef.						
		Sig.						
	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Coef.						
		Sig.						
$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	Coef.							
	Sig.							
C/N	Coef.							
	Sig.							
pH	Coef.				0.53			
	Sig.				0.077			

A 8. Factor de determinación (R²) entre variables geoquímicas del sedimento para marzo y junio 2016. %Lim-arc: porcentaje de limo-arcilla, COT: carbono orgánico total, NT: nitrógeno total, C/N: relación carbono/nitrógeno.

Marzo 2016						
	%Lim-arc	COT (%)	NT (%)	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	C/N
COT (%)	0.55					
NT (%)	0.53	0.96				
$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	0.11	0.08	0.06			
$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	0.16	0.33	0.33	0.02		
C/N	0.23	0.15	0.06	0.04	0.00	
pH	0.76	0.49	0.46	0.11	0.20	0.14

Junio 2016						
	%Lim-arc	COT (%)	NT (%)	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	C/N
COT (%)	0.64					
NT (%)	0.71	0.86				
$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	0.04	0.10	0.004			
$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	0.13	0.08	0.05	0.03		
C/N	0.27	0.66	0.37	0.10	0.32	
pH	0.45	0.15	0.39	0.15	0.04	0.01

A 9. Parámetros estadísticos de la granulometría de la fracción de arena para las estaciones muestreadas en el SNMT durante marzo y junio 2016.

Marzo 2016				
Estaciones	Media (μm)	Selección	Asimetría	Kurtosis
1P	189.2	1.21	0.16	0.91
2S	209.8	1.18	0.1	1.09
4A	192.8	1.21	0.11	0.91
10Z	192.5	1.21	0.11	0.91
11Z	201.2	1.22	0.07	0.91
12P	192.9	1.21	0.11	0.91
8Z	192.6	1.21	0.11	0.91
9Z	201.6	1.21	0.06	0.96

Junio 2016				
Estaciones	Media (μm)	Selección	Asimetría	Kurtosis
1P	190.6	1.21	0.14	0.91
2S	210.7	1.19	0.11	1.1
3S	209.4	1.19	0.1	1.09
4S	191.7	1.21	0.12	0.91
7P	192.5	1.21	0.11	0.91
8Z	199.9	1.22	0.08	0.91
9Z	198.5	1.22	0.08	0.91
10Z	193.5	1.21	0.1	0.91
12P	193.8	1.21	0.1	0.91

A 10. Parámetros estadísticos de la granulometría de la fracción de limo-arcilla para las estaciones muestreadas en el SNMT durante marzo y junio 2016.

Marzo 2016				
Estaciones	Media (μm)	Selección	Asimetría	Kurtosis
1P	17.13	3.36	-0.34	1
2S	2.85	1.7	-0.7	0.57
3S	1.27	5.1	-0.28	0.96
4S	9.4	4.07	-0.37	1.11
5S	6.06	3.58	-0.18	0.93
6P	7.99	4.03	-0.34	1.13
7P	12.22	4.21	-0.39	1.15
8Z	28.94	2.21	-0.49	1.35
9Z	18.25	2.35	-0.49	1.29
10Z	23.68	2.44	-0.59	1.36
11Z	11.42	3.38	-0.74	1.6
12P	18.97	2.72	-0.45	1.12

Junio 2016				
Estaciones	Media (μm)	Selección	Asimetría	Kurtosis
1P	15.03	4.31	-0.46	1.21
2S	4.94	2.52	-0.42	0.88
3S	3.38	2.53	-0.76	1.04
4S	11.89	4.52	-0.39	1.12
5S	7.72	3.18	-0.29	0.9
6P	8.91	4.42	-0.29	1.15
7P	11.89	4.01	-0.43	1.19
8Z	19.41	2.2	-0.6	1.24
9Z	19.28	2.61	-0.46	1.17
10Z	17.18	2.96	-0.42	1.05
11Z	11.29	3.1	-0.39	1.03
12P	19.17	2.74	-0.47	1.13

A 11. Parámetros estadísticos de la granulometría de la fracción de arena para los transectos muestreados en el SNMT durante noviembre 2015, marzo y junio 2016.

Noviembre 2016				
Transecto	Media (μm)	Selección	Asimetría	Kurtosis
L-1	190.8	1.21	0.14	0.91
L-2	208.4	1.18	0.09	1.08
L-3	192.0	1.21	0.12	0.91
M-1	191.5	1.21	0.13	0.91
M-2	190.9	1.21	0.13	0.91
M-3	191.2	1.21	0.13	0.91
M-4	208.1	1.19	0.09	1.08
M-5	198.0	1.21	0.07	0.91
M-6	194.1	1.21	0.09	0.91

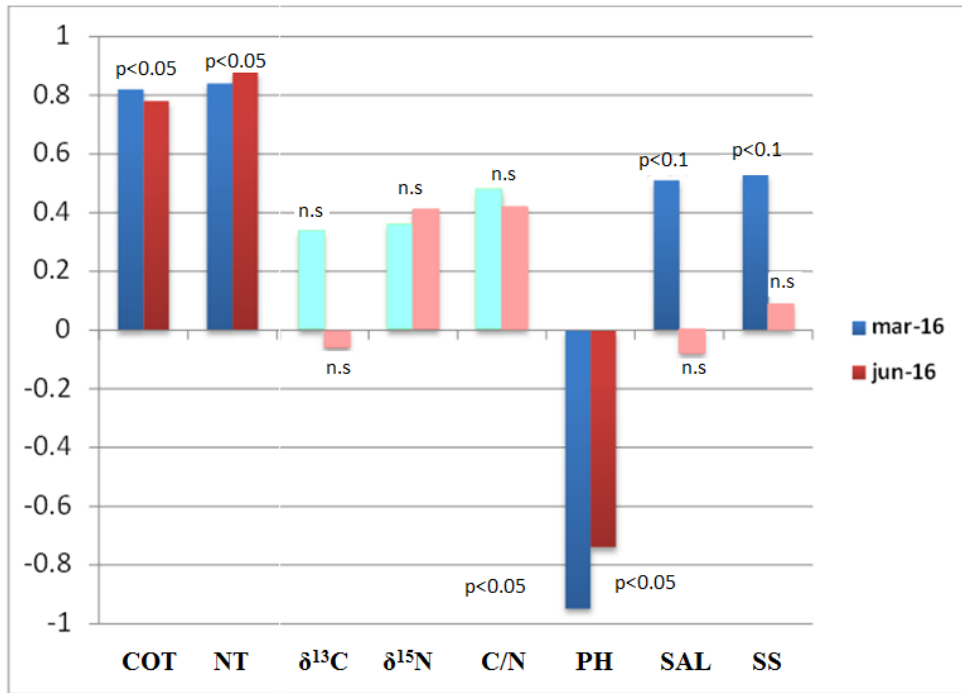
Marzo 2016				
Transecto	Media (μm)	Selección	Asimetría	Kurtosis
L-1	190.2	1.21	0.14	0.91
L-2	209.8	1.18	0.10	1.09
L-3	191.3	1.21	0.13	0.91
M-1	190.9	1.21	0.13	0.91
M-2	441.9	1.35	0.45	1.50
M-3	191.2	1.21	0.13	0.91
M-4	196.5	1.21	0.06	0.92
M-5	201.6	1.21	0.06	0.96
M-6	195.8	1.21	0.07	0.92

Junio 2016				
Transecto	Media (μm)	Selección	Asimetría	Kurtosis
L-1	191.8	1.21	0.12	0.91
L-2	210.7	1.19	0.11	1.10
L-3	191.5	1.21	0.13	0.91
M-1	191.4	1.21	0.13	0.91
M-2	192.7	1.21	0.11	0.91
M-3	192.3	1.21	0.12	0.91
M-4	194.6	1.21	0.08	0.91
M-5	198.5	1.22	0.08	0.91
M-6	196.4	1.21	0.06	0.92

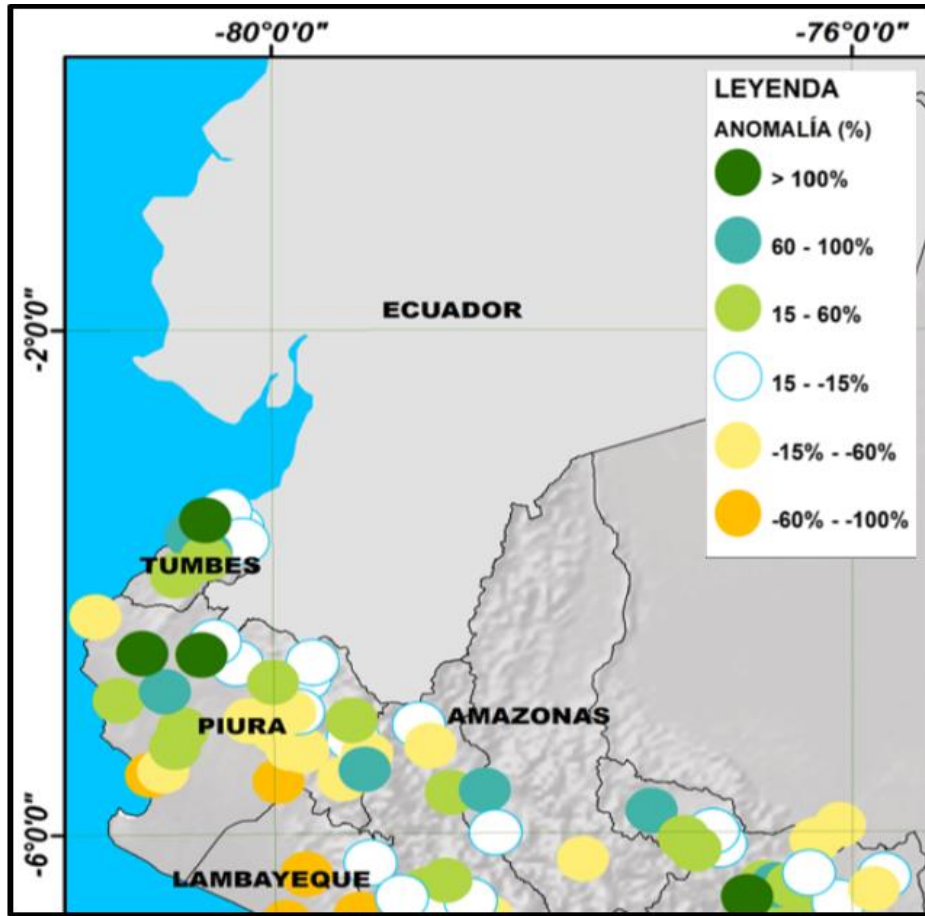
A 12. Parámetros estadísticos de la granulometría de la fracción de limo-arcilla para los transectos muestreados en el SNMT durante noviembre 2015, marzo y junio 2016.

Noviembre 2015				
Transecto	Media (μm)	Selección	Asimetría	Kurtosis
L-1	12.78	5.41	-0.36	1.04
L-2	3.40	1.72	-0.70	0.55
L-3	10.69	4.59	-0.33	1.10
M-1	9.60	3.82	-0.36	1.11
M-2	11.79	4.30	-0.31	1.06
M-3	13.24	4.21	-0.51	1.19
M-4	10.63	4.57	-0.27	1.11
M-5	9.67	3.98	-0.42	1.17
M-6	16.11	4.16	-0.45	0.95
Z-1	8.60	2.35	-0.65	1.02
Z-2	19.10	2.26	-0.16	1.43
Z-3	17.86	3.06	-0.48	1.15
Marzo 2016				
Transecto	Media (μm)	Selección	Asimetría	Kurtosis
L-1	12.76	4.43	-0.26	0.95
L-2	2.85	1.70	-0.70	0.57
L-3	4.42	3.20	-0.24	0.88
M-1	8.37	3.98	-0.35	1.16
M-2	14.22	3.74	-0.39	0.98
M-3	9.88	4.52	-0.34	1.17
M-4	7.99	4.03	-0.34	1.13
M-5	10.37	4.00	-0.28	1.12
M-6	16.84	3.73	-0.40	0.95
Z-1	17.00	2.77	-0.44	1.16
Z-2	18.25	2.35	-0.49	1.29
Z-3	17.83	2.67	-0.43	1.15
Junio 2016				
Transecto	Media (μm)	Selección	Asimetría	Kurtosis
L-1	9.12	4.49	-0.35	1.06
L-2	4.94	2.52	-0.42	0.88
L-3	9.83	4.80	-0.32	1.10
M-1	12.03	3.82	-0.39	1.06
M-2	15.87	3.63	-0.42	0.98
M-3	10.96	3.86	-0.52	1.19
M-4	8.91	4.42	-0.29	1.15
M-5	11.99	3.51	-0.33	1.00
M-6	11.13	3.93	-0.41	1.15
Z-1	22.13	2.50	-0.48	1.23
Z-2	19.28	2.61	-0.46	1.17
Z-3	16.64	2.80	-0.44	1.14

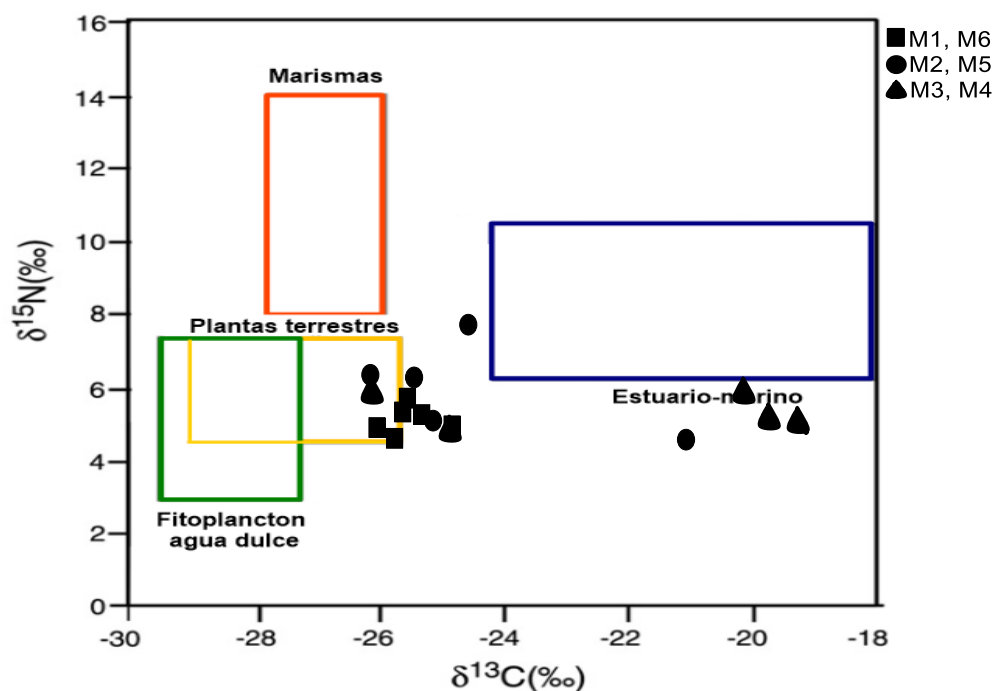
A 13. Correlación entre porcentaje de limo-arcilla con los parámetros de caracterización de materia orgánica (COT: carbono orgánico total, NT: nitrógeno total, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, C/N: relación carbono/nitrógeno) y pH del sedimento, salinidad del agua (SAL) y Sólidos suspendidos (SS) del SNLMT durante marzo y junio 2016, n.s: estadísticamente no significativo.



A 14. Anomalías de precipitaciones en el norte del Perú durante marzo 2016 (según de SENAMHI, 2016).



A 15. Diagrama de la relación entre los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ del transecto del Canal Matapalo, con interpretación de acuerdo a lo propuesto por Castro et al., 2010, durante noviembre 2015, marzo y junio 2016. M1, M6: puntos de muestreo a orillas del canal, M2, M5: puntos de muestreo intermedios, M3, M4: puntos de muestreo al centro del canal.



A 16. Diagrama de la relación entre los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de las estaciones muestreadas del SNLMT en los meses de marzo y junio 2016, con interpretación de acuerdo a lo propuesto por Castro et al., 2010.

