

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Dirección General de Investigación

Programa de Investigación en  
Recursos Naturales y Medio Ambiente -PIURNA-

**Identificación y cuantificación de huellas de plaguicidas persistentes, en el Sistema de Humedales y zona este Marino Costera del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, durante el año hídrico mayo 2013 – abril 2014 y el efectos Socioeconómicos .**

MSc. Alan Humberto Herrera  
Coordinador

T.A Rodrigo Silva Gavarrete  
Investigador Auxiliar

Guatemala, julio del 2014.

Instituciones Participantes

Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas IIH

Centro de Estudios del Mar y Acuicultura CEMA

Concejo Nacional de Áreas Protegidas CONAP

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos CIRA - UNAN



## INDICE

Resumen	9
Introducción	13
Antecedentes	15
Justificación	18
Objetivos	18
General	18
Específicos	18
Metodología	19
Presentación de la Propuesta de Investigación aprobada	19
Ubicación de los sitios de muestreo	19
Reconocimiento del área de estudio (Lagunas Costeras y Barras)	21
Reconocimiento del área de estudio (Pozos sub-superficiales)	22
Primer muestreo de sedimentos para la identificación de plaguicidas persistentes	24
Segunda Etapa de Monitoreo y Muestreo en el Área de Estudio	26
Tercera etapa de Muestreo y Monitoreo.	34
Cuarta etapa de Monitoreo y Muestreo	41
Cuarta comisión Fase B	45
Entrevistas individuales e institucionales	47
Revisión Bibliográfica y otras consultas	48
Resultados	50
Resultados del Primer Monitoreo	50
Resultados del Segundo Monitoreo	58
Resultados del Tercer Monitoreo	68
Resultados de Extractos enviados a Laboratorios Especializados CIRA-UNAN, Nicaragua	76
Resultados del Cuarto Monitoreo	79

Resultados de Entrevistas y Encuestas	<b>87</b>
Ultimo muestreo de Plaguicidas	<b>97</b>
Discusión de Resultados	<b>101</b>
Conclusiones	<b>110</b>
Recomendaciones	<b>112</b>
Bibliografía	<b>114</b>
Anexos	<b>116</b>
Anexo 1. Entrevistas individuales y colectivas.	<b>116</b>
Anexo 2. Cromatogramas de los análisis de muestras de todas las comisiones	<b>117</b>
Anexo 3. Resultados de análisis de extractos de muestras en CIRA-UNAN	<b>118</b>
Anexo 4. Profundidad de monitoreo de parámetros de calidad del agua.	<b>119</b>
Anexo 5. Resultados del monitoreo de salinidad (Sal), Conductividad eléctrica (CE), y Sólidos totales en suspensión (TDS) durante el mes de noviembre del año 2013.	<b>120</b>
Anexo 6. Valores de Oxígeno disuelto (O <sub>2</sub> ), Saturación de oxígeno (SatOd) y Potencial de óxido reducción (Eh), reportadas durante el mes de noviembre del año 2013.	<b>121</b>

### **Indice de Fotos**

Foto 1. Presentación del Protocolo de Investigación con autoridades locales (CONAP)	<b>19</b>
Foto 2. Primer monitoreo de pozos sub-superficiales domiciliarios ubicados en el área de influencia del estudio.	<b>23</b>
Foto 3. Recorrido de reconocimiento dentro de lagunas interiores del RVSPM.	<b>26</b>
Foto 4. Río Piteros en cuenca media. Desviado y su cauce natural seco.	<b>28</b>
Foto 5. Río San Francisco, en comunidad del mismo nombre antes de atravesar la zona de producción de Palma Africana.	<b>33</b>
Foto 6. Río San Francisco luego de atravesar zona de producción de Palma (Finca La Champona).	<b>34</b>
Foto 7. Vista del puente comunidad La Laguna, sobre el Canal Real.	<b>44</b>
Foto 8. Muestra de peces muertos, tomada en las aguas del Canal Real (CReal).	<b>45</b>
Foto 10. Zona intersticial, superficial entre aguas continentales y aguas marinas, en los sitios BJ500L y BJ500S, respectivamente, junio del 2013.	<b>64</b>

Foto 11. a) Pozo domiciliar de la aldea Swiche 3, con la cercanía del paso de aguas residuales por un quinel que atraviesa la comunidad. b) Pozo de la escuela de la aldea Swiche 3 a 20 metros del quinel. 88

Foto 12. a) Entrevista con pobladora y técnica de CONAP. b) Toma de muestra de agua del pozo para análisis de calidad del agua. 90

Foto 13. a) Área de siembra de banano, en el camino hacia las comunidades, con un rótulo de advertencia por ser zona de fumigación. b) Entrevista con el presidente del COCODE de la comunidad Las Vegas. 92

**Foto 14. a) Sistema de captación común de las comunidades del agua de lluvia, para consumo humano. b) Pozo temporal comunidad Quetzalito, alimentado por aguas pluviales e infiltración local.** 93

### Indice de mapas

Mapa 1. Ubicación de sitios de monitoreo para el reconocimiento del área de estudio.	20
Mapa 2. Ubicación de los pozos de monitoreo para el reconocimiento del área de estudio.	23
Mapa 3. Ubicación de sitios de monitoreo 2da comisión.	27
Mapa 4. Ubicación de sitios de muestreo 2da comisión.	29
Mapa 5. Sitios de monitoreo y muestreo, tercera comisión.	39
Mapa 6. Sitios de monitoreo y muestreo durante la cuarta comisión Fase A.	42
Mapa 7. Sitios de monitoreo y muestreo durante la cuarta comisión Fase A, marino-costeros.	43
Mapa 8. Ubicación de sitios de monitoreo Comisión 4 B.	46
Mapa 9. Salinidad (mg/l) medida en la superficie del agua. Fuente: Elaboración propia	51
Mapa 10. Salinidad (mg/l) medida en profundidad intermedia. Fuente: Elaboración propia	52
Mapa 11. Salinidad (ppm) medida en el agua del fondo. Fuente: Elaboración propia	53
Mapa 12. Parámetros de campo evaluados en los sitios de monitoreo (OD, Temperatura, pH).	54
Mapa 13. Resultado de análisis de parámetros de calidad del agua en pozos (STD, PO <sub>4</sub> y Temperatura)	55
Mapa 14. Identificación de la magnitud de los picos presentes en muestras de sedimentos tomadas en abril del 2013. Fuente: Elaboración propia	57
Mapa 15. Salinidad en la superficie de aguas superficiales y marinocosteras, junio 2013. Fuente: Elaboración propia.	59
Mapa 16. Salinidad del agua en el fondo de los sitios de monitoreo, junio del 2013.	60

Mapa 17. Ubicación de sitios con mayor potencial de acumulación de contaminantes persistentes, de acuerdo al contenido de materia orgánica en sedimentos. Fuente: Elaboración propia.	<b>61</b>
Mapa 18. Contenido de Nitrato disuelto en el agua, en sitios de monitoreo ubicados en el área de estudio. Donde <i>LR = rango bajo</i> . Fuente: Elaboración propia.	<b>62</b>
Mapa 19. Contenido de nutrientes en diversos cuerpos de agua dentro de la costa Caribe del RVSPM, junio 2013.	<b>63</b>
Mapa 20. Identificación de sitios cuyas muestras de agua presentan picos en los cromatogramas, junio 2013.	<b>66</b>
Mapa 21. Identificación de sitios cuyas muestras de sedimentos presentan picos en los cromatogramas, junio 2013.	<b>67</b>
Mapa 22. Extrapolación de la Salinidad en la superficie de aguas superficiales y marinocostas, octubre del 2013. Fuente: Elaboración propia.	<b>68</b>
Mapa 23. Presencia de Ortofosfatos diluidos en muestras de agua dentro del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.	<b>71</b>
Mapa 24. Presencia de Hidrocarburos totales en muestras de aguas naturales.	<b>72</b>
Mapa 25. Resultados del segundo monitoreo de calidad del agua de pozos cercanos a zonas de producción intensiva (agrícola y pecuaria), octubre del 2013.	<b>73</b>
Mapa 26. Resultados del segundo monitoreo de calidad del agua de pozos cercanos a zonas de producción intensiva (agrícola y pecuaria), octubre del 2013.	<b>75</b>
Mapa 27. Interpolación de valores de salinidad encontrados en la superficie del agua, durante la salida de la época lluviosa 8, 25-26 de noviembre del año 2013, dentro del RVSPM en el área marino costera.	<b>80</b>
Mapa 28. Interpolación de salinidad en profundidad intermedia entre la superficie y la zona demersal; 8, 25-26 de noviembre del 2013. Fuente: Elaboración propia.	<b>81</b>
Mapa 29. Interpolación de los valores de salinidad reportados en la zona demersal, durante la salida de la época lluviosa 8, 25-26 de noviembre del año 2013. Fuente: Elaboración propia.	<b>82</b>
Mapa 30. Valor de Amonio reportado durante la salida de la época lluviosa 8 de noviembre del año 2013. Fuente: Elaboración propia.	<b>82</b>
Mapa 31. Valores de Ortofosfatos reportados durante la salida de la época lluviosa 8, 25-26 de noviembre del año 2013. Fuente: Elaboración propia.	<b>84</b>
Mapa 32. Presentación de resultados de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) en diversas formas químicas, en agua de pozos dentro de comunidades del RVSPM, noviembre del 2013.	<b>86</b>
Mapa 33. Sitios que presentaron contaminantes persistentes en agua y en sedimentos durante la cuarta comisión en noviembre del 2013	<b>98</b>
Mapa 34. Identificación de la magnitud de los picos presentes en muestras de sedimentos tomadas en abril del 2013. Fuente: Elaboración propia	<b>57</b>

## Indice de Tablas

Tabla 1. Ubicación de sitios de monitoreo	21
Tabla 2. Ubicación de los pozos de monitoreo y muestreo.	22
Tabla 3. Sitios de monitoreo y muestreo de la primera comisión de reconocimiento (referencia mapa 1).	24
Tabla 4. Sitios de monitoreo y muestreo de la segunda comisión, transición época seca - lluviosa.	30
Tabla 5. Sitios de muestreo de la segunda comisión de residuos de Plaguicidas Fosforados y Piretroides en agua durante transición época seca – lluviosa.	30
Tabla 6. Sitios de monitoreo y muestreo de agua en la segunda comisión, transición época seca – lluviosa.	32
Tabla 7. Sitios de muestreo de sedimentos en la segunda comisión, transición época seca – lluviosa.	33
Tabla 8. Sitios de monitoreo y muestreo de la tercera comisión, monitoreo parámetros <i>in situ</i> y Fósforo ( $PO_4$ ) durante la época lluviosa.	35
Tabla 9. Sitios de monitoreo y muestreo de la tercera comisión, determinación de formas de nitrógeno en el agua, durante la época lluviosa.	36
Tabla 10. Sitios de monitoreo y muestreo de la tercera comisión, determinación de Hidrocarburos Poli cíclicos Aromáticos en el agua, durante la época lluviosa.	37
Tabla 11. Sitios de monitoreo y muestreo de la tercera comisión, determinación de Grasas y aceites e Hidrocarburos totales, durante la época lluviosa.	38
Tabla 12. Sitios de monitoreo y muestreo de la tercera comisión, determinación de Plaguicidas Organoclorados en sedimentos, durante la época lluviosa.	39
Tabla 13. Ubicación de pozos para la caracterización hidroquímica de su agua, buscando huellas de agroquímicos durante la época lluviosa.	40
Tabla 14. Ubicación de sitios de monitoreo de parámetros de calidad del agua in situ, salida de época lluviosa, Fase A.	41
Tabla 15. Ubicación de pozos de monitoreo de nutrientes en agua, salida de época lluviosa, Fase A.	44
Tabla 16. Ubicación de sitios de muestreo de sedimento para detectar plaguicidas piretroides, salida de época lluviosa, Cuarta comisión Fase A.	45
Tabla 17. Ubicación de sitios de muestreo de sedimento para dectectar plaguicidas piretroides, salida de época lluviosa, Cuarta comisión Fase A.	46

Tabla 18. Resultados monitoreo de parámetros de calidad del agua <i>in situ</i> tomados en la primera comisión de reconocimiento (superficie).	50
Tabla 19. Resultados monitoreo de parámetros de calidad del agua <i>in situ</i> tomados en la primera comisión de reconocimiento (profundidad media).	51
Tabla 20. Resultados monitoreo de parámetros de calidad del agua <i>in situ</i> tomados en la primera comisión de reconocimiento (fondo).	53
Tabla 21. Resultados de análisis de residuos de plaguicidas en la primera comisión.	56
Tabla 22. Resultados análisis de parámetros de calidad del agua <i>in situ</i> , segunda comisión.	58
Tabla 23. Resultados de análisis de parámetros de calidad del agua <i>in situ</i> al fondo de la columna de agua.	59
Tabla 24. Contenido de Grasas y Aceites (mg/l) con límite de detección de 6 mg/l.	69
Tabla 25. Concentración de Hidrocarburos Totales en sitios de muestreo, octubre del 2013.	70

### Índice de Cuadros

Cuadro 1. Parámetros de calidad del agua evaluados en campo.	21
Cuadro 2. Listado de Analitos realizados dentro del análisis de presencia de Plaguicidas Clorados Multiresiduos.	25
Cuadro 3. Listado de Analitos realizados dentro del análisis de presencia de Plaguicidas Fosforados y Pirotroides.	31
Cuadro 4. Parámetros evaluados en muestras de agua y sedimentos, segundo muestreo.	32
Cuadro 6. Metodología de análisis de calidad del agua evaluada en la tercera comisión.	35
Cuadro 7. Análisis del contenido de Hidrocarburos policíclicos aromáticos, métodos analíticos.	36
Cuadro 8. Análisis del contenido de grasas y aceites e hidrocarburos totales, método de análisis.	38
Cuadro 9. Metodología de análisis de iones disueltos en aguas naturales.	40
Cuadro 10. Listado de participantes en la entrevista participativa con COCODES.	47
Cuadro 11. Resultados de análisis del contenido de residuos de plaguicidas en muestras de agua y sedimentos.	65
Cuadro 12. Concentración de Ortofosfatos (mg/l) en aguas naturales, comparación entre dos comisiones en puntos cercanos, una con la entrada época de lluvia (#2) y otra con la salida de la temporada lluviosa (#3)	70
Cuadro 13. Valores encontrados de Ortofosfatos (mg/l) en agua de pozos, comparación entre dos comisiones en puntos cercanos, una con la entrada época de lluvia (#2) y otra con la salida de la temporada lluviosa (#3)	74

Cuadro 14. Comparación de los valores de Ortofosfatos ( $\text{PO}_4$ ) registrados desde la entrada de la época de lluvia hasta la salida, comisiones 2 – 4. 83

Cuadro 15. Valores de Ortofosfatos  $\text{PO}_4$  disuelto en agua, reportado en mg/l en la superficie (sup), en la zona profunda (dem) y la zona entintermedia (med) en cada sitio monitoroeado. 85

Cuadro 16. Ortofosfatos (mg/l) en agua de pozos, comparación entre dos comisiones, la entrada época de lluvia (#2) y la salida de la temporada lluviosa (#3 y #4) 86

Cuadro 17. Resultados obtenidos de muestras de sedimentos analizadas en laboratorios de contaminantes orgánicos del CIRA-UNAN. 100

## Resumen

Durante la temporada seca y la lluviosa, del año 2013 fueron organizadas 4 comisiones de monitoreo y muestreo para identificar huellas de agroquímicos que ingresan por medio del sistema de canales y el sistema hídrico natural dentro del RVSPM. El trabajo de monitoreo y muestreo fue realizado con acompañamiento de autoridades locales como el equipo técnico de CONAP, guardarecursos de CONAP, líderes y lideresas comunitarios.

La calidad del agua en la zona marino-costera del RVSPM está en dependencia de múltiples factores como la mezcla de aguas continentales con aguas marinas. Las aguas continentales presentan salinidades nulas o muy bajas, a diferencia de las aguas marinas. Se hizo evidente que esta influencia se agudiza con la influencia de la época de lluvias, aportando mayor cantidad de agua dulce al sistema marino-costero.

Las aguas continentales son aportadas por medio de la desembocadura de los ríos Motagua, San Francisco y Piteros. Y también son aportadas estacionalmente por medio de los esteros que abren sus barras. Estas últimas aguas tienen un tiempo de residencia mayor y pueden acumular materia orgánica y otras sustancias que son arrastradas por medio de sistemas diseñados de canales o quineles<sup>1</sup> que conducen aguas residuales especiales.

La temporada de lluvias genera un efecto de arrastre y dilución de los principales agroquímicos utilizados por las plantaciones de bananeras y palma africana, los cuales fueron encontrados disueltos en el agua, tal como los nutrientes. En la época seca las concentraciones en aguas naturales son mayores. Este mismo fenómeno se observó en el agua de los pozos, disminución de los valores de concentración de nutrientes en la época de lluvia y acumulación en época seca.

Aunque, con los límites de detección de laboratorios nacionales no se tuvieron resultados positivos en la búsqueda de plaguicidas persistentes en el agua de pozos en las comunidades cercanas a las zonas de cultivo, se observó que estas aguas también

---

<sup>1</sup> Quinel: Asequia o canal artificial diseñado y construido para drenar aguas de terrenos agrícolas y ganaderos en el RVSPM.

contienen huellas de agroquímicos como los nutrientes que se utilizan en la fertilización de los suelos. Lo que indica que pueden estar recibiendo aguas residuales infiltradas.

En la mayoría de cuerpos de agua monitoreados, la presencia de Ortofosfatos, Amonio y Nitratos confirma la influencia de aguas residuales especiales de origen agrícola y pecuario. Estas aguas tienen posibilidad de arrastrar plaguicidas persistentes, ya que fueron reportados en un canal que dirige los drenajes de la producción agrícola intensiva hacia una laguna ubicada a menos de 5 km. del mar y puede comunicarse de forma indirecta con los esteros cercanos a la desembocadura del río Motagua.

Los aportes de nutrientes se mostraron más elevados en la vertiente del mar Caribe que en la bahía de Santo Tomás de Castilla. Confirmando la influencia principal de aguas residuales especiales que no están siendo manejadas de forma adecuada.

Las plantaciones de banano son las que tienen mayor práctica de riego de pesticidas, en el presente estudio se identificó un ingrediente activo de un fungicida comercial, Clorotalonil, el metabolito del DDT, otro plaguicida restringido pp-DDE, Endosulfán y Lindano, los últimos tres, plaguicidas organoclorados persistentes y restringidos a nivel regional. A excepción de Endosulfán, los otros dos son prohibidos en Guatemala.

El pozo de la comunidad Media Luna, cercano al cultivo de palma africana, presentó concentraciones de Cloruros y Nitratos fuera de la norma nacional para la calidad del agua de consumo humano COGUANOR 202-900. Lo que deja sin oportunidad de uso para consumo humano el agua de este pozo. Estos dos iones pueden estar asociados a aguas residuales infiltradas.

Se observó que todas las descargas, ordinarias y especiales son dirigidas hacia cuerpos de agua receptores sin recibir tratamiento. De parte de las autoridades no se está realizando actualmente un programa de control y de monitoreo oportuno, que ofrezca información desde una base de datos estructurada, ni tampoco se obtuvo información sobre los agroquímicos restringidos o prohibidos de uso en la zona productiva, ni la estimación de impactos sobre los recursos hídricos del área protegida.

Esto indica que, aunque los cultivos intensivos en el área no son recientes, el tema se encuentra en una fase inicial de búsqueda y delimitación como un problema sentido y sistemático que pone en riesgo la salud de la población humana y la biodiversidad en los sistemas hídricos del RVSPM.

Durante la última etapa de monitoreo y muestreo, se tuvo contacto con la opinión pública, a través de una consulta realizada a líderes y lideresas de las comunidades Media Luna, Las Vegas y Swiche 3, por medio de ellos se tuvo acceso a tomar muestras de agua, sedimentos y peces, en un canal que recibe aguas residuales especiales crudas “Canal Real”.

Al momento del muestreo el río transportaba peces muertos y residuos de un fungicida disuelto en el agua; Clorotalonil. En un quinel que transporta agua residual de la plantación de banano se tomó una muestra de agua que presentó valores más elevados del fungicida. Esto puede significar que el contaminante está siendo transportado desde la plantación, por medio del quinel, hasta el canal real, donde finalmente se diluye.

Los sedimentos en dicho lugar presentaron contenido de plaguicidas organoclorados persistentes. Este sitio se considera un punto focal de contaminación que puede transportar contaminantes tóxicos hacia otros cuerpos de agua natural.

Los límites de detección de laboratorios nacionales (50 µg/kg) no detectaron huellas de plaguicidas persistentes en un sistema lótico de constante recambio (Canal Real). Pero por laboratorios internacionales (CIRA-UNAN) con límites de detección menores (0.05 µg/kg) si fueron detectados, esto sugiere limitaciones nacionales para realizar investigaciones profundas.

Por tratarse de aguas naturales, fuentes de consumo para pobladores, nicho ecológico de especies de importancia alimenticia para población local, deberían de establecerse esfuerzos multi-institucionales, para generar un programa permanente de monitoreo y control que permita poner alarma y tomar medidas de remediación donde sea oportuno, para el mejoramiento de la calidad de vida de las poblaciones y la calidad hidrobiológica del área protegida.



## Introducción

El Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, es un Área Protegida administrada por CONAP Puerto Barrios. Consta con zonas de protección en tierra y agua. La zona de protección de ecosistemas acuáticos consta los sistema de humedales y la zona marino costera. Tanto de la vertiente de las bahías (Graciosa, Amatique, Santo Tomás) como la vertiente del mar Caribe. Se considera una gran parte de ellos, como ecosistemas críticos, donde se reproducen especies de importancia local para la pesca.

Durante los últimos 10 años el cultivo de palma africana se ha expandido y sus aguas residuales al igual que las aguas residuales de las plantaciones del banano, no reciben tratamientos especiales para remediar la carga de agroquímicos, como nutrientes, plaguicidas, herbicidas, fungicidas, entre otros. Estas aguas residuales especiales pueden alcanzar cuerpos de agua naturales y causar impactos negativos en los ecosistemas. Pero no se cuenta con registros anteriores que prevengan esta situación.

Dentro del RVSPM habitan más de dos mil personas en la zona este, en las comunidades que están rodeadas de la zona de producción intensiva de banano y de palma. Se han reportado casos de contaminación de parte de la población, como enfermedades gastrointestinales, caída de pelo, irritación de piel y de ojos, y se ha reportado mortalidad de peces, en momentos de fumigación de la plantación de banano.

La población asegura que no disponen de fuentes naturales de agua por estar contaminada de agroquímicos, deben utilizar el agua de lluvia como fuente de agua de consumo.

El presente estudio se enfoca en la búsqueda de la huella de los agroquímicos para analizar la posible influencia y alcance de las aguas residuales, y evaluar si hay presencia de plaguicidas persistentes, por tratarse de los contaminantes más peligrosos que puedan estar ingresando por esa ruta hacia las aguas naturales, dentro del área protegida.

Para ello se han realizado cuatro comisiones de monitoreo y en cada una se han tomado muestras de agua y sedimentos, así como muestras de agua de pozos artesanales. Para

ubicar la presencia de agroquímicos por medio de la evaluación de parámetros de calidad del agua, como el contenido de nutrientes, el contenido de plaguicidas y parámetros medidos *in situ*.

El aporte de información directa de parte de líderes y lideresas de las comunidades, complementó la base de datos para el análisis de los resultados y contribuyó con el reconocimiento e identificación de fuentes puntuales de contaminación.

El presente estudio servirá como información base para futuros estudios. Los resultados deben ser tomados en cuenta como un aporte al manejo adecuado y el ordenamiento de los recursos hídricos dentro del área protegida, pueden servir como base para comparar resultados futuros y como base para elaborar un plan de monitoreo constante y multi-institucional, incluyendo autoridades de MARN y la Municipalidad

## Antecedentes

La bahía El Balayán comprende una zona de altura baja sobre el nivel del mar (1 – 3 metros) sometido a un proceso de acumulación de sedimentos Cuaternarios, dando lugar a la Península Punta de Manabique en donde el río Motagua se desborda varios kilómetros antes de su desembocadura, recargando las zonas de humedal con agua dulce que de forma estacional es descargado al mar Caribe (CECON – CDC, 1992). Las costas de forma general tienen origen sedimentario, volcánico (por influencia del río Motagua) y coralino (por influencia marina) y están en constante transformación (FUNDARY, *et. al.*, 2006).

En el área de estudio el sistema Hídrico es muy complejo y está afectado por la dinámica de la parte baja y final del curso del río Motagua, cuyo caudal promedio es de 530 m<sup>3</sup>/s (FUNDARY, *et. al.*, 2006).

Algunos autores afirman que las plantas o peces que son susceptibles de ser ingeridos por otros consumidores no deberían de sobrepasar 1.0 mg/kg de DDT total (Brémond y Perrodon, 1979). Los factores de acumulación dependen de cada ecosistema, no existen recomendaciones universales que permitan generalizar las concentraciones límites en las aguas. La toxicidad para organismos acuáticos puede ser de dos formas, aguda o crónica. La forma crónica puede suceder mediante la ingesta de organismos sometidos a contaminación en su medio de vida y a la fijación en tejido adiposo (Brémond y Perrodon, 1979).

El Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique RVSPM constituye un área protegida del sistema SIGAP, actualmente administrado por CONAP Puerto Barrios. Reconocida como Área de Protección Especial según el Decreto Legislativo No. 4-89 (Ley de Áreas Protegidas) en febrero de 1989. Se clasifica dentro de la categoría de Sitio Ramsar, desde el 28 de enero del año 2000. Está ubicado en el Municipio de Puerto Barrios, Departamento de Izabal. Consta de 49,289 hectáreas de zona terrestre y de 102,589 hectáreas de zona marina, incluyendo aguas interiores. Es la segunda área protegida de mayor tamaño dentro de la cuenca del río Motagua, le sigue a la Sierra de la Biósfera de las Minas (FCG Fundación para la Conservación de los Recursos, 2012).

La zona marina del RVSPM constituye un sistema de ecosistemas críticos (WWF, 2006) que presentan únicas características que los definen y diferencian entre sí, tales como diversidad de especies y diferenciación del estado de vida (reproducción, cría, juvenil).

Actualmente la cobertura de coral es baja 8.75% caracterizado por especies tolerantes a los sedimentos (FUNDARY, CONAP, TNC., 2006). El estudio afirma que la alta abundancia de macroalgas no coralinas (65%) se sale de control aparentemente para las poblaciones de erizos y peces, que las consumen.

Dentro de las especies de Crustáceos y Moluscos de importancia para la alimentación local se han identificado al menos siete familias de camarones (*Penaeidae*, *Alpheidae*, *Processidae*, *Pasiphaeidae*, *Sichiniidae*, *Palemonidae*, *Hippolytidae*), así como el Molusco *Strombus gigas*, *S. pugilis*, *S. costatus*, *S. gallus*, *S. raninus*, los cuales para entonces constituyeron registros que no habían sido documentados previamente (Gutierrez, 2006, en FUNDARY, CONAP, TNC., 2006). Dicho estudio cita un listado de especies de peces de importancia para la flota artesanal, de los cuales señala algunas especies que están siendo amenazadas como el Tiburón Martillo (*Sphirna mokarran*) y el cíclido endémico Chumbimba (*Vieja maculicauda*).

La temporalidad asociada a las épocas de mejor pesca artesanal, de las especies más importantes dentro del área de estudio se corresponde a: Langosta (Noviembre – Marzo), Róbalo (Junio – Enero), Manjúa (Febrero – Abril), Escama (Octubre – Diciembre). Se estimó que la población pesquera en el RVSPM sobrepasa las 229 personas, de las cuales 139 son capitanes y 90 propietarios de lancha con motor (FUNDARY, CONAP, TNC., 2006).

Conforme el Diagnóstico Preliminar de Situación de la Cuenca del Río Motagua, este estudio señala que en el Municipio de Puerto Barrios la cuenca baja del río, constituye niveles de amenaza de nivel crítico reflejadas con indicadores de Deforestación, Incendios, Disminución de caudal o desecamiento de ríos, Erosión, Contaminación por desechos sólidos y líquidos, Tormentas y Huracanes, Contaminación por desechos agroquímicos e Inundaciones (FCG Fundación para la Conservación de los Recursos, 2012). Tomando en cuenta que el río ingresa al área protegida con características en sus aguas que pueden

poner en riesgo el desarrollo pleno de la vida acuática. Es preciso hacer referencia que el estudio demanda efectuar evaluaciones permanentes y en diversos puntos de muestreo.

Un estudio elaborado por la Universidad de San Carlos de Guatemala, señala que en un sitio de muestreo ubicado en Gualán Zacapa (antes de ingresar al RVSPM) se reportaron especies de importancia para la pesca local como: Pepesca (*Astianax fasciatus*), butes (*Poecilliopsis sp.*), algunos ejemplares de Juilín (*Rhamdia sp.*), Tilapia (*Oreochromis sp.*).

Otro sitio de muestreo del estudio, más cercano al RVSPM ubicado en Morales Izabal se reportaron también Chumbimbas (*Cichlasoma maculicauda*), Machacas (*Brycon sp.*) y Guapotes (*Cichlasoma sp.*). el estudio señala que en todos los puntos de muestreo los peces presentaron contaminación bacteriana, contenido de plomo y mercurio en el músculo, por lo que no son aptos para consumo humano (FAJARDO, 2003).

Un estudio reciente caracteriza las aguas de la vertiente de las Bahías, afirmando que “El ecosistema de la Bahía de Amatique se comporta como un Estero con Cuña Marina”, un sistema de alta productividad que de acuerdo con los contenidos de NTU y la transparencia indican su estabilidad, no eutrofización, y buen intercambio de agua (Carrillo Ovalle, 2000).

## Justificación

Los resultados de la presente propuesta de investigación permitirán evaluar el impacto sobre los recursos hídricos del área protegida, por la cercanía a la frontera agrícola y su proyección hacia un futuro próximo, pone en evidencia posibles rutas de transporte de plaguicidas persistentes de gran riesgo para la salud humana y del ecosistema. Por medio del presente informe, se pondrá en alerta a las autoridades de manejo del área protegida sobre las zonas más vulnerables y a las autoridades de salud competentes para priorizar medidas de gestión integral que permitirían mitigar y reducir el problema.

## Objetivos

### General

Delimitar la huella de contaminación en aguas subterráneas y superficiales, sedimento y peces que dejan los agroquímicos (utilizados en las áreas de Mono cultivo intensivo de Banano, Palma Africana y Melón) dentro del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique y en la desembocadura del río Motagua dentro del Mar Caribe.

### Específicos

- Diferenciar la diversidad y cantidad de plaguicidas persistentes utilizados en la zona de influencia del área de estudio por unidad de tiempo.
- Describir la magnitud de la huella (mg/l) expresada como concentración de plaguicidas persistentes en el agua del río Motagua, agua de pozos cercanos a la zona agrícola, agua de los esteros que desfogan en la bahía de Honduras y en aguas nacionales dentro del mar Caribe.
- Cuantificar la concentración de plaguicidas persistentes en los sedimentos del río Motagua, sedimentos de esteros que desfogan en el Mar Caribe y sedimentos de la zona Marino Costera de la bahía de Honduras y peces de los mismos sitios.
- Delimitar las poblaciones humanas en condiciones de vulnerabilidad de contaminación como efecto de la acumulación de contaminantes persistentes en los sistemas hídricos.
- Estimar la valoración económica que implican los daños ambientales y a la salud humana, por las condiciones de vulnerabilidad ante la contaminación latente.

## **Metodología**

Para el alcance de los objetivos planteados se dividió el trabajo en diferentes momentos de monitoreo y muestreo en campo. Pero también la investigación se basó en información que fue obtenida por medios participativos (entrevistas), entrevistas institucionales (Representante municipal, Representante MARN, COCODES). Además de medios bibliográficos. A continuación se presenta la metodología y acciones hacia el alcance de objetivos planteados.

### Presentación de la Propuesta de Investigación aprobada

Antes de comenzar el monitoreo de las variables de campo, se realizó la presentación de la propuesta de investigación con el Director y equipo técnico del Área Protegida “Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique”, en la sede de CONAP de Puerto Barrios, Izabal. Los frutos que se obtuvieron de dicha reunión se traducen principalmente en: el acompañamiento de Guarda Recursos del área, facilidad en el acceso a los sitios de monitoreo de forma oportuna. Además se logró contar con el apoyo en el almacenamiento eventual de muestras de sedimentos y agua bajo condiciones de refrigeración. Además del acompañamiento técnico dentro del área de estudio.

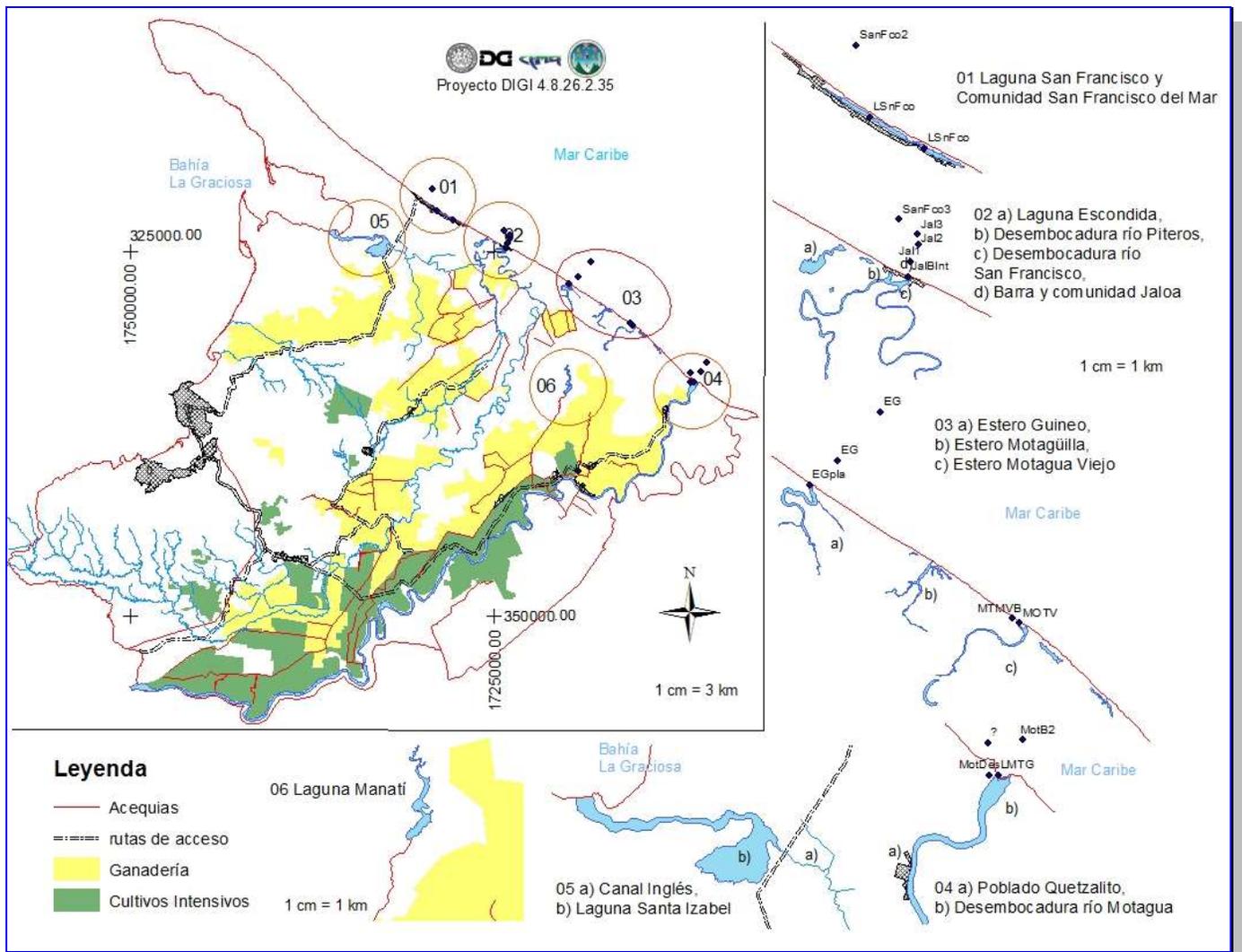


Foto 1. Presentación del Protocolo de Investigación con autoridades locales (CONAP)

### Ubicación de los sitios de muestreo

Tomando como base al Plan de Manejo del Área Protegida del año 2007 – 2011 se monitorearon los cuerpos de aguas identificados como: Barra de Motagua, Esteros Motagua Viejo, Motagüilla, Guinea; Barra de Jaloa, Laguna Escondida, Laguna San Francisco (mapa 1). Se tomaron en cuenta puntos dentro de las barras y dentro de la zona marino-costera hasta 3 km. mar adentro. Dichos cuerpos de agua representan la mayor

parte de esteros y lagunas costeras ubicadas en la costa del Caribe y representan hábitat críticos para especies de peces, tortugas, mamíferos, aves, entre otras especies de importancia para la pesca local.



**Mapa 1.** Ubicación de sitios de monitoreo para el reconocimiento del área de estudio.

La actividad de reconocimiento del área de estudio, permitió identificar las principales entradas de agua dulce al sistema marino costero; delimitando espacialmente las regiones que son influenciadas por las corrientes superficiales continentales con arrastre probable de aguas residuales especiales; correspondientes a los drenajes de fincas de agro-exportación (Banano y Palma) y de ganadería. Los puntos que fueron tomados en cuenta para la evaluación de la influencia de aguas continentales dentro del sistema marino costero se muestran en la tabla 1 y se corresponden con el mapa 1.

**Tabla 1.** Ubicación de sitios de monitoreo

Id	Ubicación	Referencia Geográfica	
		UTM 16p WGS 84	
MtDes	Desembocadura Río Motagua	W363504	N1741037
MtB	Barra Motagua	W359344	N1745062
MtB2	Barra Motagua (1 km)	W364210	N1741760
MtB3	Barra Motagua (1.5 km)	W364585	N1742390
MtMVB	Barra Motagua Viejo	W359344	N1745062
Egui	Estero Guinea	W355757	N1748311
Jal1	Barra Jaloa	W350938	N1750597
Jal2	Barra Jaloa (1 km)	W351088	N1750956
Jal3	Barra Jaloa (1.5 km)	W351080	N1751160
JalBi	Barra Jaloa (interior)	W350888	N1750300
LSFco	Laguna San Francisco (barra)	W347203	N1752196

Reconocimiento del área de estudio (Lagunas Costeras y Barras)

En todos los sitios que se presentan en el mapa 1, con el objeto de medir la influencia de las aguas dulces que desembocan en la costa y que tienen buenas posibilidades de contener aguas residuales especiales (agrícolas y pecuarias), se midieron *in situ* los valores de los siguientes parámetros físico-químicos de calidad del agua, en la superficie, el fondo y la profundidad intermedia, tomando además el punto geo-referenciado en cada medición para extrapolar la información en un sistema de coordenadas representativo del área en estudio, utilizando para ello un GPS Garmin e-Trek Vista y el programa ArcMap10 del Sistema GIS.

**Cuadro 1.** Parámetros de calidad del agua evaluados en campo.

Parámetro de Calidad del Agua	Equipo Utilizado
- Salinidad	Refractómetro
- Conductividad Eléctrica	Sonda Multiparamétrica WTW 350i
- pH	
- Oxígeno Disuelto	
- Eh	
- Temperatura	

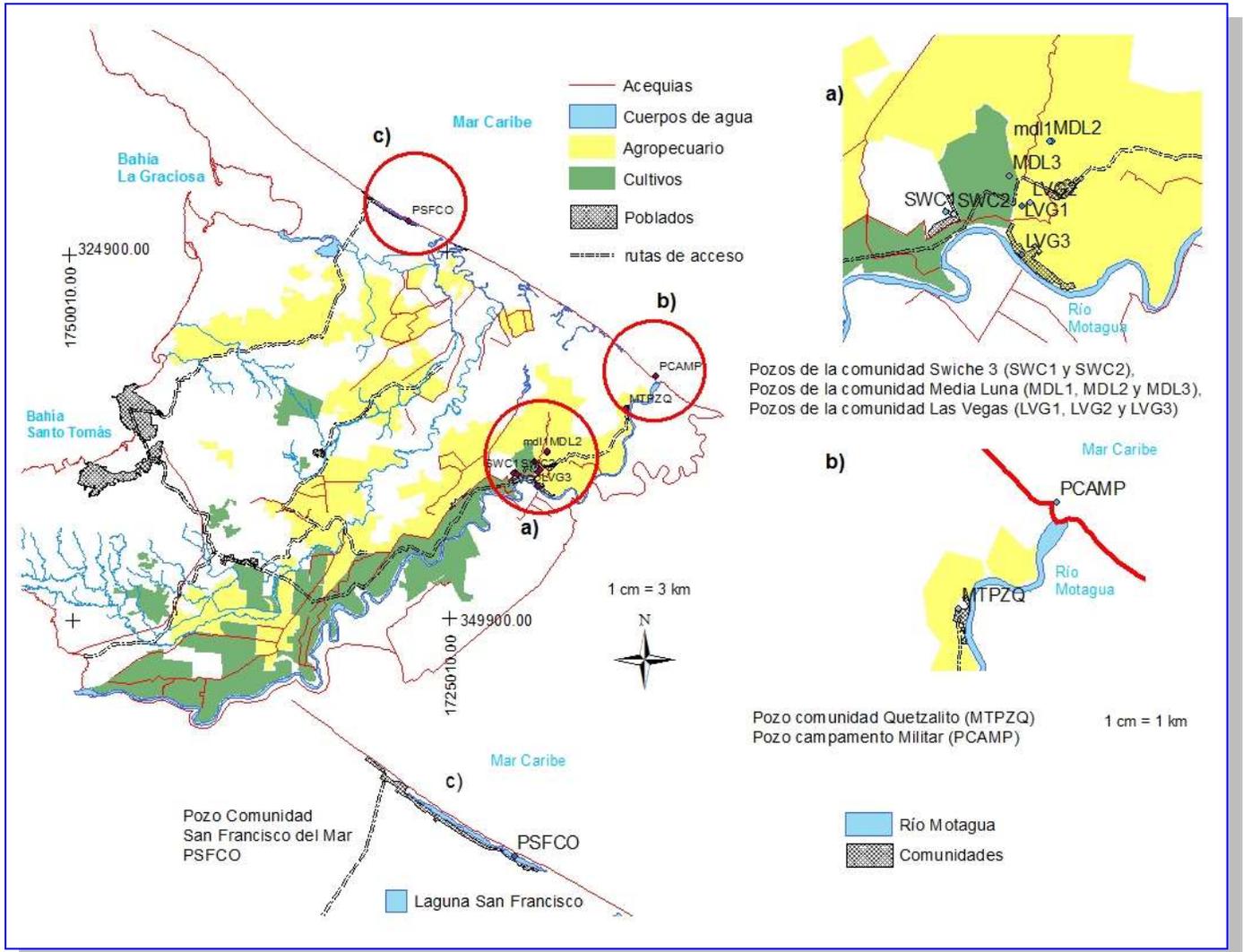
Reconocimiento del área de estudio (Pozos sub-superficiales)

Como parte del reconocimiento de la zona de influencia y posible contaminación con residuos de agroquímicos persistentes en aguas subterráneas, se tomaron en cuenta pozos sub-superficiales que se ubican en las comunidades interiores del área protegida (mapa 2). El agua de dichos pozos no es explotada para consumo humano actualmente ya que los pobladores manifiestan que el agua está contaminada. Aunque en temporada seca, eventualmente es utilizada para dichos fines, si no logran cosechar agua de lluvia. Permanentemente se utiliza dicha agua para usos domésticos.

El primer monitoreo de la calidad del agua de los pozos sub superficiales de la zona de influencia, tomó en cuenta parámetros de calidad del agua medidos *in situ*, los cuales se muestran en el cuadro 1. Fueron tomados en cuenta los pozos mostrados en el mapa 2; algunos de los cuales se ubican cercanos a fincas de agro exportación, de Palma y Banano.

**Tabla 2.** Ubicación de los pozos de monitoreo y muestreo.

Id	Ubicación del pozo	Referencia Geográfica	
		<i>UTM 16p WGS 84</i>	
mdl1	Comunidad Media Luna	W356453	N1736266
MDL2	Comunidad Media Luna	W356410	N1736279
MDL3	Comunidad Media Luna	W355566	N1735569
LVG1	Comunidad Las Vegas	W355824	N1734934
LVG2	Comunidad Las Vegas	W355994	N1735020
LVG3	Comunidad Las Vegas	W355841	N1733945
SWC1	Comunidad Swiche 3	W354251	N1734808
SWC2	Comunidad Swiche 3	W354423	N1734781
MTPZQ	Comunidad Quetzalito	W361685	N1739185
PSFCO	Comunidad San Francisco del Mar	W347346	N1752124
PCAMP	Pozo Campamento militar	W363704	N1741386



**Mapa 2.** Ubicación de los pozos de monitoreo para el reconocimiento del área de estudio.



**Foto 2.** Primer monitoreo de pozos sub-superficiales domiciliarios ubicados en el área de influencia del estudio.

## Primer muestreo de sedimentos para la identificación de plaguicidas persistentes

Con el objeto de identificar residuos de plaguicidas persistentes se realizaron los primeros muestreos de sedimentos de los cuerpos de agua monitoreados. El primero de los muestreos fue representativo de la época seca, realizado del 10 al 14 de abril del 2013.

Las condiciones climáticas para el mes de abril conforme lo menciona el Análisis Meteorológico Preliminar del Mes de Abril del 2013; reportó la presencia de “frentes de alta presión generando acumulados de lluvia de 87.6 mm en 48 horas en Puerto Barrios” (INSIVUMEH, 2013).

Los puntos de muestreo que fueron elegidos para la primera identificación de huellas de agroquímicos se muestran en la tabla 3, estos puntos fueron monitoreados y se extrajo muestras en un momento representativo de la época seca del año 2013.

**Tabla 3.** Sitios de monitoreo y muestreo de la primera comisión de reconocimiento (referencia mapa 1).

Id	Ubicación	Ecosistema	Referencia Geográfica <i>UTM 16p WGS 84</i>
Motdes	Desembocadura río Motagua	Salida del río Motagua, fondo arenoso, interacción e influencia de la marea	363504 1741037
MotV	Estero Motagua Viejo	Interior del estero, estratificación salina interna en las aguas	359484 1744965
EGpla	Estero Guinea Playa	Playa frente a la Barra de la laguna interior, temporalmente cerrada	355176 1747811
JalBint	Barra Jaloa (interior)	Interior del estero, estratificación salina interna en las aguas	350888 1750300
LEsc	Laguna Escondida	Interior de laguna costera permanente, nula interacción mareal, es alimentada por las corrientes de la desembocadura del río Piteros	348991 1750517
LSnFco	Laguna San Francisco	Interior de laguna costera permanente, estratificación salina, con interacción mareal estacional, recibe aguas residuales ordinarias y especiales (ganadería)	346088 1752830
SnFco1	Barra Laguna San Francisco	Playa frente a la Barra de la laguna interior, temporalmente cerrada	347203 1752196

Los sedimentos de las lagunas costeras y de las barras seleccionadas fueron sometidos al análisis de presencia de Plaguicidas Clorados Multiresiduos (cuadro 2). Las muestras

fueron transportadas hasta los laboratorios comerciales certificados donde se realizaron los posteriores análisis para identificar la presencia de los residuos de plaguicidas. El transporte y conservación de las muestras se realizó de acuerdo con las recomendaciones y metodología propuesta por los laboratorios de análisis INLASA S.A.; basados en métodos estandarizados.

La metodología de la extracción de la muestra de sedimentos fue realizada por medio de una draga tipo *BanBeen* y tipo *Ekman*. Las muestras de la columna de agua fueron tomadas con una botella tipo Niskin y analizadas *in situ* con los equipos descritos en el cuadro 1.

**Cuadro 2.** Listado de Analitos realizados dentro del análisis de presencia de Plaguicidas Clorados Multiresiduos.

Análisis	Límite de Detección	Metodología
Lindano	0.01 mg/kg	(PLTM)Cap.3 Pesticide in Soil & Water
Aldrina	0.01 mg/kg	
BHC	0.01 mg/kg	
Captafol	0.01 mg/kg	
Captán	0.01 mg/kg	
Clorotalonil	0.01 mg/kg	
Clordano	0.01 mg/kg	
Dicloran	0.01 mg/kg	
Dieldrín	0.01 mg/kg	
Endosulfan I	0.01 mg/kg	
Endosulfan II	0.01 mg/kg	
Endosulfan Sulfato	0.01 mg/kg	
Endrín	0.01 mg/kg	
Heptacloro epóxido	0.01 mg/kg	
Hexaclorobenceno	0.01 mg/kg	
Metoxicloro	0.03 mg/kg	
pp-DDD	0.01 mg/kg	
pp-DDE	0.01 mg/kg	
B-BHC	0.01 mg/kg	
d-BHC	0.01 mg/kg	

Fuente: Laboratorios INLASA, S.A.

El recorrido dentro de las lagunas costeras y en la zona marino costera durante el estudio, el acceso a sitios de muestreo y a muestras de peces fue realizado por medio de una lancha de 12 pies, con motor de 40HP. Facilitada por la gestión y experiencia del Guarda Recursos de CONAP, Sr. Pescador, Noe Ortega.



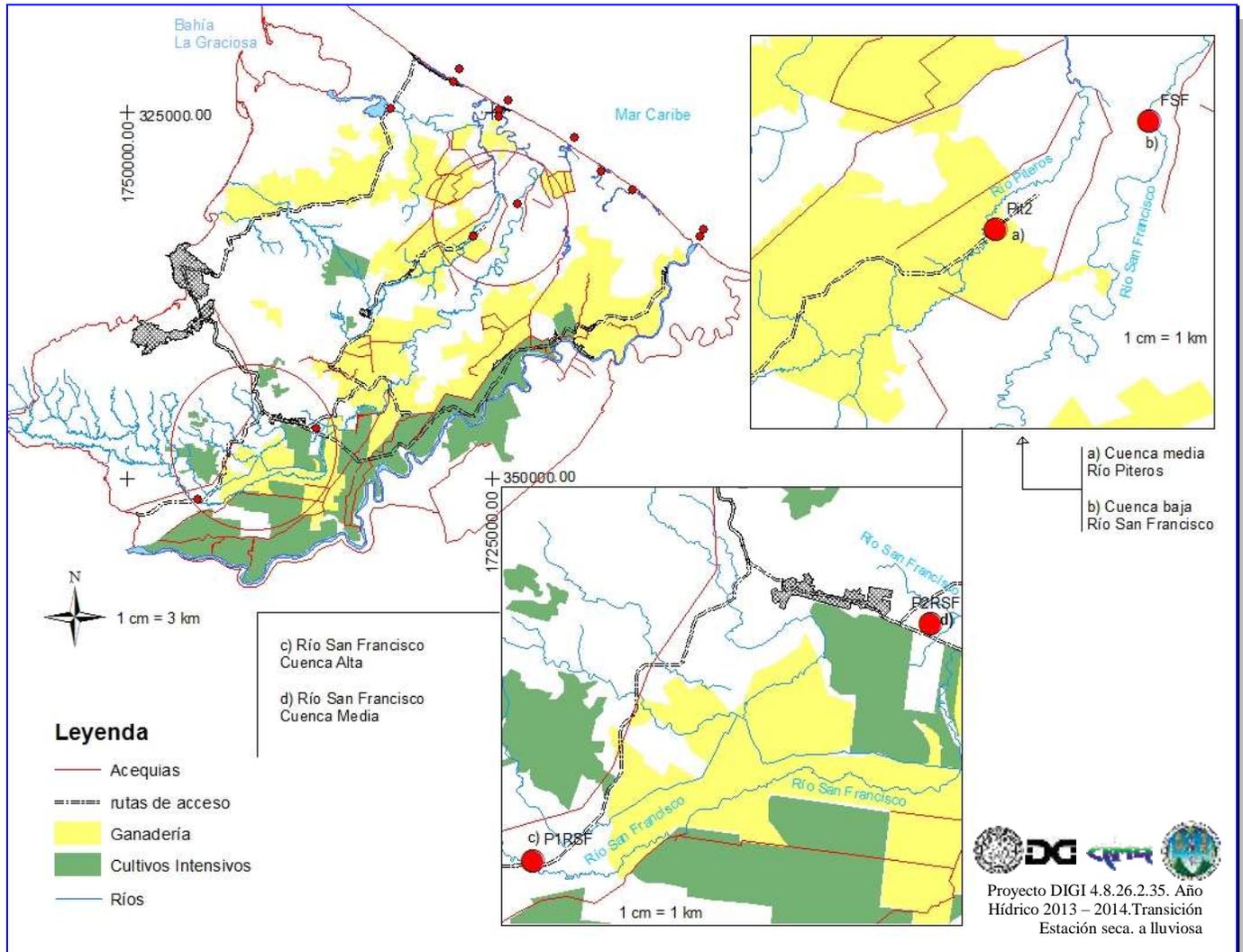
**Foto 3.** Recorrido de reconocimiento dentro de lagunas interiores del RVSPM.

### Segunda Etapa de Monitoreo y Muestreo en el Área de Estudio

Durante la segunda etapa de monitoreo y muestreo fueron tomados en cuenta algunos sitios a los que se les dio seguimiento durante el resto de comisiones; luego de analizar en la zona marino costera del RVSPM; la primera parte de resultados obtenidos durante la comisión de reconocimiento. Además del Río Motagua, fueron tomados en cuenta como tributarios perennes de agua dulce hacia el Mar Caribe, el río San Francisco y el río Piteros, cuya confluencia entre los dos ríos da lugar a la Barra de Jaloa, que desemboca al mar Caribe a través de la bahía El Balayán, dentro del Golfo de Honduras.

Para el presente estudio, el caso del río San Francisco es especial pues proporcionó información desde su cuenca alta, ubicada en una zona fuera de la influencia directa de los agro-cultivos de exportación (Palma y Banano) y la zona ganadera. Antes de ingresar en la zona productiva de la Finca La Champona. Se tomó otro punto de monitoreo en la cuenca

media del río, luego de la zona de producción de aceite de palma, se sospecha que este sitio lleva aguas residuales especiales combinadas con las aguas del río (mapa 3).



**Mapa 3.** Ubicación de sitios de monitoreo 2da comisión.

Los parámetros de calidad del agua evaluados *in situ* en los sitios de monitoreo presentados en el mapa 3, corresponden a los indicados en el cuadro 1.

Se tomaron en cuenta durante la segunda campaña de monitoreo y muestreo los puntos ubicados en la corriente de los ríos; Piteros y río San Francisco, intentando cubrir la parte alta, media y baja de sus cuencas. En el caso del río Piteros, no fue posible acceder hasta la corriente natural en la parte alta (naciente) de su cuenca ya que el cauce natural del río

se encuentra seco y el agua ha sido desviada hacia Quineles ubicados entre fincas de ganadería (foto 4), solo se tuvo acceso hasta la parte media de la cuenca (mapa 3).

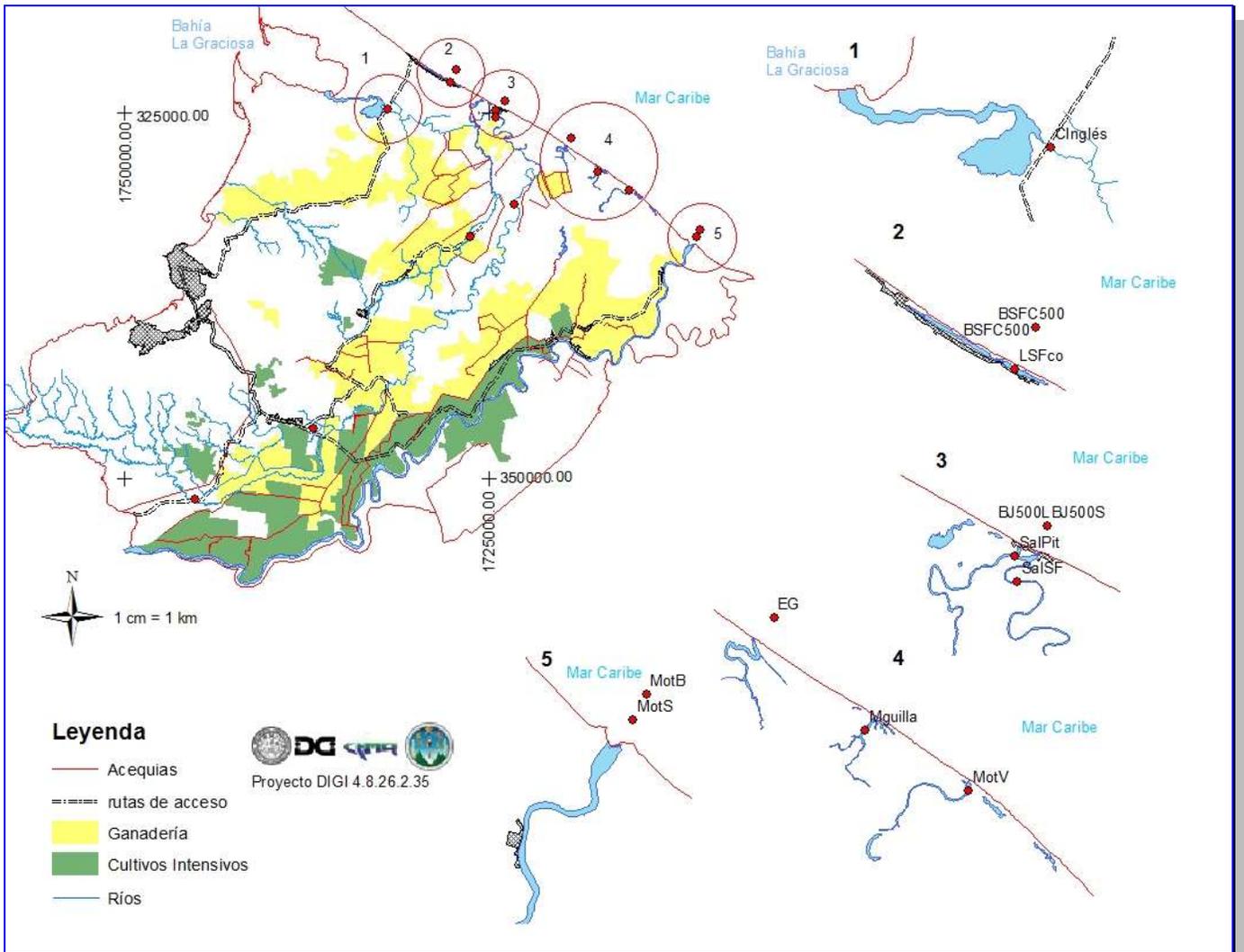


**Foto 4.** Río Piteros en cuenca media. Desviado y su cauce natural seco.

A partir de la segunda jornada de monitoreo y muestreo fue tomado en cuenta el sitio ubicado en el Canal Inglés con el objeto de identificar alguna señal de alteración de la calidad del agua por causas relacionables con las zonas de producción (agrícola y ganado) y su posible influencia sobre la vertiente de la Bahía La Graciosa (mapa 4). La segunda jornada de monitoreo y muestreo se llevó a cabo del 27 de junio al 01 de julio del 2014.

De acuerdo con la información generada y publicada por el INSIVUMEH se conoce que en el mes de junio del 2013 las lluvias estuvieron presentes por la formación de tres frentes, uno de ellos que afectó el área de estudio ([www.insivumeh.gob.gt](http://www.insivumeh.gob.gt), 2013). Conforme a datos oficiales se confirmaron 150 milímetros de lluvia, del 20 al 30 de junio, durante la semana que se realizó el segundo monitoreo – muestreo.

Las muestras de sedimentos del segundo muestreo fueron extraídas en los sitios que se presentan en la tabla 4. Los análisis que se realizaron en estos puntos son los que se indican en el cuadro 3 (Plaguicidas Fosforados y Piretroides) y se consideran representativos del período de transición entre la estación seca y lluviosa del año 2013.



**Mapa 4.** Ubicación de sitios de muestreo 2da comisión.

El objeto de realizar este muestreo y realizar el mismo análisis del primer muestreo, es para comparar los resultados obtenidos en la estación seca y la lluviosa.

En la segunda comisión se tomaron muestras de agua en distintos puntos (tabla 5) de los ríos que recorren parte de las zonas de producción agrícola intensiva y ganadería y que se corresponden con los del mapa 3, con el objeto de identificar residuos en agua de Plaguicidas Fosforados y Piretroides que pudieran haber sido arrastrados por las lluvias de la temporada.

**Tabla 4.** Sitios de monitoreo y muestreo de la segunda comisión, transición época seca - lluviosa.

Id	Ubicación	Referencia Geográfica <i>UTM 16p WGS 84</i>
P1RSF	Río San Francisco Cuenca Alta	329873 1723554
P2RSF	Río San Francisco Cuenca Media	338018 1728401
FSF	Río San Francisco Cuenca Baja	351738 1743754
SalSF	Desembocadura del río San Francisco	350483 1749675
SalPit	Desembocadura del río Piteros	350427 1750198
BJ500S	Barra Jaloa, 500 m. dentro de la pluma	351086 1750808
MotV	Estero Motagua Viejo	359617 1744699
Mgüilla	Estero Motagüilla	357480 1745945
EG	Estero Guinea	355622 1748259
BSFC500	Barra San Francisco 500 m. dentro de la pluma	347768 1752982
LSFco	Laguna San Francisco	347346 1752124
CInglés	Canal Inglés	343078 1750279

**Tabla 5.** Sitios de muestreo de la segunda comisión de residuos de Plaguicidas Fosforados y Piretroides en agua durante transición época seca – lluviosa.

Id	Ubicación	Referencia Geográfica <i>UTM 16p WGS 84</i>
MotS	Desembocadura del río Motagua	364175 1741514
SalSF	Desembocadura del río San Francisco	350483 1749675
SalPit	Desembocadura del río Piteros	350427 1750198
CInglés	Canal Inglés	343078 1750279
P1RSF	Río San Francisco Cuenca Alta	329873 1723554
P2RSF	Río San Francisco Cuenca Media	338018 1728401

La metodología y los análisis que se realizaron para la identificación de Plaguicidas Fosforados y Piretroides se detallan en el cuadro 3. Los análisis fueron realizados en los Laboratorios INLASA S.A. El transporte y conservación de las muestras se realizó de acuerdo con las recomendaciones y metodología propuesta por los laboratorios de análisis basados en métodos estandarizados y con la certificación ISO 170025.

**Cuadro 3.** Listado de Analitos realizados dentro del análisis de presencia de Plaguicidas Fosforados y Piretroides.

Análisis	Límite de Detección	Metodología
<b>Plaguicidas Fosforados</b>		
Carbofenotion	0.02	(PLTM)Cap.3 Pesticide in Soil & Water
Clorpirifos	0.01	
Diazinon	0.01	
Diclorvos	0.01	
Dimetoato	0.01	
EPN	0.05	
Ethion	0.03	
Fenthion	0.02	
Malation	0.02	
Metil Pirimifos	0.05	
Metil Paration	0.01	
Profenofos	0.01	
Terbufos	0.05	
<b>Plaguicidas Piretroides</b>		
Deltametrina	0.05	(PLTM)Cap.3 Pesticide in Soil & Water
Cipermetrina	0.05	
Ciflutrina	0.05	
Permetrina	0.05	
Lamdacialotrina	0.05	

**Fuente:** Laboratorios INLASA, S.A.

Además de los análisis detallados en el cuadro 3, durante la segunda comisión se analizaron parámetros de calidad del agua que permitieron diferenciar las zonas con mayor influencia de aguas residuales especiales, relacionables con la agricultura y ganadería de la zona, por la identificación de parámetros de campo correspondientes a formas químicas de Nitrógeno ( $\text{NH}_4$  y  $\text{NO}_3$ ) y Fósforo ( $\text{PO}_4$ ). Además se analizó el contenido de materia orgánica (% MO) en la muestra de los sedimentos, con el objeto de identificar los sitios en donde hay más posibilidades y capacidad de fijación orgánica de los contaminantes. La materia orgánica constituye un compartimiento ambiental donde existen

mayores posibilidades de fijar o retener contaminantes orgánicos como plaguicidas (*cita*). En el cuadro 4 se detalla la metodología y límite de detección de los análisis realizados al agua (Nutrientes) y a sedimentos (Materia orgánica).

**Cuadro 4.** Parámetros evaluados en muestras de agua y sedimentos, segundo muestreo.

Parámetros	Dimensionales	Límite de detección	Metodología	Sitios Monitoreados
Materia Orgánica (sedimentos)	%	0.1	ASTM D2974-87	P1RSF, P2RSF, FSF, SalSF, SalPit, BJ500S, MotV, Mgüilla, EG, BSFC500, LSFco, CInglés, MotS, MotB
Amonio (agua)	mg/l	0.02	HACH 8038	
Fosfato (agua)	mg/l	0.3	HACH 8048	
Nitrato (agua)	mg/l	1	Electrodo Selectivo	

Fuente: Laboratorios INLASA, S.A.

Los sitios de muestreo de agua para el análisis del contenido de nutrientes como señal de contaminación por aguas residuales especiales (agricultura y ganadería) como efecto de la escorrentía de zonas fertilizadas, se muestran en la tabla 6. La ubicación de los sitios de muestreo para la evaluación del contenido de materia orgánica se muestra en la tabla 7.

**Tabla 6.** Sitios de monitoreo y muestreo de agua en la segunda comisión, transición época seca – lluviosa.

Id	Ubicación	Referencia Geográfica <i>UTM 16p WGS 84</i>
P1RSF	Río San Francisco Cuenca Alta	329873 1723554
P2RSF	Río San Francisco Cuenca Media	338018 1728401
FSF	Río San Francisco Cuenca Baja	351738 1743754
SalPit	Desembocadura del río Piteros	350427 1750198
FPit	Río Piteros entre quineles	348690 1741563
MotV	Estero Motagua Viejo	359617 1744699
MotB	Barra río Motagua	364451 1742026
LSFco	Laguna San Francisco	347346 1752124
CInglés	Canal Inglés	343078 1750279

**Tabla 7.** Sitios de muestreo de sedimentos en la segunda comisión, transición época seca – lluviosa.

Id	Ubicación	Referencia Geográfica <i>UTM 16p WGS 84</i>
SalPit	Desembocadura del río Piteros	350427 1750198
CInglés	Canal Inglés	343078 1750279
P2RSF	Río San Francisco Cuenca Media	338018 1728401
MotS	Desembocadura del río Motagua	364175 1741514
P1RSF	Río San Francisco Cuenca Alta	329873 1723554
FSF	Río San Francisco Cuenca Baja	351738 1743754
FPIT	Río Piteros entre quineles	348690 1741563
LSFco	Laguna San Francisco	347346 1752124
Mguilla	Estero Motagüilla	357480 1745945
MotV	Estero Motagua Viejo	359617 1744699
MotB	Barra río Motagua	364451 1742026

Para estimar la influencia de aguas residuales especiales sobre el río San Francisco, uno de los ríos que desembocan en el Mar Caribe en el RVSPM, fue evaluado tomando como referencia un sitio que no ha sido afectado por la zona industrial (foto 5) ubicado en la cuenca media P1RSF.



**Foto 5.** Río San Francisco, en comunidad del mismo nombre antes de atravesar la zona de producción de Palma Africana.

Y también tomando en cuenta un punto ubicado luego de que el río atraviesa una zona de cultivo de Palma Africana y producción de aceite P2RSF (mapa 3), por la coloración de las aguas se puede pensar que el río San Francisco recibe aguas residuales de la industria de aceite de palma, además recibe aguas residuales especiales de los campos de producción de Palma, como se ve en el sitio P2RSF (foto 6).



**Foto 6.** Río San Francisco luego de atravesar zona de producción de Palma (Finca La Champona).

### Tercera etapa de Muestreo y Monitoreo.

Se llevó a cabo del 4 – 10 de octubre del 2013. El INSIVUMEH para el mes de octubre, reportó acumulados de lluvia en el orden superior a los 100 mm de lluvia. Pronosticando una salida de la época de lluvias para finales del mes con probabilidades de extenderse hasta la primera quincena de noviembre (SESAN, 2013).

La tercera comisión, que coincidió con la última etapa de la época de lluvia del año 2013 fue aprovechada para complementar la búsqueda de zonas con influencia de aguas residuales especiales provenientes de la zona agrícola y ganadera que rodea e interioriza en el RVSPM. Por medio de la identificación de formas químicas del Nitrógeno disueltas en el agua, como los Nitratos  $\text{NO}_3$  y el Amonio  $\text{NH}_4$ . La forma química de Nitratos puede representar aguas cargadas con fertilizantes, mientras que aguas cargadas con Amonio podrían ser evidencia de la presencia de aguas cargadas con materia orgánica en descomposición (desechos de actividades pecuarias, desechos orgánicos ordinarios, etc).

Durante la tercera comisión se evaluaron la concentración en el agua de las diversas formas químicas de Nitrógeno que se detallan en el cuadro 6 y en el mapa 5.

**Cuadro 6.** Metodología de análisis de calidad del agua evaluada en la tercera comisión.

Parámetro	Dimensionales	Límite de detección	Metodología
Amonio	mg/L	0.02	HACH 8038
Nitrato	mg/L	0.9	HACH 8039
Nitrito	mg/L	0.01	HACH 8507

**Fuente:** Laboratorios Soluciones Analíticas.

Además de medir el contenido de Nitrógeno en diversas formas químicas, también se registró el contenido de fósforo en todos los sitios que se muestran en la tabla 8 y en la tabla 9.

Los sitios de monitoreo que se tomaron en cuenta para los análisis *in situ* se muestran en la tabla 8.

**Tabla 8.** Sitios de monitoreo y muestreo de la tercera comisión, monitoreo parámetros *in situ* y Fósforo ( $PO_4$ ) durante la época lluviosa.

Id	Ubicación	Referencia Geográfica <i>UTM 16p WGS 84</i>
RSFCA	Río San Francisco cuenca alta	324353 1727780
P2SFCO	Río San Francisco cuenca media	338018 1728401
BMOT	Desembocadura Río Motagua	364332 1741966
BMOT1K	Desembocadura Río Motagua (1 kilómetro hacia mar adentro)	364008 1742521
BMOT3K	Desembocadura Río Motagua (3 kilómetros hacia mar adentro)	364236 1745781
BMOTPL1K	Barra Motagua Viejo (1 kilómetro hacia mar adentro)	360598 1744539
EGUI1K	Estero Guinea Viejo (1 kilómetro hacia mar adentro)	356242 1748309
JAL500	Bara Jaloa 500 metros mar adentro	351088 1750956
JAL1K	Bara Jaloa 1 kilómetro mar adentro	351280 1751160
JAL3K	Bara Jaloa 3 kilómetros mar adentro	52360 1751940
LSF1	Laguna San Francisco	347203 1752196
SFCO1K	Barra Laguna San Francisco 1 kilómetro mar adentro	347587 1752615
CANING	Canal Inglés	343078 1750279

**Tabla 9.** Sitios de monitoreo y muestreo de la tercera comisión, determinación de formas de nitrógeno en el agua, durante la época lluviosa.

Id	Ubicación	Referencia Geográfica <i>UTM 16p WGS 84</i>
BMOT	Desembocadura Río Motagua (1 kilómetro hacia mar adentro)	364332 1741966
EGUI	Estero Guinea Viejo (1 kilómetro hacia mar adentro)	356242 1748309
BJAL	Bara Jaloa 1 kilómetro mar adentro	351280 1751160
BSFCO	Barra Laguna San Francisco 1 kilómetro mar adentro	347587 1752615

Se tomaron muestras de sedimentos en diversos sitios (tabla 10) con el objeto de identificar rastros de Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos PAH, dentro de los cuales se derivan las diversas formas químicas que se detallan en el cuadro 7. Los PAH's pueden ser residuos de combustión de algunos combustibles derivados del petróleo que podrían llegar hasta los sedimentos en los sitios de muestreo a causa del arrastre de residuos de combustible utilizado en el transporte local.

**Cuadro 7.** Análisis del contenido de Hidrocarburos policíclicos aromáticos, métodos analíticos.

Parámetro	Dimensionales	Método	Límite de Detección
Acenaphthene	mg/kg	SW846 8270 C	1.1
Acenaphthylene	mg/kg	SW846 8270 C	1.1
Anthracene	mg/kg	SW846 8270 C	1.1
Benzo (a) Anthracene	mg/kg	SW846 8270 C	1.1
Benzo (a) Pyrene	mg/kg	SW846 8270 C	1.1
Benzo (b) fluoranthene	mg/kg	SW846 8270 C	1.1
Benzo (g,h,i) perylene	mg/kg	SW846 8270 C	1.1
Benzo (k) fluoranthene	mg/kg	SW846 8270 C	1.1
Chrysene	mg/kg	SW846 8270 C	1.1
Debenz (a,h) anthracene	mg/kg	SW846 8270 C	1.1
Fluoranthene	mg/kg	SW846 8270 C	1.1

Fluorene	mg/kg	SW846 8270 C	1.1
Indeno (1,2,3-cd) pyrene	mg/kg	SW846 8270 C	1.1
Naphthalene	mg/kg	SW846 8270 C	1.1
Phenanthene	mg/kg	SW846 8270 C	1.1
Pyrene	mg/kg	SW846 8270 C	1.1
1-Methylnaphthalene	mg/kg	SW846 8270 C	1.1
2-Methylnaphthaene	mg/kg	SW846 8270 C	1.1

SW846 = Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, Third Edition, November 1986

**Fuente:** Laboratorios Soluciones Analíticas.

El arrastre de los contaminantes PAH's puede interpretarse además como influencia de la contaminación de sitios urbanos, que generan residuos de combustión de combustibles y estos pueden llegar hasta los cuerpos de agua por múltiples rutas.

**Tabla 10.** Sitios de monitoreo y muestreo de la tercera comisión, determinación de Hidrocarburos Poli cíclicos Aromáticos en el agua, durante la época lluviosa.

Id	Ubicación	Referencia Geográfica <i>UTM 16p WGS 84</i>
P2SFCO	Río San Francisco cuenca media	338018 1728401
JAL500	Bara Jaloa 500 metros mar adentro	351088 1750956
SFCO1K	Barra Laguna San Francisco 1 kilómetro mar adentro	347587 1752615
CANING	Canal inglés	343078 1750279

Con el objeto de evaluar la influencia de posibles aguas residuales contenidas de Aceites y Grasas, se realizó un muestreo en diversos puntos relacionados con las descargas de los ríos Motagua y San Francisco, (cuadro 8). Profundizando en el río San Francisco, que atraviesa la zona productiva de aceite de palma africana con la posibilidad de recibir aguas residuales con algún contenido de grasas y aceites. Los sitios de muestreo se muestran en la tabla 11.

**Cuadro 8.** Análisis del contenido de grasas y aceites e hidrocarburos totales, método de análisis.

Parámetro	Dimensionales	Límite de detección	Metodología
Grasas y Aceites	mg/l	6	EPA 1664
Hidrocarburos de Petróleo	mg/l	6	

Metodología basada en ; EPA Oil and grase and petroleum hydrocarbons n-Hexane extractable material (HEM) and silica gel treated n-hexane extractable material (SGT-HEM) by extraxction and gravimetry. Method 1664.1194.

**Fuente:** Laboratorios Soluciones Analíticas.

**Tabla 11.** Sitios de monitoreo y muestreo de la tercera comisión, determinación de Grasas y aceites e Hidrocarburos totales, durante la época lluviosa.

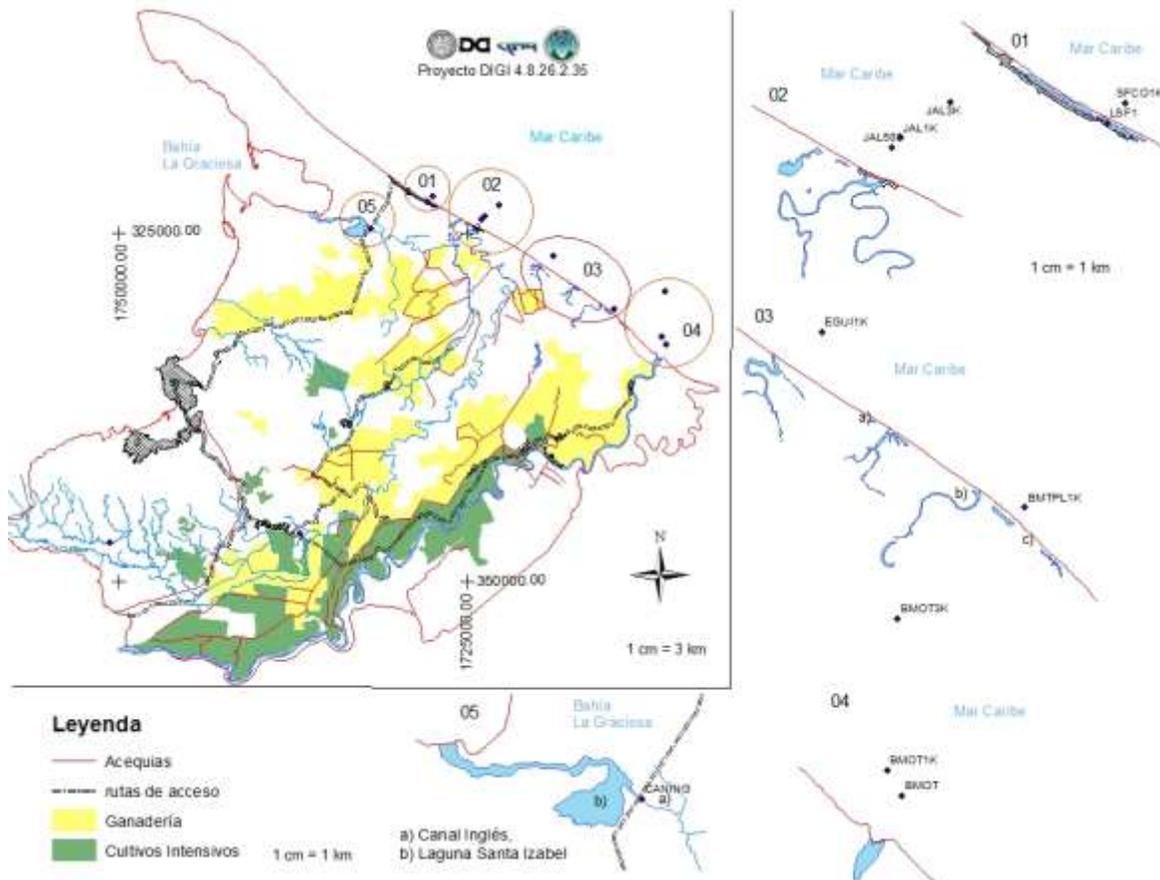
Id	Ubicación	Referencia Geográfica <i>UTM 16p WGS 84</i>
RSFCA	Río San Francisco cuenca alta	324353 1727780
P2SFCO	Río San Francisco cuenca media	338018 1728401
BMOT	Desembocadura Río Motagua	364332 1741966
CANING	Canal Inglés	343078 1750279
PZSFco	Pozo comunidad San Francisco del Mar	348580 1753958
LSF1	Laguna San Francisco	347203 1752196
JAL1K	Barra Jaloa, 1 kilómetro hacia mar adentro	351280 1751160
JALBInt	Interior Barra Jaloa	350888 1750300

Finalmente, además de los puntos de muestreo ubicados para la identificación de residuos de PAH's, fue considerada una extensión más amplia de sitios de muestreo para identificar rastros de hidrocarburos de petróleo realizando el análisis del contenido de Hidrocarburos totales (tabla 11).

Durante el tercer momento de muestreo además se tomaron muestras de sedimentos en tres puntos, para el análisis del contenido de residuos de plaguicidas clorados. Dicho muestreo en los puntos señalados en la tabla 12, corresponden a la repetición de los sitios muestreados en la primera comisión, pero ahora con referencia a la época lluviosa. Los análisis se caracterizan con la descripción señalada en el cuadro 3.

**Tabla 12.** Sitios de monitoreo y muestreo de la tercera comisión, determinación de Plaguicidas Organoclorados en sedimentos, durante la época lluviosa.

Id	Ubicación	Referencia Geográfica <i>UTM 16p WGS 84</i>
MotDes (mapa 1)	Desembocadura del río Motagua	363504 1741037
Jal1K	Barra de Jaloa	350938 1750597
SnFco1	Laguna San Francisco	345210 1753797



**Mapa 5.** Sitios de monitoreo y muestreo, tercera comisión.

Como parte del análisis del arrastre de contaminantes y consecuencias sentidas, como el caso de la contaminación del agua de los pozos (mapa 2), fue realizada una caracterización hidroquímica del agua de pozos ubicados en zonas representativas del área de estudio (tabla 13), además se realizaron entrevistas ([Anexo 1](#)) con propietarios de cada pozo, para indagar a fondo sobre los factores que afectan la calidad del agua en el compartimiento subterráneo, y si dichos factores pueden ser relacionados con las actividades de producción agrícola intensa.

**Tabla 13.** Ubicación de pozos para la caracterización hidroquímica de su agua, buscando huellas de agroquímicos durante la época lluviosa.

Id	Ubicación	Referencia Geográfica <i>UTM 16p WGS 84</i>
PRSFCO	Pozo ubicado cerca del cauce del río San Francisco en la cuenca alta	329227 1723474
MDL3	Pozo ubicado en comunidad Media Luna	355597 1734509
PZQTZ	Pozo ubicado en comunidad Quetzalito	361695 1738441
PZCAMP	Pozo del campamento militar	363704 1741386
PSFCO	Pozo comunidad San Francisco del Mar	348580 1753958

La metodología empleada para el análisis del tipo hidroquímico del agua de los pozos que fueron muestreados se describe en el cuadro 9.

**Cuadro 9.** Metodología de análisis de iones disueltos en aguas naturales.

Parámetros	Dimensionales	Límite de detección	Metodología
Bicarbonatos	mg/l	5	SM 2320B
Calcio	mg/l	0.045	SM 3111 B
Cloruros	mg/l	0.01	HACH 8113
Hierro	mg/l	0.0173	SM 3111 B
Magnasio	mg/l	0.023	SM 3111 B
Potasio	mg/l	0.362	SM 3111 B
Sodio	mg/l	0.056	SM 3111 B
Sulfatos	mg/l	1	HACH 8051

**Fuente:** Laboratorios Soluciones Analíticas.

## Cuarta etapa de Monitoreo y Muestreo

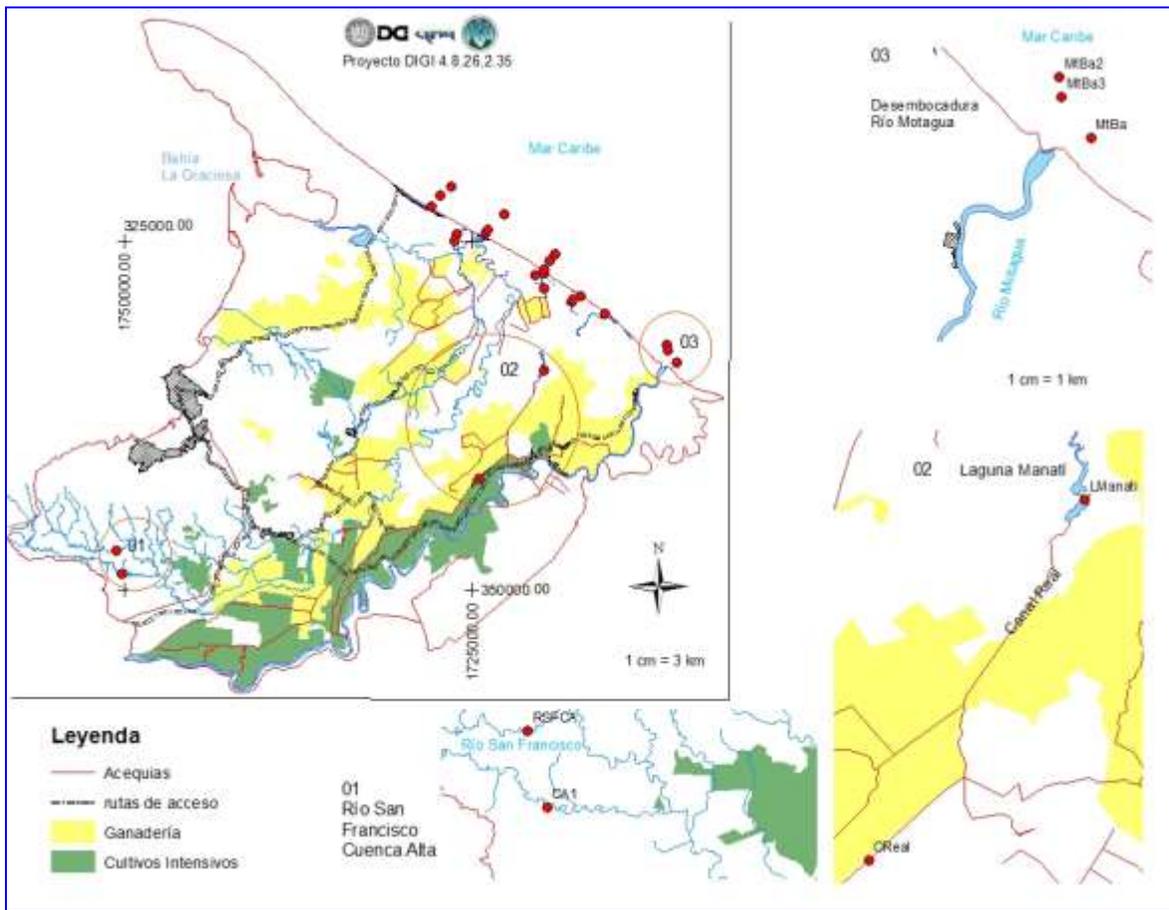
En la cuarta comisión de monitoreo se midieron los parámetros que se detallan en el cuadro 2. En esta comisión se tomaron en cuenta algunos sitios que no habían sido considerados al inicio de la investigación (tabla 14). Los puntos C.Real, L.manatí (mapa 6 y 7) constituyen una confluencia de quineles que conducen por medio del Canal Real (C.Real) las aguas residuales del cultivo de Banano y Palma (Foto 7). Además existe conexión entre la Laguna Manatí (L.manatí) y el Estero Motagüilla, en actuales condiciones de hiper-eutrofización.

La campaña de monitoreo y muestreo se llevó a cabo del 8 al 26 de noviembre. Y se dividió en dos fases: Fase A y Fase B, con el objeto de diferenciar las causas de contaminación y relacionarlas con el uso del suelo. Durante la fase A se consideraron sitios interiores de las lagunas costeras del sistema de Humedales que anteriormente no habían sido accesibles.

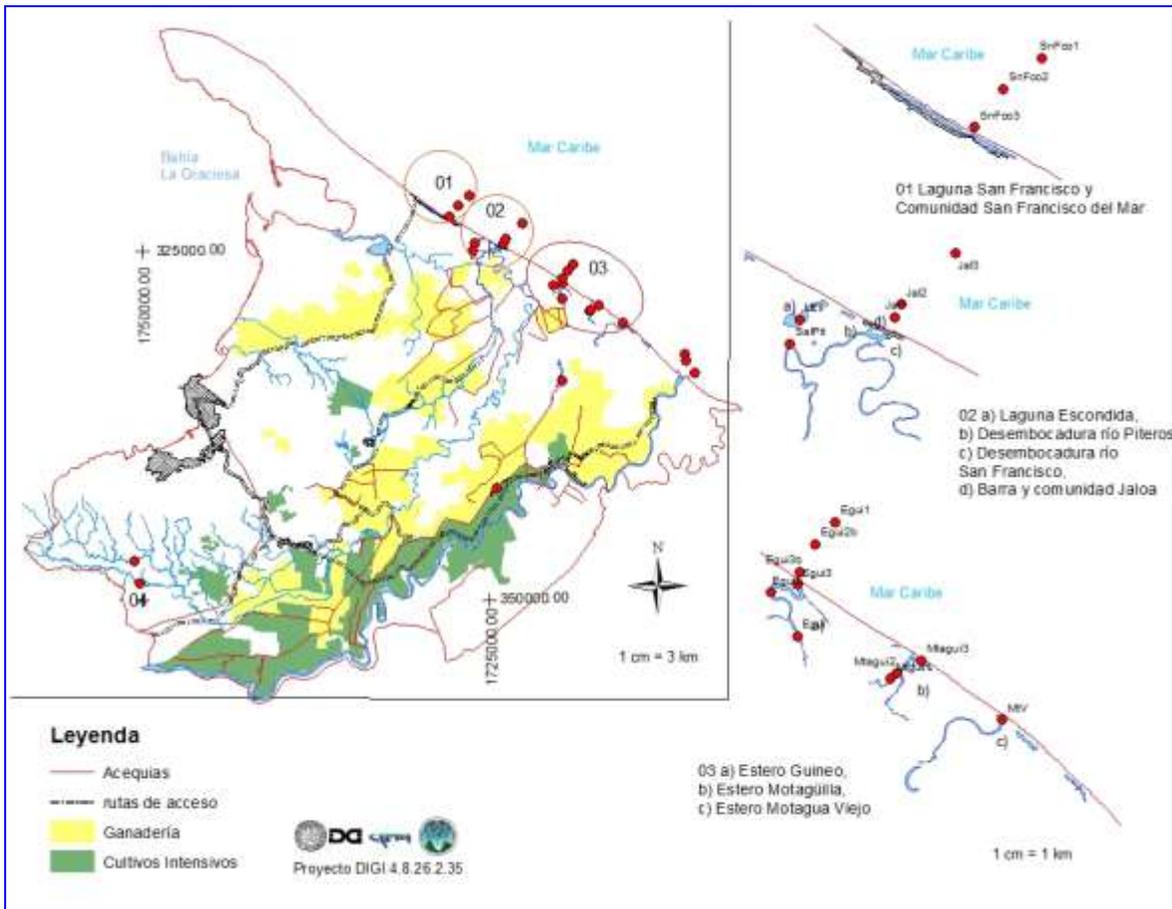
**Tabla 14.** Ubicación de sitios de monitoreo de parámetros de calidad del agua in situ, salida de época lluviosa, Fase A.

Id	Ubicación	Referencia Geográfica <i>UTM 16p WGS 84</i>
RSFCA	Río San Francisco Cuenca Alta	324478 1727760
CA1	Río San Francisco Cuenca Alta	324902 1726119
CReal	Canal Real	350556 1732982
LManatí	Laguna Manatí	355216 1740731
MtBa	Barra del río Motagua	364750 1741263
MtBa2	Barra del río Motagua	364067 1742573
MtBa3	Barra del río Motagua	364110 1742141
MtV	Barra Motagua Viejo	359611 1744801
Mtagui	Barra Motagüilla	357213 1745682
Mtagui2	Barra Motagüilla	357335 1745801
Mtagui3	Barra Motagüilla	357881 1746066
Egui1	Estero Guinea	355196 1746593
Egui2	Estero Guinea	354628 1747534
Egui3	Estero Guinea	355199 1747701
Egui1b	Barra Estero Guinea	356021 1749049
Egui2b	Barra Estero Guinea 1 km mar	355596 1748564

	adentro	
Egui3b	Barra Estero Guinea 2 km mar adentro	355248 1747980
Jal1	Barra Jaloa	351051 1750563
Jal2	Barra Jaloa 1km mar adentro	351185 1750841
Jal3	Barra Jaloa 2km mar adentro	352360 1751940
SalPit	Salida río Piteros	348787 1750001
LEsc	Laguna Escondida	348991 1750517
SnFco1	Laguna San Fracisco	348580 1753958
SnFco2	Laguna San Fracisco 1 km mar adentro	347731 1753279
SnFco3	Laguna San Fracisco 2 km mar adentro	347113 1752462



**Mapa 6.** Sitios de monitoreo y muestreo durante la cuarta comisión Fase A.



**Mapa 7.** Sitios de monitoreo y muestreo durante la cuarta comisión Fase A, marino-costeros.

La cuarta jornada de muestreo y monitoreo fue realizada en condiciones de transición de la época lluviosa a la época seca, con ingreso de frentes fríos y consecuentes vientos y mareas que generan dificultad de navegación.

Conforme lo menciona INSIVUME, por medio de (SESAN, 2013), el régimen de lluvias en el Caribe de Centroamérica se presentó por encima de lo normal, en la salida de la época de lluvia, la temporada de lluvias se prolongó aproximadamente hasta el 10 de noviembre.



**Foto 7.** Vista del puente comunidad La Laguna, sobre el Canal Real.

En esta segunda fase de monitoreo se tomaron muestras de sedimentos y de agua para realizar los análisis que corresponden al contenido de Nitrógeno en agua de pozos (tabla 15), en formas químicas que pueden estar asociadas a las actividades de fertilización y uso de agroquímicos (cuadro 6), y su presencia en aguas subterráneas subsuperficiales confirmaría las declaraciones de las poblaciones comunitarias que manifiestan que el agua no es apta para consumo.

**Tabla 15.** Ubicación de pozos de monitoreo de nutrientes en agua, salida de época lluviosa, Fase A.

Id	Ubicación	Referencia Geográfica <i>UTM 16p WGS 84</i>
PzSWE	Pozo comunidad Swiche 3 (escuela)	354489 1734665
PzMDLV	Pozo comunidad Media Luna	355938 1735491
PzQtz	Pozo comunidad Quetzalito	361695 1738441

Además, durante la cuarta comisión sucedió un acontecimiento sin precedentes. Finalizando la jornada de entrevistas participativas con representantes de los COCODES de las comunidades Las Vegas, Media Luna y Swiche 3, sobre el canal Real (*CReal*), fueron detectados peces muertos flotando en el agua del canal. Dicho día había evidencia de fumigación por relato personal de pobladores del área, pero ese mismo día hubo precipitación pluvial. Por lo tanto se tomaron muestras de agua y de sedimentos además de peces muertos (foto 8) en el Canal Real.



**Foto 8.** Muestra de peces muertos, tomada en las aguas del Canal Real (CReal).

Además se tomaron muestras de sedimentos para el análisis del contenido de plaguicidas Piretroides multiresiduos, cuyos puntos de muestreo se señalan en la tabla 16. La metodología de análisis de estas muestras se corresponde con el cuadro 4.

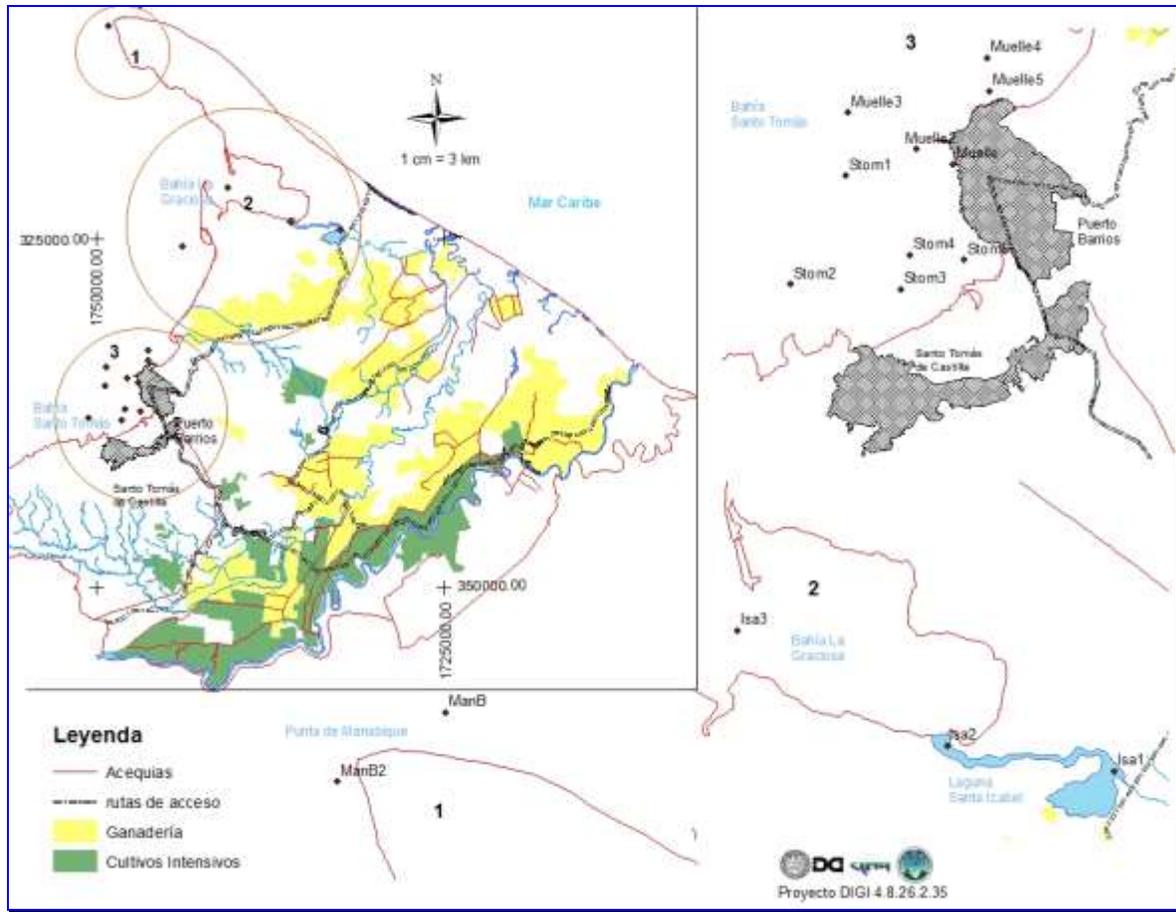
**Tabla 16.** Ubicación de sitios de muestreo de sedimento para detectar plaguicidas piretroides, salida de época lluviosa, Cuarta comisión Fase A.

Id	Ubicación	Referencia Geográfica <i>UTM 16p WGS 84</i>
Creal	Canal Real	350556 1732982
Lmanatí	Laguna Manatí	355216 1740731
MtBa	Barra del río Motagua	364750 1741263
Mtgui1	Estero Motagüilla	357213 1745682
Egui2	Estero Guinea	354628 1747534
Jal1	Jaloe 1	351051 1750563
SalPit	Salida río Piteros	348787 1750001
LEs	Laguna Escondida	348991 1750517

### Cuarta comisión Fase B

En esta fase se evaluó la influencia de aguas residuales especiales y ordinarias sobre la margen que desemboca en la bahía Santo Tomás de Castilla, que transporta aguas residuales ordinarias principalmente. Con el objeto de diferenciar la contaminación vertida por medio de aguas residuales ordinarias de la que es originada por aguas residuales especiales.

Para llevar a cabo dicha evaluación se tomaron los puntos de monitoreo que se presentan en el mapa 8.



**Mapa 8.** Ubicación de sitios de monitoreo Comisión 4 B.

Los parámetros de calidad del agua que fueron evaluados *in situ* se corresponden a los descritos en el cuadro 2 y además el contenido de Ortofosfatos  $PO_4$ . Además se tomaron muestras para el análisis de formas químicas de Nitrógeno correspondientes a  $NH_4$  y muestras para el análisis del contenido de Aceites y Grasas e Hidrocarburos de petróleo en algunos sitios que fueron seleccionados (tabla 17).

**Tabla 17.** Ubicación de sitios de muestreo de sedimento para detectar plaguicidas piretroides, salida de época lluviosa, Cuarta comisión Fase A.

Id	Ubicación	Referencia Geográfica <i>UTM 16p WGS 84</i>
Muelle	Frente al Muelle municipal de Puerto Barrios	328031 1739722
Isa1	En la entrada del Canal Inglés dentro de la Laguna Santa Izabel	342634 1750698

## Entrevistas individuales e institucionales

### Entrevistas Individuales:

Se realizaron entrevistas individuales dirigidas a propietarios de pozos domiciliarios. El tipo de pregunta fue de respuesta abierta, por lo que las entrevistas fueron grabadas (algunas de ellas) y otras fueron sistematizadas por medio de una guía de preguntas . Las entrevistas individuales fueron realizadas en las siguientes comunidades: Media Luna, Las Vegas, Swiche 3, Quetzalito, San Francisco 2do.

### Entrevistas Institucionales:

Fueron realizadas con representantes de diversas instituciones públicas. En el primer caso, citamos la entrevista realizada con representantes comunitarios, municipal y del ambiente, las cuales se mencionan en el cuadro 10. Dichas entrevistas fueron grabadas y posteriormente interpretadas.

**Cuadro 10.** Listado de participantes en la entrevista participativa con COCODES.

Entrevistado (a)	Institución	Cargo
Lic. Jorge Roberto Rivas	Oficina de la Empresa Municipal de Agua potable	Representante Público de la Oficina ante la Muni
Ing. Ag. Oscar Zapparoli	MARN – Puerto Barrios	Nombrado por el Regional
Romelio Ruiz	COCODE Las Vegas	Vocal IV
Edvin Cordón	COCODE Media Luna	Representante local
Wilmer D Rosa	COCODE Media Luna	Representante local
David López	COCODE Las Vegas	Representante local
Abimael Damian M	COCODE Las Vegas	CONRED
Jedalias Ruis	COCODE Las Vegas	Vocal I
Julia Adaly Ruiz	COCODE Las Vegas	
Julia de Jesús Paz	COCODE Las Vegas	Comadrona
Amalia Ruiz	COCODE Las Vegas	Protesorera COCODE

### Revisión Bibliográfica y otras consultas

Se tomaron referencias regionales del cultivo de Palma Africana, como manuales de cultivo y recomendaciones internacionales. Además, se tomó como referencia el inventario de problemas fitosanitarios de los principales cultivos de Guatemala, específicamente del Banano y la Palma (Monterroso & Pareja, 1985), para referirnos a las posibles opciones de acuerdo a la disposición, basado en los listados de agroquímicos de importación del año 1999.

También fue tomado como referencia la guía técnica del cultivo de Palma, para referirnos hacia algunos productos agroquímicos recomendados, como plaguicidas y herbicidas. El documento es bastante explícito en ese sentido (IICA, 2006).

Además, con el objeto de obtener más información fue consultada la página web del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, específicamente, la Unidad de coordinación para el manejo ambientalmente racional de productos químicos y desechos peligrosos, proyecto de Estocolmo (MARN, s.a).

Se realizaron consultas directas con propietarios y dependientes de puntos de abastecimiento de agroquímicos, las cuales consistieron principalmente en la disponibilidad y diferenciación de productos para los monocultivos. El grupo de COCODES además proporcionó información sobre el uso de agroquímicos en la zona.

Como parte de las actividades planificadas en el marco del alcance del segundo y el cuarto objetivo específico, encaminados a identificar contaminantes de origen agro-químico con algún grado de persistencia que pueda alcanzar las aguas subterráneas, así como la evaluación del impacto económico que esto genera en las poblaciones afectadas.

Se realizó un reconocimiento de los pozos ubicados en las comunidades que se ubican dentro del área de producción intensiva de banano y de palma africana. Los resultados indican que los pozos más contaminados se ubican en las comunidades Media Luna, Las Vegas y Swiche 3.

La elaboración de los mapas fue posible gracias al apoyo del software *ArcMap10* de GIS. Y el software *Surfer 9*. Los sitios que se presentan delimitados de acuerdo al uso del suelo en los mapas que se presentan, fueron elaborados conforme las ortofotos del año 2006, disponibles en el sitio electrónico de SEGEPLAN<sup>2</sup>, confirmando en campo las observaciones digitales.

---

<sup>2</sup> [http://www.segeplan.gob.gt/2.0/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=260](http://www.segeplan.gob.gt/2.0/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=260)

## Resultados

### Resultados del Primer Monitoreo

#### Reconocimiento del Área de Estudio

#### Resultados Primera Comisión

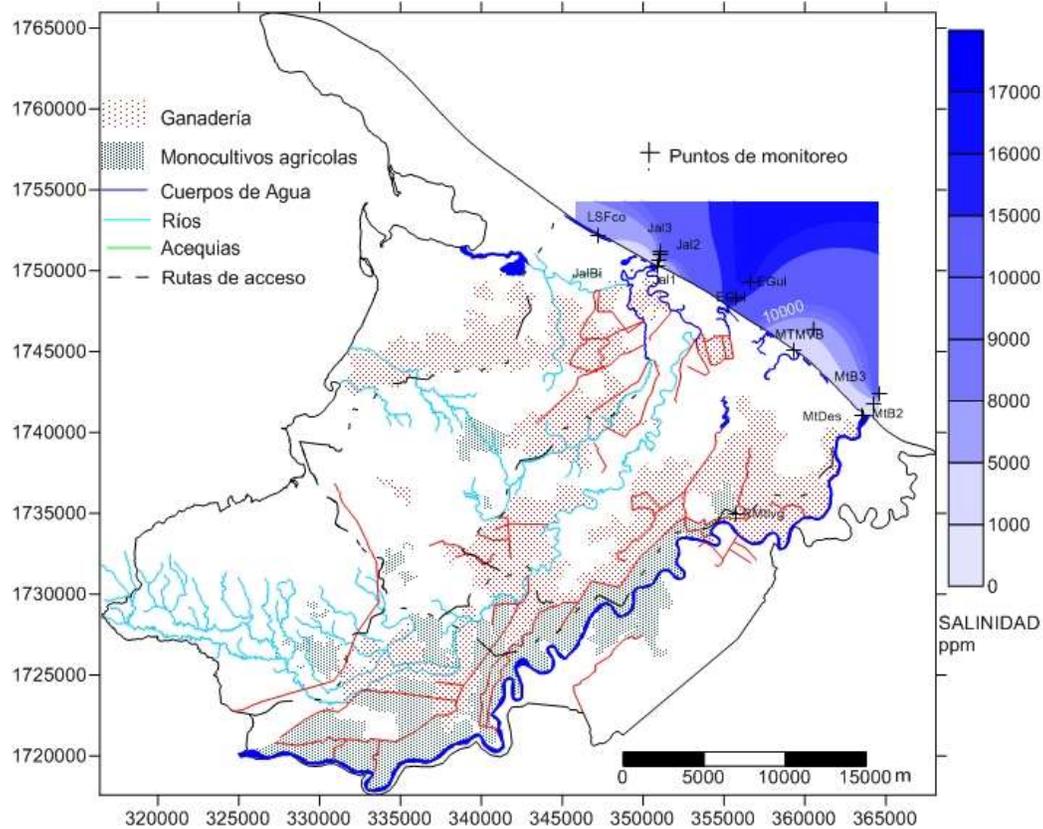
La información recopilada en el primer monitoreo (del 10 al 12/04/2013) de la calidad del agua de las fuentes que aportan agua dulce al sistema marino costero del Caribe dentro del RVSPM se presenta en las tablas 18 – 20. La información ausente se debió a fallas en el equipo de medición, las cuales de forma oportuna fueron identificadas y posteriormente resueltas.

**Tabla 18.** Resultados monitoreo de parámetros de calidad del agua *in situ* tomados en la primera comisión de reconocimiento (superficie).

X (UTM)	Y (UTM)	id	O.D. (mg/l)	Sat OD %	C.E. µS/cm	pH	T (°C)	Sal (mg/l)	STD (mg/l)	REDOX mV
355763	1734945	RMotV	9.8	110.3	217	8.25	30.8	106	150	--
364210	1741760	MotB2	--	107	2170	8.18	32.7	1090	1620	--
364585	1742390	MotB3	--	--	20450	--	--	12200	--	--
363504	1741037	MotDes	4.33	90.5	207	8.15	30.5	103	144	--
359344	1745062	MTMVB	1.09	21.9	1035	8.77	27.9	506	717	116
355176	1747811	Egpla	--	--	23580	--	--	15300	--	--
355757	1748311	EG	5.4	117	23640	8.42	32.6	15500	--	-27
356642	1749309	EG	5.5	129	25940	8.49	32.1	16100	--	--
350888	1750300	JalBInt	3.22	58	511	6.95	--	255	359	386
350938	1750597	Jal1	--	--	612	7.29	--	295	417	182
351088	1750956	Jal2	--	--	21430	--	--	13000	--	--
351080	1751160	Jal3	--	--	18060	--	--	10800	--	--
345799	1754315	SanFco2	--	--	--	--	--	7580	--	--
350683	1751475	SanFco3	--	--	--	--	--	6502	--	--
347203	1752196	LsnFco	5.85	58	11300	7.81	34.9	5720	--	58

Fuente: Elaboración propia.

Una vez la información fue ingresada en el sistema GIS (mapa 8 – 10), fue más evidente observar los puntos de la costa que reciben mayor influencia de las aguas superficiales continentales y además se puede observar hasta dónde alcanza la influencia de dichas aguas poco salinas; según la profundidad de análisis en la columna del agua.



**Mapa 9.** Salinidad (mg/l) medida en la superficie del agua. **Fuente:** Elaboración propia

Los sitios donde la salinidad del agua fue menor se presentan en color más claro, dando lugar a una pluma en la superficie del agua donde la influencia de las agua continentales es mayor en la desembocadura del río Motagua y en la de los ríos Piteros y San Francisco (mapa 9).

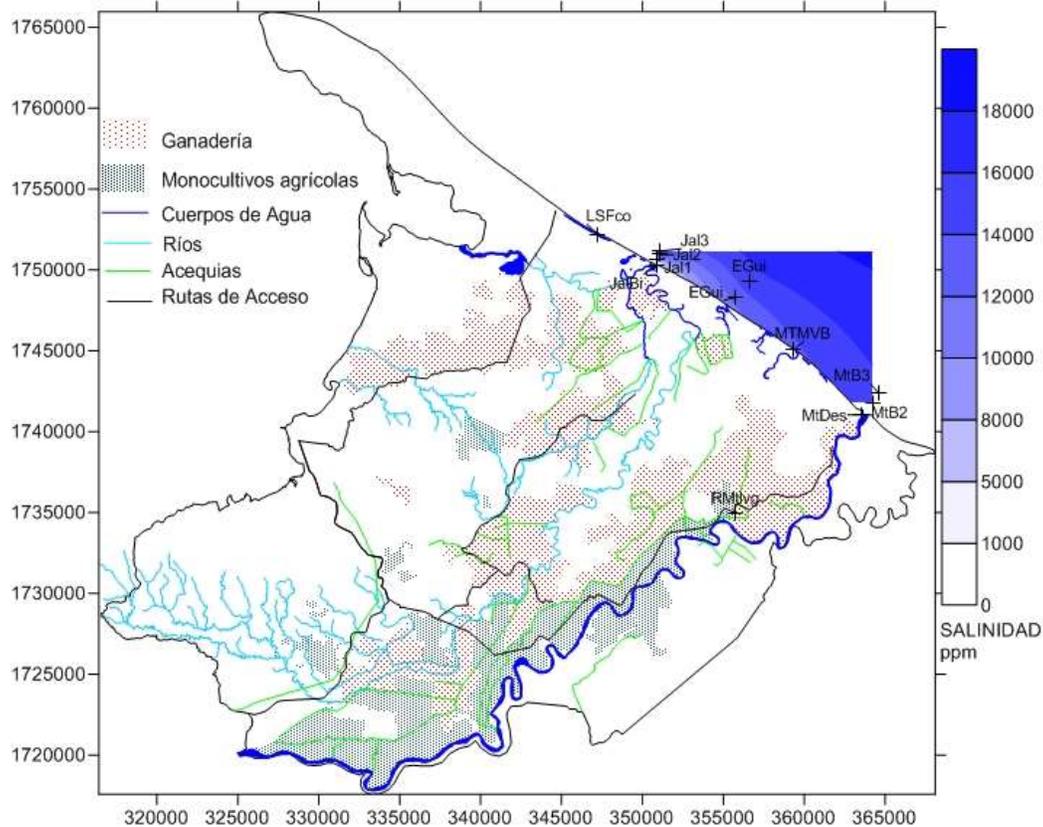
**Tabla 19.** Resultados monitoreo de parámetros de calidad del agua *in situ* tomados en la primera comisión de reconocimiento (profundidad media).

X (UTM)	Y (UTM)	id	O.D. (mg/l)	Sat OD %	C.E. $\mu$ S/cm	pH	T (°C)	Sal (mg/l)	STD (mg/l)	REDOX mV
364210	1741760	MB2	5.8	105	25110	8.51	--	15400	--	--
356642	1749309	EG	5.9	115	23700	8.47	31.5	15200	--	--
350888	1750300	JBi	3.58	69.4	203	6.88	--	100	142	425
351088	1750956	J2	--	--	24830	--	--	15100	--	--
351080	1751160	J3	--	--	24950	--	--	15200	--	--

**Fuente:** Elaboración propia.

En la profundidad intermedia entre la superficie y el fondo, las aguas se tornan más salinas

que dulces. En la barra de Jaloa se observó mayor influencia de aguas dulces a nivel intermedio (mapa 10), lo que puede responder a la topografía subacuática, ya que es menor la profundidad registrada en la barra Jaloa (< 12m) que frente a la desembocadura del río Motagua (> 17m) y esto puede contribuir a la mezcla con aguas salinas profundas en la barra del río Motagua.



**Mapa 10.** Salinidad (mg/l) medida en profundidad intermedia. **Fuente:** Elaboración propia

En términos generales vemos aguas con poca oxigenación, alto grado de saturación de oxígeno, un pH alcalino y la salinidad que se corresponde con la ubicación, es decir, entre más lejos de la costa, mayor el valor de salinidad.

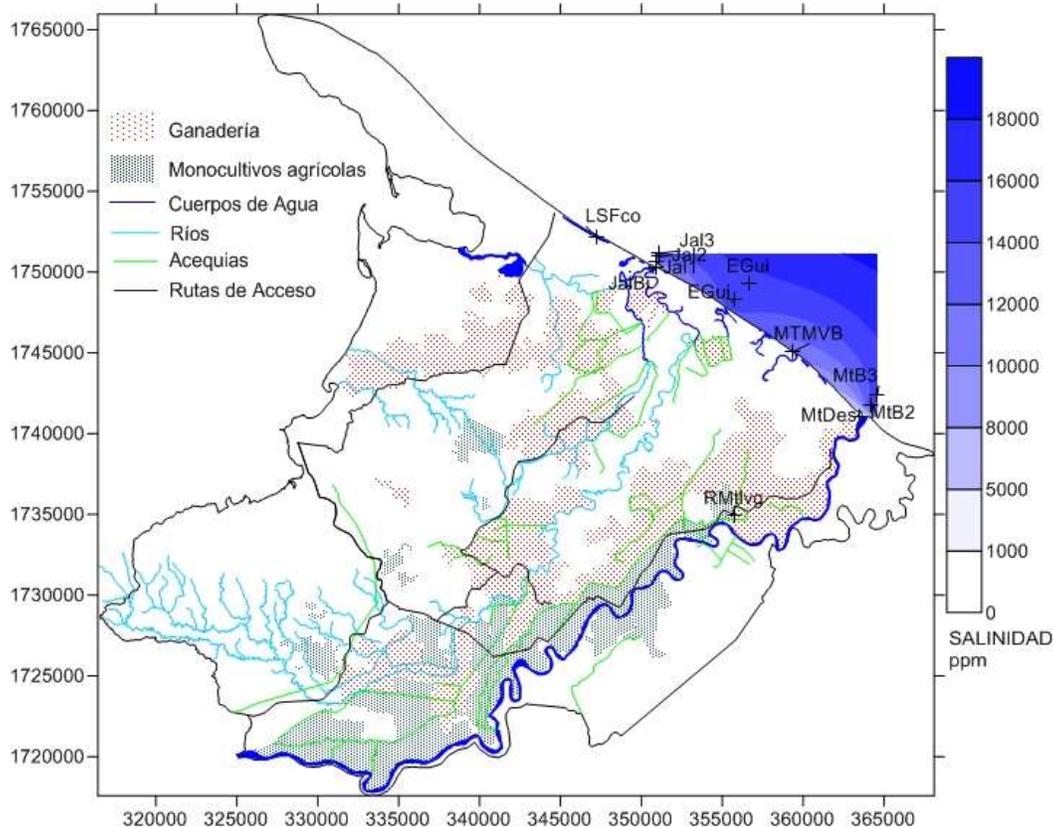
En el caso de las aguas interiores dentro de las lagunas costeras, se trata de aguas productivas con alto contenido de fitoplancton. En el caso de las aguas de las barras, corresponden a aguas turbias, y turbulentas poco productivas y con bajo contenido de oxígeno disuelto.

**Tabla 20.** Resultados monitoreo de parámetros de calidad del agua *in situ* tomados en la primera comisión de reconocimiento (fondo).

X (UTM)	Y (UTM)	id	O.D. (mg/l)	Sat OD %	C.E. $\mu$ S/cm	pH	T (°C)	Sal (mg/l)	STD (mg/l)	REDOX mV
364210	1741760	MotB2	5.1	90.1	25260	8.39	29.1	15400	--	--
364585	1742390	MotB3	5.35	162	24270	--	29.9	14700	--	--
363504	1741037	MotDes	4.02	80	217	8.36	31	105	150	--
355757	1748311	EG	5.15	95	23650	8.4	31.6	15500	--	--
356642	1749309	EG	4.8	130	23620	8.43	32.6	15200	--	--
350888	1750300	JalBint	3.5	59.5	10190	6.71	--	5100	7140	324
351088	1750956	Jal2	--	--	24720	--	--	15100	--	--
351080	1751160	Jal3	--	--	25220	--	--	15400	--	--
347203	1752196	LSnFco	--	--	--	7.3	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia.

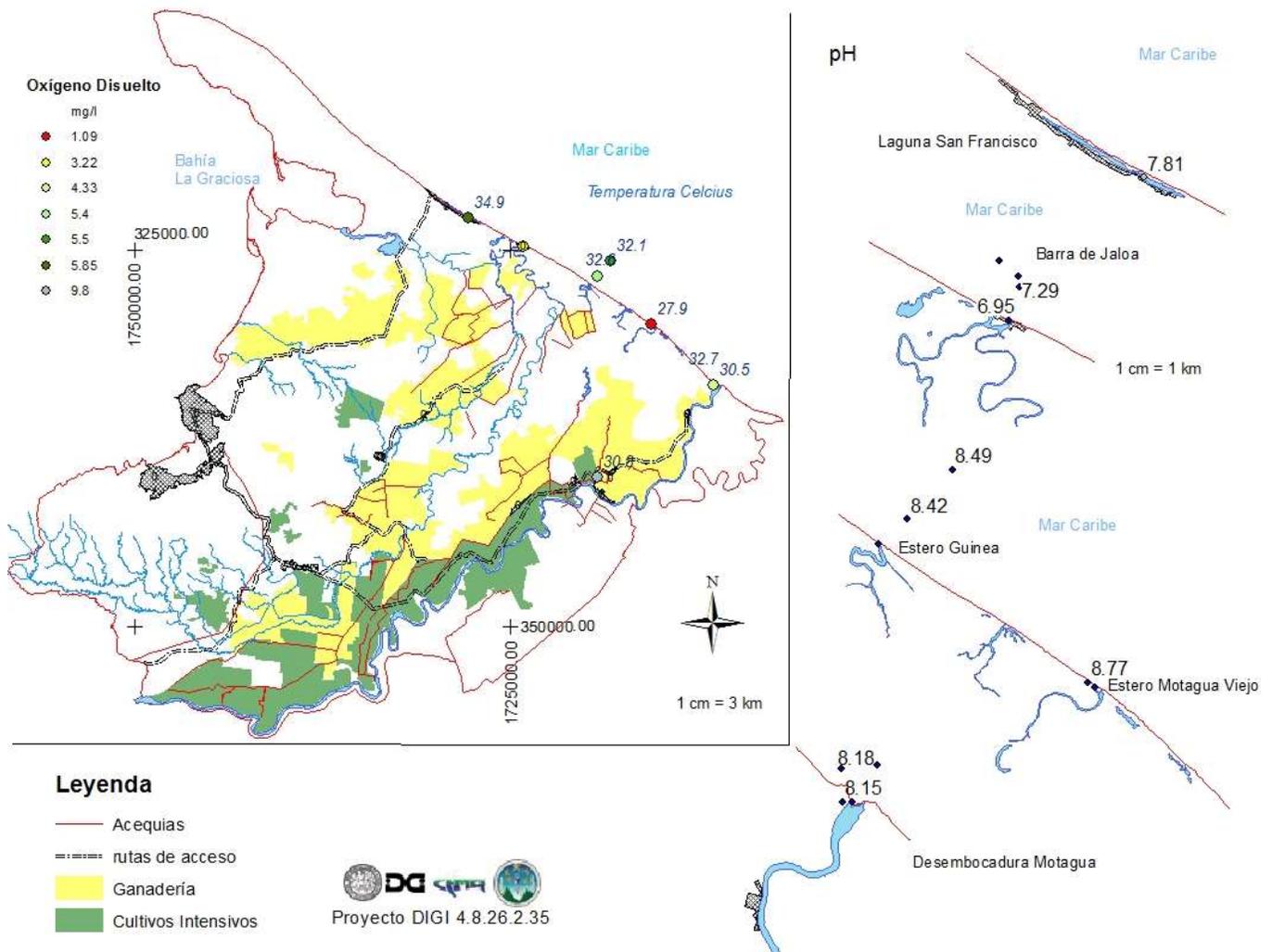
Las mediciones realizadas al agua del fondo, corresponden con la extrapolación de las condiciones de salinidad en la superficie del agua, pero las condiciones de salinidad en la profundidad son relativamente más homogéneas a lo largo de la costa (mapa 11).



**Mapa 11.** Salinidad (ppm) medida en el agua del fondo. Fuente: Elaboración propia

Se midieron algunos parámetros de campo (Temperatura, Oxígeno disuelto, pH) los cuales se muestran en el mapa 12. Los valores reportados de oxígeno disuelto se mostraron

menores en la desembocadura del río Motagua, son valores que ponen en riesgo la vida acuática (1.09 mg/l) como es el caso de la laguna Motagua Viejo (barra cerrada). Mientras que en las barras ubicadas desde Estero Guinea hasta la Laguna San Francisco (abiertas, excepto la Barra de la Laguna San Francisco), los valores son menos intolerables, van de 4 – 5.8 mg/l, posiblemente debido al aporte de la productividad primaria y el intercambio con la marea. El pH de las aguas fue de neutro a básico ( 7.81 – 8.77) exceptuando las aguas de la salida de los ríos Piteros y San Francisco en la Barra de Jaloa, donde los valores de pH fueron ligeramente ácidos y neutros (6.95 – 7.29).

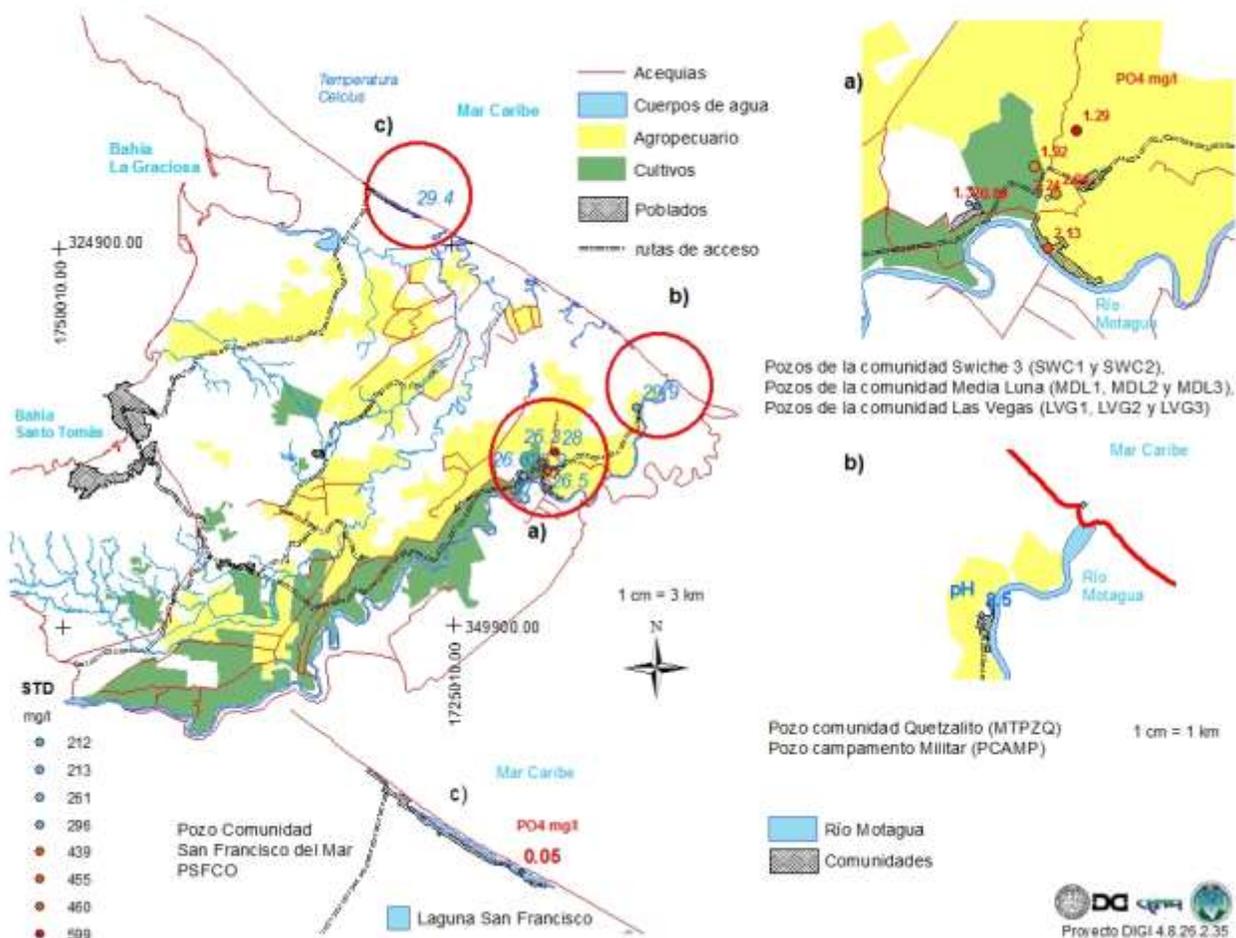


**Mapa 12.** Parámetros de campo evaluados en los sitios de monitoreo (OD, Temperatura, pH).

El resultado de la evaluación de parámetros de calidad del agua de pozos, afectados por el uso del suelo fue representado en el mapa 13, donde se muestran los valores de algunos

parámetros evaluados en la calidad de su agua. Reportando concentraciones de Ortofosfatos ( $PO_4$ ), como consecuencia posiblemente de actividades agrícolas cercanas.

Los pozos de las comunidades Media Luna y Las Vegas contienen valores cercanos y superiores al valor máximo aceptable de las normas guatemaltecas para la calidad del agua para el consumo, utilizando como criterio el parámetro; Sólidos Totales Disueltos STD (LMA < 500 mg/l).



**Mapa 13.** Resultado de análisis de parámetros de calidad del agua en pozos (STD,  $PO_4$  y Temperatura)

Los resultados de los análisis realizados en los laboratorios, revelaron la presencia de sustancias con cierto grado de persistencia en los sedimentos, que se mostraron en forma de “picos” en los cromatogramas reportados ([Anexo 2](#)). La presencia de dichos picos fue analizada posteriormente en equipos más sofisticados en laboratorios de la Universidad del Valle de Guatemala sugiriendo en una de las muestras analizadas la alta probabilidad

de que los picos señalen la presencia de moléculas del grupo Phtalatos, específicamente, Dietylphthalato.

Para mostrar la magnitud de la presencia de estos picos se realizó una categorización en base a la magnitud mostrada en los cromatogramas (*Hrdz*) que se describe de forma gráfica en el mapa 11.

**Tabla 21.** Resultados de análisis de residuos de plaguicidas en la primera comisión.

SITIOS	ANÁLISIS	RESULTADO	MAGNITUD PRESENCIA DE PICOS
MTSAL	Plaguicidas Clorados Multiresiduos	No se encontraron residuos de plaguicidas	+
LMTG			++++
MTV			++
EG			+++
EGP			++
LESC			+++
JALB			+++
LSFM			+
LSF			+++

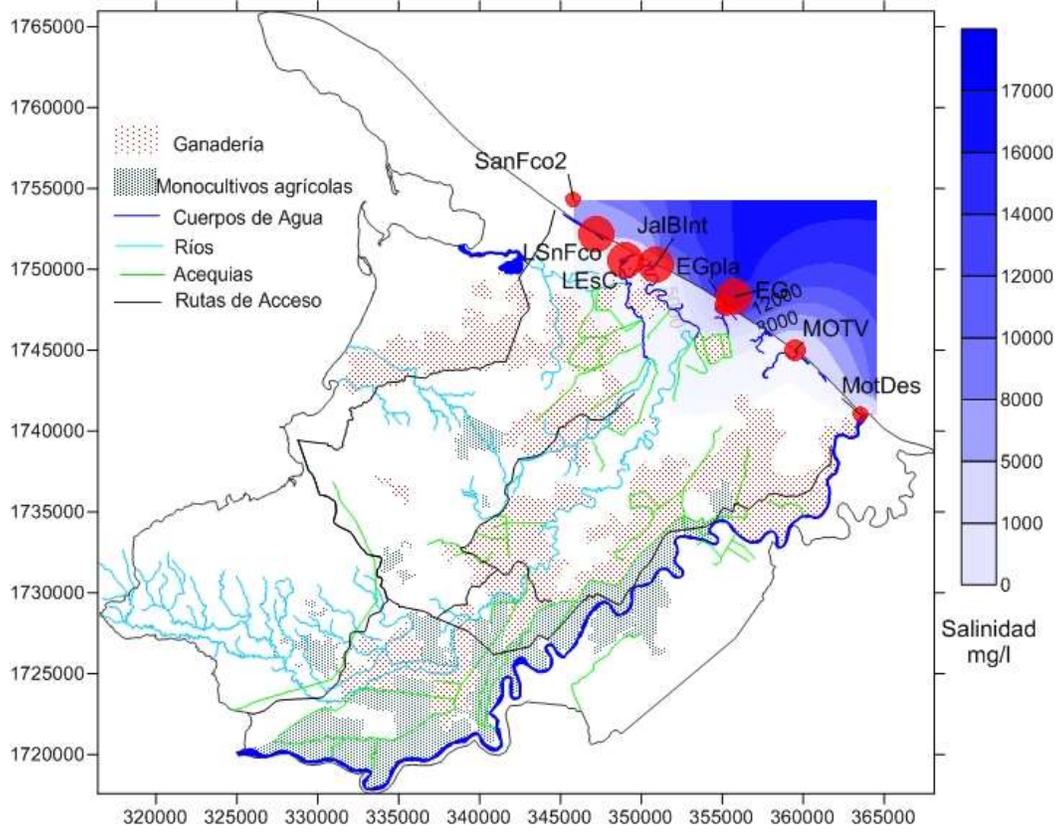
**Fuente:** Elaboración propia. Nota: tomar referencia de las tablas 1 y 3 para la identificación de los sitios.

La presencia de picos en la salida del río Motagua resultaron tener una magnitud menor en comparación al resto de muestras.

El estero Motagua Viejo, se encuentra a continuación de la barra del río Motagua, es el primer estero en recibir la influencia de sus aguas, con la presencia de los picos característicos en mayor magnitud. El estero Motagua Viejo permanece cerrado durante la estación seca, por lo tanto se asume que posee menor capacidad de renovación de sus aguas, en comparación a las del río Motagua.

En el Estero Guinea, la magnitud de los picos fue más elevada, similar a las lagunas ubicadas al nor-oeste.

El caso de la Barra de Jaloa, la unión y salida al mar de dos ríos, el río San Francisco y el río Piteros, las muestras mostraron en el cromatograma la presencia de los picos característicos con una magnitud en el orden de 1000 veces más elevado (mapa 13), situación que es similar en los sedimentos de la Laguna Escondida, que recibe agua de la desembocadura del río Piteros y también en la Laguna San Francisco.



**Mapa 14.** Identificación de la magnitud de los picos presentes en muestras de sedimentos tomadas en abril del 2013. **Fuente:** Elaboración propia

## Resultados del Segundo Monitoreo

### (Especificando los análisis)

#### Resultados Segunda Comisión

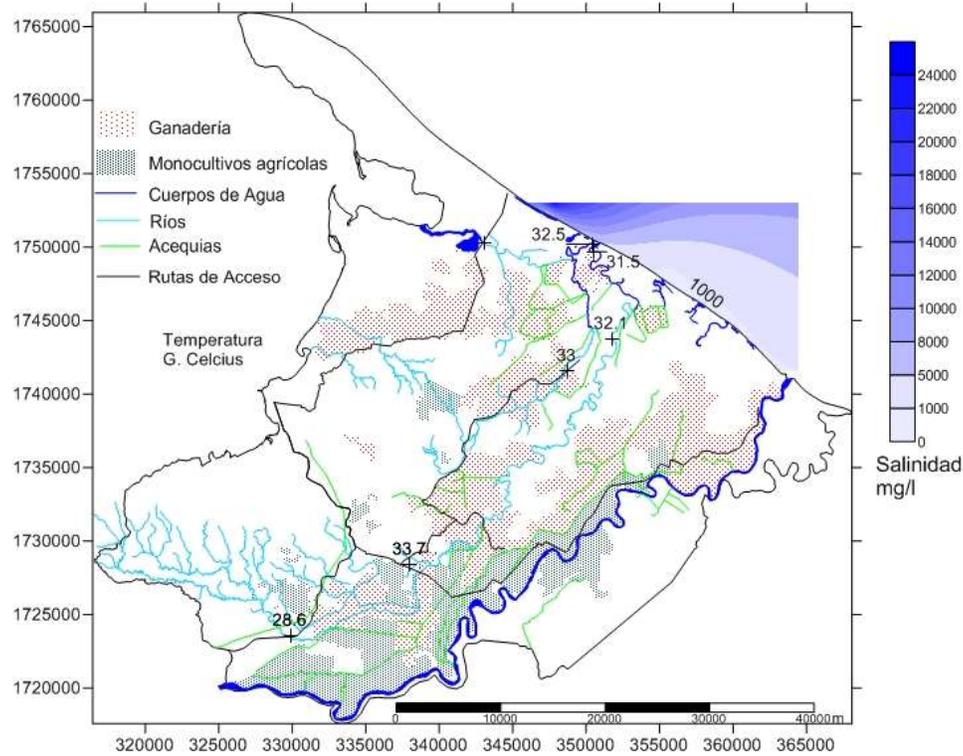
Durante la segunda etapa de monitoreo se consideró continuar con el monitoreo de la columna del agua, analizándola en la superficie y el fondo, discriminando la zona intermedia. En la tabla 5 se muestran los valores reportados en la medición de los parámetros de campo.

**Tabla 22.** Resultados análisis de parámetros de calidad del agua *in situ*, segunda comisión.

x	y	id	od	sat	ce	ph	temp	Sal	std
364175	1741514	MotS	1.13	24.7	220	7.68	31	124	142
364451	1742026	MotB	1.33	29.7	5590	7.61	31.1	2780	3.89
359617	1744699	MotV	1.23	25	657	6.99	27	325	459
329873	1723554	P1RSF	3.05	60.4	124.8	7.82	28.6	62.8	87.5
338018	1728401	P2RSF	0.96	19.6	139.1	7.26	33.7	68.3	97.7
351738	1743754		0.6	22.3	161.1	7.15	32.1	76.5	115.7
348690	1741563	Pit2	0.85	25	174.1		33	87.1	121.8
347768	1752982	BSFC500	3.2	65.7		8.28	31.7	24000	
347768	1752982	BSFC500	3.31	65.7		8.27		25000	
347346	1752124	LSFco	4.5	91.1	6550	8		3160	4.58
355622	1748259	EG	1.49	36.3	7460	7.3	28.2	384	539
357480	1745945	Mguilla	1.41	28.9	231	7.06	28.7	114	154
343078	1750279	CInglés	1.62	26	4180	6.95		2100	2.8
350427	1750198	SalPit	0.83	17.2	762	6.96	32.5	4410	533
350483	1749675	SalSF	0.62	14.6	137	7.07	31.5	115	176
351086	1750808	BJ500L	3.5	60.5		8.12	32.1	8000	
351086	1750808	BJ500S	1.86	40.1	12600	7.14	31.4	6260	8.81

**Fuente:** Elaboración propia.

La segunda comisión se realizó durante el ingreso de la época de lluvia (27- 30 de junio) lo cual se vio reflejado en la salinidad del agua que se diluye en las costas del Caribe guatemalteco (mapa 15). Esta entrada de agua dulce supone el ingreso de aguas de escorrentía que podrían transportar aguas residuales especiales de la agricultura intensiva y la ganadería. Tal como lo muestra el mapa 5, la mayor influencia de agua dulce se muestra entre la desembocadura del río Motagua y la barra de Jaloa, tomando en cuenta que la barra del estero Guinea estaba abierta, contrario al caso de la barra de la Laguna San Francisco.



**Mapa 15.** Salinidad en la superficie de aguas superficiales y marinocostas, junio 2013. **Fuente:** Elaboración propia.

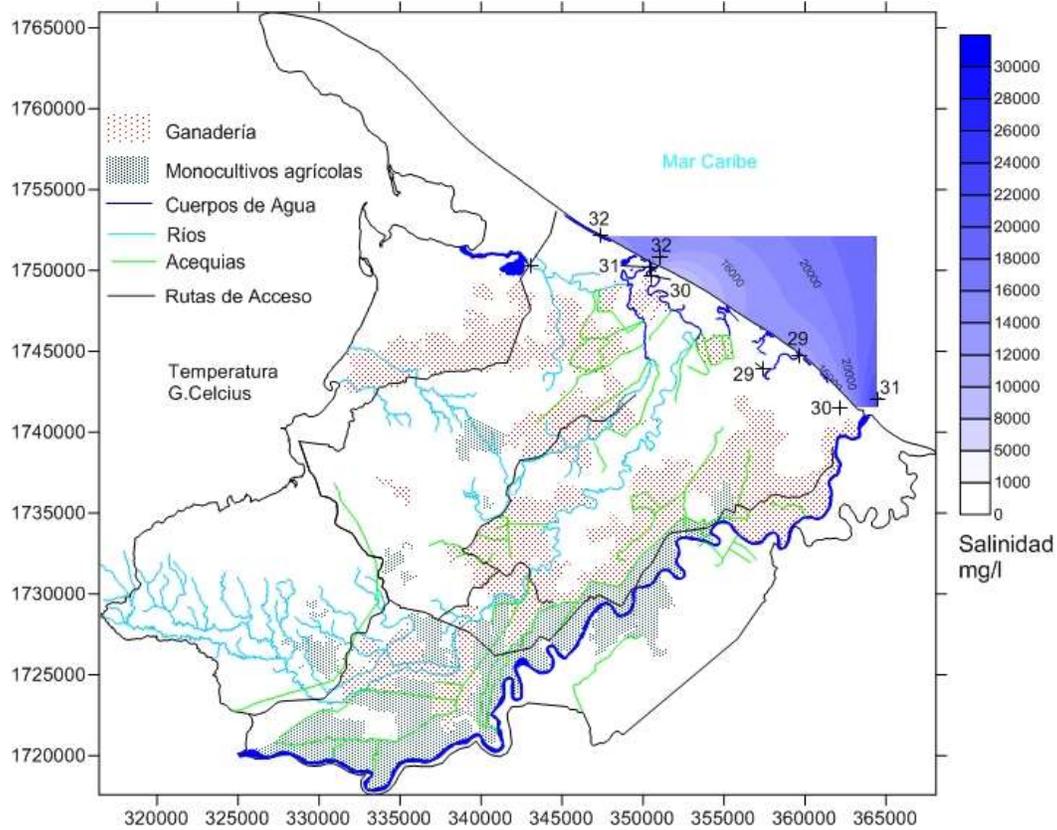
Los parámetros evaluados en campo durante el segundo monitoreo, en la región del fondo de la columna de agua se muestran en la tabla 6. Dichos parámetros sirvieron para mostrar la influencia de las aguas dulces diluidas con agua marina, que puedan hacer presencia en la zona profunda de los sitios de muestreo, transportando sustancias disueltas hasta los sedimentos.

**Tabla 23.** Resultados de análisis de parámetros de calidad del agua *in situ* al fondo de la columna de agua.

x	y	id	od	sat	ce	ph	temp	sal
362175	1741514	MotSal	1.61	30.7	256	7.79	30.4	12000
364451	1742026	MotB	31.6			7.95	31.3	30000
359617	1744699	MotV	1.13	22.1		7.07	28.5	15000
347346	1752124	LSnFcoB	0.38	6.5		7.09	31.8	17000
357380	1743945	Mguilla	0.18	3.2		7.4	28.7	22000
343078	1750279	CanIn	1.63	38.3		7.32		22000
350427	1750198	SalRPit	0.92	11.5		7	30.7	19000
350483	1749675	SalRSnF	0.83	15.1	199		30.3	97
351086	1750808	JalB500L3.13	67.1				28000	
351086	1750808	JalB500S3.2	68.1		8.05	31.5	23000	

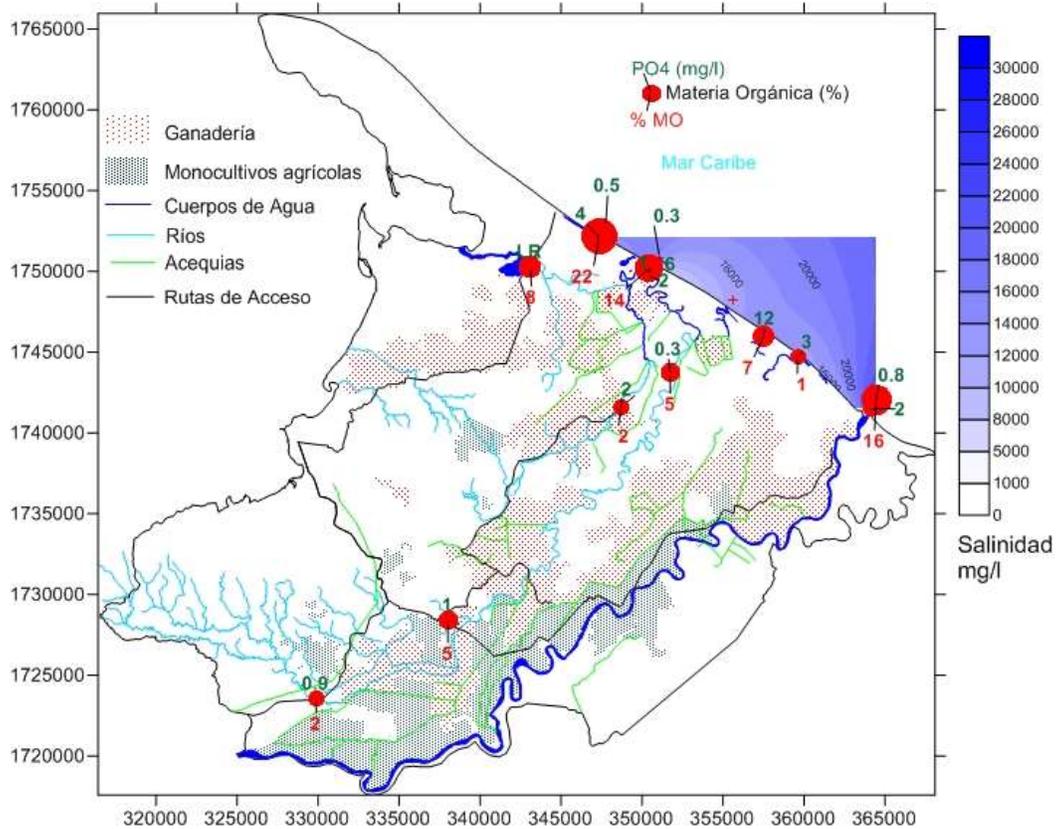
**Fuente:** Elaboración propia.

La influencia de las aguas dulces diluidas con aguas marinas, se observa en el agua del fondo, con mayor presencia en la región desde el estero Guinea hasta la Barra de Jaloa (mapa 16).



**Mapa 16.** Salinidad del agua en el fondo de los sitios de monitoreo, junio del 2013.

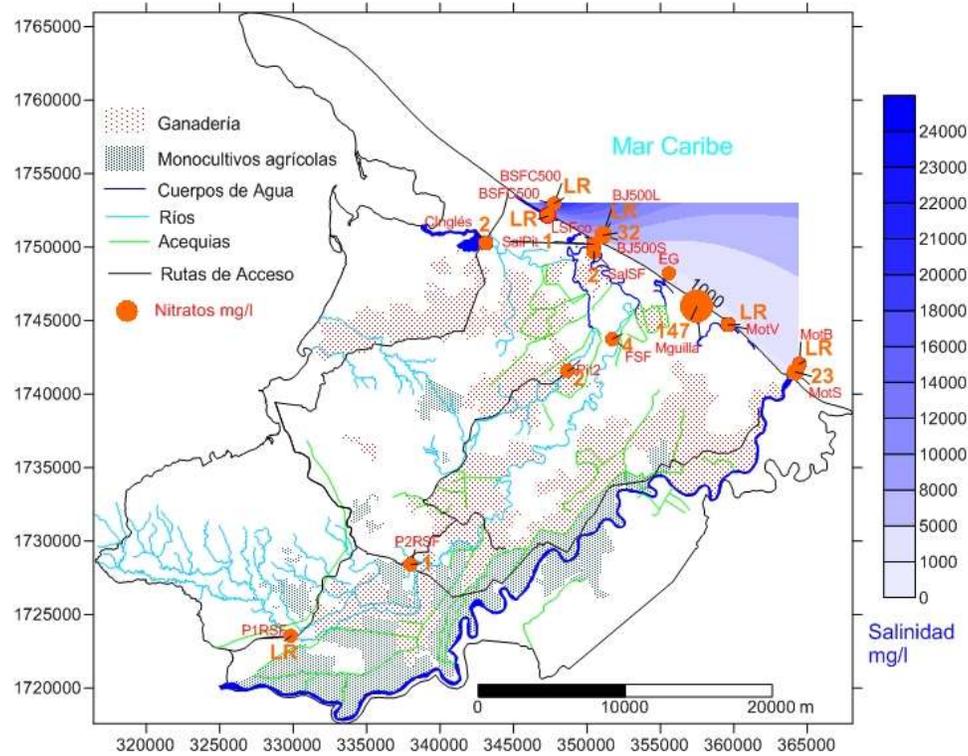
El mapa 17 muestra los resultados del análisis del contenido de materia orgánica en los sedimentos, donde se puede observar que en la desembocadura del río Motagua, la Barra de Jaloa, la Laguna San Francisco, el Canal Inglés y el estero Motagüilla, se presentan en orden de importancia, como los sitios con mayor potencial de acumulación de sustancias contaminantes con alto grado de persistencia, como los residuos de Plaguicidas Clorados, debido a que contienen mayor porcentaje de materia orgánica en los sedimentos.



Mapa 17. Ubicación de sitios con mayor potencial de acumulación de contaminantes persistentes, de acuerdo al contenido de materia orgánica en sedimentos. Fuente: Elaboración propia.

La búsqueda de contaminantes persistentes originados a partir de actividades agrícolas intensivas en la cercanía del área protegida y los cuerpos de agua marino costeros internos del área; condujo los análisis necesarios para identificar la presencia de contaminantes originados como producto de actividades rutinarias, como la fertilización con compuestos nitrogenados y fosforados, así como la presencia de residuos de plaguicidas fosforados disueltos en el agua.

Una de las sustancias que se encontró como referente de aguas residuales especiales asociadas a la fertilización de suelos fueron los Nitratos ( $\text{NO}_3$ ). En el mapa 18 se muestran los sitios que presentaron mayor contenido de este nutriente en el agua. Siendo el estero Motagüilla, Barra de Jaloa y Barra de Motagua, los sitios que presentaron los mayores valores de la concentración de este parámetro de la calidad del agua.

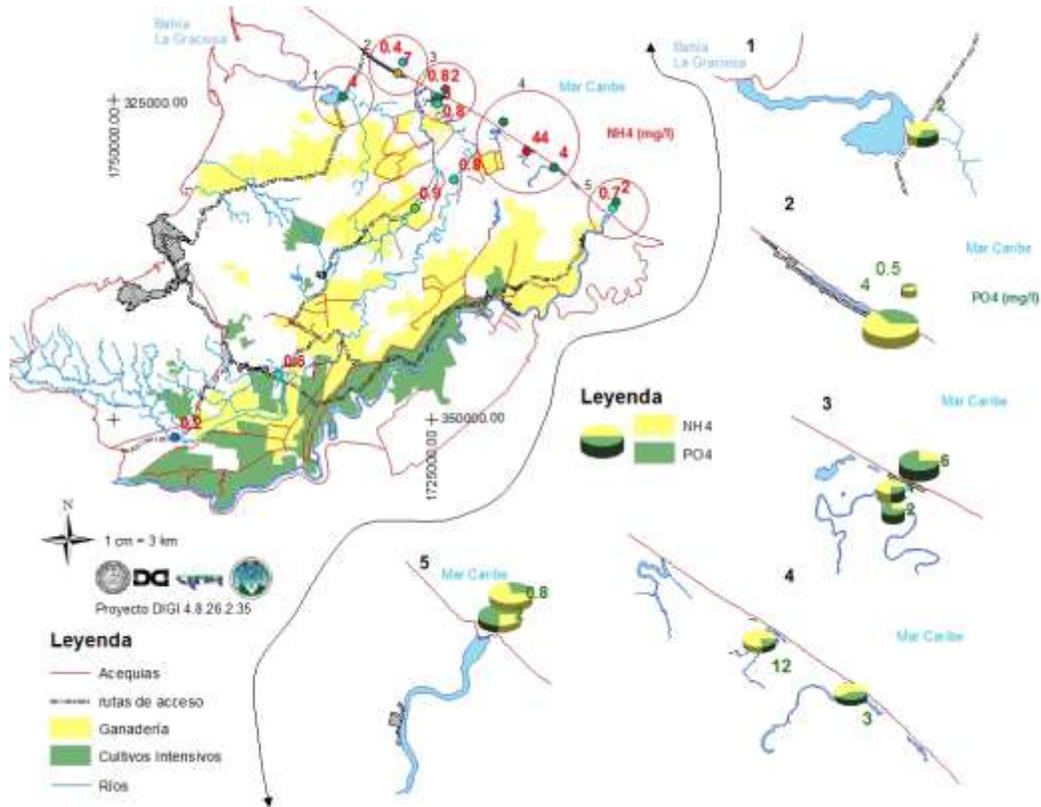


**Mapa 18.** Contenido de Nitrato disuelto en el agua, en sitios de monitoreo ubicados en el área de estudio. Donde LR = rango bajo. Fuente: Elaboración propia.

El sitio que presentó la mayor concentración de  $\text{NO}_3$  disuelto en agua corresponde a la laguna Motagüilla (foto 9), la barra de esta laguna se encontró cerrada durante todo el tiempo de estudio, sin embargo suele abrirse en épocas lluviosas, liberando esta agua cargada de nutrientes hacia el mar.



**Foto 9.** Laguna Motagüilla, en estado de hiper eutrofización, junio del 2013. Tomada por Noe Ortega.



**Mapa 19.** Contenido de nutrientes en diversos cuerpos de agua dentro de la costa Caribe del RVSPM, junio 2013.

El mapa 19 muestra el contenido de Orto Fosfatos (PO<sub>4</sub>). Los sitios que presentaron mayor concentración de este fertilizante corresponden en orden de importancia a: Estero Motagüilla (12 mg/l), Barra Jaloa (6 mg/l), Laguna San Francisco del Mar (4 mg/l), Motagua Viejo (3 mg/l). Mostrando en todos los puntos, dilución en la concentración al mezclarse con agua marina, por ejemplo en la barra de la laguna San Francisco, 1 km mar adentro (0.5 mg/l), barra Motagua 1 km mar adentro (0.8 mg/l) (mapa 9).

La presencia de Amonio (NH<sub>4</sub>) disuelto en el agua, es evidencia de la presencia y acumulación de materia orgánica. Esta materia orgánica puede tener origen de aguas residuales ordinarias en zonas pobladas, y puede proceder de aguas residuales especiales en zonas de ganadería. Además es un compuesto químico que abunda en zonas donde el oxígeno disuelto no es abundante y la acumulación de materia orgánica es progresiva.

La presencia de Nitratos (32 mg/l) en aguas marinas “turbias” (BJ500S) a diferencia de la presencia en bajo rango (LR) en aguas claras (BJ500L) confirma la influencia de aguas

continentales con la presencia de aguas residuales especiales y residuos de agroquímicos como los fertilizantes.



**Foto 10.** Zona intersticial, superficial entre aguas continentales y aguas marinas, en los sitios BJ500L y BJ500S, respectivamente, junio del 2013.

Los sitios donde se presentó este contaminante de forma disuelta en orden de importancia corresponde a: Estero Motagüilla (44 mg/l), Laguna San Francisco del Mar (7 mg/l), Estero Motagua Viejo (4 mg/l), Canal Inglés (4 mg/l), Barra de Jaloa (3 mg/l). En el resto de sitios de muestreo se hizo presente en menores concentraciones (mapa 9).

La intención de caracterizar integralmente la calidad físico química del agua, para identificar rastros de aguas residuales especiales, propició la toma de muestras de agua para analizar el contenido de residuos de plaguicidas disueltos del tipo Organofosforados y Piretroides (tabla 7).

Los resultados no evidencian la presencia de residuos de estos, sin embargo la presencia de los “picos” característicos en los cromatogramas, sugiere la presencia de la sustancia encontrada en sedimentos, también en la matriz ambiental; agua. Este hallazgo permite pensar que el agua es el transporte y el sedimento el almacén de la sustancia que origina estos resultados o “picos” en los cromatogramas, y que podría estar asociada a compuestos del grupo de Phtalatos, conforme los resultados obtenidos en laboratorios especializados de la U.V.G. (Anexo 2).

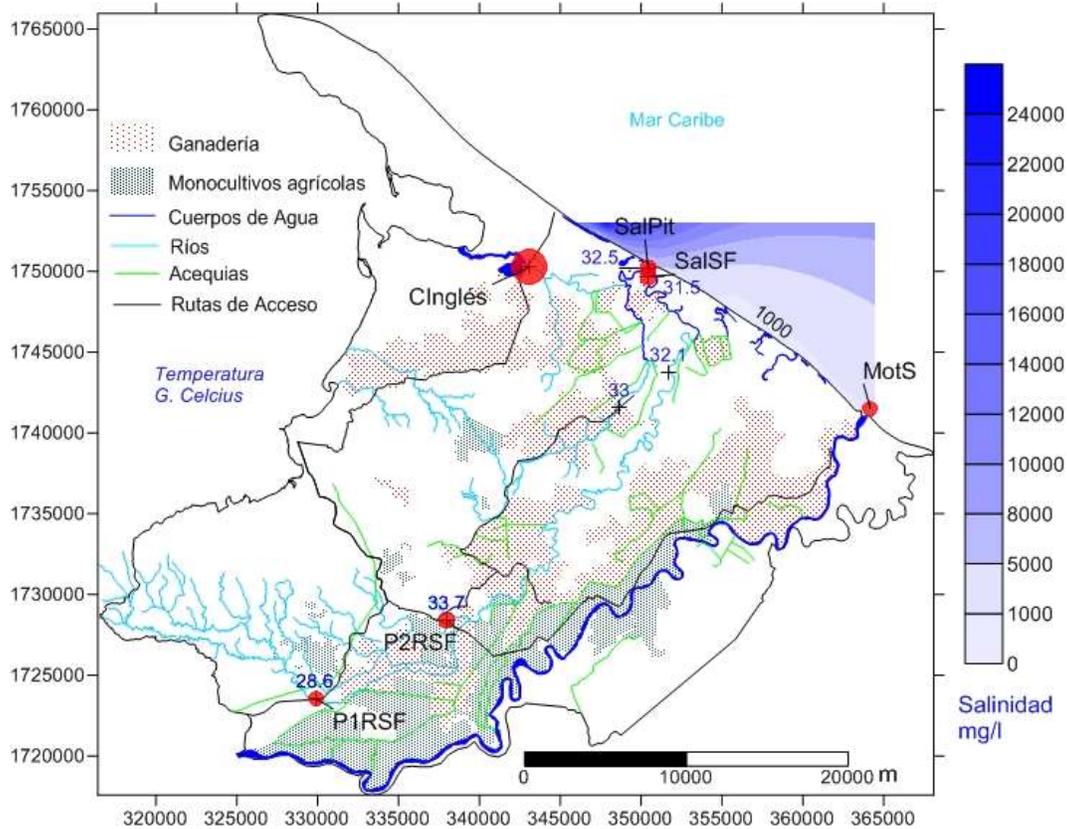
**Cuadro 11.** Resultados de análisis del contenido de residuos de plaguicidas en muestras de agua y sedimentos.

SITIO	COMPARTIMIENTO	ANÁLISIS	RESULTADO	PRESENCIA DE PICOS
Canal Inglés	Agua	Plaguicidas Fosforados y Piretroides	Negativo	++
P2RSF				+
SALRSFCO				+
MOTSAL				0
P1RSF				0
P1RSF	Sedimentos	Plaguicidas Clorados Multirresiduos		+
P2RSF				+
FPIT				++
SALPIT				+
SALRSFCO				+
FSF				++
MOTGUI				+
CANING				+++
BSFCO				++
EGUI				+
MOTV				+++
LSFCO				+++
BJAL				++
SALPIT				++

**Fuente:** Elaboración propia.

En el agua, el sitio que presentó los picos con mayor magnitud fue en el Canal Inglés en la entrada de la Laguna Santa Izabel, que se comunica directamente con el ecosistema acuático de la Bahía La Graciosa y donde se presentaron picos más bajos y nulos fue en la desembocadura del río Motagua y en la cuenca media del río San Francisco (mapa 20).

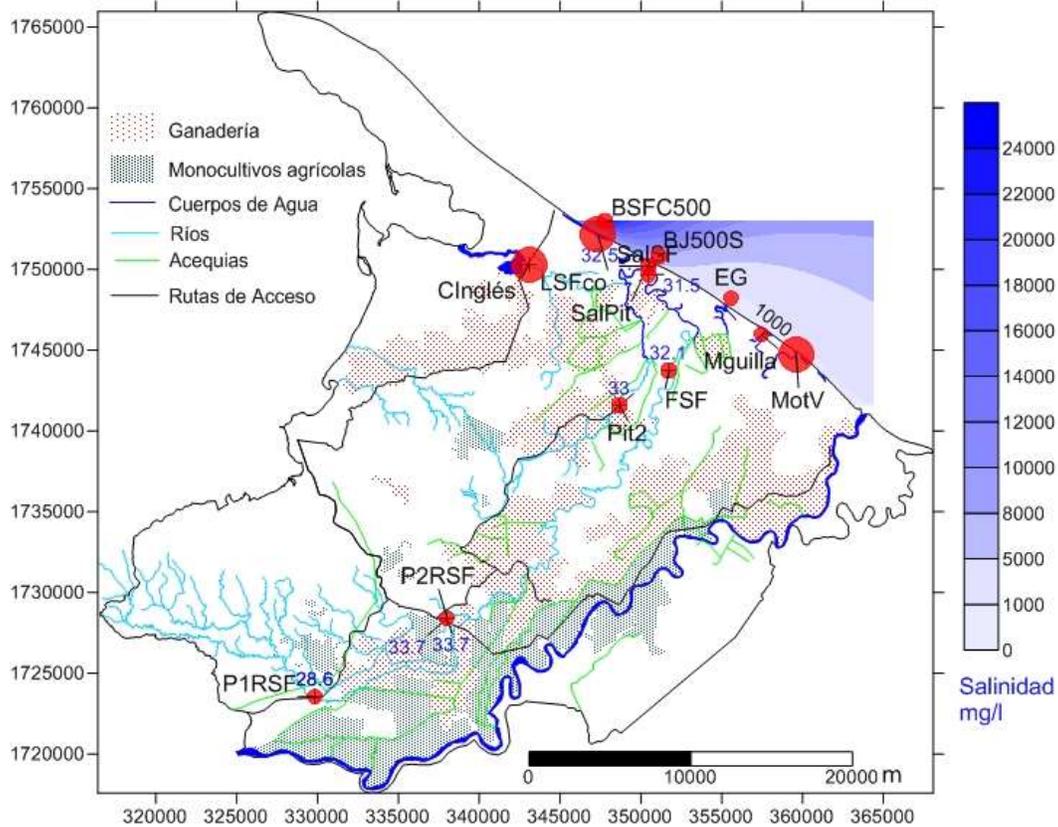
La presencia de los picos en los cromatogramas resultantes del análisis realizado a las muestras de agua, hace pensar que la sustancia que hasta el momento presenta mayor sospecha de ser la causante, se manifiesta en dos matrices; agua y sedimentos. Esto le suma importancia a la tarea de especificación de la sustancia que todavía no se identifica plenamente en los resultados.



**Mapa 20.** Identificación de sitios cuyas muestras de agua presentan picos en los cromatogramas, junio 2013.

Por ello se tomó la decisión de solicitar apoyo al Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos CIRA de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN, quienes accedieron a realizar el análisis de los extractos de muestras que fueron procesadas en los laboratorios comerciales y fueron enviadas para su análisis en los laboratorios especializados del CIRA-UNAN.

La presencia de estos picos en los cromatogramas del resultado de los análisis correspondientes a las muestras de sedimentos, se manifestaron en mayor proporción en el Canal Inglés, correspondiéndose así con los resultados encontrados en las muestras de agua en el mismo punto.



**Mapa 21.** Identificación de sitios cuyas muestras de sedimentos presentan picos en los cromatogramas, junio 2013.

En comparación con las muestras tomadas en la época seca (abril 2013), se observa que las magnitudes de los picos (mapa 21) se reducen en la salida de los ríos Piteros y San Francisco, al igual que en el Estero Guinea. Esto puede deberse al efecto de dilución producto de las lluvias de temporada.

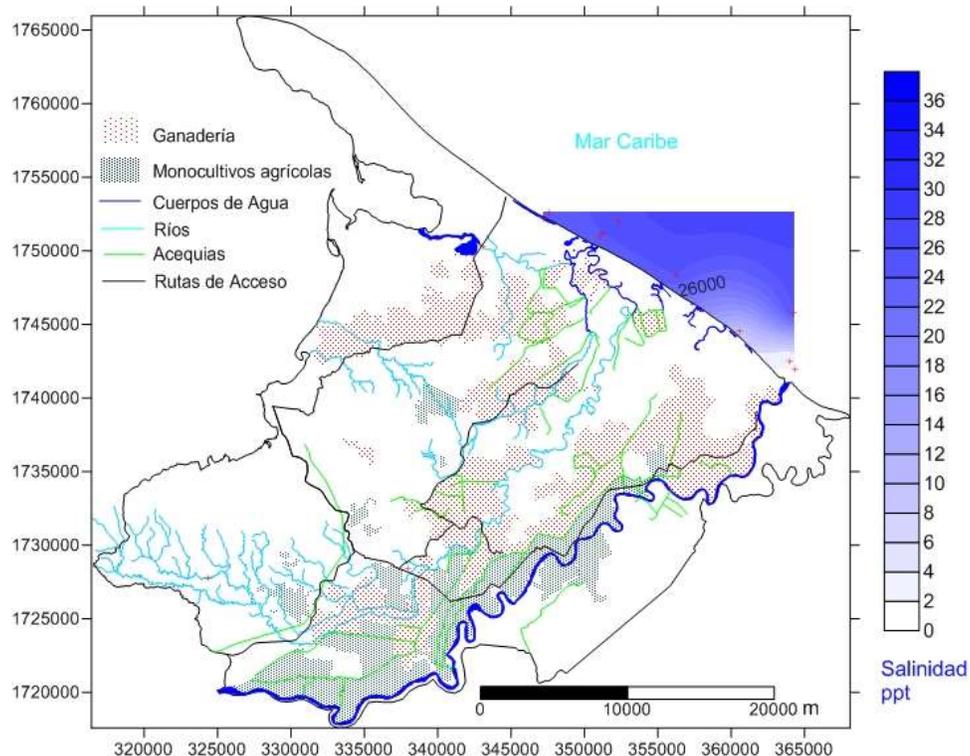
## Resultados del Tercer Monitoreo

### Complementando los análisis

#### Resultados Tercera Comisión

Durante la tercera jornada de monitoreo, tomando en cuenta la influencia del aumento de la pluviosidad y la escorrentía y posible arrastre de aguas residuales ordinarias y especiales, la tercera comisión se llevó a cabo del 4 – 10 de octubre del 2013. El INSIVUMEH para el mes de octubre, reportó acumulados de lluvia en el orden superior a los 100 mm.

A pesar de esto, el valor de las salinidades encontradas no es tan elevado como lo fue durante el mes de junio, esto puede ser debido a la dirección de las corrientes marinas, que eventualmente es hacia el sur – este, hacia Honduras (mapa 22).



**Mapa 22.** Extraprolación de la Salinidad en la superficie de aguas superficiales y marinocostas, octubre del 2013. **Fuente:** Elaboración propia.

Se realizaron muestreos de agua para detectar la presencia de grasas y aceites, pero los resultados fueron negativos en todos los puntos de muestreo (tabla 8).

**Tabla 24.** Contenido de Grasas y Aceites (mg/l) con límite de detección de 6 mg/l.

Sitio	Resultado
Barra Motagua	Negativo
Río San Francisco Cuenca Alta	Negativo
Laguna San Francisco del Mar	Negativo
Canal Inglés	Negativo
Puente San Francisco 2	Negativo

**Fuente:** Elaboración propia.

Se realizó el análisis de la presencia de nitrógeno amoniacal y ortofosfatos, como señal de la presencia de aguas contaminadas con aguas residuales especiales. La presencia de Amonio NH<sub>4</sub> disuelto en aguas costeras cercanas a las barras de la Laguna San Francisco y Estero Guinea se muestra similar, en menor cantidad se reporta disuelto el Amonio como indicador de presencia de materia orgánica en la barra de Jaloa (mapa 23).

Ninguno de los sitios muestreados presentó valores mayores a los sugeridos para la protección de la vida acuática, de acuerdo con las normas canadienses.

La presencia de ortofosfatos se registró de forma mayor en la desembocadura del río Motagua (0.23 mg/l) y en la barra de Jaloa (0.11 mg/l), los valores diluidos se muestran fuera de la pluma de agua continental y en el Canal Inglés con valores que van de 0.02 – 0.06 mg/l, aumentando y sugiriendo que la escorrentía, efecto de la lluvia; puede arrastrar este fertilizante hasta el canal.

El efecto de dilución es evidente en los sitios: Laguna San Francisco, Barra Jaloa y Desembocadura del Motagua, mediante la comparación de los valores reportados en junio; iniciando la temporada de lluvia, valores más elevados que los que fueron registrados durante el mes de octubre, en la etapa final de la época lluviosa (cuadro 12).

**Cuadro 12.** Concentración de Ortofosfatos (mg/l) en aguas naturales, comparación entre dos comisiones en puntos cercanos, una con la entrada época de lluvia (#2) y otra con la salida de la temporada lluviosa (#3)

Comisión #2		Comisión #3	
LSFco	4	LSF1	0.02
CInglés	LR	CANING	0.03
MotB	0.8	BMOT	0.23
BJ500S	6	JAL500	0.11
MotS	2	BMTPL1K	0.11

**Fuente:** Elaboración propia.

Las aguas del Canal Inglés se mostraron con valores muy bajos de Potencial de Óxido Reducción ( $E_h = -225$ ) esto sugiere condiciones de anoxia y riesgo para la vida acuática. En la tercera comisión mostró valores más elevados de ortofosfatos ( $PO_4$ ) que en la segunda, en los sitios: Canal Inglés y Barra del Motagua (Bmot) posiblemente por arrastre pluvial y remoción de sedimentos.

Con las muestras recopiladas de sedimentos se realizó análisis de la presencia de Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos, con el objeto de determinar si el contenido de residuos de combustibles fósiles podría estar asociado con la presencia de contaminantes dentro del área. Los resultados fueron negativos en las muestras de sedimentos tomadas en todos los sitios de muestreo, Barra de Jaloa, Puente 2 Río San Francisco, Canal Inglés, Laguna San Francisco.

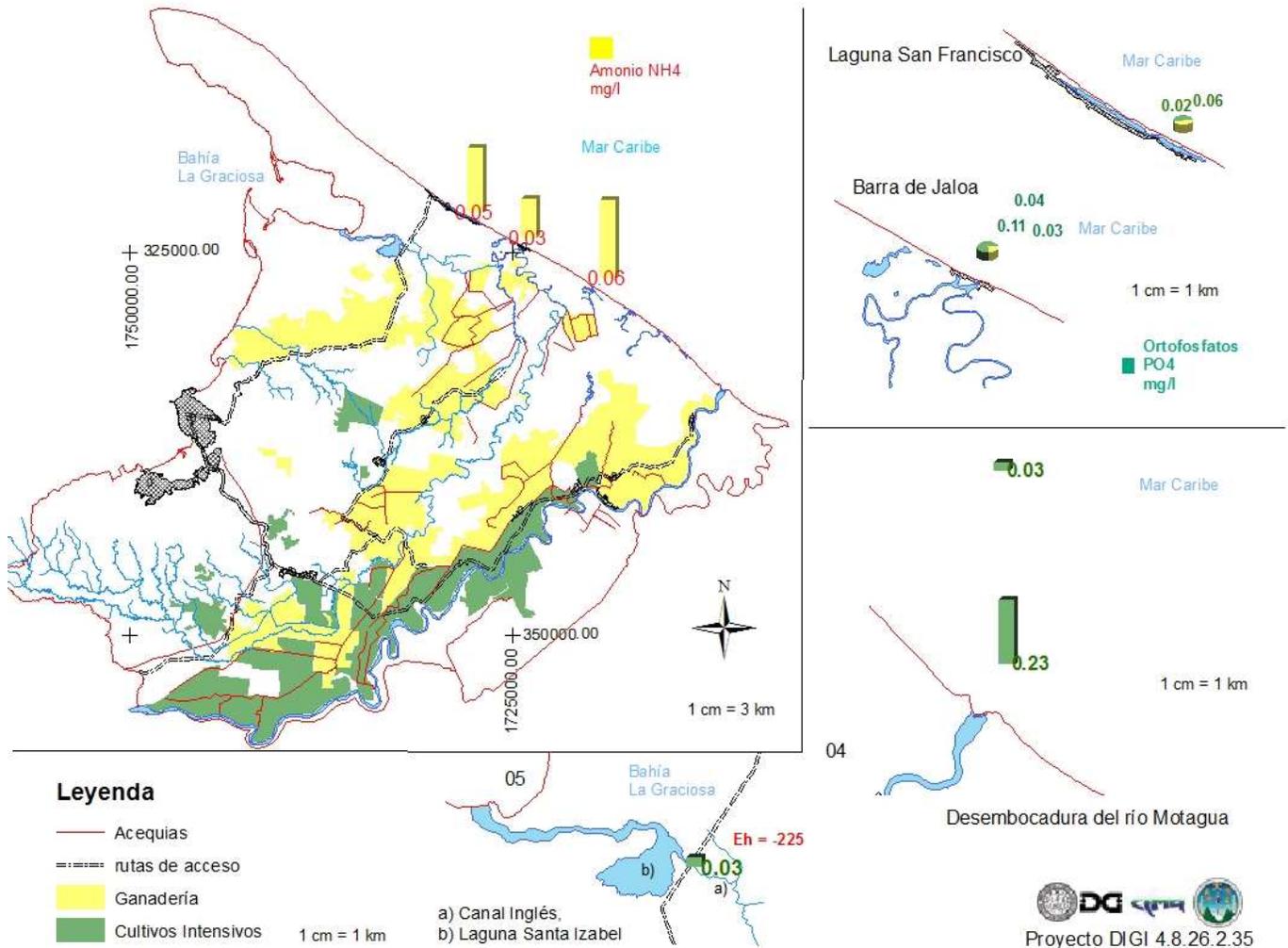
En la tercera comisión se midió también el contenido de Hidrocarburos Totales en las aguas de diversos sitios, tanto pozos como aguas superficiales (tabla 25).

**Tabla 25.** Concentración de Hidrocarburos Totales en sitios de muestreo, octubre del 2013.

Sitio	Resultado (mg/l)
Pozo cercano al río San Francisco (Cuenca Alta)	< 6
Pozo Comunidad San Francisco del Mar	< 6
Barra de Jaloa (1 km mar adentro)	< 6
Puente 2, Río San Francisco	60
Barra Motagua	20

Barra Jaloa	110
Canal Inglés	760
Laguna San Francisco del Mar	30

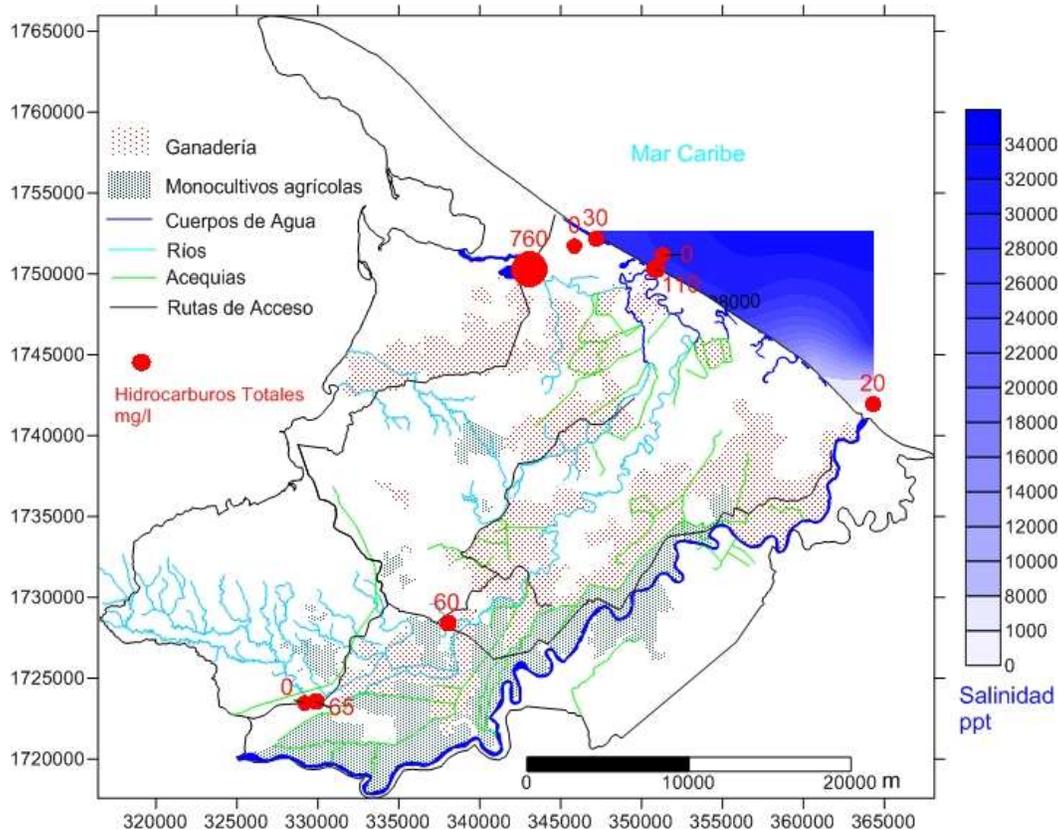
Fuente: Elaboración propia.



**Mapa 23.** Presencia de Ortofosfatos diluidos en muestras de agua dentro del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

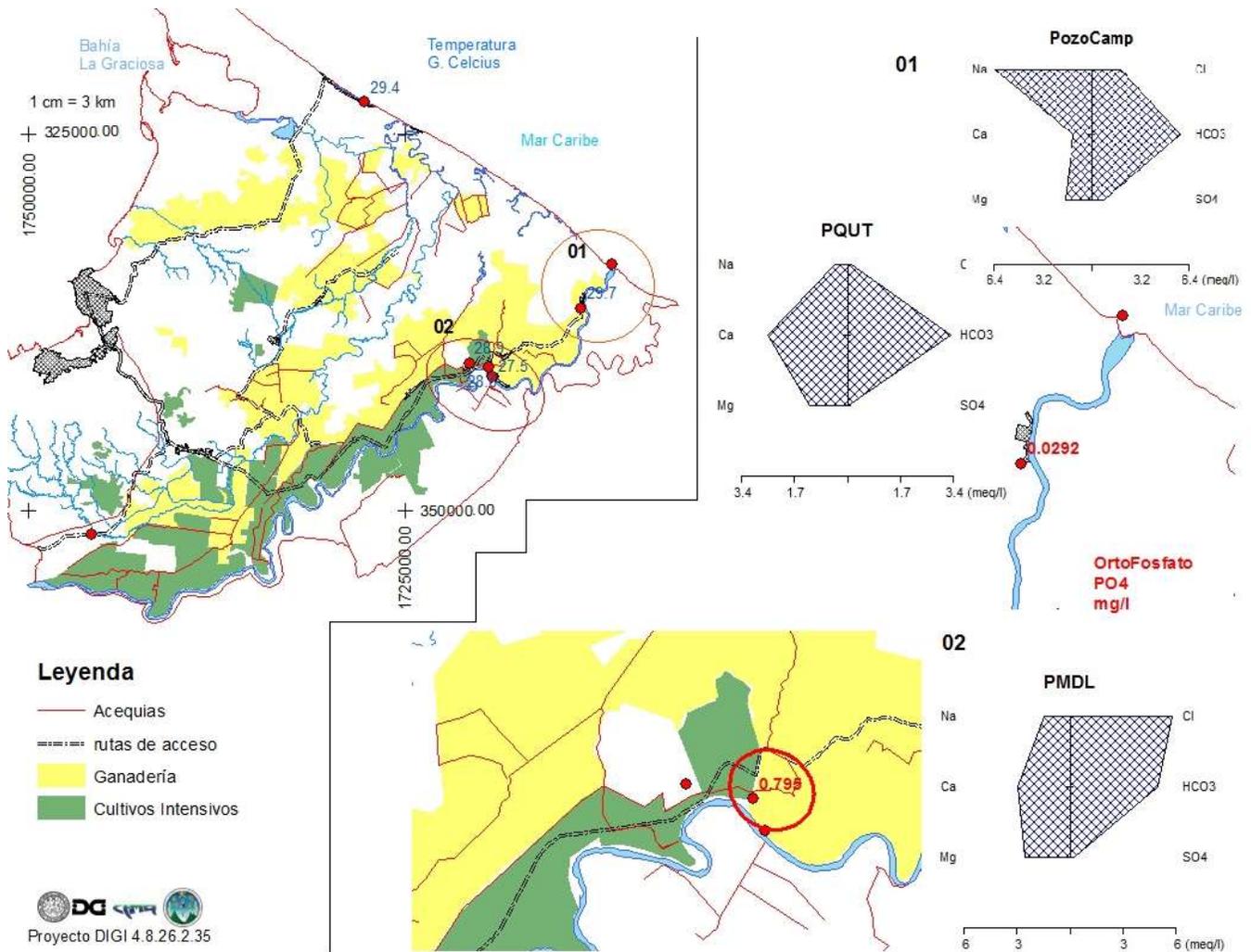
Los valores de hidrocarburos totales que se reportan desde la cuenca alta del río San Francisco son elevadas (65 mg/l y 60 mg/l), en la desembocadura del río Motagua los valores son menores (20 mg/l) pero igualmente elevados. En la barra de Jaloa, desembocadura de los ríos Piteros y San Francisco, el valor es elevado (110 mg/l) al igual que en la laguna San Francisco de la comunidad San Francisco del Mar. Los valores más elevados se reportaron en las aguas del Canal Inglés (mapa 24).

Esto indica que los aportes son arrastrados por los ríos Piteros y San Francisco y una parte de ellos alcanza el Canal Inglés, donde posiblemente tengan un tiempo de residencia mayor. En el caso de la Laguna San Francisco, es un sistema cerrado que recibe las descargas ordinarias de aguas residuales, así como de tránsito local (lancha). Recibe además aguas residuales de tipo especial, que drenan los quineles de fincas de ganadería, que rodean la laguna y se extienden en gran magnitud.



**Mapa 24.** Presencia de Hidrocarburos totales en muestras de aguas naturales.

Por segunda vez en el estudio, se midió la calidad del agua de algunos pozos cercanos a la zona de cultivo intensivo, esta vez se obtuvieron valores de Ortofosfatos  $PO_4$  que se mostraron menores en algunos puntos de muestreo (cuadro 13) posiblemente por el efecto de transporte y dilución de agua pluvial en la zona saturada del subsuelo. De acuerdo con los resultados obtenidos del contenido de iones en el agua de los pozos que fueron muestreados, se pueden clasificar los tipos hidroquímicos de las aguas, como se presenta en el mapa 25.



**Mapa 25.** Resultados del segundo monitoreo de calidad del agua de pozos cercanos a zonas de producción intensiva (agrícola y pecuaria), octubre del 2013.

Los valores más elevados del contenido de fósforo (PO<sub>4</sub>) en el agua, se presentaron en primer lugar en el pozo de la comunidad Media Luna, aunque no alcanzaron los valores que se reportaron en la primera comisión en condiciones de la época seca.

**Cuadro 13.** Valores encontrados de Ortofosfatos (mg/l) en agua de pozos, comparación entre dos comisiones en puntos cercanos, una con la entrada época de lluvia (#2) y otra con la salida de la temporada lluviosa (#3)

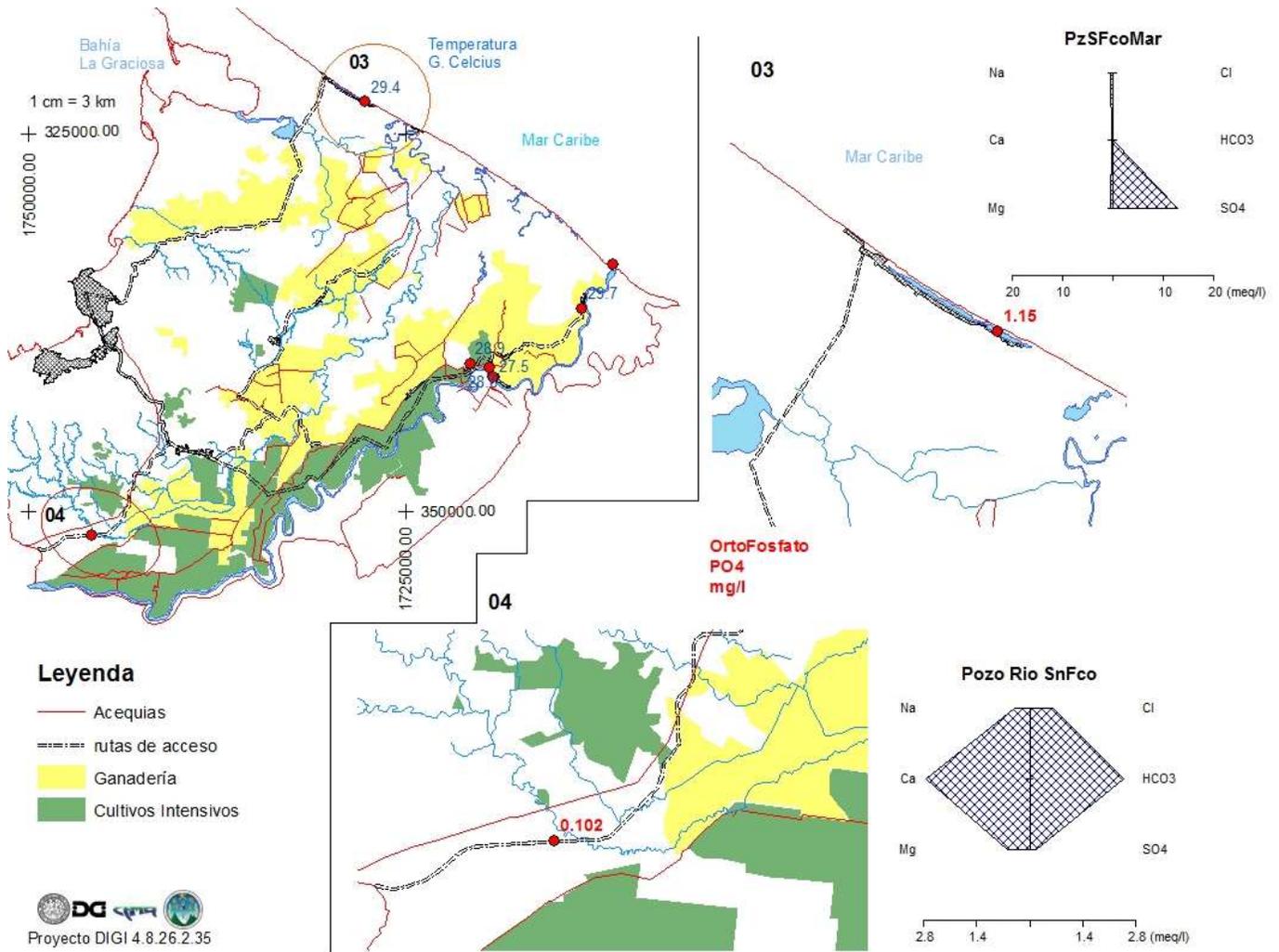
Comisión #1		Comisión #3	
PSFCO	0.05	Pz SFM	0.05
MDL3	1.92	PMDL	0.27
SWC1	1.32	Pzsw3	0.15
LVG3	2.13	Pzlvmt	0.1

**Fuente:** Elaboración propia.

El pozo que presentó menores concentraciones de Ortofosfatos corresponde al pozo de la comunidad San Francisco del Mar. El Mismo pozo presentó concentraciones muy elevadas de azufre en forma de Sulfatos ( $SO_4$ ) y condiciones de mineralización mucho más elevadas que en los demás pozos (mapa 16).

Los pozos ubicados en las cercanías de las zonas intensivas de producción agrícola, presentaron los valores de ortofosfatos ( $PO_4$ ) más elevadas, tales como los pozos de las comunidades; Las Vegas (2.13 mg/l de  $PO_4$  en abril del 2013) Swiche 3 (2.13 mg/l de  $PO_4$  en abril del 2013) y Media Luna (1.92 mg/l de  $PO_4$  en abril del 2013).

Mediante los diagramas de Stiff, que se muestran en los mapas 25 y 26, se clasifican de acuerdo al contenido de iones mayoritarios (aniones y cationes); los tipos hidroquímicos de las aguas de los pozos, evaluadas durante la época lluviosa.



**Mapa 26.** Resultados del segundo monitoreo de calidad del agua de pozos cercanos a zonas de producción intensiva (agrícola y pecuaria), octubre del 2013.

Las aguas menos mineralizadas y de carácter más joven, son las del pozo ubicado en la cuenca alta del río San Francisco (mapa 16), seguido del pozo de la comunidad Quetzalito (mapa 15), que permanece seco durante la estación seca. La presencia mayoritaria de Bicarbonato y Calcio permite pensar que son aguas jóvenes de reciente infiltración, asociadas a los eventos pluviales de la temporada. Se clasifican como aguas Bicarbonatadas – Cálculo Magnésicas.

El caso del pozo de la comunidad Media Luna presenta las mismas características, con la diferencia que presenta valores elevados del anión Cloruro  $Cl^-$  el cual no tiene motivo de estar presente por razones naturales, lo que hace pensar que este ion alcanzó las aguas sub-superficiales por la escorrentía de aguas residuales. El valor de cloruro encontrado

(205 mg/l) rebasa el límite máximo aceptable (LMA) de las normas COGUANOR 2029001:99 sobre agua para consumo humano. Y es cercano al valor límite permisible LMP (250 mg/l) de la misma normativa.

El pozo del campamento, ubicado muy cerca de la barra del río Motagua con la bahía El Balayán, en el Golfo de Honduras, en la zona de playa del RVSPM, presenta las mismas características con presencia elevada de Bicarbonato, pero a diferencia de las aguas del pozo de la comunidad de Quetzalito, las aguas presentaron alto contenido de Sodio, por sobre los demás cationes.

En el pozo de la comunidad San Francisco del Mar, se encontraron aguas con altos contenidos de Sulfatos  $SO_4$  los cuales pueden ser provistos de forma natural, por la cercanía con el humedal y por estar ubicado en una zona anegable, con suelos altamente cargados de materia orgánica. El valor encontrado de Sulfatos en dicho pozo (610 mg/l) rebasa el límite máximo permisible LMP de la norma COGUANOR 2029001:99 para agua de consumo humano.

El pozo de la comunidad Media Luna presentó concentraciones de hierro en el agua (0.795 mg/l), mayores al límite máximo aceptable LMA de la norma COGUANOR 2029001:99 (0.1 mg/l); al igual que el pozo cercano al río San Francisco en su cuenca alta (0.102 mg/l).

### Resultados de Extractos enviados a Laboratorios Especializados CIRA-UNAN, Nicaragua

Luego de enviar los extractos de las muestras y los reportes de los análisis instrumentales, los laboratorios de Contaminantes Orgánicos del Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos de Nicaragua de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, mencionan luego de recibir las muestras lo siguiente ([Anexo 3](#));

“En el reporte del análisis instrumental, se observa la presencia de tres picos grandes y anchos en el 80% de las muestras de agua, en los tiempos de retención de 3, 8 y 12 minutos; en el análisis del cromatograma del Blanco control, no se reporta la presencia de estos picos, por lo que podemos decir que no son productos de interferencias obtenidas durante el procedimiento analítico, posiblemente estas señales sean interferencias

presente en la matriz, por lo que se recomienda utilizar métodos alternativos que garanticen una óptima limpieza de los extractos y facilite el análisis instrumental de las muestras. Se puede observar que debido a lo grande y ancho de estos picos, se pueden estar solapando posibles compuestos en los tiempos de retención antes mencionado, por lo que se recomienda realizar una limpieza a las extractos y determinar si estos picos son posibles interferencias de la matriz en estudio; garantizando un mejor análisis instrumental en las muestras.”

Los extractos que fueron analizados en los laboratorios especializados en contaminantes orgánicos, corresponden a las muestras FSFCO y SFCO (Salida del río San Francisco), Sedimento Barra Motagüilla. Luego de realizar los análisis correspondientes, esto fue lo que reportó el CIRA;

“Los extractos en solvente Hexano, purificados, fueron inyectados en el cromatógrafo de gases con detector de captura de electrones ECD, el análisis instrumental no reporta la presencia de estos picos después de aplicar limpieza, por lo que se puede decir que estas señales presentadas en los extractos antes de la limpieza, son interferencias presentes en la matriz y que fueron eliminadas en el proceso de purificación de los extractos.”

“El análisis cromatógrafo determinó que ningún plaguicida Clorado, Fosforado y Piretroides, fueron detectados en las muestras de sedimento. Con espectrómetro de masa, el análisis instrumental determinó que ningún plaguicida clorado, fosforado y Piretroides fue detectado en ningún de los extractos.”

“Los extractos también fueron analizados en un cromatógrafo de gases, con detector de captura de electrones ECD, la muestra de la Salida del Motagua, fue inyectada directamente, esta reporta en el análisis 3 picos anchos y altos, con línea base alta que no permite ver si hay presencia de plaguicidas.”

“Para determinar si la presencia de estos picos son posibles interferencias causadas por el tipo de matriz, se realizó una purificación a los extractos, utilizando procedimiento para remover interferencias del azufre elemental, seguido de una limpieza por columna empacada con adsorbente florisil.”

“Los extractos purificados, fueron inyectados en el cromatógrafo de gases con detector de captura de electrones ECD, el análisis instrumental no reportan la presencia de estos picos después de aplicar limpieza, por lo que se puede decir que estas señales presentadas en los extractos antes de la limpieza, son interferencias presentes en la matriz y que fueron eliminadas en el proceso de purificación de los extractos.”

“El análisis cromatógrafo determinó que ningún plaguicida Clorado, Fosforado y Piretroides, fueron detectados en las muestras de sedimento.”

Por esta razón se dejó de presentar a partir de esta comisión, los resultados de la magnitud de los picos en dependencia de la estación y de la ubicación del sitio de muestreo, tal como se hizo con los resultados previos a esta información generada por los laboratorios del CIRA-UNAN. Debido a que surgieron a partir de este momento, dudas sobre el origen de dichos picos.

## Resultados del Cuarto Monitoreo

### Afinando el análisis

#### Resultados Cuarta Comisión

La campaña de monitoreo y muestreo se llevó a cabo del 8 al 26 de noviembre. La temporada de lluvias se prolongó aproximadamente hasta el 10 de noviembre, por lo que los monitoreos y muestreos en este período se presentan como representativos de la salida de la época lluviosa del año 2013.

La escorrentía que se mezcla con aguas residuales del tipo ordinario que actualmente no es remediada en la cabecera municipal de Puerto Barrios, desemboca directamente sobre la Bahía Santo Tomás de Castilla; que también recibe aguas residuales del municipio de Santo Tomás, estas aguas son menos salinas que las aguas naturales de la bahía y se muestran en color azul claro en el mapa 17.

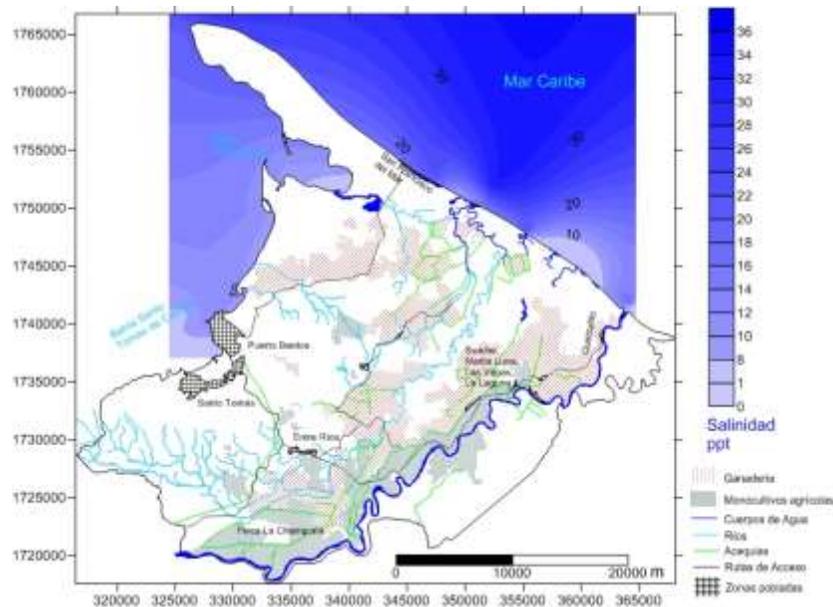
Las descargas de aguas residuales ordinarias de estos dos municipios ingresan directamente sobre la bahía Santo Tomás y afectan la calidad del agua natural, la cual se comparó en tres diferentes profundidades, con el agua que es drenada hacia la Bahía La Graciosa, proveniente de la laguna Santa Isabel que recibe las descargas del Canal Inglés, que arrastra aguas residuales especiales; como los demás humedales del área, la barra de Jaloa, los esteros Guinea, Motagua Viejo y la barra del río Motagua (mapa 19).

Además, la información recopilada de la vertiente de las bahías referente a la calidad del agua por medio de parámetros como el contenido de nutrientes, las condiciones de óxido-reducción y la salinidad, se comparó con la información que fue recopilada del lado de la vertiente del mar caribe, con la influencia de la desembocadura de los principales ríos (Piteros, San Francisco y Motagua).

Se reportaron contenidos de Amonio y de Ortofosfatos en la vertiente de la Bahía Santo Tomás y en la Bahía La Graciosa (mapa 20 y 21). El sitio frente al muelle de Puerto Barrios presentó menores valores de Amonio y Ortofosfatos que en la Laguna Santa Izabel. Y ambos sitios presentaron menores valores en promedio con la vertiente del mar Caribe, en las desembocaduras de los principales ríos (Piteros, San Francisco, Motagua).

El mapa 27 permite visualizar por medio de una extrapolación de los valores de salinidad encontrados en campo, que existe aporte de aguas continentales de parte del sistema de humedales marino costeros, en la vertiente del mar caribe. En la vertiente de la bahía La Graciosa y la bahía Santo Tomás, las aguas son menos salinas, posiblemente debido al tiempo de residencia mayor de las aguas, dentro de la bahía de Amatique, por razones geográficas.

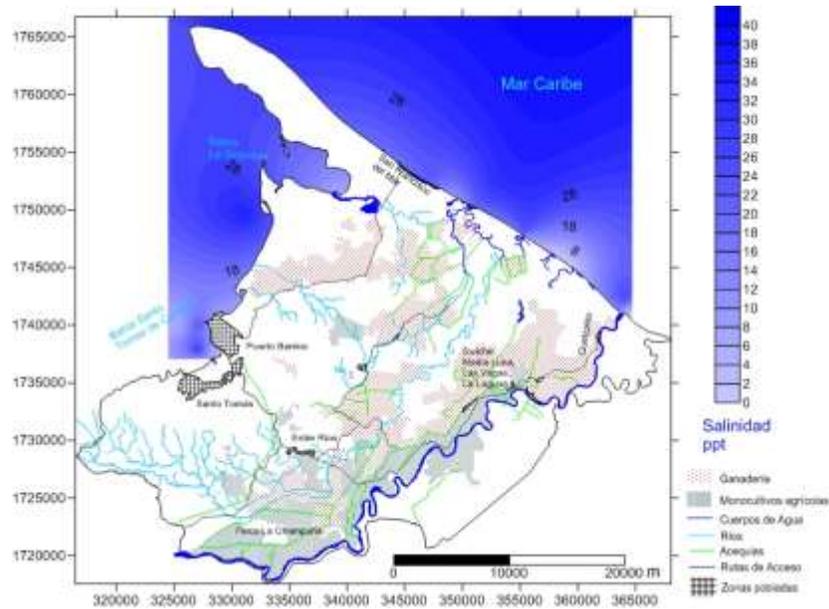
Los principales aportadores de agua continental en la vertiente de las bahías, se constituye; Laguna Santa Isabel que es alimentada por el Canal Inglés, otros aportadores importantes son los Municipios de Puerto Barrios y Santo Tomás de Castilla con aguas residuales sin tratamiento. En menor proporción los ríos Creek Negro y Machacas en la bahía de Amatique.



**Mapa 27.** Interpolación de valores de salinidad encontrados en la superficie del agua, durante la salida de la época lluviosa 8, 25-26 de noviembre del año 2013, dentro del RVSPM en el área marino costera.

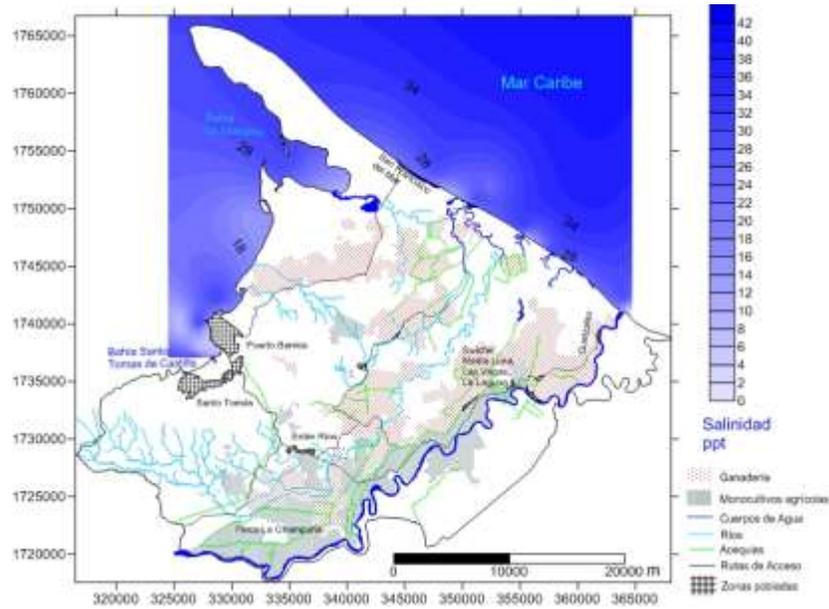
De igual manera se interpolaron los resultados obtenidos en la profundidad intermedia (mapa 28) y en la zona demersal (mapa 29). Con esta información es evidente la ubicación de las zonas por donde puede haber intercambio entre aguas naturales (marinas y subterráneas) y aguas residuales de origen ordinario y especial y escorrentía de aguas pluviales (superficiales), así como el nivel de alcance que tienen las aguas continentales

dentro de los sistemas marino-costeros en el área de estudio. En la profundidad intermedia, se observaron aguas más salinas que en la superficie, aunque se nota la presencia de aguas menos salinas en las principales desembocaduras y bahías, lo cual hace suponer que la influencia de aguas dulces alcanza la profundidad intermedia en dichos puntos.



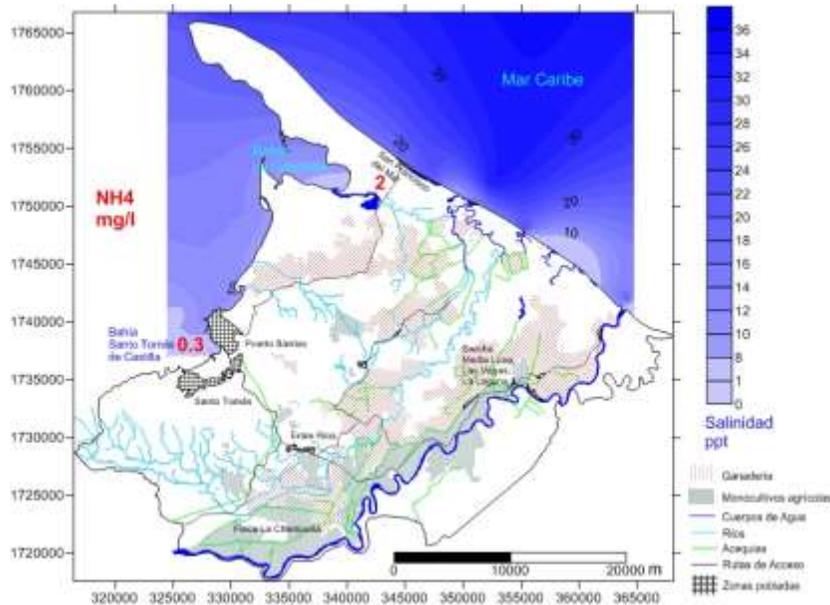
**Mapa 28.** Interpolación de salinidad en profundidad intermedia entre la superficie y la zona demersal; 8, 25-26 de noviembre del 2013. Fuente: Elaboración propia.

Se observa en el nivel demersal, valores más elevados de salinidad y se aprecia una corriente salina (34 mg/l) que ingresa por la bahía la Graciosa, así como una corriente marina que se observa frente a la desembocadura del río Motagua. Los valores de la profundidad evaluados en cada punto se detallan en el Anexo 4.



**Mapa 29.** Interpolación de los valores de salinidad reportados en la zona demersal, durante la salida de la época lluviosa 8, 25-26 de noviembre del año 2013. Fuente: Elaboración propia.

Los valores de Amonio ( $\text{NH}_4$ ) encontrados en la desembocadura de las aguas urbanas del municipio de Puerto Barrios (0.3 mg/l) se presentaron con menor magnitud que las observadas en la misma vertiente dentro de la bahía la Graciosa (mapa 30), procedentes de aguas residuales especiales conducidas por el Canal Inglés (2.0 mg/l).



**Mapa 30.** Valor de Amonio reportado durante la salida de la época lluviosa 8 de noviembre del año 2013. Fuente: Elaboración propia.

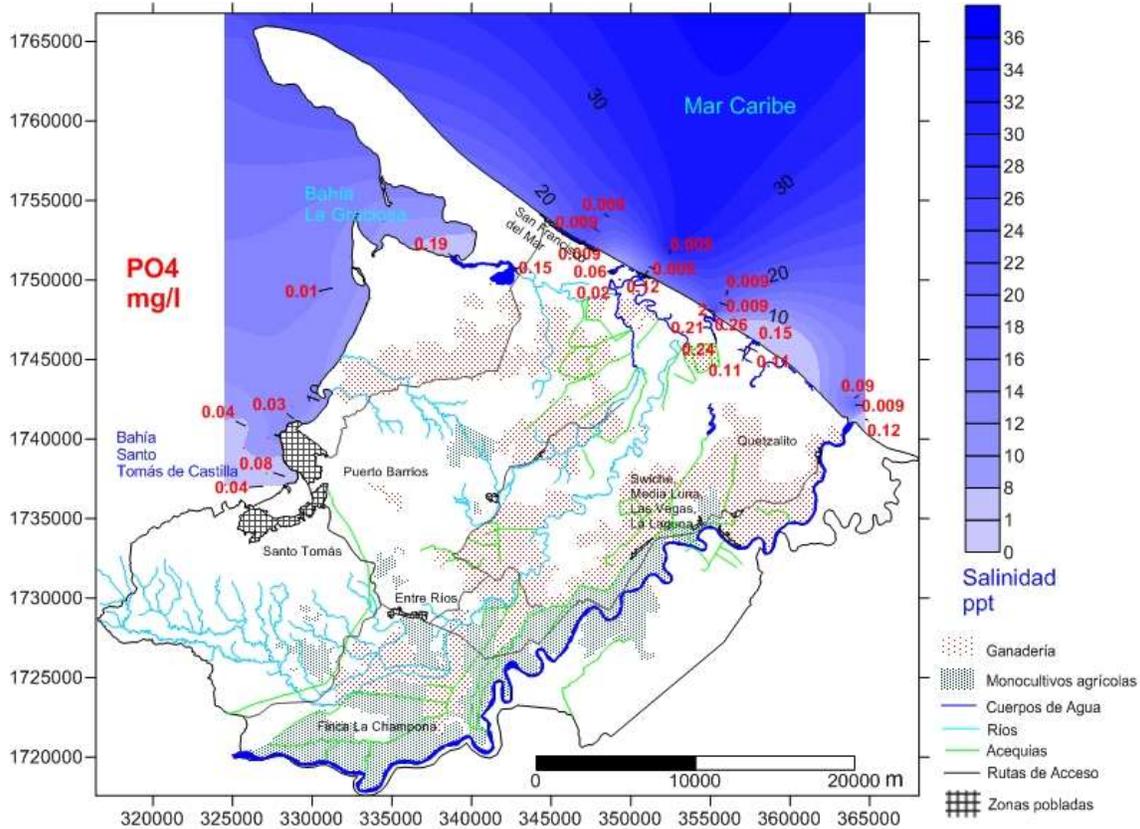
Los sitios que fueron referenciados para medir la concentración de ortofosfatos PO<sub>4</sub> como indicación de aguas residuales especiales, mostraron valores menores que todos los anteriores que han sido reportados desde la segunda comisión en la entrada de la época lluviosa (cuadro 14).

Los valores menores fueron reportados de lado de la vertiente de las bahías, a excepción de la salida del canal inglés sobre la laguna Santa Isabel. Los valores mayores fueron reportados del lado de la vertiente del mar Caribe, antes de mezclarse con aguas más salinas (mapa 31).

**Cuadro 14.** Comparación de los valores de Ortofosfatos (PO<sub>4</sub>) registrados desde la entrada de la época de lluvia hasta la salida, comisiones 2 – 4.

Comisión #2 (junio)		Comisión #3 (octubre)		Comisión #4 (noviembre)	
LSFco	4	LSF1	0.02	SFco1	0.009
CInglés	LR	CANING	0.03	Isa1	0.15
MotB	0.8	BMOT	0.23	MtBa	0.12
BJ500S	6	JAL500	0.11	Jal2	0.009
MotS	2	BMTPL1K	0.11	MtBa2	0.09

Los valores de ortofosfatos encontrados en la vertiente del mar caribe demuestran que en la desembocadura de los ríos, en las lagunas costeras y el interior de los esteros se reportaron valores más elevados, puede ser por contar con una tasa de recirculación menor con respecto de las aguas muestreadas a 1 y 3 km mar adentro, las cuales mostraron valores disueltos de Ortofosfato menores, por debajo del límite de detección del método utilizado.



**Mapa 31.** Valores de Ortofosfatos reportados durante la salida de la época lluviosa 8, 25-26 de noviembre del año 2013. Fuente: Elaboración propia.

Solo en algunos puntos de muestreo se observaron diferentes valores en dependencia de la profundidad de la muestra. Esto puede suponer estratificación, pudiendo encontrar valores más elevados en la superficie o en la zona demersal. En cambio, encontrar valores muy similares en toda la columna del agua, supone mezcla.

En el cuadro 15 se muestran los valores que suponen estratificación (sombra). Los sitios ubicados frente al muelle municipal de Puerto Barrios y frente al puerto Santo Tomás de Castilla, presentaron valores mayores en la zona demersal. Esto supone estratificación sedimentaria.

La estratificación salina se hace evidente de forma gráfica por medio de la comparación de los mapas y también se presenta una tabla con sombra en los sitios que presentaron estratificación salina (Anexo 5). La estratificación del contenido de oxígeno se muestra en el Anexo 6.

**Cuadro 15.** Valores de Ortofosfatos PO<sub>4</sub> disuelto en agua, reportado en mg/l en la superficie (sup), en la zona profunda (dem) y la zona entemedia (med) en cada sitio monitoreado.

id	sup	med	dem	id	sup	med	dem
Muelle	sd	<0.01	<0.01	Mtgui1	0.11	0.1	0.13
Muelle2	sd	<0.01	<0.01	Mtagui2	0.11	0.11	1.55
Muelle3	0.04	<0.01	0.04	Mtagui3	0.15	0.17	0.12
Muelle4	sd	<0.01	0.45	MtV	sd	0.38	0.05
Muelle5	0.03	<0.01	0.06	MtBa	0.12	0.11	0.09
Stom1	sd	0.07	<0.01	MtBa2	0.09	0.02	0.06
Stom2	sd	<0.01	0.06	MtBa3	<0.01	0.03	0.14
Stom3	0.04	<0.01	1.06	Egui1	<0.01	<0.01	0.06
Stom4	sd	0.02	0.25	Egui2b	<0.01	0.03	0.09
Stom5	0.08	0.01	0.01	Egui3b	0.02	0.28	0.09
ManB	sd	0.05	0.05	LEs	0.06	sd	<0.01
ManB2	sd	<0.01	<0.01	SalPit	0.02	0.07	<0.01
Isa1	0.15	0.15	0.16	Jal1	0.12	0.02	<0.01
Isa2	0.19	0.03	0.19	Jal2	<0.01	<0.01	0.01
Isa3	sd	<0.01	0.05	Jal3	<0.01	0.06	<0.01
Isa4	0.01	0.04	0.69	SnFco1	<0.01	0.02	<0.01
Egui	0.24	0.2	1.05	SnFco2	<0.01	<0.01	sd
Egui2	0.21	0.24	0.44	SnFco3	<0.01	<0.01	sd
Egui3	0.26	0.19	0.21				

El caso de la Laguna Santa Izabel, estero Motagüilla y el estero Guinea, presentaron el mismo comportamiento, indicando condiciones de estratificación con valores superiores en la zona demersal. Lo contrario se puede observar en el caso de la barra del río Motagua y la barra de Jaloa. En el primer caso, valores (0.12 mg/l) en la superficie y (0.09 mg/l) en la zona demersal. En el segundo caso, (0.12 mg/l) en la superficie y (< 0.01 mg/l) en la zona demersal.

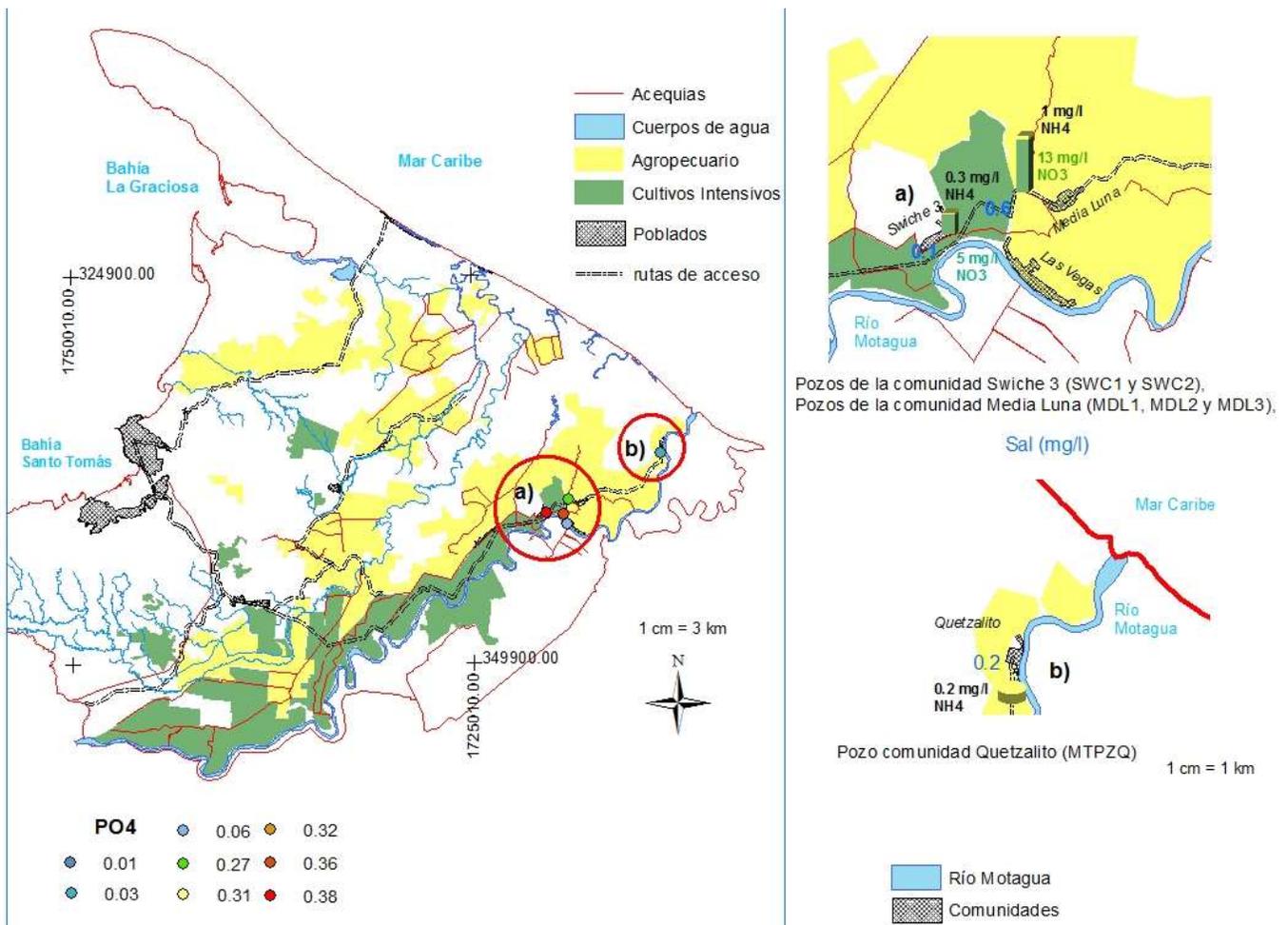
La concentración de ortofosfatos en el agua de pozos, aumentó con respecto al segundo muestreo (comisión #3) (cuadro 16). Pero sin alcanzar los valores iniciales reportados en la época seca. La presencia de fósforo puede sugerir la presencia de aguas residuales provenientes de zonas de fertilización continua y también puede estar relacionado a la cercanía con aguas residuales del tipo ordinario.

**Cuadro 16.** Ortofósforos (mg/l) en agua de pozos, comparación entre dos comisiones, la entrada época de lluvia (#2) y la salida de la temporada lluviosa (#3 y #4)

Comisión #1		Comisión #3		Comisión #4	
PSFCO	0.05	Pz SFM	0.05	-----	
MDL3	1.92	PMDL	0.27	PzMLent	0.36
SWC1	1.32	Pzsw3	0.15	PzSWEsc	0.31
LVG3	2.13	Pzlvmt	0.1	PzLVmt	0.32

**Fuente:** Elaboración propia. Los nombres son diferentes pero corresponden al mismo sitio de muestreo en cada comisión.

El agua de los pozos ubicados en las comunidades de Swiche3 y Media Luna presentaron los valores más elevados de fósforo ( $PO_4$ ) disuelto (mapa 32).



**Mapa 32.** Presentación de resultados de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) en diversas formas químicas, en agua de pozos dentro de comunidades del RVSPM, noviembre del 2013.

El agua del pozo de la comunidad Media Luna presentó valores de 13 mg/l de Nitratos ( $\text{NO}_3$ ) siendo el que presentó valores más elevados, así como mayor valor de salinidad 0.6 ppt y mayor concentración de amonio 1.0 mg/l de  $\text{NH}_4$ .

## Resultados de Entrevistas y Encuestas

### Valoración local del problema

Las entrevistas se realizaron con el objeto de analizar el contexto de forma general en las comunidades que se ubican dentro de la zona poblada cercana a la zona de producción intensiva.

#### *Comunidad San Francisco Segundo (Entrevistado propietario privado de pozo domiciliar)*

Ubicada en una zona urbanizada, cercana a la carretera interamericana C-A9. Fue entrevistada una familia que se ubica en cercanía del río San Francisco, a cercanías del punto de muestreo del mismo río en la parte media alta de su cuenca. La principal actividad productiva lo constituye la ganadería. Cuentan con servicio de agua entubada, que abastece con intervalos de un día. Esta agua es utilizada para labores domésticas. No cuentan con servicios de saneamiento, utilizan el sistema de fosa séptica, ojos ciegos y letrinas.

El agua de consumo es adquirida por medio de proveedores comerciales. Invierten alrededor de Q7.00 – Q8.00 por cada garrafón, para lo que deben transportarse hasta Puerto Barrios, ubicado a unos 20 km, haciendo un recorrido de alrededor de 40 minutos. La familia integrada por dos personas, consumen un promedio de 1 litro diario de agua gaseosa.

Las principales enfermedades que se manifiestan son el dengue, debido a que hay proliferación masiva de mosquitos y moscas. Fumigan cada tres meses y además aplican venenos específicos para garrapatas y moscas del ganado.

Han notado que el nivel del río ha bajado en comparación con años anteriores, mencionan que no ha habido crecidas tan grandes. Los efectos negativos de la fumigación, relacionado a las actividades intensivas de producción (cultivo de palma) no son

percibidos, ni afectan en apariencia la calidad del agua de los pozos de la comunidad, pero si han sentido que el calor ha aumentado con relación a la expansión del área de cultivos. No han sentido presencia de autoridades que gestionen los recursos hídricos, solo ha habido presencia de autoridades para el tema de medición de terrenos.

*Comunidad Swiche 3 (Entrevistado el vicepresidente del COCODE de la comunidad)*

Ubicada dentro del área correspondiente a la finca Hopy, carretera de Entre Ríos hacia Honduras. La comunidad está atravesada por dos quineles que drenan agua residual de los cultivos de banano y palma (mapa 20 a). La principal actividad productiva lo constituye la ganadería, agricultura y el trabajo de encargado de fincas.

El agua que es utilizada para los servicios domésticos y saneamiento, proviene de pozos excavados, mientras que el agua de consumo la obtienen de cosecha de agua de lluvia y en época de sequía deben hervir agua del pozo. No cuentan con servicio de saneamiento, utilizan fosas sépticas y también drenan sus aguas residuales ordinarias al “zanjón” que también lleva aguas residuales especiales provenientes de los cultivos intensivos y las conduce hacia el canal real, que llega hasta la laguna Manatí.

a.

b.

Quinel de aguas residuales



**Foto 11.** a) Pozo domiciliar de la aldea Swiche 3, con la cercanía del paso de aguas residuales por un quinel que atraviesa la comunidad. b) Pozo de la escuela de la aldea Swiche 3 a 20 metros del quinel.

Familias numerosas integradas por 8 – 10 personas, consumen cerca de dos galones diarios y compran tres garrafones cada 8 días, cada garrafón tiene un costo de Q15.00. Manifestando que demoran cerca de tres horas para adquirirlos, movilizándose hacia los distribuidores. No tienen consumo habitual de aguas gaseosas o sustitutos del agua dulce.

El entrevistado manifestó que el bosque se está terminando y la palma sustituye el bosque y compacta la tierra. Las enfermedades más comunes y relacionadas con la época húmeda corresponden con el dengue, por la proliferación de plagas de mosquitos. En época seca los niveles de los pozos bajan. Algunos se secan.

Con respecto a los quineles que transportan aguas residuales, mencionó que no transportan aguas residuales del cultivo del banano, el quinel que atraviesa la comunidad, solamente lleva aguas residuales domésticas y del cultivo de palma, que rodea la comunidad. El entrevistado manifestó que cada tres meses realizan fumigación con Nematicidas, y un producto comercialmente conocido como “Bravo” (Vasquez, 2013).

El vicepresidente del COCODE, mencionó también que la tala de bosques, la expansión de la frontera agrícola ha generado más calor en el área.



**Foto.** Entrevista y toma de muestra de agua de pozo en Swiche 3.

*Comunidad Media Luna (Entrevistada mujer, ama de casa de la comunidad)*

Ubicada a cercanías del río Motagua, está rodeada del cultivo de palma y de banano, se accede a través de caminos de terracería que se atraviesan desde la carretera que conduce hacia la frontera con Honduras, hasta las comunidades (mapa 20 a). Las principales actividades productivas las constituye la agricultura en terrenos alquilados y propios, realizar jornales para cosechas de chile y de milpa. Según comenta la entrevistada, la industria de la palma no da trabajo a personas con cédula Q-18, originarias del lugar (Nely, 2013).

a.



b.



**Foto 12.** a) Entrevista con pobladora y técnica de CONAP. b) Toma de muestra de agua del pozo para análisis de calidad del agua.

Utilizan el agua del pozo para el aseo y saneamiento (lavado y baño). Deben realizar una práctica de encalado del agua del pozo para rebajar su contenido de sólidos disueltos y turbidez. Manifiesta que el agua puede estar contaminada con Neguvon (Nely, 2013).

El agua de consumo humano debe ser colectada de la lluvia, y tienen acceso al camión que llega cada 3 días, y provee el agua a Q15.00 el garrafón, proveniente de Puerto Barrios. Manifestando un consumo de 2 garrafones cada 3 días para 5 integrantes familiares. Consumen 3 litros de agua gaseosa comercial, por semana.

No cuentan con sistema de saneamiento, actualmente utilizan letrina. No cuentan con fuentes de agua más que la pluvial.

El problema con los cultivos intensivos de palma que rodean la comunidad lo ve principalmente en la carencia de fuentes de trabajo, ya que la empresa de palma no contrata personas de la comunidad. La empresa no fumiga la palma con avión, utilizan personal con bomba de fumigación a suelo, para malezas.

Las principales afecciones de salud se relacionan con enfermedades como el dengue, resfrío y gripe. En la época seca el agua de los pozos baja su nivel y en ocasiones se ven obligadas a lavar la ropa en el río Motagua. Hay abundancia de plagas como zancudos, ratones y recientemente han tenido problemas con culebras.

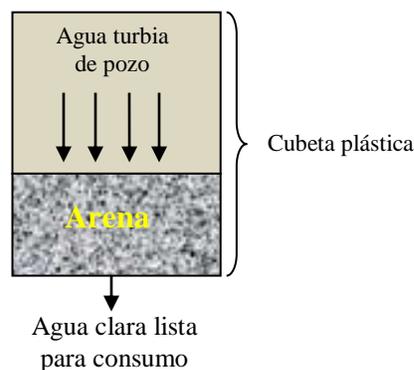
*Comunidad Las Vegas (Entrevistado Presidente del COCODE de la comunidad)*

Ubicada a la margen izquierda del río Motagua, dentro del último tramo sinuoso antes de su desembocadura (mapa 20 a). Esta comunidad está un poco más alejada del área de cultivos intensivos, se ubica entre la frontera geográfica entre el área ganadera y agrícola. El acceso hasta la comunidad es como en las anteriores comunidades, a través de un camino de terracería que es administrado por la finca Hopy.

Las fuentes de empleo se constituyen como fuerza de trabajo para jornales de ganadería, agricultura con productos como maíz y frijol.

El agua para los servicios básicos de saneamiento en los hogares, es obtenida por medio de pozos excavados domiciliarios. Para consumo, utilizan el agua de lluvia y el agua del pozo filtrada varias veces por medio de un filtro artesanal (figura 1) que no garantiza eliminar los contaminantes. En época seca puede llover solo una vez al mes. No cuentan con sistema de saneamiento, utilizan sistema de letrinas para los desechos humanos.

**Figura 1.** Ilustración de un filtro artesanal, utilizado por personas de la comunidad Las Vegas.



La cantidad de agua para consumo lo diferencian si es domiciliar o durante un jornal de trabajo, siendo de 5 botellas en el caso del consumo por persona / jornal, y de 5 galones en el hogar de 10 integrantes de familia. El consumo de agua gaseosa puede llegar hasta 6 litros por familia, en ocasiones especiales.

La presencia de empresarios (ganadería) ha propiciado la venta de tierras y esto genera falta de tierras para trabajo y para cultivos y drenan los terrenos anegados (Ruiz, 2013). Sumado a que la empresa de palma no emplea personas de las comunidades.

Las enfermedades más comunes son la gripe y el dengue. Se realizan campañas de fumigación con químicos específicos como Cipermetrina para eliminar zancudos y se utilizan herbicidas como el Glifosato para eliminar malezas (Ruiz, 2013). Han sufrido plagas como zancudos, pulgón, gusano cogollero, gusano de alambre, gallinas ciegas.

El cultivo de banano utiliza sistemas de fumigación regulares, utilizando un químico conocido comercialmente como “Bravo”. Cuando pasa la avioneta fumigando y llueve, se pueden ver peces muertos, como bagres. Los cuales escasean (Ruiz, 2013).

a.



b.



**Foto 13.** a) Área de siembra de banano, en el camino hacia las comunidades, con un rótulo de advertencia por ser zona de fumigación. b) Entrevista con el presidente del COCODE de la comunidad Las Vegas.

### *Comunidad Quetzalito (Entrevistada familia de Guardarecursos de CONAP)*

Ubicada a la margen izquierda del río Motagua, a un trecho menor de 5 kilómetros de la desembocadura. Acceder hasta Quetzalito por tierra se debe llegar hasta la entrada de la finca Hopy, luego se ingresa por camino de terracería que llega hasta la comunidad Media luna, luego se sigue la actual carretera gestionada y construida por los pobladores de las comunidades, que llega hasta la comunidad.

Las actividades principales son la pesca, la agricultura, el trabajo por jornales en fincas ganaderas.

El acceso al agua es por medio de la colecta de lluvia, almacenamiento en tanques plásticos y cloración (foto 14). El agua del pozo la utilizan para uso de saneamiento, el pozo es temporal, en época seca no cuentan con esa fuente de agua natural. Eventualmente deben comprar agua a un precio desde Q9.00 las 24 bolsas de agua, hasta Q15.00 el Garrafón. El consumo familiar puede variar entre 10 – 13 litros diarios, para una familia de 5 miembros.

El método de cloración dura 1 hora, es por medio de una pastilla disuelta en un tanque de agua.

a.



b.



**Foto 14.** a) Sistema de captación común de las comunidades del agua de lluvia, para consumo humano. b) Pozo temporal comunidad Quetzalito, alimentado por aguas pluviales e infiltración local.

La familia menciona que la zona de fumigación está muy lejos de su comunidad, anteriormente tuvieron problemas de contaminación ambiental con una empresa productora de cerdos que generaba malos olores.

Las enfermedades más comunes aumentan en la época seca y de mayor calor, son estas, náuseas, asientos, gripe y tos, afecta más a los niños menores de 12 años. El servicio más cercano de salud se encuentra en la comunidad Media Luna, cuenta con medicamentos básicos como Acetaminofen, Antibióticos y suero. La opción inmediata es el servicio de Puerto Barrios, hay un bus a las 7:00 a.m. que hace el recorrido.

Han tenido problemas con plaga de zancudos y coloradillas, utilizan Cipermetrina para fumigar y reducir los efectos de las plagas.

La disposición de agua pluvial es abundante hasta finales de enero, luego es poco hasta mayo y en agosto y septiembre (Ortega, 2013).

La disposición del agua subterránea es nula, ya que se encuentra contaminada con agua salina. En épocas de llenas el río Motagua ha arrastrado peces muertos y causa mortalidad en la barra, cuando las personas se bañan con esa agua, les salen ronchas y se les cae el pelo (Ortega, 2013).

### *Entrevista con Autoridad Municipal de Puerto Barrios*

Lic. Jorge Roberto Rivas

Oficina de la Empresa Municipal de Agua Potable

¿Cómo es el servicio de agua potable y saneamiento en el municipio?

El río San Agustín y Las Escobas son las que abastecen el casco urbano. En el caso de las comunidades El Quetzalito, Media Luna, Las Vegas, la municipalidad no tienen un control absoluto sobre los pozos. Porque se supone que el regente debería de ser la municipalidad, pero existen en las comunidades que se forman comités y tramitan a través de otras organizaciones no gubernamentales, la construcción de pozos. Como el caso de la comunidad Entre Ríos, ellos administran, ellos ven el tema del cobro. Se tiene la idea de que la municipalidad debería de retomar esto para tener el control del servicio del agua en todo el municipio. En Puerto Barrios el servicio de agua consiste en la asignación de 30 metros cúbicos al mes por 65Q.

Los planes de la alcaldía actual es buscar los mecanismos para proveer de agua a todas las comunidades dentro del casco urbano y ciertas periferias aisladas, en donde actualmente está racionada el agua. A nivel rural, el problema es que se ha visto con el señor alcalde que el presupuesto ha sido recortado y sumado a ello el endeudamiento que han dejado otras autoridades (4ta municipalidad a nivel nacional en el tema de endeudamiento).

*Entrevista con Delegado del Ministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente*

Ing. Agrónomo, Oscar Zaparolli

¿Existe manejo de aguas residuales y plantas de tratamientos adecuados?

“Monitoreo como tal, no existe. Eso es incidencia directa con las municipalidades, ellos deben de proponer y trabajar proyectos ambientales (el MARN lo trabaja a nivel de incidencia), los proponemos en reuniones con COCODES. Con los 5 alcaldes les proponemos que trabajemos con plantas de tratamientos. Sin embargo en Puerto Barrios las propuestas son muy pobres. Se generan alrededor de 12 – 15 proyectos de drenajes, las aguas residuales lo que hacemos es llevarlas canalizadas y llegan a la bahía crudas”.

“Tenemos el control de algunas actividades agropecuarias, pero no todas. Las aguas residuales de las actividades agropecuarias no están siendo monitoreadas, solo algunas están siendo monitoreadas. Las aguas residuales que llevan todo el tipo de fertilizantes y agro químicos del banano y la palma van crudos. Hablando del río San Francisco; la industria de aceite Agro Caribe cuenta con una planta de tratamiento, pero son una parte del municipio de Morales y otra de Izabal. Hace 6 meses presentaron el EIA, cuentan con planta de tratamiento, se le da monitoreo semestral para ver si cumplen o no cumplen”.

“Las fincas de ganado y sus EIA que han sido aprobados, el cumplimiento de un estudio es el monitoreo que realiza el ministerio, se realizan monitoreos los cuales son dos mensuales, tomamos proyectos al azar, que ya fueron aprobados y se realiza el monitoreo. Aquellas actividades antes de la normativa 68-86 artículo 8; se tienen que regularizar, pero los que están después es obligatorio, contar con un EIA antes de operar, de no ser así se cae en una sanción de 5 mil a 100 mil Quetzales”.

“Denuncias ambientales de todo tipo, de drenajes es lo más natural en ésta área. Drenajes auxiliares, que se conectan al principal y generan contaminación en terrenos desocupados. Nosotros hemos querido llegar pero es difícil contra toda la gente que han hecho quineles directos utilizados para trasiego, han hecho bordas y hacen lo que quieren. El lixiviado de los terrenos por la pérdida de ganado, ha motivado la construcción de quineles y bordas. En el caso de las aguas residuales es bien puntual. La delegación no cuenta con equipo

para realizar análisis *in situ* para calidad del agua, solicitamos a la central que venga y realice el monitoreo con sus equipos. Nos enfocamos más en los proyectos grandes”.

*Entrevista con Líderes y Lideresas comunitarias*

*Entrevista con representantes de COCODES, comunidades Media Luna, Las Vegas, Swiche 3.*

¿Cómo es el Acceso al Agua (sistemas de abastecimiento local)?

Responde: Sr. Eswin Cordón con la representación de los demás participantes.

“Se han hecho varias gestiones ante el estado y no se ha visto que le den importancia al tema del acceso al agua, por ejemplo la luz tomó 14 años de gestión y lucha. El agua se ha gestionado desde más de 25 años y no tenemos agua todavía”.

“El Quetzalito (280 personas), Media Luna (540 personas), Las Vegas (400 personas), Swiche3 (180 personas), La Laguna (600 personas), Los Quineles (80 personas), El Paraíso (64 personas). Todas estas comunidades nunca han tenido acceso al agua, desde el inicio, se han formado desde hace más de 25 años. Se han realizado gestiones y se ha perforado hasta más de 300 pies y se ha encontrado residuos de agroquímicos como Nemagón. No podemos tener seguridad de nuestra agua, pues está contaminada. El agua tiene mucho óxido, hay que agregarle cal para uso doméstico, y causa caída de pelo y daños colaterales”.

“La compañía de banano fumiga constantemente (Manzate). Los quineles los manejan de forma indiscriminada de las comunidades. Son menos contaminantes los palmeros que los bananeros. En la palma no riegan con avión. La fumigación depende de cómo esté el tiempo, si no llueve fumigan”.

“Cuando las compañías bananeras fumigan, las aguas se derivan por los canales y acaban con todo. Hay quineles secundarios, terciarios y primarios. Los últimos son los que reciben todas las aguas. No tienen un curso rápido sino se van quedando las aguas anegadas durante su trayecto, generando acumulación”.

“La comunidad de Swiche está encerrado entre quineles del banano y de la palma. Todos los quineles van hacia el canal Real. El cual debe estar contaminado”.

### Ultimo muestreo de Plaguicidas

#### **Cuarta comisión, salida de la época lluviosa**

El momento de muestreo coincidió con un día de lluvia por la mañana y según reportan los líderes comunitarios, el día anterior se había realizado campaña de fumigación.

Siguiendo las recomendaciones de los líderes comunitarios, saliendo de la reunión donde fueron entrevistados, se llegó hasta la entrada de la comunidad La Laguna, pasando sobre el Canal Real. Esa tarde se tomaron muestras de agua, sedimento y peces muertos que pasaban por el Canal Real. Este fue un acontecimiento fortuito para los objetivos de la investigación, pues se tuvo la oportunidad de estar presentes y registrar de múltiples formas, el arrastre de barbasco, peces muertos de todos tamaños y numerosas especies por las aguas de dicho canal, que transporta aguas residuales especiales del cultivo de banano y palma.

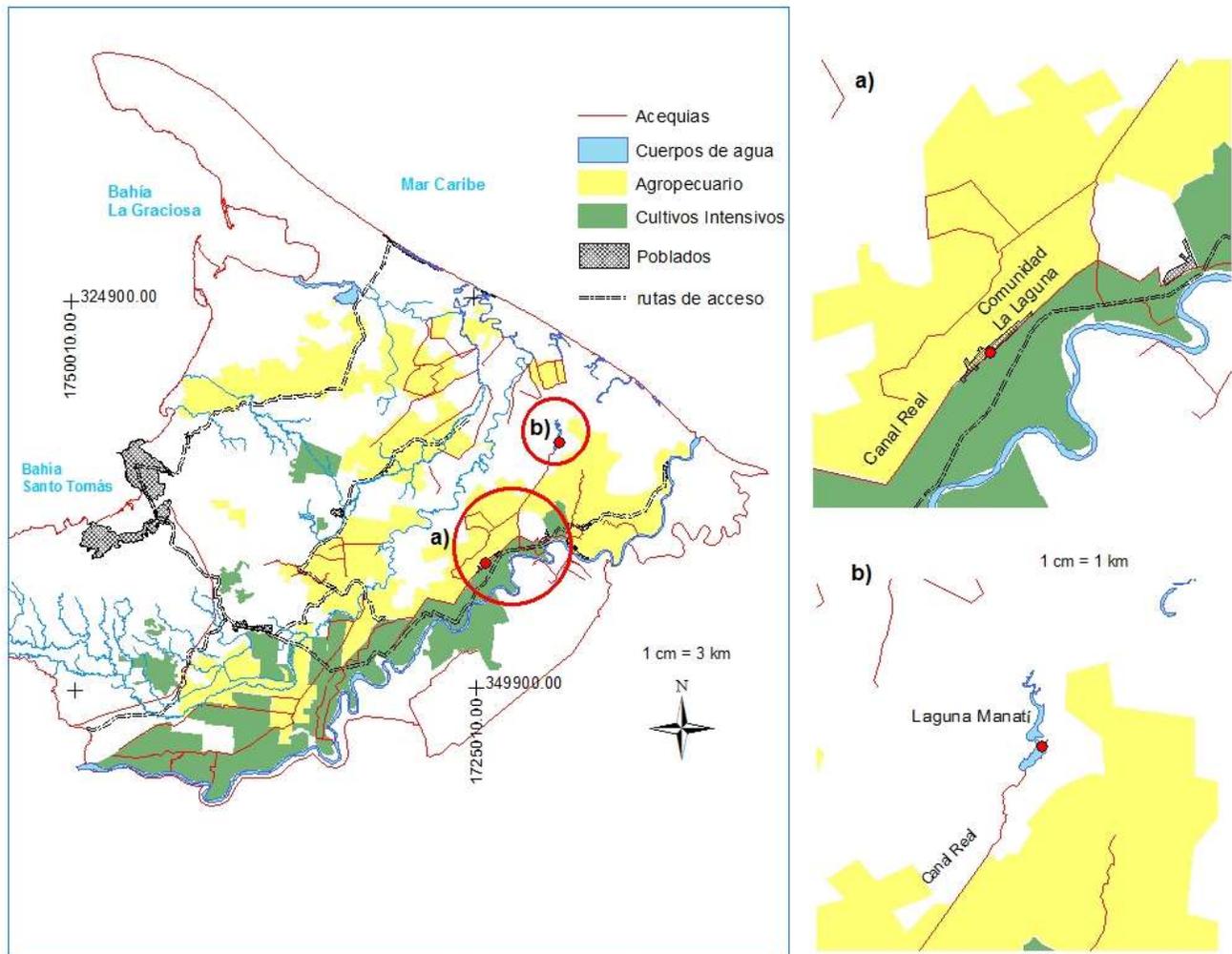
Al día siguiente se ingresó por medio de lancha por el Canal hasta la laguna Manatí, donde se obtuvieron muestras de sedimentos para análisis de contenido de plaguicidas persistentes. Las muestras fueron enviadas a los laboratorios especializados del CIRA-UNAN, y además fueron enviadas a laboratorios comerciales nacionales (duplicado) para poder comparar entre los resultados reportados entre los laboratorios.

Los resultados obtenidos en laboratorios nacionales en los cuales se analizó la presencia de residuos de Piretroides, se obtuvo Clorotalonilo en la muestra de agua del Canal Real con una concentración de 0.08 µg/l (INLASA, 2013).

Además del agua del Canal Real, se tomó una muestra de agua de uno de los quineles que transporta agua residual de las plantaciones de banano, el agua al momento del muestreo presentaba apariencia aceitosa. Fue tomada una muestra de agua de dicho quinel, la cual presentó 0.22 µg/l de Clorotalonilo (INLASA, 2013).

En las muestras de sedimentos y en las muestras de músculos de peces muertos y en alto grado de descomposición, no se reportaron contaminantes presentes (INLASA, 2013).

Los acontecimientos registrados se corresponden con la información que los líderes y lideresas entrevistadas proporcionaron en su momento.



**Mapa 33.** Sitios que presentaron contaminantes persistentes en agua y en sedimentos durante la cuarta comisión en noviembre del 2013

Las muestras de agua de los pozos (tabla 15) fueron analizadas en laboratorios nacionales, no presentaron residuos de plaguicidas en los resultados de los análisis. Los sedimentos (tabla 16) del resto de sitios muestreados en la cuarta comisión, no

presentaron residuos de plaguicidas en los laboratorios nacionales donde fueron analizadas las muestras.

Se enviaron cuatro duplicados de muestras hacia los laboratorios de contaminantes orgánicos del Centro para la Investigación de los Recursos Acuáticos de Nicaragua CIRA-UNAN. Se reportaron plaguicidas persistentes en sedimentos del Canal Real, los resultados se resumen a continuación:

“De todos los grupos de plaguicidas analizados en las muestras de sedimento únicamente se logró establecer la presencia de compuestos pertenecientes al grupo de insecticidas organoclorados persistentes” (Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos CIRA, 2014) ([Anexo 7](#)).

“Las concentraciones de los plaguicidas Lindano y pp-DDE encontradas en la muestra de sedimento del sitio Pte. Canal Real (mapa 33), están por debajo de los niveles guía recomendados en las directrices Canadienses de calidad de los sedimentos para la protección de la vida acuática; por lo que es muy poco probable que estos compuestos en las concentraciones encontradas, puedan llegar a ocasionar algún efecto adverso sobre la población que habita en la fase sedimentaria” (Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos CIRA, 2014).

“Por falta de un valor guía no es posible evaluar el impacto sobre la comunidad acuática que podría ocasionar el insecticida Endosulfan I encontrado en el Pte. Canal Real” (Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos CIRA, 2014).

**Cuadro 17.** Resultados obtenidos de muestras de sedimentos analizadas en laboratorios de contaminantes orgánicos del CIRA-UNAN.

Identificación de la muestra	Sitio	Analitos	Concentración (µg/kg)	Canadian environmental quality guidelines (update, 2002)
				PEL (µg/kg)
Sta Isabel	Laguna Santa Isabel	AND	-	-
Lag. Esc. 1	Laguna Escondida	AND	-	-
Pte. Canal Real	Canal Real, cerca de la comunidad La Laguna	Lindano	0.11	1.38
		pp-DDE	0.35	6.75
		Endosulfan I	0.23	S.R.
0,081N	Laguna Manatí	AND	-	-

Claves:

SR = Sin Referencia

AND = Analizado pero no detectado

PEL = Nivel probable de efectos

## Discusión de Resultados

El ingreso de agua dulce al sistema marino costero ubicado en la línea de la costa que recorre el Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique RVSPM, tiene posibilidades de presentar aguas residuales ordinarias y especiales, originadas desde la salida del río Motagua hasta la Laguna San Francisco del Mar.

Durante la época seca, dentro del RVSPM aportan agua continental al mar caribe los principales ríos que son: el río Motagua, río San Francisco, río Piteros a través de la Barra de Jaloa, que lleva la mezcla del río San Francisco y Piteros, permanentemente abierta al igual que el río Motagua.

Los principales esteros que en época lluviosa abren sus barras son: Estero Motagua Viejo, Estero Guinea, Barra San Francisco del Mar.

La zona de estudio presenta precipitación pluvial de 286.5 milímetros mensuales de acuerdo a la información publicada por el INSIVUMEH (INSIVUMEH, [www.insivumeh.gob.gt](http://www.insivumeh.gob.gt), 2014), la lluvia mensual genera escorrentías que son distribuidas en diversos quineles, llevando consigo aguas residuales de tipo especial y ordinarias. Una parte de esa agua arrastra fertilizantes como el fósforo y por medio de infiltración puede afectar las aguas subterráneas cercanas.

En el caso de los pozos analizados en el estudio, presentaron valores de turbidez cercanos a los límites de la Norma guatemalteca para agua de consumo humano, también presentó valores de Orto Fosfatos por encima de lo que se puede catalogar como aguas naturales. La presencia de este fertilizante en aguas sub-superficiales es una primera señal del transporte por medio hídrico de agroquímicos, que llegan al agua de los pozos cercanos a las zonas de fertilización de plantaciones intensivas.

Los valores de  $PO_4$  encontrados en todos los pozos analizados en época seca exceden por mucho 0.1 mg/l ó 100  $\mu$ g/l, los valores que caracterizan a aguas politróficas (con intervención) según la clasificación propuesta por Vollenweider, 1968 tomado de (Roldán Pérez, 2008). La temperatura es cercana a 30 grados Celsius en todos los pozos. Lo cual

puede suponer alta actividad de oxidación y una disposición limitada de oxígeno disuelto asociada.

Las condiciones de temperaturas elevadas son más críticas en las aguas superficiales, superando los 30 grados Celsius en todos los puntos de monitoreo, lo cual hace posible las condiciones de oxidación y disminución del oxígeno disuelto. Los valores de oxígeno disuelto no superaron los 6 mg/l en todas las lagunas costeras que fueron monitoreadas.

En estas lagunas costeras la presencia de picos grandes en los cromatogramas de los análisis de plaguicidas permite pensar que se presenta un efecto de acumulación (por el cierre de las barras en época seca lo que implica una tasa de recambio de agua muy lenta) que eleva las magnitudes de los picos encontrados, a comparación con las de sedimentos de la salida del río Motagua con una tasa de recambio constante.

Los picos de los cromatogramas con mayores magnitudes de área bajo la curva se presentaron en los sistemas influenciados por la barra de Jaloa (salida del río Piteros y San Francisco), en la Laguna Escondida, Laguna San Francisco (cuya barra se abre en época de lluvia). Esto indica que estos lugares pueden presentar mayor contaminación por la sustancia que sugiere no ser un plaguicida.

Según los reportes de los laboratorios de la Universidad del Valle, hay altas probabilidades que la sustancia que genera los picos puede tratarse de Diethyl Phtalato. Esta sustancia sintética es utilizada en la elaboración de plásticos más flexibles, también en cosméticos, fabricación de insecticidas y aspirinas. Puede acumularse en peces y conchas que vivan en aguas contaminadas con esta sustancia. Se encuentra entre las últimas 248 de un listado de 1,430 sustancias priorizadas por EPA (Agencia de protección ambiental), ATSDR menciona que esta sustancia no está clasificada como carcinógena para humanos, aunque no se han realizado estudios a profundidad (Agency for toxic substances and disease registry, 2010).

Durante la segunda etapa de monitoreo la entrada de la temporada lluviosa contribuyó con un aporte mayor de agua dulce al sistema marino costero del Caribe guatemalteco. La barra del Estero Guinea se abrió y esto generó un intercambio de aguas continentales mucho más homogéneo a lo largo de la costa, desde la desembocadura del río Motagua, hasta la barra de la Laguna San Francisco.

Se reportaron valores muy bajos de oxígeno disuelto, tanto en la superficie como en el fondo de la columna de agua. Estos resultados pueden indicar el impacto que genera la descarga de aguas acumuladas o estancadas durante mucho tiempo, y son liberadas en momentos extremos de inundación y marea. Los valores de oxígeno disuelto reportados pueden generar estrés y la exposición a largo plazo puede causar mortalidad y migración en los peces hacia zonas con mejores condiciones hasta que la laguna recupere sus condiciones homeostáticas.

Las aguas poco oxigenadas llevan consigo huellas de agroquímicos, como lo son el Nitrato ( $\text{NO}_3$ ) y el Fósforo ( $\text{PO}_4$ ). Estas lagunas han sido alcanzadas por aguas residuales que se dirigen por medio de quineles y canales; con el propósito de drenar fincas de ganadería y desaguar escorrentías de plantaciones agrícolas intensivas. Pueden permanecer un período de tiempo largo sin que su barra se abra, y presentar valores elevados de estos agroquímicos, tal como es el caso del Estero Motagüilla que presentó 147 mg/l de  $\text{NO}_3$ , 44 mg/l de  $\text{NO}_4$ , y 12 mg/l de  $\text{PO}_4$ .

Se observa un efecto de dilución sobre todo en las aguas de la desembocadura del río Motagua, donde los valores de  $\text{PO}_4$  se reducen de 2mg/l en la zona de influencia de aguas continentales, a 0.8 mg/l en la zona con influencia de aguas marinas. El mismo efecto se observó en la barra de Jaloa y en la barra de la Laguna San Francisco como se muestra en el mapa 7. Aunque en la Laguna San Francisco la presencia de Nitratos fue en un rango bajo, puede ser por su lejanía de este cuerpo de agua a zonas agrícolas y por sus condiciones de oxidación.

En toda la vertiente que desemboca al Mar Caribe y en el Canal Inglés, se manifestó acumulación de materia orgánica con mayor proporción en Laguna San Francisco, Barra del río Motagua, Motagüilla, Canal inglés y Jaloa. El Canal inglés y Jaloa pueden estar

afectados por aguas residuales especiales de origen ganadero, debido a la constante irrigación de terrenos dedicados a ganadería.

La presencia de Amonio y Fósforo en el Canal inglés, debe ser una señal de alerta pues indica que las aguas residuales de origen especial pueden estar alcanzando la vertiente de la bahía La Graciosa, a través de la Laguna Santa Izabel. El análisis de las muestras de sedimentos para analizar la presencia de plaguicidas persistente, sugiere que no se encontraron residuos en ninguna muestra, pero los cromatogramas reflejaron la presencia de los picos característicos que se encontraron en la primera jornada de muestreo.

Fueron reportados dichos picos además en los cromatogramas de los resultados del análisis de contenido de plaguicidas fosforados y piretroides en agua. Tanto en la matriz agua como en el sedimento se da la presencia de estos picos, lo cual puede sugerir que la sustancia responsable pueda estar presente en ambas matrices.

La acumulación de lluvia y la presencia de la misma durante la tercera jornada de monitoreos y muestreos en el mes de octubre del 2013, activó el sistema local de drenajes, mostrando una eficiencia buena para drenar las escorrentías. Este mecanismo es responsable de generar en las aguas, tiempos de residencia cortos. Lo cual se hace evidente por medio de los resultados obtenidos, de Amonio y Ortofosfatos. También puede ser una razón por la cual los valores de grasas y aceites se encontraron por debajo del rango de detección.

A diferencia de los Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos, Hidrocarburos totales fueron reportados presentes en las muestras de aguas naturales, en los mismos sitios donde no fueron reportados en sedimentos. Esto permite pensar que la presencia de estos contaminantes fue reciente al momento de muestreo. Llama la atención y genera alarma el hecho de reportar la presencia elevada (760 mg/l) en las aguas del Canal Inglés, sugiere que estos contaminantes podrían transportarse y acumularse dentro de la laguna Santa Izabel, en la Bahía La Graciosa.

El ecosistema de la Laguna Santa Izabel, ha mostrado una serie de parámetros de calidad que reflejan su estado actual, delicado y con mucho riesgo debido a que el agua ha

reportado valores elevados de Hidrocarburos totales y valores muy bajos de potencial de óxido reducción, esto podría generar condiciones anóxicas y demandas elevadas de oxígeno, que afecten la respiración de la fauna local.

El agua de los pozos fue monitoreada en octubre del 2013 y sus aguas presentaron menores concentraciones de agroquímicos como Nitratos y Fósforo. La influencia de la temporada de lluvias pudo aumentar el flujo sub-superficial y con ello, las aguas se diluyeron. Esto podría indicar que la calidad de esta agua, está sujeta al transporte de sustancias que se incorporan al agua pluvial que hace contacto con el suelo y lo que hay en él, y luego puede infiltrarse y alcanzar las aguas subterráneas.

Posteriormente a realizar una purificación de los extractos de las muestras que presentaron picos, el análisis en instrumentos especializados del CIRA-UNAN reveló que dichos picos no estaban presentes, lo cual sugiere que no se puede asociar la presencia de estos indicadores cromatográficos con la presencia de alguna sustancia sintética, sino que con aspectos metodológicos e instrumentales.

Durante la salida de la temporada de lluvias del año 2013, durante el mes de noviembre fue realizada la cuarta jornada de monitoreo y muestreo. En ella se pudo constatar que las aguas superficiales presentan zonas claramente definidas con influencia salina, dentro de un sistema que consta de aguas salobres y tiene mayor influencia de aguas marinas sobre la costa del Caribe, en cambio dentro del sistema de Bahías, se manifiesta menor interacción con aguas marinas y se puede suponer un mayor tiempo de residencia de las aguas.

Los indicadores utilizados para definir el grado de contaminación por aguas residuales contenidas de Ortofosfatos y Amonio muestran que en la zona que recibe aguas residuales ordinarias del municipio de Puerto Barrios y Santo Tomás, la presencia de estos indicadores es más difusa ya que los valores se presentaron en menor concentración, tomando en cuenta que no se midió un sitio puntual, sino la mezcla de las aguas naturales con las escorrentías urbanas.

Los valores reportados de Amonio en el Canal Inglés rebasan el valor guía de las normas canadienses para la protección de la vida acuática para un pH de 8 (1.37 mg/l).

Frente al muelle municipal de Puerto Barrios y frente a las costas de la bahía Santo Tomás se manifestaron valores de Ortofosfatos mayores en la zona demersal, indicando precipitación de fósforo y posible acumulación sedimentaria. Este fenómeno se manifiesta también en el interior de los esteros, mostrando estratificación en la columna de agua, tanto del contenido de fósforo, como en la salinidad mostrando valores mayores en el fondo.

Lo contrario se pudo observar en la salida de las barras del río Motagua y Jaloa, en donde las concentraciones mayores se manifestaron en las aguas dulces de la superficie, indicando que estas aguas sirven como transporte de este químico hacia aguas salinas.

Los valores de ortofosfatos encontrada en el agua de los pozos aumentaron con la salida de la época de lluvia. Este acontecimiento refleja por una parte la constante carga de fósforo sobre el suelo y por otra parte la facilidad de transporte por medio sub-superficial. Además es evidencia de un efecto de acumulación, con la reducción de agua pluvial.

El agua del pozo Media Luna presentó valores por encima de la Norma guatemalteca para la calidad del agua de consumo humano en el parámetro de Nitratos  $\text{NO}_3$ , derivado posiblemente del arrastre de aguas cargadas con fertilizante agroquímico.

El acceso al agua actualmente en las comunidades, aldeas y caseríos que están alejados del casco urbano del municipio de Puerto Barrios no llega a tener calidad de consumo. Ya que las personas cuentan con el recurso, a través de pozos domiciliarios, pero el agua no puede ser consumida debido a su mala calidad química.

La inversión económica necesaria para el consumo de agua purificada se incrementa, conforme lo hace la distancia de la comunidad hasta el casco urbano.

Los problemas más comunes de salud se relacionan con el manejo inadecuado de aguas residuales, como lo es el dengue. En algunas comunidades se dan casos especiales de

afecciones gastrointestinales por el consumo de agua contaminada, caída del cabello por métodos de clarificación del agua con cal, alergias y afecciones en la piel.

El agua de la lluvia constituye un recurso vital para las comunidades Media Luna, Las Vegas, Swiche3, Quetzalito, Quineles, La Laguna, entre otras, suman más de 2 100 personas que sustituyen la carencia del servicio municipal de agua potable por la carencia de recursos para adquirir agua potable por compra directa.

La carencia de un sistema de saneamiento adecuado de las aguas residuales y el manejo de los desechos, también contribuye a la contaminación del sub-suelo y con ello, a la pérdida de calidad de las aguas naturales que pueden ser fuente de consumo.

A nivel urbano, en el municipio de Puerto Barrios se tiene garantía del servicio de agua potable, más no el de saneamiento, ya que las aguas residuales son dirigidas crudas hacia la bahía. Por parte de la municipalidad no se cuenta con información escrita que detalle la cobertura, la calidad y los accesos al agua, para las poblaciones del área rural del municipio.

Por lo tanto se puede pensar que el sistema de tratamientos de aguas residuales no existe a nivel urbano ni rural, esto indica que las aguas crudas, que pueden llevar desde insecticidas domésticos para erradicación de plagas de zancudos y moscas, hasta insecticidas, nematicidas, fungicidas, herbicidas de uso agrícola y pecuario.

El agua de los pozos de más de 300 pies de profundidad ha sido evaluada anteriormente y ha presentado huellas de plaguicidas, según lo comentan los líderes de las comunidades. Siendo la compañía de Banano la que utiliza prácticas de fumigación constantemente y utiliza avión para fumigar las plantaciones. Los costos estimados para el acceso al agua de consumo humano de forma promedio en todas las comunidades suma Q2,000.00 del costo de un envase plástico de acopio, Q60.00 envase de agua retornable (2 garrafones cada 3 días / 5 personas), el costo del agua por litro es de Q0.87 y el consumo diario por persona puede ser hasta de 2.6 litros (aunque lo recomendado por la OMS sea casi el doble) sumando un total de Q2.30 diarios por consumir agua comercial. Al mes constituye un costo de Q70.00.

En contraste a esta estimación; en la cabecera municipal de Puerto Barrios, los vecinos del área urbana tienen acceso a 1000 litros diarios de agua potabilizada conforme la normativa COGUANOR 2029001 para agua de consumo humano, por un costo de Q65.00 (Rivas, 2013). El costo por litro es de Q0.07.

El agroquímico comercialmente conocido como Manzate, es utilizado en el área de estudio, el cual tiene ingrediente activo Mancozeb que presenta una toxicidad alta para peces, con una LC50 96<sup>3</sup> horas para Bluegill Sunfish de 1.0 mg/l (Westrade, 2009). Para el mismo ingrediente activo, PPDB indica 0.074 mg/l como valor de contaminación aguda LC 50 96 horas para peces y 0.0022 mg/l como valor de contaminación crónica NOEC 21 días (Pesticide Properties Data Base, 2004).

La presencia de Clorotalonilo (0.00008 mg/l) en el agua del canal al que drenan todos los quineles de las plantaciones de banano y palma fue con valores elevados, conforme los valores de la base de datos de las propiedades de pesticidas PPDB, una concentración de 0.038 mg/l puede causar efectos agudos en peces LC50 96 horas. Y contaminación crónica una concentración de 0.003 mg/l NOEC<sup>4</sup> 21 días (Pesticide Properties Database, 2004). Para invertebrados acuáticos, PPDB asume los siguientes valores límites; 0.084 mg/l LC50 48 horas en invertebrados acuáticos, 0.009 mg/l NOEC 21 días.

Conforme los valores encontrados, se puede esperar efectos crónicos en peces, lo cual sucedió y fue registrado. La corriente transportaba peces muertos en estado de descomposición, en el momento del muestreo. Se podrían esperar efectos iguales para la fauna bentónica de macroinvertebrados acuáticos.

En uno de los quineles que transportan escorrentías o aguas residuales especiales de las plantaciones de banano y que llegan al Canal Real, se tomó una muestra de agua un día después de este acontecimiento de mortalidad de peces en el canal. La concentración de Clorotalonilo reportada fue de 0.0022 mg/l, muy cercano a los valores guía recomendados

---

<sup>3</sup> Dosis letal para el 50% de la población en 96 horas de exposición.

<sup>4</sup> Concentración a la cual no se observan efectos.

por PPDB. El contacto con agua contaminada con este pesticida puede causar irritación de los ojos y alergias en la piel de las personas que se exponen a este agroquímico.

El Clorotalonil posee un factor de bioconcentración de 100 y una CT50 de 5 días. Tiene mas capacidad de degradación en el suelo (22 días) que en el agua por fotólisis (65 días pH7) (Pesticide Properties Database, 2004).

Los proveedores nacionales admiten esta toxicidad elevada, pero no presentan los valores guías ni los efectos probables en el ambiente, el distribuidor menciona en la ficha técnica que el producto puede generar Cloruro de Hidrógeno como producto nocivo de descomposición (DUWEST, 2009). Lo anterior podría ser una razón del aumento de este anión en aguas subterráneas.

La presencia de residuos de plaguicidas organoclorados persistentes como Lindano, pp-DDT y Endosulfán en los sedimentos del Canal Real, confirman la huella de plaguicidas persistentes y su sistema de transporte. En la Laguna Santa Izabel, laguna Manatí y laguna Escondida no fueron reportados plaguicidas organoclorados, ni organofosforados ni otros compuestos. Lo cual puede sugerir que el origen de estos agroquímicos residuales se da en las plantaciones de banano y de palma que drenan sus aguas hacia el canal real.

La presencia de estos plaguicidas persistentes y prohibidos en el caso de DDT y Lindano (Cáceres Paz, 2004), en un sistema lótico de poca residencia y en época de lluvia, puede representar contaminación difusa, diluida y reciente. Los resultados indican el uso de sustancias prohibidas por el MAGA y de alta persistencia.

Las aguas que transportan estos contaminantes, desembocan en la laguna Manatí, la cual tiene conexión indirecta con el sistema de humedales, Estero Motagua Viejo, Estero Motagüilla y posiblemente Estero Guinea. Ya que se localiza a menos de 5 km. de distancia y el terreno es anegado la mayor parte del año. En el presente estudio no se analizó la presencia de plaguicidas persistentes con los laboratorios del CIRA-UNAN para analizar los sedimentos de estos sitios.

## Conclusiones

1. La diversidad de plaguicidas y pesticidas utilizados en la zona de influencia del área de estudio que fueron reportados mediante el presente estudio se puede expresar por medio de los ingredientes activos reportados los cuales son: Mancozeb (Manzate), Clorotalonil, Lindano, DDT, Endosulfán. No se tuvo acceso a los nombres comerciales de la mayoría de ellos debido a que la información no está disponible.
2. De forma disuelta en el agua del Canal Real, se reportó la presencia de Clorotalonil, en concentraciones que pueden causar efectos crónicos en invertebrados acuáticos y peces. La presencia de este agroquímico coincidió con la mortalidad masiva de peces en el mismo cuerpo de agua. En el agua de los esteros y de los pozos no se reportó presencia de plaguicidas persistentes. Aunque el peligro de contaminación y propagación de las aguas derivadas por el Canal Real amenaza esteros como Motagua Viejo, Motagüilla y Guinea.
3. Los sedimentos del Canal Real presentaron residuos de plaguicidas persistentes, de tipo organoclorados en concentraciones menores que los valores guía canadienses para la protección de la vida acuática. Estos sedimentos son sistemáticamente transportados por el canal hasta la laguna Manatí, donde no se encontraron residuos de estos. Esto puede sugerir que en condiciones climáticas extremas, la inundación y el arrastre de sedimentos del canal puede transportar estos contaminantes hasta los ecosistemas marino-costeros, por la distancia corta entre sí.
4. Alrededor de 2100 personas de las comunidades que viven rodeadas de las plantaciones de banano y de palma no tienen acceso al agua potable, debido a que el agua de sus pozos no cumple con la calidad normada por COGUANOR 2029001, en parte a causa del transporte de agroquímicos infiltrados en el suelo y que alcanzan aguas sub-superficiales.
5. El valor económico por el acceso al agua potable en las comunidades cercanas a las áreas de agricultura intensiva supera más de 10 veces el valor económico asignado en la zona urbana. Este representa el costo más sensible y el punto de partida para otras problemáticas relacionadas con la sanidad y salud.

6. Todos los sitios analizados presentaron evidencia de contaminación por aguas residuales especiales cargadas de nutrientes como el fósforo y en nitrógeno. La presencia en abundancia de estos agroquímicos puede ser un indicador del arrastre de desechos que puede ingresar por diversas rutas y afectar la zona marino costera del RVSPM.
7. Los análisis de laboratorios nacionales no detectaron plaguicidas donde sí lo hicieron laboratorios internacionales, además de diferir en la metodología de purificación y limpieza de muestras, y aunque con ello se generaron conjeturas que no podrán resolverse en este estudio, los resultados y la comparación entre las metodologías empleadas pueden dar lugar a nuevos campos de especialización e investigación de los laboratorios nacionales.
8. La contaminación y el uso indiscriminado de agroquímicos en zonas cercanas a las áreas de protección especial del RVSP ponen en riesgo la diversidad de los ecosistemas acuáticos, por el arrastre de materia orgánica, nutrientes, plaguicidas y pesticidas a través del sistema de drenajes (quineles) que se ha implementado en la zona y que se activa con la temporada de lluvias.
9. Las aguas residuales de la vertiente del mar Caribe que se mezclan con el agua marina presentaron valores más elevados de Amonio, Nitratos y Ortofosfatos, que los registrados en la vertiente de la Bahía Santo Tomás, esto confirma cuantitativamente el aporte de aguas residuales especiales, mostrando dilución en época lluviosa y acumulación en la salida de la temporada.

## Recomendaciones

- Realizar esfuerzos inter-institucionales para controlar los agroquímicos utilizados, las cantidades y el respeto de las restricciones y prohibiciones en las zonas productivas que se ubican dentro del RVSPM. Generar una base de datos disponible al público, donde se informe de los hallazgos y las sustancias peligrosas.
- El Canal Real debe ser tomado en cuenta como un cuerpo de agua receptor de aguas residuales que transporta contaminantes hacia la laguna Manatí. Es recomendable que se monitoree las descargas de los quineles y en el caso en que las aguas no presenten las características expresadas en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 correspondiente a aguas residuales, se deberá aplicar un sistema de remediación antes de llegar al canal.
- Se recomienda monitorear la cuenca alta y la cuenca media del río San Francisco como indicador de cambio en la calidad del agua por razones atribuibles a aguas residuales de la zona de producción intensiva de palma africana y aceite de palma. Utilizando los puntos de monitoreo que se utilizaron en el presente estudio.
- Es necesario ubicar la naciente del río Piteros y monitorear la calidad del agua en dicho punto. Se necesita realizar esfuerzos con los propietarios actuales de los terrenos utilizados para ganadería, para realizar campañas de reforestación de los quineles, tomando en cuenta que el cauce natural de dicho río ha sido alterado en su desembocadura.
- Es necesario realizar esfuerzos consensuados para que el agua de consumo humano en las comunidades, no este limitado por las aguas residuales de las actividades productivas, la contaminación local por falta de drenajes y sistemas de saneamiento. Involucrando la iniciativa pública y privada, para garantizar el derecho humano al agua potable, a la población que no tiene acceso actualmente.
- Es recomendable que las autoridades municipales realicen un análisis de oferta/demanda del servicio de agua potable y saneamiento en las comunidades que actualmente lo demandan, y que extiendan los servicios de la empresa municipal hacia donde es necesario.

- Realizar revisiones sistemáticas de los EIA de las industrias agrícolas y pecuarias que drenan sus aguas residuales dentro del RVSPM, para poner en evidencia en el caso pertinente, un sistema depurativo o de remediación de las aguas, antes de ingresar a cuerpos de agua dentro de la zona de protección especial.
- Un sistema de monitoreo ambiental constante y sistemático es necesario aplicar en todos los sistemas hídricos del RVSPM, tanto en la vertiente de las bahías, como en el mar Caribe, tomando como referencia laboratorios certificados internacionales por lo menos con 30 años de experiencia.
- Es necesario implementar sistemas de remediación de aguas residuales en las fincas de plantación de palma africana y banano, así como en las fincas de ganadería, para reducir la carga de nutrientes aportados a las aguas naturales dentro del RVSPM, ya que la acumulación de los mismos podría reducir la diversidad de organismos acuáticos.
- Se recomienda realizar bio-monitoreos asociados a los monitoreos de la calidad del agua en los sistemas hídricos del RVSPM, para evaluar la respuesta de los organismos a las condiciones expuestas y determinar zonas críticas que necesiten atención prioritizada.

## Bibliografía

1. Agency for toxic substances and disease registry, A. (20 de 07 de 2010). *ATSDR*. Recuperado el 18 de 07 de 2014, de Agency for toxic substances and disease registry: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=602&tid=112>
2. Cáceres Paz, V. R. (Noviembre de 2004). Analisis de los plaguicidas restringidos o prohibidos en países miembros de la región aduanera Centroamericana. México, Montesillo, Texococo: Colegio de Postgraduados, Instituto de Fitosanidad, Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas.
3. Carrillo Ovalle, L. (2000). *Evaluación del recurso pesquero y Oceanografía del Atlántico guatemalteco durante el año 2000*. Guatemala: Dirección General de Investigación DIGI-USAC.
4. Centro para la investigación en recursos acuáticos, C. U. (2014). *REPORTE DE RESULTADOS ANALITICOS DE PLAGUICIDAS*. Laboratorio de Contaminantes Orgánicos.
5. CONRED. (22 de 5 de 2013). Recuperado el 18 de 03 de 2014, de [http://www.conred.gob.gt/www/index.php?option=com\\_content&view=article&id=4573:mapas-de-acumulacion-de-agua-en-el-suelo-22-de-mayo-de-2013&catid=40:mapa-de-acumulacion-de-agua&Itemid=104](http://www.conred.gob.gt/www/index.php?option=com_content&view=article&id=4573:mapas-de-acumulacion-de-agua-en-el-suelo-22-de-mayo-de-2013&catid=40:mapa-de-acumulacion-de-agua&Itemid=104)
6. DUWEST. (2009). *Duwest*. Recuperado el 2014, de <http://www.duwest.com/contenido.php?ctg=3511-638-1497&secc=4161&p=7>
7. Guevara Guerra, A. (1996). *Control de Calidad del Agua, Métodos de Análisis para la medición*. Lima, Perú: OPS/CEPIS.
8. IICA, I. I. (2006). *Cultivo de la Palma Africana, guía técnica*. Nicaragua.
9. INLASA. (2013). *Informe de Resultados*. Investigación Laboratorio Análisis Servicio Accesorios, Guatemala.
10. INSIVUMEH, M. D. (6 de 2013). Recuperado el 2014, de [http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/climaticos/climatico\\_m\\_03072013.pdf](http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/climaticos/climatico_m_03072013.pdf)
11. INSIVUMEH, M. D. (04 de 2013). *www.insivumeh.gob.gt*. Recuperado el 18 de 03 de 2014, de [http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/climaticos/climatico\\_m\\_06052013.pdf](http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/climaticos/climatico_m_06052013.pdf)

12. MARN, M. d. (s.a.). Recuperado el 2014, de  
[http://www.marn.gob.gt/sub/portal\\_estocolmo/plaguicidas.html](http://www.marn.gob.gt/sub/portal_estocolmo/plaguicidas.html)
13. Monterroso, D., & Pareja, M. (1985). *Inventario de los Problemas Fitosanitarios de los principales cultivos de la república de Guatemala*. Guatemala: CATIE/ROCAP.
14. Nely, B. (8 de 10 de 2013). Ama de Casa. (A. Herrera, Entrevistador)
15. Ortega, N. (8 de 10 de 2013). Guardarecursos, CONAP. (A. Herrera, Entrevistador)
16. Pesticide Properties Database, P. (13 de 05 de 2004). *PPDB de la A a la Z Lista de los Plaguicidas ingredientes activos* . Recuperado el 2014, de  
<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/es/>
17. Rivas, J. R. (2013). Empresa Municipal Agua Potable. (A. Herrera, Entrevistador)
18. Roldán Pérez, G. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Antioquía: Universidad de Antioquía.
19. Ruiz, R. (8 de 10 de 2013). COCODE. (A. Herrera, Entrevistador)
20. SESAN. (10 de 2013). Recuperado el 2014, de [www.sesan.gob.gt](http://www.sesan.gob.gt) y en [www.siinsan.gob.gt](http://www.siinsan.gob.gt)
21. SESAN. (12 de 2013). Recuperado el 2014, de  
[http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/climaticos/climatico\\_m\\_01122013.pdf](http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/climaticos/climatico_m_01122013.pdf)
22. Vasquez, J. A. (10 de 2013). COCODE. (A. Herrera, Entrevistador)
23. Westrade, G. (2009). *Duwest Inc*. Recuperado el 2014, de  
<http://www.duwest.com/contenido.php?ctg=3511-638-1497&secc=4161&p=7>

## Anexos

Anexo 1. Entrevistas individuales y colectivas (adjuntas en CD).

Anexo 2. Cromatogramas de los análisis de muestras de todas las comisiones

Anexo 3. Resultados de análisis de extractos de muestras en CIRA-UNAN

Anexo 4. Profundidad de monitoreo de parámetros de calidad del agua.

Nombre	Profundidad de muestra mt	Nombre	Profundidad de muestra mt	Nombre	Profundidad de muestra mt
Muelle	0	Eguinea	0	Jaloa 2	6
Muelle	1	Eguinea	2.5	Jaloa 3	0
Muelle	2	Eguinea	5	Jaloa 3	2
Muelle 2	0	Eguinea2	0	Jaloa 3	10
Muelle 2	5	Eguinea2	2.75	Sn Fco 1	0
Muelle 2	11	Eguinea2	5.5	Sn Fco 1	2
Muelle 3	0	Eguinea 3	0	Sn Fco 1	19
Muelle 3	2	Eguinea 3	1.8	Sn Fco 2	0
Muelle 3	4	Eguinea 3	3.6	Sn Fco 2	2
Stom 1	0	Motaguilla 1	0	Sn Fco 2	11
Stom 1	1.5	Motaguilla 1	1.25	Sn Fco 3	0
Stom 1	3.5	Motaguilla 1	2.5	Sn Fco 3	1.25
Stom 2	0	Motaguilla 2	0	Sn Fco 3	2.5
Stom 2	3	Motaguilla 2	2.25	Eguinea 1	0
Stom 2	6	Motaguilla 2	4.5	Eguinea 2	2
Stom 3	0	Motaguilla 3	0	Eguinea 3	10
Stom 3	4.5	Motaguilla 3	1.5	Eguinea 2b	0
Stom 3	9	Mot Viejo	0	Eguinea 2b	2
Stom 4	0	Mot Viejo	1.5	Eguinea 2b	10
Stom 4	3	Mot Barra	24	Eguinea 3b	0
Stom 4	6	Mot Barra	12	Eguinea 3b	2
Stom 5	0	Mot Barra	0	Eguinea 3b	10
Stom 5	1	Mot Barra 2	0	Lag Escondida	0
Stom 5	2	Mot Barra 2	2	Lag Escondida	2
Man B	0	Mot Barra 2	10	Lag Escondida	1
Man B	15	Mot Barra 3	0	Sal Pit	0
Man B	30	Mot Barra 3	2	Sal Pit	2
ManB2	0	Mot Barra 3	10	Sal Pit	8.6
ManB2	2.5	Muelle 4	2	Jaloa 1	0
ManB2	5	Muelle 4	5	Jaloa 1	2
Isa 1	0	Muelle 5	0	Jaloa 1	3
Isa 1	1	Muelle 5	2	Jaloa 2	0
Isa 1	0.5	Muelle 5	4	Jaloa 2	2
Isa 2	0	Isa 3	0	Isa 4	0
Isa 2	1.2	Isa 3	3.5	Isa 4	9
Isa 2	2.5	Isa 3	7.5	Isa 4	4.5
Muelle 4	0				

**Anexo 5.** Resultados del monitoreo de salinidad (Sal), Conductividad eléctrica (CE), y Sólidos totales en suspensión (TDS) durante el mes de noviembre del año 2013.

Superficie				Intermedio			Demersal		
id	CE (mS/cm)	Sal (mg/l)	TDS (mg/l)	CE (mS/cm)	Sal (mg/l)	TDS (mg/l)	CE (mS/cm)	Sal (mg/l)	TDS (mg/l)
Muelle	17.240	10.3	10.05	17.21	7.3	10.22	16.17	6.86	9.63
Muelle2	15.950	10	11.09	sd	24	sd	sd	33	sd
Muelle3	15.360	7.4	10.76	16.3	7.88	11.2	18.95	9.38	13.12
Stom1	15.940	8	12	16	8.1	11.2	14.8	7.45	10.2
Stom2	12.130	6.1	8.58	17.14	9.08	12.45	sd	30	sd
Stom3	13.600	6.6	9.7	19.05	9.62	sd	sd	32	sd
Stom4	13.130	6.5	9.47	sd	30	sd	14.89	7.45	10.43
Stom5	7.540	3.83	5.5	12.4	6.19	8.5	13.34	6.58	9.28
ManB	sd	27	sd	sd	34	sd	sd	32	sd
ManB2	sd	20	d	sd	24	sd	sd	30	sd
Isa1	3.140	1.5	2.3	8.6	4.07	4.9	7.02	3.53	4.9
Isa2	1.490	5	19.3	6.18	7	4.32	6.17	9	sd
Isa3	sd	10	sd	sd	20	sd	sd	30	sd
Isa4	sd	12	sd	sd	34	sd	sd	15	sd
Muelle4	sd	12	sd	sd	13	sd	sd	31	sd
Muelle5	sd	10	sd	sd	10	sd	sd	20	sd
Egui	152	0	152	166	0	153	5120	2.8	ofl
Egui2	148	0	147	198.1	0	199	3320	20.8	ofl
Egui3	160	0	155	200	0	200	238	0	238
Mtgui1	172	0	172	172	0	172	195	0	195
Mtagui2	206	0	201	262	0	262	4130	26.6	ofl
Mtagui3	232	0	225	239	0	239	219	0	219
MtV	8.5	0.171	-48	180	0	181	43.5	27.8	ofl
MtBa	219	0	219	219	0	219	46	30	ofl
MtBa2	2390	14.1	sd	40	25.6	ofl	46.3	30.2	ofl
MtBa3	3160	20.2	sd	40.4	25.9	ofl	46.3	30.3	ofl
Egui1	3140	19.7	sd	41.1	26.4	ofl	40.7	26.3	ofl
Egui2b	3050	19.1	sd	40.2	24.9	ofl	408	0.1	402
Egui3b	3100	19,2	sd	40.1	25.3	ofl	165	0	165
LEs	296	0.1	296	2.8	1	ofl	39	25	ofl
SalPit	190	0	193	164	0	165	45.6	30	ofl
Jal1	2620	16	sd	34.6	21.8	ofl	34.5	21.9	ofl
Jal2	2320	14.1	sd	36.5	22.2	ofl	44.5	29	ofl
Jal3	3430	31.7	sd	45	29.4	ofl	45.8	29.7	ofl
SnFco1	3420	21.7	sd	36	22.7	ofl	34.9	22.1	ofl
SnFco2	3510	22.3	sd	35.2	22.3	ofl			
SnFco3	3430	21.7	sd	34.7	22	ofl			

Nota: sd = sin dato; ofl = fuera de rango.

**Anexo 6.** Valores de Oxígeno disuelto (O2), Saturación de oxígeno (SatOd) y Potencial de óxido reducción (Eh), reportadas durante el mes de noviembre del año 2013.

id	Superficie			Intermedio			Demersal		
	O2 (mg/l)	SatOd (%)	Eh (mV)	O2 (mg/l)	SatOd (%)	Eh (mV)	O2 (mg/l)	SatOd (%)	Eh (mV)
Muelle	0.96	12.1	-73.2	0.9	11.4	-74.9	0.87	10.8	-71
Muelle2	7.5	97	-77.3	5.51	78.7	-67.8	4.52	51.9	-61.1
Muelle3	8.3	107	-79.6	7.16	94.2	-78.2	8.19	80.7	-75.4
Stom1	7.6	96.7	-81.9	7.5	95	-80	7.01	77.8	-79.4
Stom2	8.1	104	-86.7	6.85	91	-77.4	3.51	52	-59.6
Stom3	7.94	103.4	-88.3	6.54	85.7	-78.3	0.23	2.8	-59
Stom4	7.7	99.2	-84.2	4.2	55.4	-64	6.9	88.4	-79.1
Stom5	5.8	74.3	-50	6.9	88.4	-77.1	6.8	85	-78
ManB	7.11	94.9	-76	6.2	79.6	-73	5.7	75.5	-71.4
ManB2	6.7	78	-79	6.2	82	-77.3	5.7	70.2	-70
Isa1	1.4	17.5	10	0.62	6.8	14	2.9	35	13.4
Isa2	4.02	52	3	5.1	72	-15	5.7	72	23
Isa3	6.8	90	-62.5	5.7	75	-63	3.5	50	-57
Isa4	7.3	93	-73	4.5	57	-61	6.9	8.7	-72
Muelle4	7.9	103	-80	7.1	92	-77	3.5	51	-57
Muelle5	7.7	98	-33	7.4	93	-83	5.6	74	-73
Egui	sd	sd	-48.6	sd	sd	-32.4	sd	sd	-52.4
Egui2	sd	sd	-41.9	sd	sd	-93	sd	sd	-69
Egui3	sd	sd	-51.7	sd	sd	-37	sd	sd	-40
Mtgui1	sd	sd	-88.4	sd	sd	-62.1	sd	sd	-48.4
Mtagui2	sd	sd	-49.4	sd	sd	-96.7	sd	sd	-41.1
Mtagui3	sd	sd	-70	sd	sd	-47	2.34	29.4	-17
MtV	sd	171.1	0.4	sd	sd	-10	2.72	36.6	-85.6
MtBa	2.34	29.4	-17	2.31	29.4	-62.6	2.7	36	-92
MtBa2	2.9	38.6	-87.9	2.85	37	-75.3	2.7	36	-84
MtBa3	2.8	36	-49	2.9	38	-87	2.7	36	-85.7
Egui1	2.9	38	-86	3	38.3	-84	3	38	-100
Egui2b	2.9	38	-90.6	3	39	-86.4	0.06	0.5	-100
Egui3b	2.8	38	-80	3.2	41	-81	0.03	0.4	13
LEs	1.61	8.1	-53	0.04	0.8	-27.1	2.7	35	-72
SalPit	0.31	6	11.6	0.08	0.6	41	2.7	35	-77
Jal1	1.7	21	-72	2.8	35	-150	2.97	38.7	-82
Jal2	2.12	28	-74	2.89	38	-85	2.94	38	-81
Jal3	2.95	39	-86	3.1	40	-86	2.87	38.5	-82
SnFco1	2.9	38	-86	2.97	39.3	-86	2.88	38.9	-84
SnFco2	2.91	38.1	sd	2.94	38.6	sd			
SnFco3	2.9	37.9	-83	2.9	37.5	-85			

Anexo 7. Presentación de resultados de análisis del contenido de plaguicidas, analizado en laboratorios de contaminantes orgánicos del CIRA-UNAN.