

Agronegocios, agua y violaciones en los Derechos Humanos



ESTUDIO CIENTÍFICO SOBRE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS CULTIVOS DE CAÑA DE AZÚCAR, PALMA DE ACEITE Y BANANO EN LA CUENCA DEL RÍO MADRE VIEJA, ESCUINTLA, GUATEMALA.



INDICE

Introducción	11
1. El conflicto del agronegocio	12
1.1. El agronegocio en cifras	14
1.2. Otros factores que alimentan el conflicto	16
2. La zona de estudio	20
2.1. Geología	21
2.2. Condiciones meteoro-climáticas	22
2.2.1. Precipitación	22
2.2.2. Temperatura	23
3. Investigación sobre el acaparamiento del agua	24
3.1. Mediciones del caudal del Río Madre Vieja	26
3.2. Materiales y metodología	28
3.3. Resultados del estudio hidrológico	34
3.3.1. Mediciones en febrero	37
3.3.2. Mediciones en abril	41
3.3.3. Mediciones en agosto	42
3.4. La necesidad de definir el caudal ecológico	46
4. Estudio sobre la calidad del agua del río Madre Vieja	48
4.1. Materiales y métodos	51
4.2. Mediciones de campo con sonda multiparámetro	53
4.2.1. Temperatura	54
4.2.2. Oxígeno disuelto (OD % - mg/l)	55
4.2.3. Potencial de Óxido- Reducción (ORP Madre Vieja)	56
4.2.4. Potencial Hidrógeno (pH)	57
4.2.5. Conductividad eléctrica (CE μ S/cm)	58
4.2.6. Salinidad (S PSU - mg/l)	58
4.2.7. Sólidos Totales Disueltos (TDS mg/l)	58
4.3. Análisis de laboratorio	59
4.3.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5 mg/l)	60
4.3.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO mg/l)	61
4.3.3. Nitratos (NO3 mg/l)	61
4.3.4. Fosfatos (PO4 mg/l)	62
4.3.5. Aceites y grasas (mg/l)	63
4.3.6. Pesticidas (\leftrightarrow g/l)	63
4.4. Resultados del estudio de calidad	65
4.5. Discusión de los resultados	75

5.	Estudio sobre calidad del agua subterránea	80
5.1.	Materiales y métodos	81
5.2.	Resultados del estudio	82
6.	Evaluación del riesgo sanitario	92
6.1.	Descripción de los agrotóxicos utilizados	93
6.1.1.	Gesaprim (Atrazina)	93
6.1.2.	Round up - Flash (Glifosato)	94
6.1.3.	Hedonal (2,4-D)	95
6.1.4.	Moddus (Trinepax-ethyl)	95
6.1.5.	Mancozeb (Ethylene bis-dithiocarbamato -EBDCs)	96
6.1.6.	Tordon (Picloram -Acido 4-amino-3,5,6-tricloro-2-piridincarbossilico)	97
6.1.7.	Tega - (Estrobirulina -Trifloxystrobin)	98
6.1.8.	MCPA (Ácido 4-cloro-2 metilfenoxi)	98
6.2.	Estudios sobre daños a la salud por exposición a las actividades agroindustriales	99
6.2.1.	Impactos en la salud de los trabajadores	99
6.2.2.	Impactos en la población expuesta a diferentes formas de contaminación	102
7.	Conclusiones	106
8.	Recomendaciones	110
8.1.1.	Limitar la expansión de los monocultivos	111
8.1.2.	Reducir los desvíos	111
8.1.3.	Reforestar las orillas del río	111
8.1.4.	Reducir el uso de los agrotóxicos - Prohibición de la fumigación aérea	112
8.1.5.	Proporcionar información clara e imparcial sobre los efectos de los agrotóxicos	113
8.1.6.	Prohibición de la práctica de la quema de la caña (zafra)	113
8.1.7.	Respetar las normas nacionales	113
8.1.8.	Mayor atención médica en el territorio	114
8.1.9.	Cumplimiento de los derechos laborales	114
8.1.10.	Adoptar un plan nacional que incluya estrategias de resiliencia contra la sequía	114
8.1.11.	Presiones a los entes certificadores de Palma aceitera	115
9.	Pasos siguientes en la investigación científica	116
10.	ANEXOS	120

Figura 1:	Zonificación de la cuenca: alta, media y baja	20
Figura 2:	Permeabilidad y tasa de infiltración de los suelos de la cuenca del Río Madre Vieja	21
Figura 3:	Precipitaciones entre 2013-2017 en Puerto San José, Escuintla	22
Figura 4:	Precipitaciones entre 1973-2017 en Puerto San José, Escuintla	23
Figura 5:	Temperatura media, mínima y máxima mensual 2013-2017	23
Figura 6:	Norias en los cultivos de caña de azúcar. Lado hidrográfico derecho del Río Madre Vieja	26
Figura 7:	Molinete con hélice (izquierda) y mediciones de la velocidad del agua en campo (derecha)	28
Figura 8:	La deforestación y los monocultivos	29
Figura 9:	Sección de aforo	30
Figura 10:	Punto de muestreo C2	30
Figura 11:	Ubicación del punto de muestreo C1	30
Figura 12:	Punto de muestreo C3	31
Figura 13:	Punto de muestreo C4	32
Figura 14:	Punto de muestreo C6 y C7	32
Figura 15:	Punto de muestreo C8	33
Figura 16:	Profundidad media de la columna de agua	36
Figura 17:	Caudal del Río Madre Vieja en el mes de febrero 2018	37
Figura 18:	Desviación en el punto C6, el último antes de la desembocadura al mar	38
Figura 19:	Grandes desvíos de 7 y 11m de ancho a la altura de Almolonga	39
Figura 20:	Captación de agua con bomba desde el Río	40
Figura 21:	Caudal del Río Madre Vieja en el mes de abril 2018	41
Figura 22:	Flujo de agua en el Río Madre Vieja	41
Figura 23:	Caudal del Río Madre Vieja en el mes de agosto 2018	43
Figura 24:	Efectos en cadena de la reducción del caudal (elaboración propia)	45
Figura 25:	Riego extensivo en plantación de caña de azúcar	47
Figura 26:	Ubicación de la Finca Santa Teresa Grupo-Hame	50
Figura 27:	Ubicación de ingenios azucareros	50
Figura 28:	Parte alta de la cuenca del Río Madre Vieja	51
Figura 29:	Parte media de la cuenca del Río Madre Vieja	52
Figura 30:	Parte baja de la cuenca del Río Madre Vieja	52
Figura 31:	Sonda multiparámetro modelo Hanna	53

Cuadro 1: Puntos de muestreo del caudal hídrico.....	31
Cuadro 2: Resultados de los caudales calculados en las tres temporadas de medición a lo largo del Madre Vieja.....	35
Cuadro 3: Ubicación de los pozos donde se realizó monitoreo de calidad de agua.....	51
Cuadro 4: Plaguicidas utilizados por la agroindustria en la Costa Sur.....	64
Cuadro 5: Resultados de la campaña de febrero 2018.....	65
Cuadro 6: Resultados de la campaña de abril 2018.....	69
Cuadro 7: Resultados durante la campaña de junio.....	69
Cuadro 8: Resultados durante la campaña de julio.....	70
Cuadro 9: Resultados de la campaña durante agosto.....	70
Cuadro 10: Resultados de la campaña de septiembre.....	71
Cuadro 11: Análisis completos de fertilizantes.....	71
Cuadro 12: Resultado de análisis de diferentes compuestos - noviembre 2018.....	72
Cuadro 13: Resultados análisis de pesticidas.....	73
Cuadro 14: Resultados análisis de metales y otros elementos - noviembre 2018.....	74
Cuadro 15: Datos de campo de los pozos.....	82
Cuadro 16: Ubicación de los pozos.....	84
Cuadro 17: Tendencia de la conductividad (sin P4-P5).....	86
Cuadro 18: Resultados de análisis de fertilizantes -noviembre 2018.....	87
Cuadro 19: Resultados de análisis de diferentes compuestos -noviembre 2018.....	88
Cuadro 20: Resultados de análisis de diferentes compuestos-noviembre 2018.....	89
Cuadro 21: Resultado de análisis de metales y otros elementos - noviembre 2018.....	90

INTRODUCCIÓN

El estudio "Agronegocios, agua y violaciones en los derechos humanos en la Costa Sur", realizado por la organización Source International, es el producto de un largo estudio socio-ambiental que abarca el período entre enero 2017 y noviembre 2018. Esta es una investigación independiente que parte de un programa internacional de Global Alliance for Green and Gender Action cofinanciado por BothEnds, MamaCash y Fcam en coordinación con la organización guatemalteca Utz Che' con la cual Source International colabora desde el año 2017. Después del primer estudio piloto, desarrollado a principios del 2017, se presentó este nuevo informe que es una investigación más amplia sobre los impactos ambientales de las actividades agroindustriales de palma de aceite, caña de azúcar y banano/plátano en la cuenca del Río Madre Vieja, en el departamento de Escuintla, Guatemala. El informe se completa además con las Evaluaciones sobre los Impactos en los Derechos Humanos -EIDH- con enfoque de género desarrolladas en algunas comunidades del municipio de Nueva Concepción, Escuintla y Champerico, Retalhuleu en la Costa Sur de Guatemala.

El caso del Río Madre Vieja es una referencia en el nivel nacional, no solamente con relación al acaparamiento del agua por parte de las empresas agroindustriales, sino también como caso mediático por la continua resistencia de las comunidades frente a los múltiples desvíos que las dejan sin agua desde hace más de 25 años.

Así que mientras los agronegocios en la Costa Sur obtienen millones de dólares anualmente, la población campesina local apenas obtiene la canasta básica y se ve afectada por la escasez de agua y contaminación, entre otros datos y secuelas de las actividades agroindustriales.

El objetivo principal del estudio es investigar los daños ambientales de las actividades agroindustriales, que conllevan secuelas en los ámbitos socio-económicos y sanitarios. La información proporcionada en el estudio, busca que

los afectados puedan saber cómo sus recursos están siendo acaparados y tengan consciencia de los impactos de las actividades agroindustriales.

La investigación científica se centró en un estudio hidrológico con mediciones de caudal en el río Madre Vieja, durante las estaciones de sequía y de lluvia. Se evaluaron 8 puntos representativos a lo largo de su trayecto, para observar cómo las múltiples derivaciones de agua, desde el río hacia los monocultivos, alteran la cantidad de agua que fluye en la cuenca.

Paralelamente se evaluó la calidad del agua superficial del Río para averiguar posibles fuentes de impactos y contaminación, y se estudió la potabilidad del agua subterránea en la zona de las Trochas (parcelamiento de Nueva Concepción) en el departamento de Escuintla, a través de mediciones de calidad en pozos artesanales privados y públicos, para observar el efecto de la intrusión salina en el acuífero.

Debido a la escasa documentación científica disponible sobre la cuenca del río Madre Vieja, sea porque las instituciones privadas nacionales no comparten sus estudios y porque tampoco aquellas nacionales públicas de referencia han estudiado a profundidad la zona, se contó con pocos datos para una evaluación completa de la dinámica hidrogeológica de la cuenca. Seguramente este estudio representa una base de referencia científica objetiva para poder entender los procesos y las fuentes de impacto en la cuenca de estudio. Conjuntamente con la investigación científica, se realizó, en los territorios estudiados de la Costa Sur, un acompañamiento técnico a las comunidades de Las Trochas (parcelamiento de Nueva Concepción) y en Champerico sobre el monitoreo ambiental participativo: una herramienta clave en la protección de los recursos naturales, a la vez que método de vigilancia ambiental, y en particular sobre el agua, en busca de la justicia socio-ambiental.



1. EL CONFLICTO DEL AGRONEGOCIO

En Guatemala, el 33,2% de la población económicamente activa (PEA) trabaja en el sector agrícola, mientras el comercio y los servicios representan el 44,7%. Sin embargo, a pesar de ocupar casi un tercio de la PEA, es una industria que beneficia principalmente a las empresas, y en la mayoría de los casos, los productos son destinados a la exportación.

Pese a que son los pequeños agricultores quienes abastecen mayormente a las cadenas de comercialización, los incentivos a la inversión que se ofrecen tanto a nivel público como privado están más orientados hacia la agricultura a gran escala.

Las plantaciones de monocultivo de caña de azúcar, palma aceitera y banano en Guatemala se han expandido y aún continúan haciéndolo a expensas de la agricultura a pequeña escala. La concentración de la propiedad de la tierra es perjudicial para los pequeños agricultores, que se ven obligados a vender la tierra que utilizan para la agricultura de subsistencia y, por lo tanto, pierden la única fuente de ingresos disponible para sus familias. Además, las familias ya no tienen acceso a fuentes de agua, y la contaminación del ambiente por agroquímicos y fertilizantes ha traído enfermedades a las poblaciones rurales afectadas.

En tales casos, es casi imposible obtener acceso a nuevas tierras porque el costo de esas tierras ha aumentado debido a la demanda de monocultivos y por la falta de empleos permanentes y los niveles salariales en el país.¹

La situación del deterioro ambiental, que caracteriza la cuenca del Madre Vieja, es fuente de un malestar social por parte de las comunidades que habitan estos territorios. Las comunidades viven un conflicto contra los diferentes actores que han y continúan causando daños a los diferentes recursos naturales: agua, aire, suelo y bosque.

Según el Atlas de Justicia Ambiental,² se reportan casi 30 casos de conflictos socio-ambientales en Guatemala: la mayoría de estos están ligados a las actividades mineras e hidroeléctricas. Un solo caso de conflicto ligado a los monocultivos de caña de azúcar está registrado en la plataforma: se trata del caso del Valle de Polochic, Izabal.

El territorio nacional ocupado por monocultivos incrementa año tras año, expandiéndose en muchas regiones: Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla, Santa Rosa y Jutiapa hacia la Franja Transversal del Norte en Petén. Es en esta última es donde se registra la mayor pérdida de árboles nativos por el ingreso de la palma, y en las alturas dominadas por el café, terminando con la parte central del país caracterizada por la larga expansión del tabaco.

¹ Oxfam; <https://oxfamilibrary.openrepository.com/bitstream/handle/10546/300024/rr-tipping-balance-guatemala-290813-en.pdf;jsessionid=B77C17B35BDE813E487BEDA68D53F28E?sequence=1>

² Ejatlas; <http://ejatlas.org/country/guatemala>

1.1. El agronegocio en cifras

Entre el 2012 y 2016, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales recibió 38 denuncias contra nueve ingenios. La mayoría de ellas relacionadas al desvío de ríos para regar plantaciones.³ Mientras más extensos son los monocultivos, más daños se generan. Los productos de estos monocultivos caen dentro del listado de los principales bienes exportados fuera de Guatemala en el 2016: plátanos (\$1,08 Miles de millones), azúcar (\$1,01 Miles de millones), café (\$719 Millones), y aceite de palma (\$389 Millones).⁴

El área total ocupada por plantaciones de palma aceitera en Guatemala, en el año 2012, fue de 111.000Ha. Una superficie que se ha multiplicado por cinco, desde el 2001.⁵ Según la última Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) del 2014 la superficie cultivada de palma aceitera tuvo un aumento del 33% respecto a la ENA del 2013. Al 2014 se encontraba a **157,000 Ha**⁶ respecto a 117,000 Ha en el 2013. En el 2014 el segundo cultivo de tipo permanente, con mayor importancia, en cuanto a su volumen de producción, fue la palma aceitera, cuyo registro en la ENA aumentó en un 118% respecto al 2013, con **92,670 mil quintales**.⁷ Las exportaciones son, sin duda, el principal destino de la producción. En los últimos años (2016), las exportaciones se han situado en torno a **US\$400 millones** anuales de ganancia. En crecimiento de volumen, las exportaciones de aceite de palma son el sexto producto de exportación más importante.⁸

Los principales países que importan aceite de palma de Guatemala son: India (19%), China (9,3%), Pakistán (5,8%), Países Bajos (5,6%), España (3,5%), Italia (3,4%), Alemania (3%) y Estados Unidos (3%).⁹

Según el informe de CENGICAÑA¹⁰ al 2014 la superficie del cultivo de *caña de azúcar* ocupaba 230.000Ha; mientras el Censo Agropecuario (2014) establece que la cantidad del área cultivada es de **268.000 Ha**.¹¹ Una diferencia de **38.000 hectáreas** entre las dos fuentes de información.

³ El faro, El cartel del azúcar, 2017; <https://elfaro.net/es/201704/centroamerica/20091/El-cartel-del-az%C3%BAcar-de-Guatemala.html>

⁴ Atlas Media; <https://atlas.media.mit.edu/es/profile/country/gtm/>

⁵ Mongabay, Palma Africana sigue devastando los bosques norte de Guatemala, 2017; <https://es.mongabay.com/2017/11/palma-africana-sigue-devastando-los-bosques-norte-guatemala/>

⁶ Instituto Nacional Estadística de Guatemala; <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2015/10/16/iQH6CPCSZUC1uOPe8fRZPen2qvS5DWsO.pdf>

⁷ Instituto Nacional Estadística de Guatemala <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2015/10/16/iQH6CPCSZUC1uOPe8fRZPen2qvS5DWsO.pdf>

⁸ Prensa Libre; <https://www.prensalibre.com/economia/economia/palma-africana>

⁹ Atlas; https://atlas.media.mit.edu/es/visualize/tree_map/hs92/import/show/all/1511/2016/

¹⁰ Cengicaña; <https://cengicana.org/files/20170103101309141.pdf>

¹¹ Instituto Nacional Estadística de Guatemala <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2015/10/16/iQH6CPCSZUC1uOPe8fRZPen2qvS5DWsO.pdf>

Guatemala es el cuarto mayor exportador de azúcar del mundo, tras Brasil, Tailandia e India. La agroindustria azucarera en Guatemala se ha desarrollado en la planicie costera del Océano Pacífico, donde se produce el 99.5% del total del azúcar de Guatemala. Los principales países que importan azúcar de origen guatemalteco son¹²: China (8,1%), Indonesia (6,4%), Estados Unidos (5,9%), India (3,1%), e Italia (2,9%).

El azúcar para la época de zafra 2009/2010 representó el 10.25% del PIB de la exportación total del país y el 20.80% de las exportaciones agrícolas; generó **US\$493 millones**. En el 2015 el cultivo de caña de azúcar representa el segundo lugar como valor de exportación con **US\$851 millones**.

A partir de 2010, se exportó el 70% del azúcar y el 90% del etanol de caña de azúcar. Los ingresos por exportaciones de etanol aumentaron del 67 % entre 2006 y 2010.¹³

Guatemala es el tercer exportador de *banano* de Centro y Latinoamérica: de enero a septiembre del 2015 las ventas de banano del país, ascendieron a **US\$580.2 millones**, según datos del Banco de Guatemala y de la Asociación de Productores Independientes de Banano (APIB). En el país, las áreas en donde más se cultiva el fruto son en los departamentos de Escuintla, Quetzaltenango (Coatepeque), Suchitepéquez, San Marcos e Izabal. En promedio las áreas de producción de banano crecen del 2.7% cada año con un total alrededor de 80.000Ha cultivadas, entre plátano (10.000 Ha) y banano (70.000 Ha).¹⁴ Los principales países que importan banano de Guatemala son: Estados Unidos (19%), Alemania (8,7%), Bélgica (7,7%), Japón (6,4%), Reino Unido (5,7%), China (5,2%), Rusia (5,1%), Países Bajos (4,1%), Italia (3,8%) y Francia (3%).¹⁵

La desigualdad en el marco económico a nivel nacional es bastante marcada. El poder económico atrás de estas agroindustrias queda en las manos de unas cuantas familias terratenientes: Hugo Alberto Molina

(Grupo Hame-Olmeca-REPSA), Julio Herrera Zavala (Ingenio Pantaleón), Leal Pivaral (Ingenio Magdalena), Bolaños Valle (Finca Bananera)¹⁶ entre otras.

Considerando que por lo menos 5 millones de guatemaltecos¹⁷ se dedican a la agricultura familiar y que cada campesino guatemalteco gana anualmente 24 mil Quetzales¹⁸, o sea 3000 \$, el monto de ganancia total que las empresas de palma, azúcar y banano tienen equivalen a las ganancias de 610.000 campesinos (el 12% de todos los campesinos de Guatemala). Es decir, unas cuantas familias terratenientes tienen el mismo dinero que 610.000 personas juntas.

Esta expansión de los monocultivos está relacionada con la demanda de agrocombustibles que explotó en la última década. Según un Informe de Oxfam,¹⁹ las inversiones en cultivos de caña de azúcar y palma aceitera son realizadas principalmente por guatemaltecos. La caña, en el norte del país, ha sido liderada por la familia Widmann, en asociación con la familia Pellas de Nicaragua. Algunas de las familias ricas más prominentes de Guatemala, como las familias Maegli, Urruela, Kong y Molina, han realizado inversiones en palma aceitera. La familia Maegli tiene vínculos con dueños de negocios en Nicaragua y Costa Rica. A diferencia de otros países latinoamericanos, las inversiones en palma aceitera y caña de azúcar en Guatemala provienen más de fuentes locales que de otros países. Las inversiones en cultivos de palma aceitera buscan proporcionar fuentes de suministro a los productores industriales de aceite de cocina, así como a la exportación.

¹² Atlas; https://atlas.media.mit.edu/es/visualize/tree_map/hs92/import/show/all/1701/2016/

¹³ https://www.tni.org/files/download/land-sov_series_briefs_-_ndegl_alonso-fradejas_final.pdf

¹⁴ Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación; <http://web.maga.gob.gt/download/El-agro-en-cifras-small.pdf>

¹⁵ Atlas; https://atlas.media.mit.edu/es/visualize/tree_map/hs92/import/show/all/0803/2016/

¹⁶ Centro de Medios Independientes; <https://cmiguate.org/estos-son-los-duenos-de-5-de-las-7-empresas-senaladas-de-desviar-rios/>

¹⁷ Mesa de articulación; <http://mesadearticulacion.org/columna/guatemala-los-aportes-de-la-agricultura-familiar-campesina-la-economia/>

¹⁸ Publinews, 2017; <https://www.publinews.gt/gt/noticias/2017/12/29/asi-quedo-establecido-salario-minimo-2018.html>

¹⁹ Oxfam; <https://oxfamlibrary.openrepository.com/bitstream/handle/10546/300024/rr-tipping-balance-guatemala-290813-en.pdf;jsessionid=B77C17B35BDE813E487BEDA68D53F28E?sequence=1>

1.2. Otros factores que alimentan el conflicto

El conflicto en curso en la Costa Sur surge principalmente como disputa entre los empresarios, que quieren explotar los recursos naturales (agua, tierra y bosque), la población local que vive en la parte baja de la cuenca, en proximidad de Nueva Concepción (Escuintla) que ve violados sus derechos de acceso al agua y a sus medios de subsistencia y el Estado que no vigila ni protege a la mayoría frente al acaparamiento de los recursos naturales. Además a estos factores determinantes, se pueden mencionar aquellos preexistentes, que contribuyen a un clima hostil, como: la corrupción, la escasa y débil reglamentación estatal y la ausencia de las instituciones supervisoras del ambiente.

En un clima conflictual, además, puede analizarse que existen otros dos factores importantes que alimentan y enfatizan los impactos sociales que la presencia de empresas agroindustriales generan en el territorio: la criminalidad y la pobreza. ¿Pueden ser el aumento constante de la criminalidad y de la pobreza, el resultado de la presencia de las actividades agroindustriales en el territorio de la Costa Sur? A continuación se desarrollan algunos argumentos.

Según el informe de la Secretaría Técnica del Consejo Nacional de Policía,²⁰ el departamento de Escuintla tiene el índice de criminalidad a nivel nacional (2017) más alto de todos los demás departamentos después de Guatemala. Se observa un aumento del 19% en el número de muertes violentas con relación al 2016. En particular Tiquisate y Nueva Concepción tienen la tasa de homicidio más alta dentro del Departamento de Escuintla. La situación en el departamento de Retalhuleu es diferente ya que se observa un descenso en el número de muertes violentas con relación al año 2016. Aunque el municipio con la mayor tasa de homicidio es Champerico. Escuintla vive muchos casos de robos, saqueos, extorsiones y secuestros. Nueva Concepción y Tiquisate son sujetos a disputas por tierras y problemas personales que son causas de la mayoría de los crímenes.²¹

Hay varias hipótesis para esta distribución de los homicidios. La primera hipótesis es que el narcotráfico se encuentra en el centro de la violencia en estas áreas. Un estudio del Banco Mundial sobre la violencia en Centroamérica,²² cita un documento inédito de Cuevas y Demombynes.²³ Estos investigadores utilizaron un modelo econométrico sobre los niveles de delincuencia basado en las incautaciones de drogas; los factores demo-

El departamento costero de Escuintla se ha convertido en el más violento de Guatemala, a medida que los grupos criminales luchan por el control de este estratégico territorio, que incluye un puerto importante, el acceso a la capital y una prisión. Los homicidios y la extorsión son los dos delitos más comunes del departamento.

gráficos que contribuyen a la violencia (gran población de jóvenes y de hogares de madres solteras); una clasificación de las áreas dependiendo si fueron zonas de conflicto durante las guerras civiles, y datos socioeconómicos. Los autores descubrieron que el narcotráfico era el más importante de estos indicadores.

La segunda hipótesis es que las pandillas callejeras son responsables de gran parte del aumento en las tasas de homicidio. Esto puede ser cierto en lugares como Ciudad de Guatemala y sus alrededores. Hay una percepción generalizada de que las pandillas y su depredadora economía criminal, como la extorsión, son motores claves de la violencia. Las encuestas de victimización parecen apoyar esta hipótesis.

La tercera teoría tiene que ver con la disponibilidad de armas de fuego. La amplia disponibilidad de armas de fuego en Centroamérica también hace parte del estudio del Banco Mundial, que demostró que Guatemala tiene el mayor número de armas per cápita en la región.²⁴

El departamento costero de Escuintla se ha convertido en el más violento de Guatemala, a medida que los grupos criminales luchan por el control de este estratégico territorio, que incluye un puerto importante, el acceso a la capital y una prisión.



²⁰ Secretaría Técnica de Consejo Nacional de Seguridad Republica de Guatemala, 2017; https://stcns.gob.gt/docs/2017/Reportes_DMC/reporteenero2017.pdf

²¹ Prensa Libre, https://www.prensalibre.com/escuintla/Escuintla-violencia-aceha-vecinos-criminalidad-muertos_O_1297070508.html

²² WorldBank; https://siteresourcesworldbank.org/INTLAC/Resources/FINAL_VOLUME_I_ENGLISH_CrimeAndViolence.pdf

²³ Cuevas, F. y G. Demombynes (2009). "Drug Trafficking, Civil War, and Drivers of Crime in Central America."

²⁴ InsightCrime; <https://es.insightcrime.org/investigaciones/homicidios-guatemala-analisis-datos/>

Los homicidios y la extorsión son los dos delitos más comunes del departamento. La ubicación de Escuintla, y su infraestructura preexistente como un centro de producción y exportación de bienes y productos agroindustriales (responsable de más del 40% del PIB del país) hace que el departamento sea una base ideal para los grupos narcotraficantes. Tanto los Zetas como el Cártel de Sinaloa han utilizado Escuintla como punto de tránsito para las drogas que se mueven hacia México.²⁵

Se adjunta una pequeña nota en relación a la causa de muerte por accidentes en la carretera por los tráileres que transportan caña de azúcar. Se ha registrado un aumento de accidentes en la carretera: en febrero del 2018 se registraron 26 fallecidos, de 76 en hechos de

tránsito en la Costa Sur, causados por conductores de tráileres con jaulas que transportan caña. Otras 35 víctimas mortales se han registrado en hechos viales ocurridos en Retalhuleu, de los cuales 24 han sido por accidentes con medios de transporte cañeros.²⁶

Según los datos de la Encuesta Nacional de Condiciones de Vida al 2014, desarrollada por el INE,²⁷ el **59.3% de la población nacional** se encontraba en pobreza al 2014, o sea más de la mitad de la población tenía un consumo por debajo de US\$1.300 (Q 10,218) al año. Los departamentos de Alta Verapaz y Sololá muestran porcentajes de pobreza por encima del 80%, siguiendo el departamento de Totonicapán con 77.5%. En el departamento de Sacate-

59.3%

de la población nacional se encontraba en pobreza al 2014, o sea más de la mitad de la población tenía un consumo por debajo de US\$1.300 (Q 10,218) al año.

80%

Es el porcentaje de pobreza que muestran los departamentos de Alta Verapaz y Sololá siguiendo el departamento de Totonicapán con 77.5%.

41%

de la población se encuentra por debajo de la línea de pobreza, y es el departamento de Sacatepéquez.

La tercera parte

de la población en la ciudad de Guatemala no alcanza a consumir los 10,218 quetzales al año por persona

péquez, el 41.1% de la población se encuentra por debajo de la línea de pobreza, y en Guatemala, la tercera parte de la población no alcanza a consumir los 10,218 quetzales por persona al año.

Escuintla, junto con otros, es un departamento que aumentó su porcentaje de **pobreza** entre 2006 y 2014.²⁸ El aumento de la pobreza en la región podría estar ligado también a la presencia de las actividades agroindustriales por múltiples razones.

La toma de control de tierra por parte de las agroindustrias no solo tiene consecuencias para las comunidades locales y los ecosistemas, sino también para las economías regionales.

Un estudio²⁹ internacional ha demostrado como a nivel regional de la Costa Sur de Guatemala, el azúcar y la palma aceitera generan menos empleos en comparación con los productos de la agricultura a pequeña escala, que tienen importantes vínculos hacia el futuro con los sectores de comercio y procesamiento a pequeña y mediana escala. Además, la riqueza creada por la agricultura a pequeña escala permanece dentro de las regiones, mientras que las ganancias de las industrias de azúcar y palma aceitera se están transfiriendo a ellas. Por lo tanto, para lograr un desarrollo regional inclusivo, la agricultura en pequeña escala debería fortalecerse en lugar de promover la expansión del monocultivo.

²⁵ InsightCrime; <https://es.insightcrime.org/noticias/noticias-del-dia/escuintla-la-nueva-capital-de-homicidios-de-guatemala/>

²⁶ Prensa Libre: Percances en la Costa Sur han causado la muerte de 123 personas; <http://www.prensalibre.com/ciudades/escuintla/accidentes-de-transito-en-retalhuleu-suchitepequez-y-escuintla>

²⁷ Encuesta Nacional de Condiciones de Vida 2014; <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2015/12/11/vjNVdb4iZswOjOZtuivPlcaAXet8LZqZ.pdf>

²⁸ Tierra esclava; investigación El Diario.es

²⁹ Jochen Dürr, SugarCane and Oil Palm Expansion in Guatemala and its Consequences for the Regional Economy, 2016; <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/joac.12150>

2.1. Geología



Figura 1: Zonificación de la cuenca: alta, media y baja.

Su cauce principal tiene una longitud de 116 km, con un desnivel de 3,070 metros. La cuenca hidrológica abarca una extensión de 880 Km², y forma parte de los departamentos de Escuintla, Suchitepéquez, Sololá y Chimaltenango.³⁰ La cuenca del Madre Vieja se caracteriza por la ausencia de afluentes importantes, a parte de algunos de magnitud menor como los Ríos Chipó y La Vega,³¹ sobre todo concentrados en la porción alta de la cuenca. La zona de estudio tiene una población estimada superior a 300.000 habitantes, con núcleos importantes de población como Santa Lucía Cotzumalguapa, La Gomera, Siquinalá, Puerto San José, Masagua y Nueva Concepción.³²

La cuenca presenta una fuerte presión de los sistemas productivos agrícolas, ocupando estos un 62.2% del total de la superficie.³³

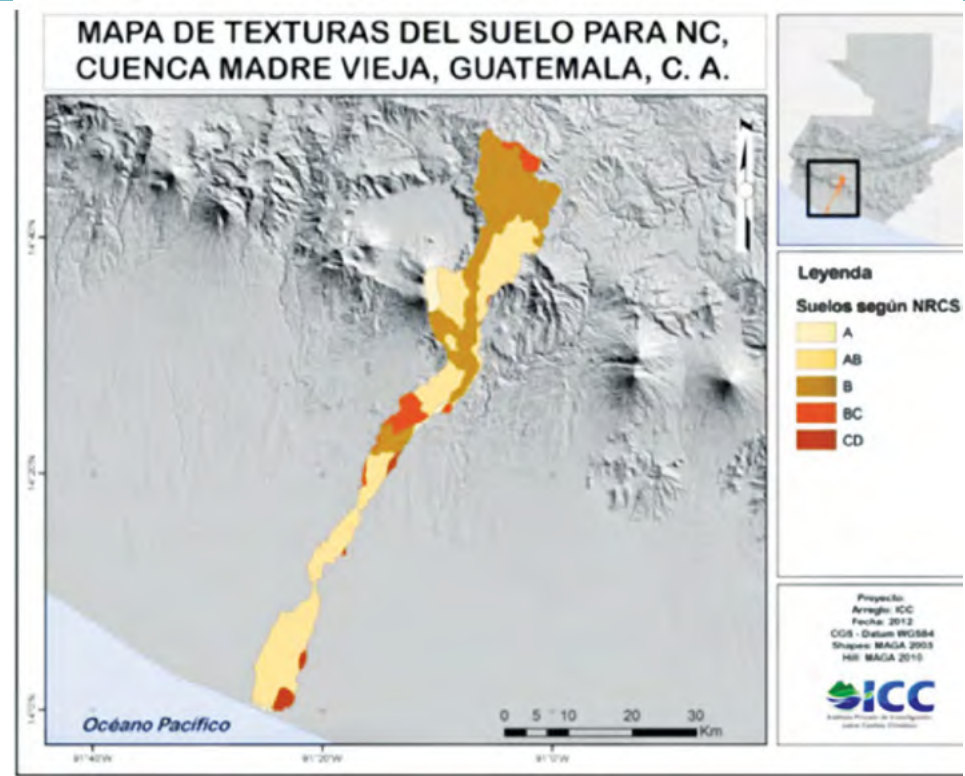


Figura 2: Permeabilidad y tasa de infiltración de los suelos de la cuenca del Río Madre Vieja

La cuenca escurre desde el altiplano y el cinturón volcánico hasta la planicie del Pacífico en la parte baja. La geología de dicha planicie está determinada por el aporte de material del cinturón volcánico en las partes altas de las cuencas. Los materiales arrojados y depositados por la actividad volcánica comprenden depósitos de arenas, tobas, cenizas, lahares y sedimentos piroclásticos en general, que conforman una extensa planicie al pie de las montañas volcánicas como resul-

tado de los procesos de erosión, transporte y sedimentación. Los materiales que conforman esta parte de la llanura se encuentran con un grado medio de consolidación y presentan permeabilidades elevadas.

La zona de estudio está en el abanico aluvial del volcán de Fuego, un sistema sedimentario ubicado en el departamento de Escuintla, entre las cuencas Achiguate, Acomé, Coyolate y María Linda.³⁴ Según informes del Instituto privado de estudio sobre el Cambio Climático (ICC), la mayoría de la superficie de la cuenca baja corresponde a suelos muy permeables (Fig.2.1.), con valores de infiltración entre 0.8-1.10 cm/h. Existe también una presencia significativa de materiales con una permeabilidad más moderada en la parte alta y media de la cuenca, presentando valores que oscilan entre 0.35 y 0.8 cm/h.

2. LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio abarca la cuenca del Río Madre Vieja que se ubica en la vertiente del Océano Pacífico, en el suroeste de Guatemala. Los volcanes Atitlán y Tolimán se sitúan en la parte alta de esta cuenca, ejerciendo de parteaguas con la cuenca endorreica del lago de Atitlán.

Grupo	A	B	C	D
Tasa de infiltración	0.80-1.10 cm/h	0.40-0.80cm/h	0.10-0.40 cm/h	0.0,10cm/h
Permeabilidad	Infiltración rápida incluso con humedad elevada	Infiltración moderada con humedad elevada	Infiltración lenta si presentan humedad	Infiltración muy lenta cuando están húmedos
Textura	Arenas, arenas y limos	Franco-arenosas, franco-arcillo-arenosas, o franco-limosas	Franco-arcillosas, franco-arcillo-limosas, limosas o arcillo-arenosas	Arcillosos o niveles freáticos permanentemente cercanos a la superficie.

Figura 2.1: Permeabilidad y tasa de infiltración de los suelos de la cuenca del Río Madre Vieja

³⁰ Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), 2003 e Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) 2015
³¹ ICC; <http://icc.org.gt/wp-content/uploads/2017/07/Estudio-Hidrologico-Madre-Vieja.pdf>
³² Instituto Nacional de Estadística (INE), 2013
³³ ICC; <http://icc.org.gt/wp-content/uploads/2017/07/Estudio-Hidrologico-Madre-Vieja.pdf>

³⁴ MAGA, 2010

2.2. Condiciones meteorológicas

Se reportan las características meteorológicas de la zona de estudio, elaboradas a partir de los datos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) correspondiente a la estación de medición de Puerto San José, Escuintla;³⁵

2.2.1. Precipitación

La temporada seca comienza en noviembre y termina en abril con precipitaciones menores de 50 mm, mientras que la estación húmeda va desde mayo a octubre/noviembre con precipitaciones entre 200 y 350 mm. Estos valores se muestran en el siguiente gráfico, donde se observan grandes precipitaciones en la estación lluviosa, lo que garantiza un alto porcentaje de humedad.

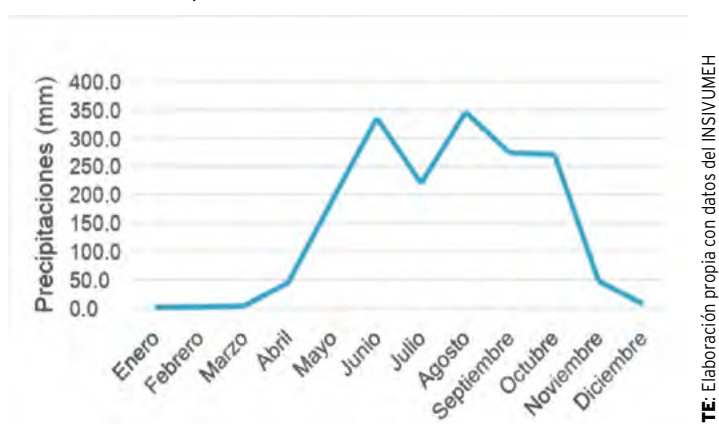


Figura 3: Precipitaciones entre 2013-2017 en Puerto San José, Escuintla

FUENTE: Elaboración propia con datos del INSIVUMEH

FUENTE: Elaboración propia con datos del INSIVUMEH

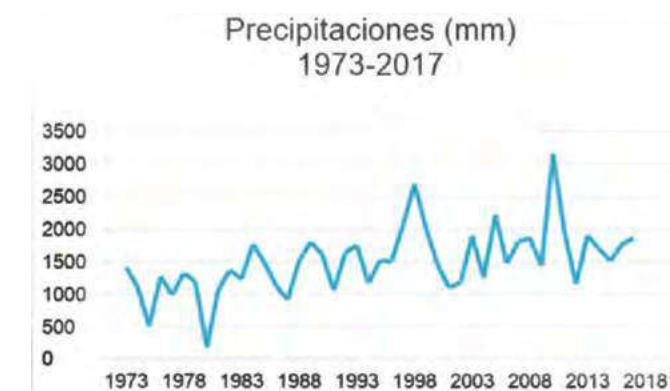


Figura 4: Precipitaciones entre 1973-2017 en Puerto San José, Escuintla

2.2.2. Temperatura

Según los datos del INSIVUMEH³⁶, medidos en la estación de Puerto San José, Escuintla, calculados en los últimos 5 años (2013-2017), se observa que la temperatura mensual máxima promedio varía entre 32.9 y 35.1 °C. La temperatura mensual mínima tiene un promedio entre 19.6 y 23.5 °C, mientras que la temperatura mensual promedio está entre 27 y 29.8 °C.

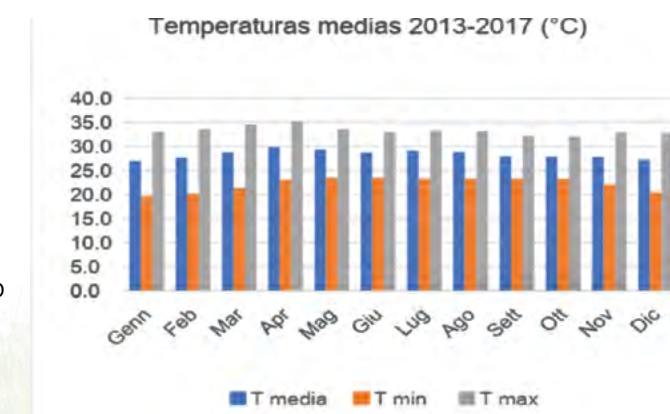


Figura 5: Temperatura media, mínima y máxima mensual 2013-2017

FUENTE: Elaboración propia con datos del INSIVUMEH

³⁵ Elaboración datos del INSIVUMEH - estación Puerto San José, Escuintla

³⁶ Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, <http://www.insivumeh.gob.gt>

3. INVESTIGACIÓN SOBRE EL ACAPARAMIENTO DEL AGUA

En la parte media de la cuenca, cerca del pueblo de Patulul, parte del Departamento de Suchitepéquez, empiezan los cultivos extensivos de caña de azúcar y con ellos los desvíos del Río Madre Vieja hacia los cultivos. La parte baja de la cuenca es la más afectada por los numerosos y grandes desvíos.

³⁷ Acuerdo Ministerial Número 335-2016, de 10.11.2016 emitido por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, que contiene las normas para promover la gestión integrada de cuencas a través de la creación y operación del inventario de usuarios del recurso hídrico de las cuencas hidrográficas de la República de Guatemala.

³⁸ Francisco Guillermo Pellecer Aguirre, Caracterización de las bocanarras de la Vertiente del Pacífico, USAC, 2015.

La parte alta de la cuenca, donde nace el Río Madre Vieja, en el Departamento de Sololá, es dominada por bosques. En las zonas rurales se practica la agricultura familiar: comunidades indígenas cultivan parcelas con frijoles, chiles, maíz y tomates. Son comunidades con una fuerte tradición y cultura hídrica que protegen sus fuentes de agua. Recorriendo el Río Madre Vieja y bajando de una docena de kilómetros agua abajo, se observan grandes terrenos de aguacates a los cuales sigue después, procediendo hacia el valle, la zona cafetalera que, junto con el cultivo del hule, sustituyen al bosque

En el estudio realizado en el año 2017, a través de fotografías satelitales (imágenes capturadas en el año 2016 y proporcionadas por la plataforma Google Earth) se pudo contar casi 40 desvíos a lo largo del Río, la mayoría de ellos en la parte baja de la cuenca donde los monocultivos de caña, palma y banano ocupan la mayoría del territorio.

En una comparación entre las imágenes del 2016 y del 2017-2018 (disponibles en la plataforma Google Earth), se evidencia una reducción de los desvíos del Río, pero esto no significa que las agroindustrias hayan reducido las captaciones de agua. De hecho ha aumentado la extracción de agua subterránea y de agua del río a través de bombas eléctricas gracias al Acuerdo Ministerial 335-2016³⁷ que "regula" el uso del agua. El Acuerdo prevé un registro de usuarios, pero no existe un reglamento, hasta la fecha (septiembre 2018) que regule la cantidad de agua que se pueda utilizar y donde se registre la cantidad captada por usuario.

Según un estudio de la Universidad San Carlos,³⁸ la cuenca del Río Madre Vieja tiene dos bocanarras, una de estas se origina por la desembocadura del Río Madre Vieja, que es el límite entre los municipios de Tiquisate y Nueva Concepción, el cual en los últimos diez kilómetros de trayectoria tiene forma recta. La bocanarra tiene en promedio 80 metros de ancho cuando se encuentra abierta. Se observa que en época seca, la bocanarra se cierra, debido a que ya no escurre agua en el cauce principal debido al desvío hecho hacia los monocultivos.

3.1. Mediciones del caudal del Río Madre Vieja

El caudal de un río es la cantidad de agua que pasa por un punto en un momento determinado. Este dato se toma en las estaciones de aforo, y se expresa en metros cúbicos por segundo (m^3/s)³⁹ o litros por segundo (l/s). En condiciones regulares⁴⁰ los ríos con aportes de afluentes ganan caudal a medida que descienden hacia el valle. Los factores que influyen en el caudal son: área de la sección mojada, clima, vegetación, tipo de relieve y constitución del suelo. La velocidad del agua depende además de la forma del cauce y de la naturaleza: así que será máxima en la superficie y al centro y mínima al fondo y a las orillas.

La gran dinámica del consumo de agua (tanto superficial como subterránea) por parte del sector cañero, bananero y palmero, ha producido una importante competencia por el recurso hídrico, el cual se acentúa en la época seca. Por ejemplo, una planta de palma aceitera requiere diariamente un aproximado de 30 litros de agua. Considerando que se siembran 160 plantas por hectáreas y sabiendo que los cultivos de palma aceitera ocupan un área de 157.000 hectárea⁴¹ a nivel nacional, solo para este cultivo se utilizan 753 millones de litros de agua diariamente. En promedio una persona campesina guatemalteca consume 30 litros de agua al día, aunque la Organización Mundial de la Salud afirma que cada persona requiere 50 litros de agua cada día para su higiene, alimentación y cuidado personal. Así que la cantidad de agua diaria utilizada para el riego de una sola tipología de cultivo (palma aceitera), equivale a lo que 16 millones de guatemaltecos utilizan cada día (800 millones de litros de agua total). En particular los problemas de la Costa Sur están ligados a los múltiples **desvíos** del río Madre Vieja hacia las fincas y a causa de la extracción con **bombas** eléctricas que bombean el agua del río hacia las **norias**: piscinas artificiales donde se guarda el agua para el riego.

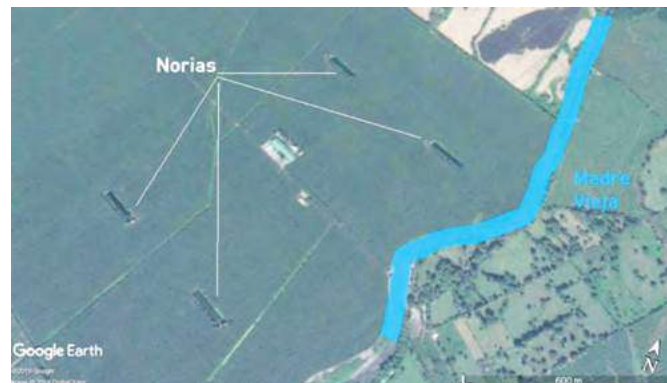


Figura 6: Norias en los cultivos de caña de azúcar. Lado hidrográfico derecho del Río Madre Vieja

FUENTE: Google Earth



Es muy importante medir el caudal de los ríos antes y después de las desviaciones así como dentro de los desvíos y a lo largo del recorrido del río para monitorear la cantidad de agua que se está restando al ecosistema natural. Para medir el caudal de los ríos existen muchos instrumentos y métodos, en función de la disponibilidad económica y de los objetivos del monitoreo: mediciones salinas, medición con flotador y con molinete. El estudio del caudal sirve para comprender el régimen del Río Madre Vieja, al momento no exhaustivamente investigado a nivel de las instituciones nacionales públicas y/o privadas, y analizar cómo las diferentes actividades agroindustriales afectan el ecosistema fluvial.

Además, entre las razones de adquirir información de este tipo, está la necesidad y urgencia por parte de la población local y de las organizaciones de base, que vigilan el territorio, de

tener datos científicos objetivos de referencia ya que, hasta la fecha, las instituciones nacionales privadas, como por ejemplo el ICC (Instituto Privado de Investigación sobre el Cambio Climático), no se han encargado de difundir y/o compartir objetivamente tal información.

El estudio del caudal se realizó a través de mediciones de la velocidad de la corriente del agua del Río Madre Vieja con estaciones de aforo durante las diferentes temporadas climáticas: febrero-marzo, abril-mayo, y agosto. Se hicieron dos mediciones durante la época seca (febrero/marzo y abril/mayo) y una durante la canícula (período de tiempo durante la época de lluvia donde las lluvias cesan). A causa del cambio climático, este año la temporada de lluvia se adelantó un par de semanas, y empezó la lluvia solamente en la parte alta y media de la cuenca a final de abril (en lugar que mayo), influyendo en la tendencia del caudal.

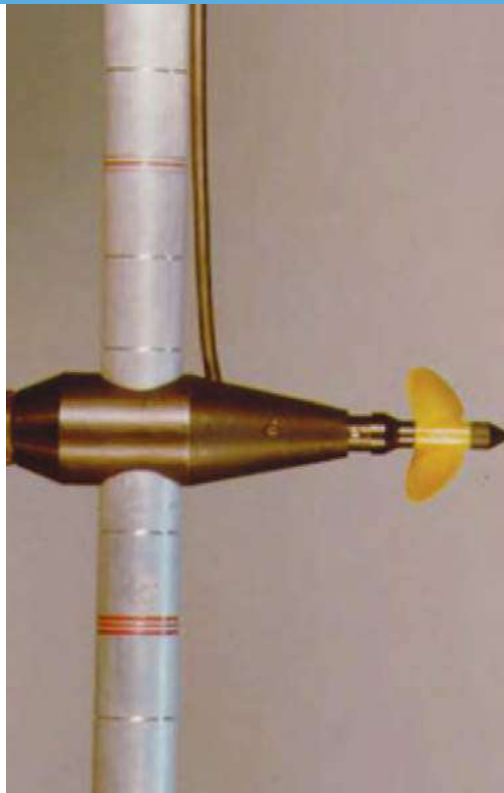
³⁹ 1 m^3/s (o 1 m^3/s) es igual a 1000 l/s.

⁴⁰ Ríos con aportes de lluvia, de afluentes, derretimiento de glaciares o recarga desde el acuífero.

⁴¹ <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2015/10/16/iQH6CPCSZUCiuOPe8fRZPen2qvS5DWsO.pdf>

3.2. Materiales y metodología

Para la medición de la velocidad de la corriente se utilizó un molinete (River flow meter - Modelo 50 mm propeller Swoffer 2100), un instrumento utilizado para estudios profesionales y técnicos a nivel internacional.



FUENTE: Source International- Andrea Pepe

Figura 7: Molinete con hélice (izquierda) y mediciones de la velocidad del agua en campo (derecha)

El molinete consta de un sensor y un procesador, unidos por una varilla: el sensor consiste en un hélice que se adapta fácilmente a la velocidad del agua generando un impulso (en un sistema formado por una pequeña asa magnética y un interruptor) que es procesado por el circuito digital, el procesador, que transforma la frecuencia en velocidad. Para la medición de las subsecciones del río se utilizaron: una barra hidrométrica para medir la profundidad

del agua y un flexómetro para la longitud del río en la estación de aforo. Se extiende una cuerda a lo largo de la anchura del río, fijando los dos extremos con dos varillas de hierro. La sección longitudinal del río fue dividida en subsecciones, cada una de 1 m de ancho, útil para las medidas métricas de la velocidad. Los puntos de investigación para el caudal se escogieron tomando en cuenta los siguientes indicadores:

- 1 El área de estudio debe estar comprendida dentro de un tramo con características regulares en los perfiles longitudinal y transversal del cauce, con el objeto de garantizar un escurrimiento tranquilo y uniforme.
- 2 El fondo del río debe ser suave y libre de plantas acuáticas, grandes piedras u otros obstáculos, que, por sus dimensiones puedan interferir en la medición de la velocidad de la corriente.
- 3 Deben evitarse las secciones cercanas a los estribos de los puentes.
- 4 La sección debe ser de fácil acceso.
- 5 Evitar agua con vórtices, flujo invertido y aguas fermás.
- 6 Agua arriba de la confluencia de un afluente

Figura 8: La deforestación y los monocultivos



FUENTE: Google Earth

Posteriormente se escogieron los puntos en función del objetivo del estudio: determinar cómo los desvíos afectan el ecosistema hídrico. Se tomaron dos puntos de medición en la parte alta de la cuenca donde no hay desvíos; 6 puntos en la parte media-baja y baja donde los desvíos acaparan el agua del río en múltiples sitios, a fin de tener puntos de comparación de caudales a lo largo del río. Aunque la topografía de la parte alta de la cuenca (área montañosa) es muy diferente a la parte media y baja (planicie), los valores de caudal representan una base de datos para entender cómo

las actividades están impactando la biodisponibilidad del recurso hídrico dentro de la cuenca. En cada subsección de la unidad longitudinal se anotó la profundidad del agua y se midió la velocidad de la corriente con el correntómetro. Para la medición de la velocidad se aplica el método 0.6, o sea se mide la velocidad del agua al 60% de la profundidad total de ese punto, calculada como velocidad promedio entre 30 segundos de medición. Se opera con dos turnos de mediciones y, para el cálculo final del caudal, se utiliza el valor promedio de las dos velocidades medidas en los dos turnos.

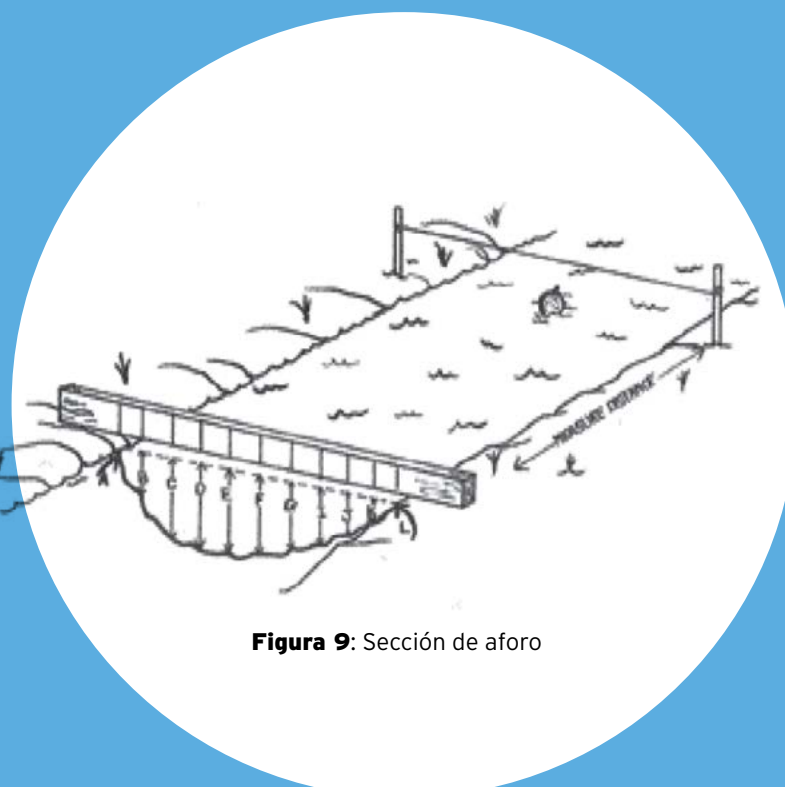


Figura 9: Sección de aforo

El cálculo total del caudal (QT) se obtiene a través de la siguiente ecuación matemática que es una suma de los subcaudales calculados (Q1, Q2, Q3, etc.) en cada subsección como producto entre la velocidad medida (m²/s) y la profundidad del agua (m):

$$Q_T = \sum Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Las mediciones de la velocidad del flujo hídrico se hicieron en 8 puntos (C1, C2, C3, etc.) a lo largo del Río, cuyos datos se reportan en la siguiente tabla, a la cual siguen las descripciones y fotografía de cada punto.

	Ubicación Comunidad	Coordenadas geográficas		Altitud (msnm)
		Norte	Oeste	
C1	Finca San Jorge Agua arriba no hay captaciones	14° 33' 24.192"	91° 6' 48.32"	848
C2	Cocales Captaciones limitadas para uso doméstico	14° 23' 46,84"	91° 12' 00,69"	227
C3	Las Ilusiones Agua arriba hay captaciones para cultivos de caña	14° 13' 1.9092"	91° 19' 29.694"	58
C4	El Sombrero Agua arriba hay captaciones para cultivos de caña y palma	14° 8' 28.734"	91° 21' 35.5032"	36
C5	Trocha 2 Agua arriba hay captaciones para cultivos de caña y palma	14° 7' 34.6548"	91° 22' 28.056"	32
C6	Trocha 14 Punto agua arriba de el desvío (captaciones para palma y caña) En este punto se midió también el caudal en el desvío	14° 2' 23"	91° 25' 33"	10
C7	Trocha 14 Punto agua abajo de el desvío (captaciones para palma y caña)	14° 2' 23"	91° 25' 33"	10
C8	San Francisco Antes de la desembocadura; captaciones para caña	14° 01' 07"	91° 25' 47"	6

Cuadro 1: Puntos de muestreo del caudal hídrico

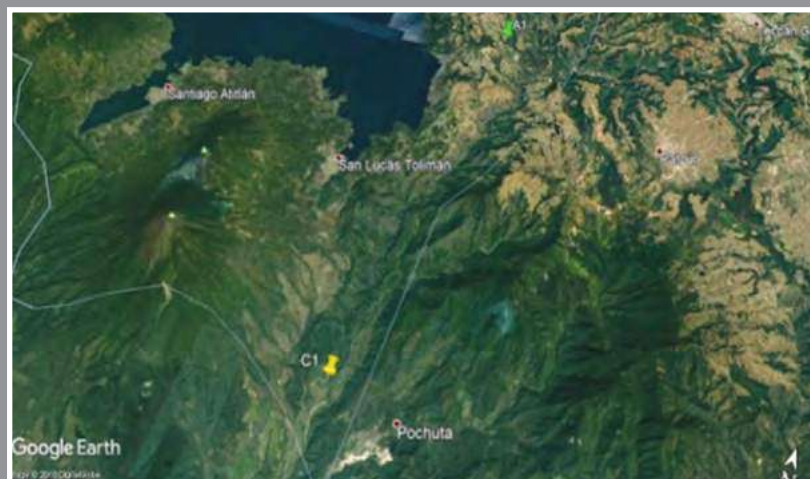


Figura 11: Ubicación del punto de muestreo C1



FUENTE: Source International

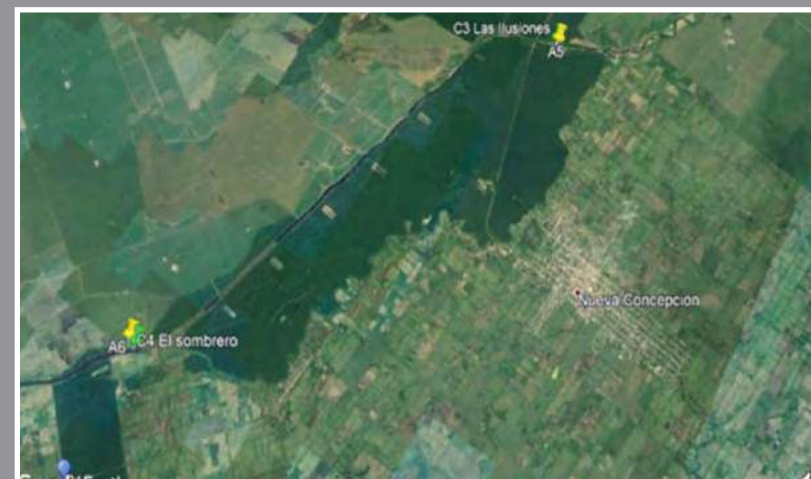


Figura 12: Punto de muestreo C3



FUENTE: Source International

El punto C1 se encuentra en la parte alta de la cuenca en la Finca San Jorge, en la carretera que conecta San Lucas Tolimán, Sololá con Patulul, Suchitepéquez. El punto está situado bajo el Volcán Atitlán. El punto se encuentra inmerso en un bosque aunque su entorno es caracterizado principalmente por cultivos de café y hule. Por la geomorfología de la zona (en el medio de las montañas) no hay manera de captar/derivar el agua. En esta zona no hay desvíos, tampoco en su parte aguas arriba debido a la ausencia de monocultivos.

El punto C3 se ubica al norte de Nueva Concepción, al este de Tiquisate. El punto C3 se ubica al norte de Nueva Concepción, al este de Tiquisate, y a unos 23 km aguas abajo de Cocales. Del punto C3 en adelante se encuentra en territorio del departamento de Escuintla. El punto C2 se encuentra en el Departamento de Suchitepéquez, aguas arriba de Cocales. En la zona entre Patulul y Cocales están ubicados algunos pequeños terrenos cultivados con monocultivo de hule y caña de azúcar. Hay captaciones de agua para uso de riego, aunque en menor medida respecto a la parte baja de la cuenca.

23 km aguas abajo de Cocalos. Del punto C3 en adelante se encuentra en territorio del departamento de Escuintla. En ambos lados (oeste y este) del Río, en la zona llamada "Las Ilusiones", están los cultivos de palma de aceite. Los primeros cultivos de esta especie se encuentran recorriendo el Río en dirección del sur. Entre Cocalos y el punto C3 muchos desvíos están presentes para el riego de grandes extensiones de terrenos sembrados con caña de azúcar entre todos.



Figura 13: Punto de muestreo C4.



FUENTE: Source International

El punto C8 se encuentra a casi 2 Km de la desembocadura al Océano, cerca de la comunidad San Francisco. En proximidad de este sitio, está ubicada una estación fija de monitoreo de caudal del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC). En ambos extremos del Río, aguas arriba del punto C8, hay extensas plantaciones de caña de azúcar.



Figura 14: Punto de muestreo C6 y C7

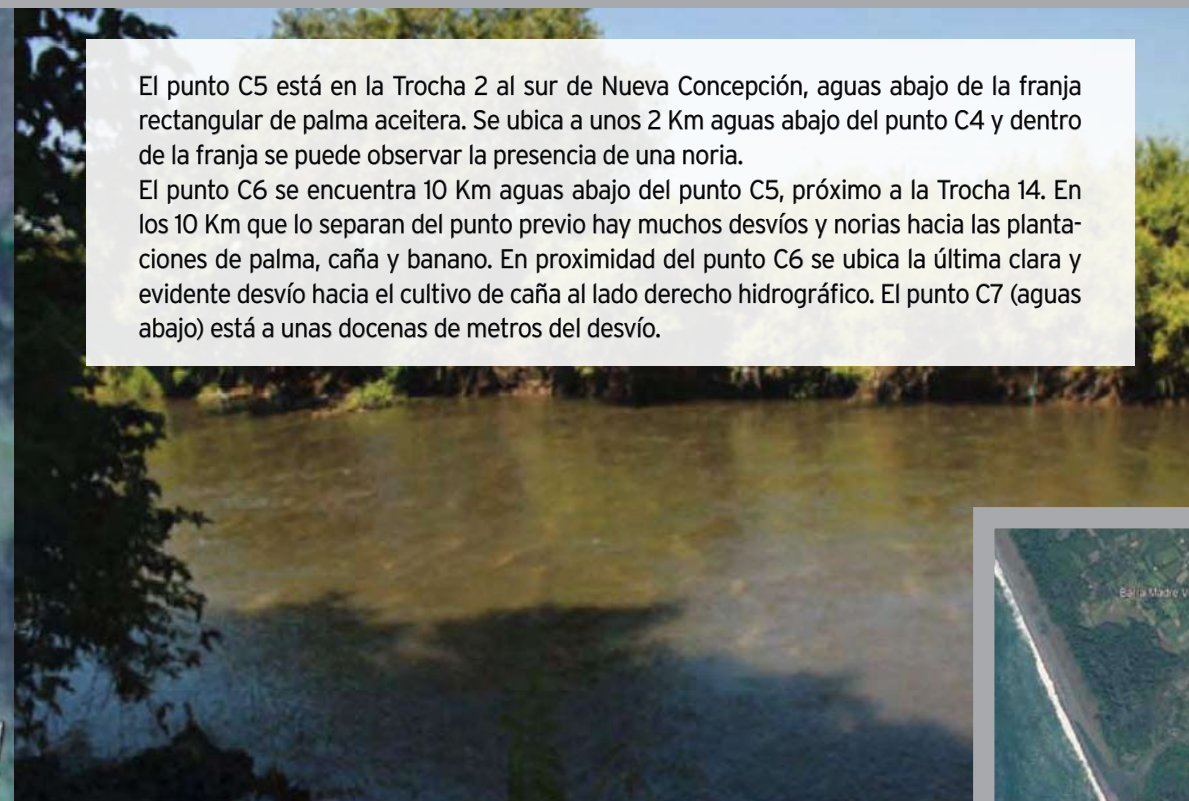
DESVIO

El punto C4 se encuentra aproximadamente 9km aguas abajo del punto C3 en una zona llamada "El Sombrero". En este punto el Río tiene la anchura más amplia (65m) de todas las secciones analizadas. Aguas arriba dentro del cultivo de palma, a la izquierda hidrográfica, se notan muchas norias⁴². También al lado derecho del río (hacia el mar) se encuentran muchas norias dentro del cultivo de caña de azúcar.



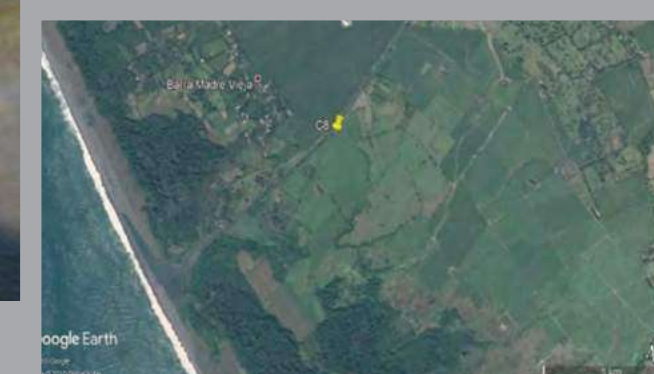
FUENTE: Source International

El punto C5 está en la Trocha 2 al sur de Nueva Concepción, aguas abajo de la franja rectangular de palma aceitera. Se ubica a unos 2 Km aguas abajo del punto C4 y dentro de la franja se puede observar la presencia de una noria. El punto C6 se encuentra 10 Km aguas abajo del punto C5, próximo a la Trocha 14. En los 10 Km que lo separan del punto previo hay muchos desvíos y norias hacia las plantaciones de palma, caña y banano. En proximidad del punto C6 se ubica la última clara y evidente desvío hacia el cultivo de caña al lado derecho hidrográfico. El punto C7 (aguas abajo) está a unas docenas de metros del desvío.



FUENTE: Source International

Figura 15: Punto de muestreo C8



FUENTE: SSource International

⁴² Norias: obras de captación de agua y almacenamiento en "piscinas" artificiales.

3.3. Resultados del estudio hidrológico

Los datos de velocidad de la corriente, profundidad del agua y anchura del río, adquiridos en campo, se trasladaron a una hoja excel para el cálculo del caudal. La detección de datos de lluvias y caudales son fundamentales para un correcto monitoreo de los fenómenos hidrológicos que afectan a un territorio. Una función imprescindible es la recopilación de datos en los Años Hidrológicos, que deberían ser emitidos por el Ministerio/Agencias/Instituciones responsables de la regulación del agua a nivel nacional. Solamente el ICC⁴³ ha investigado el caudal del Madre Vieja, pero sin compartir los datos públicamente.

Otra institución que maneja los datos del caudal del Madre Vieja es el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH)⁴⁴ que reporta un caudal promedio histórico para el mes de junio de 29.9 m³/s y promedio para junio 2013 de 51.11 m³/s. En la realidad el Instituto solamente midió el caudal en un solo punto a lo largo del río, en Patulul, y solo durante la época de lluvia, sin especificar además el instrumento utilizado. No teniendo así un valor de referencia del caudal en los años anteriores. Los impactos de las diferentes actividades agroindustriales en la cantidad de agua superficial que fluye en la cuenca no pueden estimarse. Sin embargo, el estudio proporciona la situación corriente de la cuenca y los impactos actuales a lo largo de un año de mediciones. Durante las mediciones lo que se notó fue que el fondo del lecho del Río Madre Vieja está, por su naturaleza, en continua transformación a causa de su textura arenosa con fenómenos de depósitos (aumento del fondo) y erosión con la consiguiente disminución del fondo. Así que se operó la parte de medición de la profundidad del agua, a través de la barra métrica, teniendo cuidado al no enterrar la barra y a no pisar la zona para no alterar ulteriormente la sección.

En general, se distingue entre un caudal máximo durante el cual se registra la expansión máxima del lecho del río, llamada lecho de inundación, un caudal medio (o suave) y un caudal mínimo.

Las temporadas de medición fueron tres, y se realizaron en los meses de febrero, abril y agosto. Debido al retraso en la importación de los instrumentos desde Canadá, no se contó con datos continuos durante el mes de febrero, ya que no se pudo medir el caudal en todos los puntos programados. Los datos generados en la época de febrero

El caudal de un río depende de muchos factores: de las características del clima, de la extensión y morfología de la cuenca, de los factores estructurales, de las propiedades físicas, de los factores antrópicos, entre otros. Su valor varía a lo largo del río: aumenta desde el manantial a la desembocadura (al mar y lago), y varía con el aumento de la precipitación pluvial.



no incluyeron el punto C1-San Jorge y los datos con la asterisco (*) fueron recolectados a final de marzo. La campaña de abril fue completa y continua, así como la de agosto a excepción del punto C6 (en el desvío) ya que, por las fuertes lluvias, el desvío fue cerrado para evitar inundaciones y daños a las plantaciones. El río Madre Vieja en el punto C1 es un

pequeño riachuelo, que empieza a tener un caudal considerable solo en el punto C2 en proximidad de Cocales. De hecho, el punto C2 se utilizó como punto de referencia para la parte medio-alta de la cuenca no afectada por los desvíos de los monocultivos. Los datos calculados para los períodos de estudio se resumen en la siguiente tabla.

Cuadro 2: Resultados de los caudales calculados en las tres temporadas de medición a lo largo del Madre Vieja

Estación de medición	Unidad de medida	Puntos de muestro - Río Madre Vieja									
		C1 San Jorge	C2 Cocales	C3 Las Ilusiones	C4 El Sombrero	C5 Trocha 2	C6 Derivación (monte)	C6 Derivación (abajo)	C7 Derivación (abajo)	C8 Desembocadura	
FEBRERO (sequía)	Q = [m ³ /s]	ND	8,7*	8,36*	7,14*	6,22	3,93	0,13	3,32	1,9	
ABRIL (sequía-lluvia)	Q = [m ³ /s]	1,46	9,5	7,15	5,27	6,44	4,7	0,33	4,25	4,03	
AGOSTO (canícula)	Q = [m ³ /s]	2,09	10,53	11,59	12,3	13,33	11,84	ND	11,03	11,12	
Lungh.sección	m	9	39	35	65	55	31	3	34	23	
Área sección	m ²	5,04	15,77	14,37	13,18	13,7	8,55	0,44	8,76	8,48	

⁴³ Instituto sobre el Cambio Climático -ICC.

⁴⁴ Insivumeh; http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/Boletin_Hidrologico_Mensual.pdf

La anchura del Río Madre Vieja medida en el punto C1, tiene una longitud de 9m, típica de un río en desarrollo; se ensancha en el punto C2-Cocales llegando a 39m para redoblar en el punto C5-El Sombrero llegando a 65m. Agua abajo se reduce considerablemente a la mitad llegando a medir en el punto C7, agua abajo de la última desvío, 34 metros hasta reducirse ulteriormente a 23 metros cerca de la desembocadura al mar. La expansión lateral inicial de la anchura del río refleja la natural tendencia de cada cuerpo hídrico que, al recibir más recarga por parte de los demás afluentes y riachuelos de la parte alta de la cuenca, se expande.

Su consecuente contracción lateral, agua abajo del punto C5 hasta la desembocadura del C8, es el efecto de una reducción de caudal, lo que implica que la sección mojada se ha estrechado en los años modificando la morfología del cauce. La anchura, en este último tramo desde C5 (65 m) a C8 (23 m), se reduce del 65%.

La profundidad media del agua a lo largo del río se reduce desde la parte alta de la cuenca (empezando con el punto C2 en Cocales) hacia la desembocadura (C8) durante la época seca que va desde febrero hasta abril; mientras aumenta durante la época de lluvia en agosto. Sobre todo durante las mediciones de agosto se observa un aumento de la profundidad en punto terminal del Río (C8), que refleja el aumento del caudal desde monte hacia la desembocadura debido a las intensas lluvias y a la ausencia de desvíos durante esta época, ya que el riego está garantizado con el aporte de la lluvia misma. El valor promedio medido durante la época seca (febrero-abril) varía entre un mínimo de 19 cm y un máximo de 40 cm. Durante la época de lluvia los valores duplican pasando de un mínimo de 34 cm y un máximo de 68 cm. Por ejemplo, en el punto C4-El Sombrero, cuya longitud es de 65 metros, la profundidad de agua es extremadamente baja: valor mínimo de 9 cm en las orillas y máximo de 80 cm en la parte central.



Figura 16: Profundidad media de la columna de agua

3.3.1 Mediciones en febrero

Durante las mediciones de febrero, se observa que el caudal se redujo del 80% en su porción terminal, midiendo, en el punto C8, $QC8=1,9 \text{ m}^3/\text{s}$ comparado con la parte medio-alta de la cuenca donde en el punto C2 se encontró $QC2= 8,7 \text{ m}^3/\text{s}$. No se observa una reducción homogénea y constante, si no una drástica disminución.



Figura 17: Caudal del Río Madre Vieja en el mes de febrero 2018

Este fuerte cambio en la oscilación de la cantidad de agua que fluye en el cauce está provocado por las múltiples desviaciones y captaciones de agua, a través de las bombas para la acumulación en las norias, presentes en su camino. Siendo el Madre Vieja un río que no está recargado por muchos afluentes y que solo se recarga por el aporte de lluvia (desde mayo hasta noviembre), resulta gravemente afectado por el continuo y enorme retiro de agua que altera la estabilidad del ecosistema hídrico por no tener un justo balance entre recarga y descarga. De hecho, durante la época seca, el sistema está sujeto solo a retiro sin recarga: un proceso que no permite al ambiente recuperarse, ni permite su utilización para otros usuarios

como los pequeños campesinos, el uso doméstico, uso potable, otras actividades comerciales y la pesca. Un caudal de esta cantidad tan pequeña no es suficiente para la satisfacción de las necesidades básicas de las personas que viven en el territorio. Así que durante los seis meses de sequía (noviembre-abril), la región vive una verdadera privación de agua.

En el punto C6 se midió el caudal del río agua arriba (desvío a monte -M) y agua abajo (desvío a valle-V) del último desvío del río (antes que el río desemboque al Océano Pacífico), para observar cómo varía la cantidad de agua que se resta con el desvío.

A lo largo del Madre Vieja hay más de 30 desvíos (según las imágenes satelitales en Google Earth captadas en el año 2016-2017), muchos de estos son más grandes que este pequeño desvío en el punto del monitoreo C6 en donde se midió el caudal.



Se midió además la velocidad del agua directamente en el desvío y se calculó su caudal. A causa del desvío, el caudal, en este punto, se reduce del 15%, pasando de 3,93 m³/s a 3,32 m³/s; el caudal en el desvío resta 0,13 m³/s del cauce principal. La cantidad de agua que se resta en el desvío corresponde al 22% de la cantidad total de agua que se pierde en menos de 100 metros y que corresponde a 0,61 m³/s (desde el punto de medición agua arriba y agua abajo). Los otros factores que influyen en la pérdida de agua son la evapotranspiración (evaporación del agua contenida en el suelo y en la vegetación) y evaporación (debido a la alta temperatura media del aire en la región costeña ~ 27-29 °C) y sobre todo la infiltración de agua de río en el acuífero. La unión de estos dos factores incide en la pérdida del 78% de la cantidad de agua en este punto.

Hipótesis aclarada por la información proporcionada por el ICC⁴⁵ (véase sección 2.1. Geología de la cuenca del Río Madre Vieja) donde la mayoría de la superficie de la parte baja de la cuenca corresponde a suelos muy

Figura 18: Desviación en el punto C6, el último antes de la desembocadura al mar

permeables, con valores de infiltración entre 0.8-1.10 cm/h. Existe también una presencia significativa de materiales con una permeabilidad más moderada en la parte alta y media de la cuenca, presentando valores que oscilan entre 0.35 y 0.8 cm/h. Considerando la baja confiabilidad de esta información, se quedó a la espera de estudios más objetivos por parte de instituciones nacionales no vinculadas al agronegocio.

Si se hipotetiza que el desvío está siempre abierto durante todo el año con la misma anchura, bajo las mismas condiciones meteorológicas locales, se puede calcular, aproximadamente, cuánta agua fluye en el desvío cada año. Entonces, tomando en cuenta, según datos de campo, que la cantidad de agua que el desvío en este punto resta del cauce principal es igual a 0,13 m³/s, es decir 130 litros al segundo, lo que equivale a 468.000 litros cada hora, 11.232.000

⁴⁵ICC; <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2017/07/Estudio-Hidrologico-Madre-Vieja.pdf>



Figura 19: Grandes desvíos de 7 y 11m de ancho a la altura de Almolonga

litros al día, la cantidad de agua total es de 2.3⁴⁶ mil millones de litros cada año en la época seca. Pero esta desvío es una de las tantas (alrededor de 30 y más) que se ha observado desde imágenes satelitales. A continuación se reportan los desvíos más anchos observados. La declaración universal sobre el derecho al agua y al saneamiento (Resolución 64/292) afirma que cada ser humano tiene derecho a una cantidad de agua entre 50 y 100 litros por día. Si se compara el consumo de agua de las agroindustrias con las necesidades de la población local y de las actividades agro-

pecuarias a pequeña escala, la diferencia es abismal: la cantidad de agua que fluye al segundo (130 l/s) en una sola pequeña desvío de 3 metros, es la cantidad que una persona necesita en un día (50-100 l/d).

A lo largo del Madre Vieja hay más de 30 desvíos (según las imágenes satelitales en Google Earth captadas en el año 2016-2017), muchos de estos son más grandes que un pequeño desvío de 3 metros en donde se midió el caudal.

Además que las empresas instalaron bombas

La declaración universal sobre el derecho al agua y al saneamiento (Resolución 64/292)⁴⁷ afirma que cada ser humano tiene derecho a una cantidad de agua entre 50 y 100 litros por día. Si se compara el consumo de agua de las agroindustrias con las necesidades de la población local y de las actividades agropecuarias a pequeña escala, la diferencia es abismal

⁴⁶12.358.720.000 litros de agua

⁴⁷IUNDOCS; <http://undocs.org/A/RES/64/292>



Figura 20: Captación de agua con bomba desde el Río

FUENTE: Source International - Andrea Pepe

para sacar agua continuamente con un caudal mayor de lo que escurre en una desvío, ya que son accionadas eléctricamente. Las empresas se abastecen de agua subterránea a través de los pozos.

Según estimaciones muy generales y aproximadas y basadas en los datos que se obtuvo de este monitoreo ambiental, si se utiliza el dato del caudal de este desvío de 3 m de anchura y se aplica a una desvío de 12 m de anchura (como la que se encontró en proximidad de Almolonga) y se hipotetiza que en esta desvío escurre agua a la misma velocidad medida en el desvío C6 (asumiendo que la profundidad del agua sea la misma), se puede estimar un caudal promedio, dentro de el desvío, de 0,52 m³/s (520l/s). O sea, un desvío de 12m de anchura resta aproximadamente 1.872.000 litros de agua cada hora, 44.928.000 litros cada día, por un total de 9.4 mil millones de litros cada año durante la época seca desde noviembre hasta mayo.

Si se hipotetiza la existencias de al menos 30 desviaciones a lo largo del río, y se supone que cada una de estas, resta 0,13 m³/segundo, se obtiene que las empresas captan 336.960.000 litros de agua cada día del Río, lo que se traduce en 70.7 mil millones de litros durante los 7 meses (210 días) de la estación seca. Esta cantidad de agua es preocupante: si se toma en cuenta las problemáticas de sequía que caracteriza la región por 6-7 meses al año (desde octubre-noviembre hasta abril-mayo), esto implica daños serios a los acuíferos que no reciben la recarga suficiente para que el agua pueda ser utilizada para la población campesina, que vive una tremenda crisis alimenticia, sanitaria y socio-económica a causa de la escasez de agua.

3.3.1 Mediciones en abril

Durante la temporada de abril el caudal resulta igualmente en pérdida de agua a lo largo de su trayectoria desde el área montañosa a la planicie costera. Durante la campaña de medición se verificó el adelanto de la época lluviosa a final de abril en lugar de mayo, con precipitaciones lluviosas en la parte alta de la cuenca.



Figura 21: Caudal del Río Madre Vieja en el mes de abril 2018

Así que el caudal del Río ha sido influenciado probablemente por esta recarga de lluvia, lo que se tradujo en un ligero aumento de la cantidad de agua que fluyó en la parte baja de la cuenca, hasta llegar cerca de la desembocadura al mar con un caudal QC8 de 4,03 m³/s, o sea el doble de lo de febrero (QC8 =1,9 m³/s). El caudal se redujo del 42% a lo largo de su trayecto, pasando de la parte medio-alta de la cuenca (C2) con 9,5 m³/s, hacia la desembocadura (C8) con 4,03 m³/s.

A causa del desvío, el caudal, en este punto, se reduce del 10%, pasando de 4,7 m³/s a 4,25 m³/s. Se excluyó reportar en el gráfico el caudal del punto C1-San Jorge ya que en este punto el Madre Vieja es un riachuelo y no representa el caudal ya bien formado, que se observa en lugar en la parte media de la cuenca.

En el desvío el valor del caudal medido es de 0,33 m³/s, más del doble de febrero (0,13 m³/s). La cantidad de agua que se pierde entre el punto agua arriba y abajo de el desvío es igual a 0,45 m³/s: 0,33 m³/s entran en el desvío, y el restante 0,12 m³/s probablemente se pierde por evaporación/evapotranspiración e infiltración en los acuíferos. Durante la época de febrero se observa que la mayor parte del agua se pierde por el desvío (73%) y la minoría por otros factores (27%).



Figura 22: Flujo de agua en el Río Madre Vieja

3.3.3 Mediciones en agosto

Guatemala, se encuentra en una zona ecuatorial, donde las oscilaciones de la Zona de Convergencia Intertropical provocan dos estaciones: una lluviosa y una seca. Considerando tal premisa se asume que el régimen del caudal del Río Madre Vieja sea estacional ya que su única forma de recarga y alimentación es de origen pluvial con agua durante la estación propicia (invierno: mayo-noviembre). Pero lo que se evidencia es más bien un régimen irregular con una diferencia, entre el caudal máximo y el mínimo, causada por las alteraciones profundas del territorio, el cambio drástico del ciclo hidrológico de una entera cuenca y en los últimos años el cambio climático ha variado la temporalidad de las dos estaciones climáticas.

Situación diferente es aquella que caracteriza la tercera campaña de medición que se hizo en el mes de agosto, que notoriamente representa la fase central de la época lluviosa. Las mediciones se hicieron durante la canícula, que es un período de sequía (alrededor de unas semanas) dentro la época de lluvia. En caso contrario no habría sido posible ingresar físicamente al Río para las mediciones a causa de las fuertes corrientes por seguridad personal de los técnicos que realizaron las mediciones.

Durante esta campaña, se observó que el caudal se mantuvo constante a lo largo de su camino e incrementó su flujo desde la parte media-alta de la cuenca (punto C2 con caudal 10.53 m³/s) hacia la parte baja de la planicie (punto C5 con caudal 13,33 m³/s) por el aporte de lluvia de los meses previos a la canícula. El caudal, aguas abajo del punto C5 se reduce y se mantiene alrededor de 11 m³/s. En esta temporada, el desvío en proximidad del punto C6 no estaba abierto así que no fue posible medir el caudal. Estos datos van interpretados como una fotografía del estado actual del río Madre Vieja. No se tienen datos científicos del caudal en los años anteriores para poder establecer una comparación. Solo se conoce que en los últimos 25 años (antes del 2016 con la liberación del Río), no había un flujo hídrico durante la época de sequía a causa de las grandes y múltiples captaciones de agua (desvíos, bombas, pozos).

Considerando que durante la estación de lluvia, por el aporte de las precipitaciones para el riego, los desvíos no están activos y el caudal se mantiene constante, mientras durante la época seca los desvíos están activas y por esto se observa el descenso del caudal, se puede afirmar que los desvíos son responsables de la reducción del caudal. La tendencia decreciente de la cantidad de agua es evidente y muy marcada en las dos estaciones secas (febrero y abril), donde se observa que los valores más altos de los caudales

Los desvíos del agua superficial implican una alteración del régimen hidrológico natural, que consiste en una reducción generalmente considerable de los caudales del Río. Esta alteración determina un empobrecimiento del ecosistema fluvial bajo el aspecto cualitativo y cuantitativo y por ende la alteración del paisaje y la disminución de la biodiversidad local.



Figura 23: Caudal del Río Madre Vieja en el mes de agosto 2018

se registran en la parte alta de la cuenca en Cocaleas (C2) y los valores más bajos en el punto terminal en la Trocha 14, antes que el Río desemboque al mar (C8).

La reducción de la cantidad de agua que fluye en el Río Madre Vieja causa una condición desfavorable de un punto de vista ambiental y socio-económico. La mayoría de la pérdida de agua a lo largo del Río es debida al desvío de agua para el riego de extensos monocultivos

que requieren millones de litros diarios de agua, como se ha observado en los cálculos previos.

Todo esto repercute en las comunidades ya que implica un cambio de la función del recurso hídrico y de los recursos naturales de lo que dependen las comunidades locales para su vida. Específicamente, los **efectos ecológicos** derivados por la reducción del flujo se pueden resumir en los siguientes puntos:

1

REDUCCIÓN DE LA SUPERFICIE DEL LECHO DEL RÍO MOJADO

Con la consiguiente eliminación del espacio vital disponible para la fauna acuática forzado a una contracción en términos de número de individuos. Los individuos que sobreviven también están sujetos a una mayor competencia. Por ejemplo, siendo el lecho de río Madre Vieja plano y ancho, donde el agua fluye en una hoja delgada, no será adecuado para alojar peces debido a la falta de agua y porque en esas condiciones los peces están más expuestos a los depredadores aéreos (aves) y las adversidades climáticas (aumento de temperatura). En lugar, una profunda columna de agua puede garantizar la protección de los peces.

2

DISMINUCIÓN DE LA VELOCIDAD DEL AGUA Y DE LA TURBULENCIA

Al restar agua se reduce la capacidad de autopurificación del agua misma frente a posibles contaminantes y se favorece el proceso de sedimentación del material fino que daña los organismos que viven pegados al lecho del río y que están a la base de la cadena alimenticia de un río.

3

DETERIORO DE LOS ASPECTOS DE LA CALIDAD DEL AGUA

Menor volumen significa menor capacidad de dilución de los contaminantes y menor capacidad de homeostasis térmica (el cuerpo de agua se calentará o enfriará más rápido, con el riesgo de alcanzar temperaturas críticas para organismos acuáticos).

4

SALINIZACIÓN DEL ACUÍFERO:

los acuíferos costeros requieren una adecuada gestión de sus recursos debido a que presentan un mayor grado de afección del fenómeno de salinización que se da en forma natural en la zona de contacto con el mar, induciendo la penetración de la cuña salina tierra adentro a una tasa mayor de la esperada en condiciones de ausencia de explotación. Cuando los niveles de extracción superan a la capacidad de recarga de dichos acuíferos, se está frente a un escenario de sobreexplotación del recurso hídrico, dando origen al problema de contaminación de aguas subterráneas conocido como Intrusión Salina. La penetración de la cuña salina se transforma en un proceso inevitable y difícil de remediar, lo que representa una amenaza considerable a las reservas de aguas subterráneas con que cuenta la región de Nueva Concepción.

5

AFECTACIONES AL BOSQUE DE MANGLAR

a la desembocadura por menor aporte de agua dulce y probablemente contaminada por fertilizantes, pesticidas, contaminantes varios de las aguas residuales de las habitaciones. La reducción en la cantidad de agua que fluye en un río conlleva, causa una cadena de efectos desde los ecológicos arriba mencionados, hasta los daños sociales, económicos y sanitarios en las comunidades locales, aquí se reportan a manera de resumen en la figura 24



Los impactos ecológicos en término de la **reducción de la biodiversidad** inciden en la contracción de las poblaciones de pescado, lo que ha impactado los pescadores de río que han perdido su ingreso económico de subsistencia necesario para la economía familiar. Además, un menor abastecimiento de proteínas animales en la dieta de la población local, ya bastante comprometida por la falta de agua generalizada que implica menor cosechas de frutas, vegetales y cereales, que conlleva un desplazamiento en la calidad y cantidad de los alimentos en poblaciones en desventajas económicas.

La menor recarga de agua dulce en los acuíferos causa la **desección de los acuíferos**, lo que implica una reducción del acceso en términos cuantitativo y cualitativo al agua:

Los manglares son considerados como uno de los ecosistemas más productivos del planeta por su aporte ecológico y rendimiento económico. Su característica más representativa es poder soportar la alta salinidad de las aguas salobres de los estuarios fluviales. Sus raíces sumergidas funcionan como criaderos para muchas especies de peces, crustáceos y moluscos.

mayores gastos para las familias conseguir agua embotellada, gastar gasolina para ir a recolectar agua potable a los pozos públicos, o abrir un pozo artesanal más profundo.

Mayores gastos económicos conllevan problemas de pobreza, desventajas económicas a nivel familiar y comunitario. Quien no tiene acceso económico a este tipo de gastos, consume una menor cantidad de agua o la consigue de baja calidad, lo que lleva muchas causas a seguir como: mayor propensión a problemas sanitarios e higiénicos y de alimentación.

El agua no potable y el saneamiento deficiente son las causas principales de la mortalidad infantil. La diarrea infantil asociada a la escasez de agua, saneamientos inadecuados, aguas contaminadas con agentes patógenos de enfermedades infecciosas y falta de higiene causa la muerte prematura en niños menores de 5 años⁴⁸.

La desecación de los pozos y su empeoramiento en la calidad por el fenómeno de la probable **intrusión salina**, implica daños para los agricultores y ganaderos a pequeña escala. Menor agua disponible, menor cosecha, menor ganancias, más pobreza y empeoramiento de la calidad de la vida por la reducción y/o falta de acceso a servicios médicos, de educación y recreativos.

Sus raíces sumergidas funcionan como criaderos para muchas especies de peces, crustáceos y moluscos, contribuyendo desde la perspectiva de la seguridad alimentaria, al ser una fuente de subsistencia de las poblaciones humanas ubicadas a lo largo de

los litorales costeros. De estos ecosistemas dependen hasta dos terceras partes de las especies de peces que habitan los mares, los cuales son vitales para la industria de la pesca. Así que cualquier cambio en los bosques de manglar lleva a una reducción de las poblaciones animales acuáticas que están en la base de la alimentación de la población de la Costa Sur.

En general se puede presumir que los efectos ligados a la reducción en el caudal abarcan la zona de la cuenca media y baja del Río Madre Vieja y son impactos a largo plazo por las consecuencias que implica el deterioro ambiental. Los ecosistemas ambientales necesitan de muchos años para recuperarse al cesar los impactos. Es decir, aunque los desvíos se quitaran hoy, el ambiente no puede restablecer su estado óptimo en unos pocos años sino en décadas. Además, dependiendo del grado de los daños hechos, hay componentes que no se pueden restablecer como es la biodiversidad animal, vegetal y el aspecto relativo a la fertilidad del suelo, entre otros.

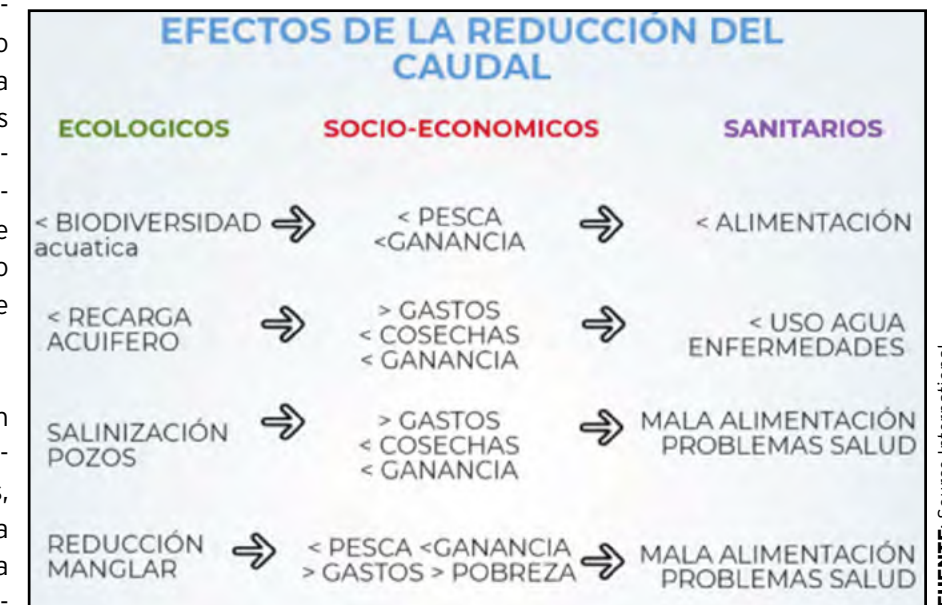


Figura 24: Efectos en cadena de la reducción del caudal (elaboración propia)

⁴⁸ Naciones Unidas. <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>

3.4. La necesidad de definir el caudal ecológico

Un aumento de superficie mojada, que corresponde a un aumento de caudal, permitiría una recuperación de algunos hábitats ecológicos fundamentales para la sobrevivencia de especies acuáticas y aves. Aunque el aumento de la cantidad de agua no es el único factor en el mantenimiento de la biodiversidad, sino que hay que considerar la calidad del agua misma, del aire y el paisaje en el entorno.

Para mantener el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico, así como permitir la protección de los ecosistemas riparios, ecosistemas acuáticos terrestres y costeros, es necesario que se garantice un régimen de caudal ecológico en las corrientes o escurrimientos.

Existe una problemática nacional relativa a la disminución del agua en los cauces, derivada de la competencia entre usos y la falta de regulación conforme la disponibilidad del recurso.

Al no **existir una normatividad** específica con respecto al caudal ecológico, las concesiones y asignaciones, así como los permisos de descarga, no han considerado plenamente la necesidad de establecer un régimen de caudal, que es de gran

importancia para la preservación de los ecosistemas: fluviales y estuarios por la zona de estudio.

La definición de caudal ecológico es la cantidad, calidad y variación del gasto o de los niveles de agua reservada para preservar servicios ambientales, componentes, funciones, procesos y la resiliencia de ecosistemas acuáticos y terrestres que dependen de procesos hidrológicos, geomorfológicos, ecológicos y sociales. Un caudal puede considerarse ecológico si es capaz de mantener el funcionamiento, la composición y la estructura de un ecosistema fluvial, igual que en condiciones naturales.

Esto implica que además proveer agua para los usos doméstico, público urbano, pecuario y agrícola, es posible mantener caudales provenientes tanto del escurrimiento, como de las descargas de los acuíferos para la conservación de los ecosistemas lóticos (ríos perennes, intermitentes y efímeros), lénticos (lagos, lagunas, y humedales) y riparios con la aportación de los acuíferos al ecosistema, que sirven para conservar la biodiversidad y los servicios ambientales. Para determinar el régimen del caudal ecológico se han desarrollado, a nivel internacional, gran cantidad de metodologías:

1 HIDRÁULICOS

Se considera que variables hidráulicas simples como el perímetro mojado o la profundidad máxima, juegan como factores limitantes en la biota. Estos métodos, generalmente, se basan en estudios de una sección transversal de un río, para así relacionar la magnitud de la descarga con la profundidad de los cauces, velocidad y perímetro mojado.

2 SIMULACIÓN DE HÁBITAT

Las especies de peces están mejor adaptadas a ciertas características hidráulicas, estructurales y geomorfológicas. Al conocer cómo afecta el caudal a estas características, se puede predecir el caudal óptimo para mantener las poblaciones de estos peces.

3 HOLÍSTICOS

Asumen que si son identificadas las características esenciales del flujo hídrico que pueden generar un impacto ecológico y son incorporadas dentro de un régimen de flujo modificado, entonces la biota y la integridad funcional del ecosistema será mantenida⁴⁹.



Figura 25: Riego extensivo en plantación de caña de azúcar

FUENTE: Source International

Las diferentes metodologías se pueden aplicar solo si se dispone de datos históricos de caudales medios anuales y datos ecológicos del entorno. Desafortunadamente el contexto del Río Madre Vieja no ha sido estudiado y los datos del caudal que se poseen son pocos y relativos a un solo año (2018), lo que impide tomar en cuenta un cálculo aproximativo del caudal ecológico.

Aunque sin definir la cantidad mínima de agua requerida para: el mantenimiento de los ecosistemas presentes, preservación de la calidad ecológica y cubrir las necesidades básicas de las comunidades locales, se puede afirmar que el caudal que actualmente fluye no representa un nivel de caudal ecológico, ya que es insuficiente e inadecuado en términos:

1 HIDRÁULICOS por la baja profundidad del agua que varía entre un mínimo 0.19m durante la época de sequía (0.34m en agosto); hasta un máximo de 0.42m en febrero-abril y 0.68m en agosto.

2 ECOSISTÉMICOS por la ausencia de vegetación ribereña en las orillas del río (ocupadas por monocultivos) cuya influencia en el mantenimiento y en la rehabilitación del estado ecológico de los ríos es fundamental, ya que representa un elemento clave para proteger, conservar y restaurar los ríos⁵⁰.

3 BIOLÓGICOS por la evidente y comprobada ausencia de fauna acuática (micro a macrovertebrados) y en general escasez de fauna típica de zonas fluviales (entre aves-reptiles-mamíferos).

Además el problema de la ausencia de un caudal ecológico se refleja en el problema de la posible intrusión salina, así que se debería asegurar un determinado caudal (flujo hídrico) hacia el mar para mantener limitada la intrusión salina hacia tierra adentro.

⁴⁹ Arthington et al. 1998. https://www.researchgate.net/publication/228701645_Comparative_Evaluation_of_Environmental_Flow_Assessment_Techniques_Review_of_Methods

⁵⁰ http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000400010

Las actividades agroindustriales afectan no solo la disponibilidad del agua, sino su calidad y potabilidad. El ciclo hidro-social evidencia cuáles factores y actores alteran el frágil equilibrio del ciclo del agua en la cuenca del río Madre Vieja. El agua que sale del manantial en el territorio de Sololá, es libre de contaminantes, pura limpia y salubre.

A lo largo de su trayecto hacia la desembocadura al mar, el Río recibe la deposición de las fumigaciones aéreas con pesticidas, la lixiviación de los fertilizantes y pesticidas lixiviados del terreno y posiblemente sustancias contaminantes presentes en las aguas residuales tratadas utilizadas como fertirriego (en el caso del Grupo Hame) por arrastre hacia el río y/o acuífero. También recibe las aguas negras de las habitaciones y las aguas de descargas de la empresa PARMA dedicada a la fabricación y comercialización de productos elaborados y derivados de leche fresca (quesos y helados principalmente).

La alteración fisicoquímica de las propiedades del agua comprometen su potabilidad, su uso para el riego y actividades agropecuarias y su protección y mantenimiento para el ecosistema acuático y terrestre. Se investigó la calidad del agua del Río Madre Vieja con análisis de los parámetros fisicoquímicos en campo con instrumentos portables y a través de análisis de laboratorio.

En su página web, Grupo Hame⁵¹ (que trabaja no solo con palma aceitera si no también con hule y banano) afirma que tratan las diferentes tipologías de las aguas residuales. Las aguas residuales ordinarias, que son similares a las generadas por usos domiciliarios, son tratadas en plantas de tratamiento de aguas residuales hasta un tratamiento terciario que cumple la etapa cuatro del Acuerdo Gubernativo 236-2006. Las aguas residuales especiales, que se producen en la extracción del aceite de palma, son tratadas en sistemas combinados anaeróbicos y aeróbicos reduciendo la carga orgánica a niveles que puedan ser utilizadas sucesivamente como aguas para

el fertirriego. En Tiquisate, en la Finca Santa Rosa se ubica la planta extractora de aceite de palma del Grupo Hame. No se conoce si existen canales de desagüe directos a las quebradas y por ende al río Tiquisate (a la izquierda) y/o Madre Vieja (a la derecha) pero se conoce que la compañía utiliza agua residual tratada para el fertirriego, lo que podría ocasionar contaminación del suelo y aguas superficiales y subterráneas si los límites de concentración de los contaminantes no respetan los estándares para el agua potable y uso doméstico.

A esto se añade otro riesgo ligado al proceso anaeróbico de tratamiento de las aguas residuales: vértigos y/o derrames pueden ocasionar serios problemas a los acuíferos.

En la página de REPSA⁵² en el documento sobre la Finca San Román en Sayaxché, Petén, por ejemplo, la industria palmera afirma que el tratamiento de las aguas residuales del lavado de los instrumentos usados para la aplicación de los agroquímicos se hace en envase de piedras con filtro en piedrín y ceniza y luego se descarga al subsuelo. Sin embargo, un filtro en piedras no es un sistema de filtración adecuado para reducir las sustancias químicas en el agua, ya que generalmente se procesan con filtros de carbón activado, nanofiltración, ósmosis inversa. Afirman además que el sistema de tratamiento de las aguas residuales especiales resulta deficiente ya que por el tipo de suelo rebalsa. Añaden también que las fuentes de agua que se encuentran en la zona de la finca y a sus alrededores pueden ser afectadas por arrastre de agroquímicos. Siempre en su documento definen que el monocultivo de palma no contribuye a la biodiversidad en la zona.

4. ESTUDIO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO MADRE VIEJA

Las actividades agroindustriales afectan no solo la disponibilidad del agua, sino su calidad y potabilidad.

⁵¹ Grupo Hame; <http://grupohame.com/gestion-ambiental/>

⁵² Reforestadora de Palmas de Petén (REPSA), que forma parte de la empresa Olmeca (nombre de la marca del aceite que producen), que integra el grupo palmero HAME.



Figura 26: Ubicación de la Finca Santa Teresa Grupo-Hame

FUENTE: Google Earth

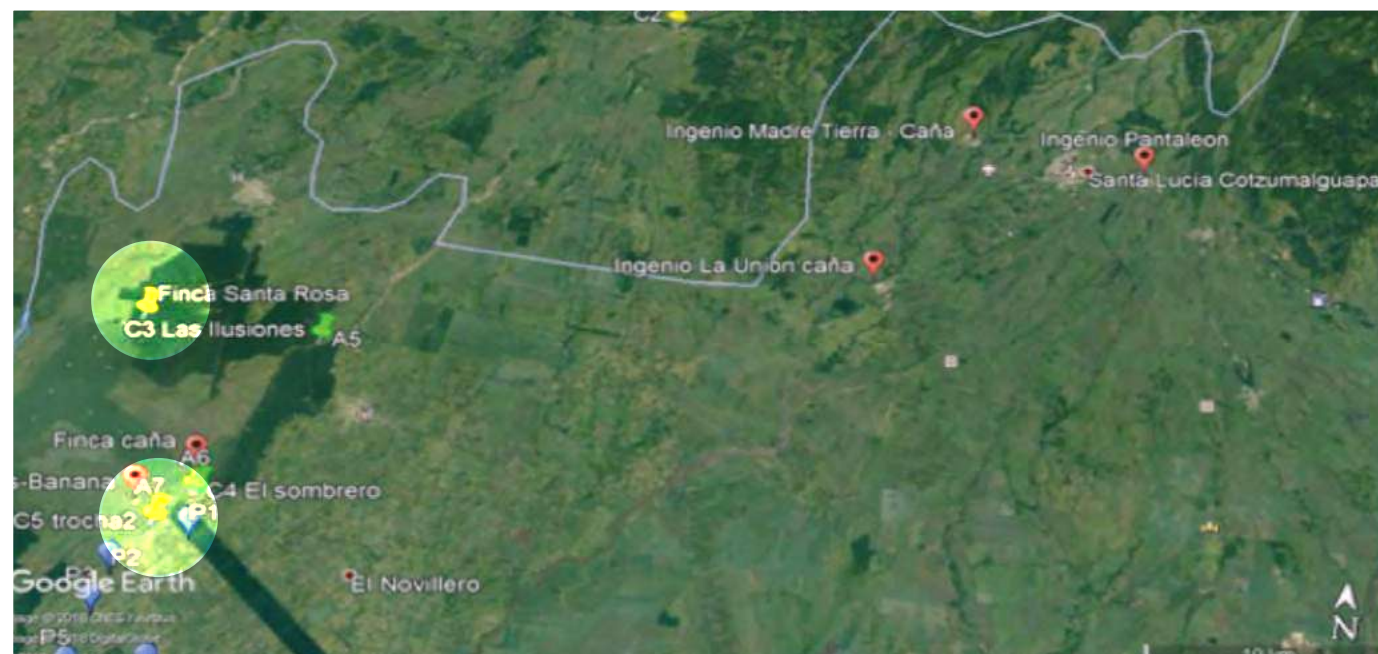


Figura 27: Ubicación de ingenios azucareros

Las grandes plantas de extracción y refinación del azúcar se encuentran en la parte norte del Departamento de Escuintla: en un área de 40 km² su ubican el Ingenio Pantaleón, Madre Tierra y La Unión, que fueron construidos especialmente cerca de los ríos y riachuelos para utilizar el agua y para en ella deshacerse de las aguas residuales también. El ingenio Pantaleón está pegado al riachuelo Pantaleón (afluente del río Coyolate); el ingenio Madre Tierra y La Unión están cerca de los afluentes del Coyolate. Estas plantas se encuentran bastante lejos del territorio donde escurre el Madre Vieja, así que las aguas residuales de estas industrias afectan directamente al Río Coyolate.

Estas apreciaciones se hicieron ya que, no conociendo si hay sitios de descargas directas en el Madre Vieja por parte de las empresas (sea de agua de las plantas, sea por vertido directo de desechos), no fue posible hacer mediciones de la calidad del agua cerca de los puntos de probable/ posible emisión de contaminantes en el área propiedad de la empresa. Así que los datos que se tienen, sobre el monitoreo de calidad del agua, son más bien una fotografía de la situación del río bajo diferentes fuentes importantes cuyos contaminantes están diluidos y transportados a lo largo de su trayecto.

4.1. Materiales y métodos

El estudio investigó la calidad del agua del Río Madre Vieja en 9 puntos a lo largo de su trayecto desde el afluente del Madre Vieja (A1) hasta la desembocadura al Océano Pacífico (A9). En la tabla se reportan los datos de campo de los puntos de muestreo.

Punto	Ubicación Comunidad	Altitud M s.n.m	Coordenadas geográficas	
			Norte	Oeste
A1	Puente de Los Robles Afluente del Río Madre Vieja	2142	14° 42' 16.25"	91° 4' 32.78"
A2	Finca San Jorge Cultivos familiares	848	14° 33' 24.19"	91° 6' 48.32"
A3	Agua arriba de Patulul Agua abajo de PARMA	378	14° 26' 52"	91° 8' 37"
A4	Agua arriba del puente de Cocales Agua arriba empiezo de monocultivos	227	14° 23' 46.84"	91° 12' 00.69"
A5	Las Ilusiones Monocultivos de caña	58	14° 13' 1.90"	91° 19' 29.69"
A6	El sombrero Monocultivos de caña	36	14° 8' 28.734	91° 21' 35.50"
A7	Trocha 2 Monocultivos de caña	32	14° 7' 34.65"	91° 22' 28.05"
A8	Trocha 14 / Última desvío Monocultivos de caña	10	14° 2' 23"	91° 25' 33"
A9	San Francisco Monocultivos de caña –Estación ICC	6	14° 01' 07"	91° 25' 47"

Cuadro 3: Ubicación de los pozos donde se realizó monitoreo de calidad de agua

El punto A1 se encuentra en la parte alta de la cuenca del río Madre Vieja: en este punto no hay cultivos extensivos, solo pequeñas parcelas familiares. No hay fuente alguna de contaminación industrial. Este riachuelo es un afluente del Madre Vieja y mide alrededor de un 1 metro de anchura. El riachuelo escurre

a la base de los las montañas las cuales presentan una frondosa vegetación en sus alrededores. El punto A2 se ubica en la Finca San Jorge (corresponde al punto C1 en las mediciones del caudal). En sus alrededores hay bosques y ningún cultivo domina este territorio agua arriba del punto de medición.

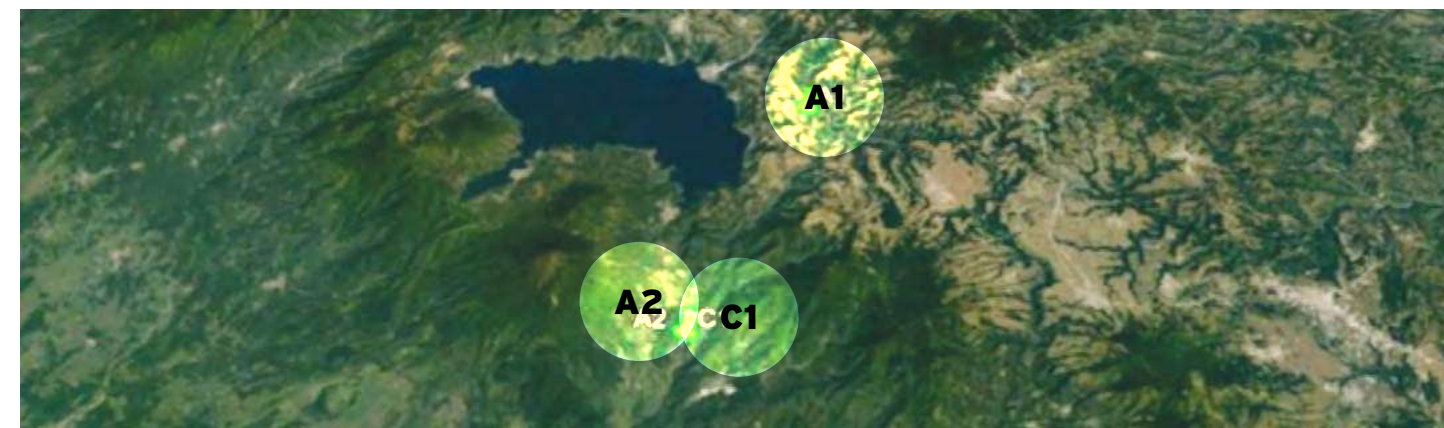


Figura 28: Parte alta de la cuenca del Río Madre Vieja

FUENTE: Google Earth

El punto A3 se ubica agua abajo de la industria PARMA y agua arriba de Patulul. El punto A4 se encuentra en Cocales, agua arriba del puente y corresponde al punto C2 del caudal. Supuestamente agua abajo del punto, el Río Madre Vieja recibe las descargas de aguas y basuras de la ciudad. De este sitio en adelante, el territorio se caracteriza con una mayor superficie destinada a los monocultivos.

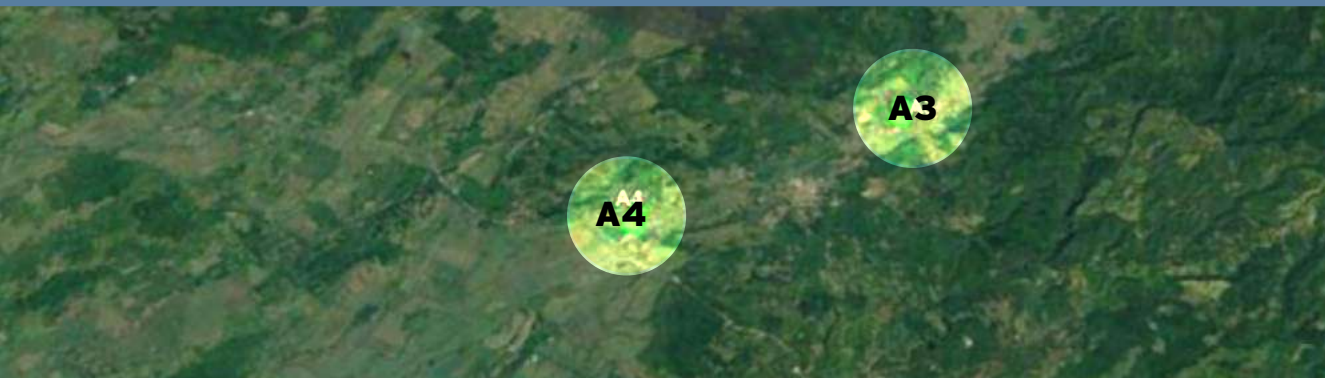


Figura 29: parte media de la cuenca del Río Madre Vieja



Figura 30: Parte baja de la cuenca del Río Madre Vieja

En correspondencia del punto de monitoreo A5-Las Ilusiones (al cual corresponde el punto C3 del caudal) están los cultivos de palma de aceite: los primeros cultivos de esta especie vegetal que se encuentran recorriendo el río desde la parte alta de la cuenca en dirección del mar. Agua arriba del punto A5 hay solamente extensos cultivos de caña de azúcar.

Agua arriba del punto A6- El sombrero (que corresponde al punto C4 del caudal) hay cultivos de palma en ambos lados del río y en proximidad del punto hay cultivos de caña al lado derecho (hidrográfico) del río. El punto A7 se ubica en línea con la Trocha 2 (que corresponde al punto

C5 del caudal) y se encuentra agua abajo de la franja rectangular de palma aceitera.

A su lado hidrográfico derecho hay cultivos de caña. Se ubica a unos 2 km agua abajo del punto A6. El punto A8 (que corresponde al punto C6 del caudal) se ubica a unos 10 km agua abajo del punto A7, en proximidad de la última Trocha 14. En los 10Km que lo separan del punto previo, el territorio está dominado por cultivos de palma, caña y banano/plátano. El punto A9 se ubica a 2Km agua abajo de la Trocha 14 en la comunidad de San Francisco (que corresponde al punto C8 del caudal). En ambos lados del Río, el territorio es caracterizado por extensos cultivos de caña de azúcar.

4.2. Mediciones de campo con sonda multiparámetro



Figura 31: Sonda multiparámetro modelo Hanna

En campo se midieron con una sonda (modelo Hanna HI 98194) los siguientes parámetros: pH, temperatura, conductividad eléctrica (EC →S/cm), oxígeno disuelto (OD % y mg/l), ORP (Madre Vieja), sólidos totales disueltos (TDS mg/l) y salinidad (PSU y mg/l).

La metodología⁵³ para la medición de la calidad del agua superficial se basa en la inmersión de la sonda multiparámetro directamente en el agua del río bajo la superficie, y se procede a la lectura instantánea de los valores. Se guardan los datos en las tablas de campo; consecuentemente se enjuaga la sonda con agua destilada después de cada medición; se sacude para secarla y se guarda en su estuche. Cada parámetro ambiental medido se comparó con los límites nacionales y/o internacionales en caso que la norma guatemalteca no mencione tal estándar.

Muchos estudios nacionales, sobre la evaluación de la calidad del agua superficial, hacen referencia a la norma en materia de agua potable. Aunque si las aguas del Madre Vieja no se utilizan para usos potables, se utilizan principalmente para el riego, usos recreativos y pesca. Así que, para aquellos parámetros que no contemplan un límite a nivel de la norma nacional, se

PARA LOS LÍMITES NACIONALES SE HACE REFERENCIA A LA NORMA COGUANOR 29001 PARA EL AGUA POTABLE Y A SUS LÍMITES ACEPTABLES Y PERMISIBLES:

- 1 ACEPTABLES (LMA):** es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba del cual el agua pasa a ser rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sensorial, pero sin que implique un daño a su salud.
- 2 PERMISIBLES (LMP):** valor arriba del cual el agua no es adecuada para consumo humano. A nivel nacional existe también la Norma de Calidad para Fuentes de Agua⁵⁴ con sus límites mínimos y máximos de contaminación, pero consultando, la mayoría de los parámetros no tienen un límite normativo que pueda utilizarse para la comparación.

utilizaron límites internacionales como aquellos establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Unión Europea, ya que representan los organismos que adoptaron los estándares más protectores y restringidos para el ambiente y la salud humana.

⁵³ Recomendada por la misma empresa fabricante italiana Hanna Instruments <https://www.youtube.com/watch?v=VqHbzpOUKRY>
⁵⁴ Insivumeh; http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/Calidad_del_Agua/BOLETIN%20No.%2019%202016A.pdf

4.2.1 Temperatura

Todos los seres vivos tienen un rango de temperatura en el cual pueden vivir, y la mayoría viven solo en un rango de temperatura muy estrecho. Este rango es todavía más estrecho cuando se trata de seres acuáticos. El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno entre otros) y aumenta, en general, la de las sales (entre estos algunos tóxicos). Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. Es muy importante medir este parámetro porque puede cambiar mucho y afectar la vida acuática: casi siempre se utiliza mucha agua para enfriar las plantas generadoras de energía que producen electricidad. Estas plantas necesitan enfriar el agua y generalmente la liberan al ambiente más caliente que en su estado normal, afectando la vida acuática.

Puede ser el caso de las industrias cañeras que utilizan el bagazo, producto a partir de la caña, para alimentar los hogares de los hornos en calderas, para la generación de vapor sobrecalentado de alta presión, que a su vez se utiliza para mover turbinas de vapor en molinos y en turbogeneradores de electricidad. Límites nacionales: COGUANOR 290011 - LMA 15-25 °C, LMP 34°C.



4.2.2. Oxígeno disuelto (OD % - mg/l)

El oxígeno disuelto es necesario para muchas formas de vida, incluidos peces, invertebrados, bacterias y plantas. Estos organismos usan oxígeno en la respiración, similar a los organismos en tierra. Los peces y los crustáceos obtienen oxígeno para la respiración a través de sus branquias, mientras que la vida de las plantas y el fitoplancton requieren oxígeno disuelto para la respiración cuando no hay luz para la fotosíntesis.⁵⁵ La cantidad de oxígeno disuelto que se necesita varía de una criatura a otra. Los comederos, cangrejos, ostras y gusanos necesitan cantidades mínimas de oxígeno (1-6 mg/l), mientras que los peces de aguas poco profundas necesitan niveles más altos (4-15 mg/l).⁵⁶ La cantidad de oxígeno disuelto a una saturación del 100% a nivel del mar a 20 °C es de 9.03 mg/l.⁵⁷

Los desperdicios orgánicos arrojados en los cuerpos de agua son descompuestos por microorganismos que usan el oxígeno en la respiración. De esa forma, cuanto mayor sea la carga de materia orgánica, mayor será el número de microorganismos que descomponen y, consecuentemente, mayor será el consumo de oxígeno. Así, la muerte de los peces en los ríos contaminados, en muchos casos, se debe a la ausencia de oxígeno y no a la presencia de sustancias tóxicas. La cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua depende mucho de la temperatura. El agua más fría puede guardar más oxígeno que el agua más caliente, entonces si el agua tiene una temperatura más alta puede tener menos oxígeno y dañar la vida acuática.

Límites nacionales: No se define. Límites internacionales: la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA US) define que bajo 3 mg/l la concentración de oxígeno disuelto (OD) es dañina para el ecosistema acuático, por lo que se debe mantener alrededor de 5.5 mg/l; se observa muerte de peces por OD menor de 2 mg/l.⁵⁸ Algunos Estados tienen leyes de calidad del agua que requieren concentraciones mínimas de oxígeno disuelto: en Michigan, estos mínimos son 7 mg/l para los peces de agua fría y 5 mg/l para aquellos de agua caliente.⁵⁹ En Colorado, se impone el límites mínimo entre 5-6 mg/l.⁶⁰ En general, el oxígeno disuelto debe estar cerca del 100% de saturación de aire.⁶¹

⁵⁵ Plant Growth Factors: Photosynthesis, Respiration, and Transpiration. (2013). In CMG Garden Notes. Retrieved from <http://www.ext.colostate.edu/mg/gardennotes/141.html>

⁵⁶ Dissolved Oxygen. (n.d.). In Chesapeake Bay Program. Retrieved from <http://www.chesapeakebay.net/discover/bayecosystem/dissolvedoxygen>

⁵⁷ Dissolved Gases - Oxygen. (n.d.). In Lecture - Water Chemistry. Retrieved from <http://www.esf.edu/efb/schulz/Limnology/Oxygen.html>

⁵⁸ EPA. (1986). Quality Criteria for Water. Washington DC: Office of Water Regulations and Standards.

⁵⁹ Dissolved Oxygen. (n.d.). In Michigan.gov. Retrieved from http://www.michigan.gov/documents/deq/wb-npdes-DissolvedOxygen_247232_7.pdf

⁶⁰ Murphy, S. (2007). General Information on Dissolved Oxygen. In City of Boulder: USGS Water Quality Monitoring. Retrieved from <http://bcn.boulderco.us/basin/data/BACT/info/DO.html>

⁶¹ Fondriest; <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/dissolved-oxygen/>

4.2.3. Potencial de Óxido-Reducción (ORP Madre Vieja)

Cuanto mayor sea el nivel de ORP, mayor será la capacidad del agua para destruir contaminantes extraños, como microbios o contaminantes a base de carbono. Sin embargo, valores entre 150-400 Madre Vieja indican que el ecosistema está en buenas condiciones. Valores bajos de ORP (< 150-200 Madre Vieja) indican falta de oxígeno y son valores dañinos para un ecosistema porque es índice de alta eutrofización; valores altos (> 500 Madre Vieja) ocasionan úlceras en los peces y daños a los organismos. Se puede usar para clasificar la condición del río: aeróbico, anóxico o anaeróbico dependiendo del rango de concentración de ORP.⁶²

El ORP sirve para controlar los procesos químicos y establecer el nivel de calidad del agua. Define la capacidad de un sistema de degradar los residuos. Los sensores de ORP funcionan midiendo el oxígeno disuelto: más contaminantes estén en el agua, menos oxígeno disuelto habrá porque los compuestos orgánicos están consumiendo el oxígeno y, por lo tanto, más bajo es el nivel de ORP.

Cuanto mayor sea el nivel de ORP, mayor será la capacidad del agua para destruir contaminantes extraños, como microbios o contaminantes a base de carbono. Sin embargo, valores entre 150-400 Madre Vieja indican que el ecosistema está en buenas condiciones.

Valores bajos de ORP (< 150-200 Madre Vieja) indican falta de oxígeno y son valores dañinos para un ecosistema porque es índice de alta eutrofización; valores altos (> 500 Madre Vieja) ocasionan úlceras en los peces y daños a los organismos. Se puede usar para clasificar la condición del río: aeróbico, anóxico o anaeróbico dependiendo del rango de concentración de ORP.⁶²

Límites: a nivel nacional no hay, tampoco a nivel internacional. En la literatura científica sólo se definen los rangos óptimos entre +150 y +400 Madre Vieja.⁶³ Según estándares canadienses, las aguas sanas deberían tener un ORP entre +300 y +500 Madre Vieja.⁶⁴

⁶² Adnan Abbas Ali Al-Samawi, The oxidation reduction potential distribution along Diyala river within Baghdad city, Mesopotamia Environmental Journal, 2016.

⁶³ Ozone Applications; <http://www.ozoneapplications.com/info/orp.htm>

⁶⁴ Environmental and Natural Resources; https://www.enr.gov.nt.ca/sites/enr/files/oxidation-reduction_potential.pdf

4.2.4. Potencial Hidrógeno (pH)

El pH es un factor muy importante, porque determinados procesos químicos solamente pueden tener lugar a un determinado pH, el cual es un indicador de la acidez y alcalinidad de una sustancia. Está determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H+) en el agua.

El pH es un factor muy importante, porque determinados procesos químicos solamente pueden tener lugar a un determinado pH, el cual es un indicador de la acidez y alcalinidad de una sustancia. Está determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H+) en el agua. El pH del agua puede variar entre 0 y 14: si el agua tiene pH 7 significa que es neutra; cuando el pH de una sustancia es mayor de 7, es una sustancia básica y si está por debajo de 7, es una sustancia ácida. El pH es un factor logarítmico: cuando una solución se vuelve diez veces más ácida, el pH disminuirá en una unidad (desde pH 5 a pH 4 por ejemplo).

Las medidas de pH son de extrema utilidad, pues proveen mucha información respecto a la calidad del agua. Las aguas superficiales tienen pH entre 4 y 9. Algunas veces son ligeramente alcalinas por causa de la presencia de carbonatos y bicarbonatos. Es claro que, en estos casos, el pH refleja el tipo de suelo por donde el agua corre.

Generalmente un pH muy ácido o muy alcalino está relacionado a la presencia de desechos industriales o de otras formas de alteración. Por lo de arriba los resultados que se obtienen de la medición de una muestra de agua son menos importantes que las variaciones que se pueden observar durante un determinado período de tiempo. Si el pH del río empieza a cambiar a lo largo de su recorrido, se puede sospechar que algo está ocurriendo y que afecta la acidez del agua y posiblemente también la calidad.

ESTUDIOS A NIVEL INTERNACIONAL HAN DEMOSTRADO LA ACIDIFICACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL A CAUSA DEL CULTIVO DE CAÑA:

Durante el proceso de concentración del azúcar en la planta se libera amonio; se registra también un aumento de las sales en el agua y acidificación del suelo. Otros estudios con relación al cultivo de palma aceitera también evidencian acidificación de los suelos, y aguas residuales ácida.

El pH de las aguas superficiales es el resultado de diversos procesos que son atribuibles a reacciones químicas: durante la reducción del carbono orgánico (fotosíntesis) por parte de las plantas acuáticas, el consumo de dióxido de carbono provoca un aumento del pH. Por el contrario, la mineralización aeróbica ocurre con la liberación de dióxido de carbono y la consiguiente disminución del pH.

Por el contrario, en canales y ríos lentos, el pH puede alcanzar temporalmente, con relación a la actividad fotosintética durante el día, valores de 9 o 10. Para este efecto, el pH también puede variar por una unidad en un día.

Límites nacionales:
COGUANOR 29001 - pH 6.5 -8.5

4.2.5. Conductividad eléctrica (CE $\mu\text{S/cm}$)

La conductividad eléctrica en medios líquidos mide la cantidad de sales disueltas. La contaminación generada por las empresas agroindustriales puede ser muy fuertemente relacionada con este valor. Si hay una salida de contaminantes, el valor de la conductividad aumenta; por esto la conductividad toma un papel fundamental en el monitoreo ambiental. También los metales pesados (algunos se encuentran en los pesticidas) hacen subir

el valor de la conductividad eléctrica. También hay que recordar que el valor de la conductividad es solo un indicador. Un valor anormal de conductividad muestra que hay un problema pero no indica qué problema hay. Así como el pH y la temperatura, la conductividad eléctrica es un valor propio de cada río o riachuelo.

Límites nacionales: CONGUANOR 290001 - LMA 750 $\mu\text{S/cm}$; LMP < 1500 $\mu\text{S/cm}$.

4.2.6. Salinidad (S PSU - mg/l)

La salinidad es el total de todas las sales no carbonatadas disueltas en agua, generalmente expresadas en partes por mil (1 ppt = 1000 mg/l).⁶⁵ Es calculada en función de la temperatura y conductividad y se expresa en mg/l. No hay límites nacionales ni internacionales, solo hay recomendaciones (según

el Gobierno australiano)⁶⁶ para el agua potable que establecen como el valor límite de sales de sodio es de 180 mg/l.⁶⁷ Para el ecosistema acuático de agua dulce, el límite (adoptado por la EPA de Australia) es 1000 mg/l pero ya valores encima de 500 mg/l afectan los ecosistemas.⁶⁸

4.2.7. Sólidos Totales Disueltos (TDS mg/l)

Los TDS engloban sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica disueltas en el agua. Los principales constituyentes del TDS son los cationes de calcio, magnesio, sodio y potasio y los aniones de carbonato, bicarbonato, cloro, sulfato y, especialmente en aguas subterráneas, nitrato. TDS se expresa en unidades de miligramos (mg) por unidad de volumen (litros) de agua (l) o como Partes Por Millón (ppm). Típicamente, el agua

mineral natural y el agua de grifo tienen un valor de TDS entre 100 y 200 mg/l.

Límites nacionales: COGUANOR 29001- LMA 500 mg/l y LMP 1000 mg/l; Norma para las Fuentes de agua: 1500 mg/l; la OMS afirma que el agua con valores > 900 mg/l no es buena para tomar y con valores de 1200 mg/litro es inaceptable.⁶⁹

⁶⁵ http://www2.vernier.com/sample_labs/WQV-15-COMP-chloride_salinity.pdf

⁶⁶ <http://www.nhmrc.gov.au/guidelines-publications/eh52>

⁶⁷ https://www2.health.wa.gov.au/Articles/S_T/Sodium-in-drinking-water and <https://nhmrc.gov.au/about-us/publications/australian-drinking-water-guidelines>

⁶⁸ <http://www.waterwa.gov.au/water-topics/water-quality/managing-water-quality/understanding-salinity>

⁶⁹ https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/tds.pdf

COGUANOR NTG 29006. Agua para consumo humano (agua potable). Recolección,

4.3. Análisis de laboratorio

Los análisis de residuos de pesticidas se hicieron sobre los siguientes agroquímicos mayormente utilizados en los cultivos de palma de aceite, caña de azúcar y banano de la Costa Sur: Glifosato (y su metabolito AMPA), Ácido 4-amino-3,5,6-tricloro-2-piridincarboxílico, Etileno bis-ditiocarbamato, Trifloxystrobin, Atrazina, Ácido 4-cloro-metilfenoxi, 2,4-D amina, Trinexapac-etilo.

En laboratorio se hicieron dos turnos de análisis: la primera investigación de abril se realizó en los laboratorios de la Universidad San Carlos en la Ciudad de Guatemala; mientras la segunda, en noviembre, se hizo en un laboratorio ambiental nacional en Italia. Para los análisis de laboratorio, durante el mes de abril 2018, se muestreó el agua del Río en conformidad a la norma nacional COGUANOR NTG 29006.⁷⁰ Se muestrearon 3 litros de agua en contenedores de plástico y vidrio exclusivamente para los análisis de aceites y grasas.

Cada contenedor lleva su etiqueta con código de identificación numerado y se han guardado dentro de una hielera (< 4°C) y se entregaron, dentro de las cuatro horas, al laboratorio. Los contenedores se enjuagaron tres veces antes de la toma del agua, que se hizo a una profundidad intermedia de la columna de agua, y contracorriente. Se anotaron todos los datos de campo en un folleto y se tomaron las coordenadas con un GPS.

La primera investigación ha analizado la concentración de DBO₅⁷¹, DQO⁷², nitratos⁷³, fosfatos⁷⁴ en el Laboratorio de Farmacia

LAFYM de la Universidad San Carlos de Guatemala (USAC); aceites y grasas⁷⁵, en el Laboratorio LABUAI (USAC); y pesticidas en el Laboratorio de Toxicología (USAC).

Los análisis de residuos de pesticidas se hicieron sobre los siguientes agroquímicos mayormente utilizados en los cultivos de palma de aceite, caña de azúcar y banano de la Costa Sur: Glifosato (y su metabolito AMPA), Ácido 4-amino-3,5,6-tricloro-2-piridincarboxílico, Etileno bis-ditiocarbamato, Trifloxystrobin, Atrazina, Ácido 4-cloro-metilfenoxi, 2,4-D amina, Trinexapac-etilo.

Los análisis de laboratorio de noviembre que se realizaron en Italia se hicieron sobre nitratos, fosfatos, cloruros, sulfatos, metales pesados, compuestos organohalogenados, PFAS, y todos los pesticidas en trazas. Se envía a al anexo 3 para la metodología y resultados. El laboratorio tiene certificación UNI CEI EN ISO/IEC 17025 y UNI EN ISO 9001:2015.

Se describen en seguida los parámetros analizados en laboratorio y se reportan los límites nacionales y/o internacionales.

⁷⁰ preservación, transporte y almacenamiento de muestras. Generalidades.

⁷¹ 5210 B. Método de 5 días of Standard Methods for the examination of water and wastewater. 21 ed. Washington, DC: 2005.

⁷² EPA 410.4 5220 of Standard Methods ISO 15705 Fotométrico.

⁷³ Método ISO 78901 Fotométrico; Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 ed. Washington, DC: 2005.

⁷⁴ 4500- P of Standard Methods Fotométrico; Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 ed. Washington, DC: 2005.

⁷⁵ Metodología SMWW-standard methods for examination of water and wastewater- Método 5520B n°19

4.3.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (BDO₅ mg/l)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido por microorganismos al degradar la materia orgánica en el agua. Se utiliza para medir el grado de contaminación; normalmente se mide transcurrido cinco días de reacción (DBO₅) y se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mg O₂/l). Mayor es su valor, mayor es la contaminación del agua.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido por microorganismos al degradar la materia orgánica en el agua. Se utiliza para medir el grado de contaminación; normalmente se mide transcurrido cinco días de reacción (DBO₅) y se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mg O₂/l). Mayor es su valor, mayor es la contaminación del agua.

Una alta demanda bioquímica de oxígeno es índice de una intensa actividad bacteriana de demolición orgánica y por esto podría destacar la presencia de la contaminación. Este material puede provenir de fuentes naturales tanto de fuentes antropogénicas (industrias o plantas de tratamiento de aguas contaminadas). En aguas ricas de nitrógeno y fósforo, donde se está produciendo un proceso de eutrofización, las mismas algas pueden convertirse en la principal fuente de material orgánico para degradar y así contribuir al proceso desoxigenación.

Para la metodología aplicada en los análisis de laboratorio consultar el ANEXO 1.

Límites nacionales: no existe una Ley

guatemalteca que define los límites de DBO₅ para la protección del ecosistema acuático, pero tampoco se puede utilizar como referencia el Acuerdo no.236-2006⁷⁶ ya que solo define los límites (250-150 mg/l) para la descarga de las aguas residuales en el alcantarillado (art.24). La situación de la Costa Sur es bastante ajena a esta norma, ya que no existe un sistema de alcantarillado donde las empresas (con sus plantas procesadoras y con sus tuberías) descarguen las aguas residuales de los procesos de refinación, extracción y lavado. Así que estas terminan directamente en el río.

A nivel internacional la Directiva de Agua Superficial 75/440/EEC de la Unión Europea⁷⁷ fija el límite de 5 mg/l para la protección del ecosistema acuático. Valores de BOD₅ mayores de 5mg/l indican aguas con contaminación, según lo reportado en la bibliografía científica.⁷⁸ La EPA junto con la Agencia de los Estados Unidos Para el Desarrollo Internacional (USAID)⁷⁹ fijan el límite, que las aguas residuales deben tener para que puedan utilizarse para usos agropecuarios, entre 10-30 mg/l dependiendo del uso final del agua (riego, ganadería).

4.3.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO mg/l)

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas susceptibles de ser oxidadas (degradadas) por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mg O₂/l). Respecto al DBO₅, la DQO es un cálculo más rápido (3 horas contra los 5 días).

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas susceptibles de ser oxidadas (degradadas) por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mg O₂/l). Respecto al DBO₅, la DQO es un cálculo más rápido (3 horas contra los 5 días). Para la metodología aplicada en los análisis de laboratorio consultar el ANEXO 1.

Límites nacionales: la norma nacional para las Fuentes de Agua define el límite mínimo de contaminación en 10 mg/l, sin definir el límite máximo aceptable, así que no se puede utilizar esta norma. A nivel europeo la Directiva 2000/60/CE⁸⁰ establece el límite que las aguas residuales deben tener para ser descargadas en los ríos: 160 mg/l. Esto implica que las mediciones en proximidad de la descarga tengan estos valores. Para el equipo de investigación no fue posible llegar cerca de las tuberías ya que están ubicadas en propiedad privada dentro las fincas.

4.3.3. Nitratos (NO₃ mg/l)

El nitrato no es normalmente peligroso para la salud a menos que sea reducido a nitrito (NO₂). El nitrato es uno de los más frecuentes contaminantes de aguas subterráneas en áreas rurales.

Debe ser controlado en el agua potable principalmente porque niveles excesivos pueden provocar metahemoglobinemia, o "la enfermedad de los bebés azules". Los bebés beben grandes cantidades de agua considerando su peso corporal, especialmente si se usa agua para mezclar recetas o zumos en polvo o concentrados. Además, sus sistemas digestivos son inmaduros, y de esta forma más propensos

a permitir la reducción de nitrato a nitrito.

Los nitratos (NO₃⁻) se pueden convertir en nitrito (NO₂⁻) dentro del cuerpo y pueden actuar como precursores de compuestos considerados cancerígenos. Cuando se ingiere nitrato, casi el 20% de esta cantidad, se puede convertir en nitrito. El nitrito, a su vez, cuando llega al estómago y al intestino, puede dar lugar a algunos compuestos N-nitrosos, las llamadas nitrosaminas, que se consideran carcinógenas: si se introducen directamente y en dosis altas, de hecho pueden inducir algunos tipos de tumores.⁸¹

⁷⁶ <http://vestex.com.gt/wp-content/uploads/2015/04/Reglamento-descargas-de-aguas-residuales-AG236-2006.pdf>

⁷⁷ Organisation for Economic Co-operation and Development; <https://www.oecd.org/env/outreach/38205662.pdf>

⁷⁸ Yingrong Wen et al. Organic pollution of rivers: Combined threats of urbanization, livestock farming and global climate change. 2017; <https://www.nature.com/articles/srep43289>

⁷⁹ US EPA/USAID, 1992. <https://bit.ly/2v43MBe>

⁸⁰ https://www.unipa.it/struttura/forsem/content/documenti/Seminario_Mannina--Viviani-300415.pdf

⁸¹ AIRC; <https://www.airc.it/cancro/informazioni-tumori/corretta-informazione/nitrati-acqua>

Niveles altos de nitrógeno en ríos y lagos producen la eutrofización, lo que causa una proliferación de bacterias, ausencia de oxígeno, muerte de peces por asfixia, interrupción de los procesos naturales de fotosíntesis por ausencia del pasaje de luz en el agua y reducción del autopurificación del agua misma.

Para la metodología aplicada en los análisis de laboratorio consultar el ANEXO 1.

Límites nacionales: COGUANOR 29001 (1985) LMP 10 mg/l; CONGUANOR (2013) LMP 50 mg/l. La EPA de Estados Unidos establece el límite de 10 mg/l para los ecosistemas acuáticos.⁸² La OMS fija el límite 50 mg/l para el agua potable.⁸³ La Directiva Agua de la Unión Europea 75/440/EEC⁸⁴ fija el límite de 5.6 mg/l para agua potable. Generalmente concentraciones por encima de 7.5 mg/l de nitratos definen un agua de baja calidad.

NITRITOS (NO₂ MG/L)

No se analizaron los nitritos, pero se reporta su descripción ya que son un producto de la transformación de los nitratos. La nitrificación es el proceso que transforma los nitratos en nitritos gracias a las bacterias. La nitrificación es más rápida a un pH de 7-8 y a temperaturas de 25-30 °C. La nitrificación hace que el pH del agua baje. Niveles de nitrito superiores a 0,75 mg/l en el agua pueden provocar estrés en peces; niveles mayores de 5 mg/l pueden ser tóxicos. Para la metodología aplicada en los análisis de laboratorio consultar el ANEXO

Límites nacionales: COGUANOR 29001 (1985) LMP 1 mg/l; CONGUANOR (2013) LMP 3 mg/l. OMS fija el límite a 3 mg/l para el agua potable.⁸⁵

4.3.4. Fosfatos (PO₄ mg/l)

Niveles altos de fósforo (P) en las aguas (ríos, lagunas) producen la eutrofización. El fósforo generalmente existe como parte de una molécula de fosfato (PO₄). El fósforo en los sistemas acuáticos se produce como fosfato orgánico y fosfato inorgánico. El fosfato orgánico es una molécula asociada a una molécula a base de carbono, como en las plantas o tejidos animales. El fosfato que no está asociado con el material orgánico es inorgánico. El fósforo inorgánico es la forma requerida por las plantas. Los animales pueden usar fosfato orgánico o inorgánico. La carga total de fósforo se compone de ortofosfatos, polifosfatos y compuestos orgánicos de fósforo; el mayor

porcentaje es dado por el ortofosfato PO₄. Cuando el agua es demasiado rica en nutrientes, se produce un desarrollo excesivo de algas que altera el equilibrio biológico. La presencia de fosfatos es, junto con los nitratos, la principal causa de eutrofización de los ríos. Las concentraciones de fosfatos en las aguas superficiales se deben generalmente a la descarga de residuos de industrias zootécnicas, escurrimiento de fertilizantes, detergentes. Para la metodología aplicada en los análisis de laboratorio consultar el ANEXO 1.

Límites nacionales: no define; límites internacionales: la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

⁸² <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?DockKey=00001MGA.pdf>

⁸³ WHO; https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/nitratenitrite2ndadd.pdf

⁸⁴ https://www.researchgate.net/post/What_are_the_ranges_for_phosphate_and_nitrate_concentrations_in_rivers

⁸⁵ WHO; https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/nitratenitrite2ndadd.pdf

(EPA 1988)⁸⁶ fija 0,025 mg/l (para ríos a uso potable) y 0,1 mg/l (para ríos sin uso potable) de fósforo total. Canadá⁸⁷ fija el límite entre 0,01-0,02 mg/l de fósforo para aguas de ríos y lagos. Las concentraciones críticas para una eutrofización inicial en cursos de

agua, están alrededor de 0,1-0,2 mg/l PO₄-P.⁸⁸ En los ríos no contaminados, la concentración total de fósforo es < 0,025 mg/l. Concentraciones por encima de 0,05 mg/l son generalmente atribuibles a las actividades humanas.⁸⁹

4.3.5. Aceites y grasas (mg/l)

Estos parámetros se utilizan solamente para evaluar el nivel de contaminación del cultivo de palma aceitera porque siendo el aceite el producto final del cultivo, se encuentra en las aguas residuales y efluentes sólidos de las plantas procesadoras. Aceites y grasas se acumulan en la parte superior de ríos y lagunas generando grandes cantidades de espuma y/o un extracto oleoso por lo que los rayos del sol no pueden penetrar en el agua impidiendo su función de destruir los agentes patógenos. Además, la capa oleosa impide el intercambio de oxígeno entre agua y aire. Para la metodología aplicada en

los análisis de laboratorio consultar el ANEXO 1. **Límites nacionales:** no existe una Ley que define los límites de aceites y grasas para la protección del ecosistema acuático, así que se tomó como referencia el Acuerdo n°236-2006⁹⁰ que define los límites para la descarga de las aguas residuales en cuerpos receptores (art.20). El Acuerdo fija las etapas en los años de cumplimiento de la norma: año 2011: 100 mg/l; año 2015: 50 mg/l; año 2020: 25 mg/l; 2024: 10 mg/l. El Banco Mundial⁹¹ establece el límite de 10 mg/l para las aguas de salida de las plantas procesadoras.

4.3.6. Pesticidas (µg/l)

Finalmente, otro elemento a evaluar son los residuos altamente tóxicos aplicados en los cultivos cuya fracción termina en el ambiente, ríos y acuíferos. En este punto es pertinente recordar que en varios casos los compuestos o metabolitos secundarios de los pesticidas son más peligrosos que el compuesto activo original. Este hecho,

sumado a la vida media de estas sustancias y a su persistencia en el ambiente, es lo que se convierte en un factor de riesgo ecotoxicológico potencial, tanto para el ecosistema acuático como para la salud humana. Los pesticidas fueron analizados en dos períodos y en dos laboratorios diferentes:

⁸⁶ Water Research; <https://www.water-research.net/index.php/phosphates-in-the-environment>

⁸⁷ Canadian Council of Ministers of the Environment; <http://ceqg-rcqe.cme.ca/download/en/205>

⁸⁸ Laboratorio Hach, Petra Putz.

⁸⁹ European Environmental Agency; https://www.eea.europa.eu/ds_resolveuid/IW5XZCFMN2

⁹⁰ Vestex; <http://vestex.com.gt/wp-content/uploads/2015/04/Reglamento-descargas-de-aguas-residuales-AG236-2006.pdf>

⁹¹ World Bank; <http://documents.worldbank.org/curated/pt/335681479471478907/pdf/110350-WP-FINAL-Feb-2015-Vegetable-Oil-Processing-EHS-Guideline-PUBLIC.pdf>

Mantener una muestra significa garantizar la estabilidad y la inalterabilidad de todos sus componentes en el intervalo entre la recopilación y el análisis. Estos aspectos no son alcanzables al 100%; sin embargo, es posible recurrir a precauciones para minimizar las alteraciones, salvaguardando la representatividad de la muestra.

PLAGUICIDAS		
Plaguicida	Principio activo	Tipología - Cultivo
ROUND UP / FLASH	Glifosato (+AMPA) ORGANOFOSFORADO	Herbicida - PALMA
PLICORAM / TORDON	Ácido 4-amino-3,5,6-tricloro-2-piridincarboxílico AC.CARBOSSILICO	Herbicida - PALMA
MANCOFOL/MANCOZEB	Ethylene bis-ditiocarbamato CARBAMATO	Fungicida - BANANO
TEGA	Trifloxystrobin ESTROBIRULINA	Fungicida - BANANO
GESAPRIM / MIZIN	Atrazina /Clorotiazida ORGANOCOLORADO	Herbicida - AZÚCAR
MCPA	Acido 4-cloro-2 metilfenoxi carbosilico AC.FENOS CARBOSSILICO	Herbicida - AZÚCAR
ZICOSIN / HEDONAL	2,4-D AC.FENOSSICARBOSSILICO	Herbicida - AZÚCAR
MODDUS	Trinexapac-etilo CICLOESANOCARBOSILATO	Madurativo - AZÚCAR

Cuadro 4: Plaguicidas utilizados por la agroindustria en la Costa Sur

en abril se analizaron en los laboratorios de la Universidad San Carlos de Guatemala (USAC) y en noviembre se llevaron a un laboratorio italiano certificado.

Gracias a unas entrevistas a los campesinos y habitantes locales, se conoció cuáles son los principales pesticidas que se utilizan en las agroindustrias de los monocultivos en la Costa Sur. En la tabla siguiente se reportan los agroquímicos utilizados en los cultivos de banano, palma de aceite y caña de azúcar con su respectivo nombre común, principio activo y tipología de plaguicida. Para los análisis que se hicieron en Italia, se enviaron las muestras desde Guatemala por medio de un correo express. Las muestras se guardaron en botes de polietileno, material apto para el transporte y sobre todo porque tiene la ventaja de ser más resistente a los agentes químicos y a las variaciones térmicas.

Se requiere en general que el tiempo que pasa entre la toma de la muestra y su análisis en laboratorio no sobrepase muchos días (1,7, 15 días en función de la tipología de pesticidas), ya que al aumentar del tiempo la muestra se biodegrada y se modifica (bajo la influencia de la temperatura y del oxígeno en el agua) generando productos secundarios.

Mantener una muestra significa garantizar la estabilidad y la inalterabilidad de todos sus componentes en el intervalo entre la recopilación y el análisis. Estos aspectos no son alcanzables al 100%; sin embargo, es posible recurrir a precauciones para minimizar las alteraciones, salvaguardando la representatividad de la muestra. Por ejemplo reduciendo el tiempo entre el muestreo y los análisis, tener cuidado con la cadena del frío y la tipología de contenedores. Una muestra ambiental, en el preciso momento en que se separa y se limita a un contenedor, ya no es, estrictamente hablando, el sistema de origen. A partir de ese momento la muestra comienza a cambiar físicamente (evaporación, sedimentación, adsorción a las paredes del recipiente etc.), químicamente (reacciones de neutralización, transformaciones oxidativas, etc.) y biológicamente (ataque bacteriano, fotosíntesis, etc.). Las muestras se guardaron en una hielera con hielo gel pack y llegaron al laboratorio después de 7 días de viaje.

La normativa italiana recomienda que se analicen las muestras entre 24 horas para pesticidas organofosforados, 7 días para pesticidas organoclorados y 15 días para las demás familias de fitofármacos.⁹²

⁹² Instituto Superior de Sanidad de Italia; <http://old.iss.it/binary/ampp/cont/residuifit.1113505631.pdf>

4.4. Resultados del estudio de calidad

Se evidencian de color rojo los valores que definen un estado de contaminación, ya que sobrepasan los límites fijados por las diferentes instituciones gubernamentales que se utilizaron como referencia para este estudio. De color naranja, aquellos valores que sobrepasan los estándares recomendables (para ORP y salinidad) que diferentes países y/o instituciones científicas han adoptado, ya que no existe un nivel fijado por las normas.

Se reporta en las tablas siguientes los resultados de los monitoreos ambientales de calidad de agua del Río Madre Vieja divididos en las diferentes 6 etapas de la campaña de mediciones desde febrero hasta septiembre 2018. Durante los meses de abril y noviembre se analizaron las muestras en laboratorio para análisis biológicos, fisicoquímicos más detallados. El punto A2 en la Finca San Jorge, parte alta de la cuenca, se añadió al monitoreo solo en un segundo momento, a empezar con las mediciones de abril.

La ley guatemalteca COGUANOR 29001 no incluye límites para todos los parámetros que sirven para clasificar el estado cualitativo del agua superficial para los diferentes usos y/o niveles de protección. La norma solamente incluye algunos parámetros que definen el estado de calidad del agua potable; no hay ninguna norma a nivel nacional que establezca valores máximos de concentraciones de los contaminantes y/o parámetros fisicoquímicos y biológicos para la protección de la vida acuática, o para el riego. Este vacío obligó al equipo de investigación a tomar en cuenta los valores fijados por parte de otros países y/o Agencias de Protección Ambiental internacionales, como la EPA (Agencia de

Protección Ambiental de Estados Unidos) y/o las Directivas Europeas en materia de ambiente.

En general, durante los últimos días de febrero, cuando se realizaron las mediciones, no se observaron valores de contaminación preocupante. El pH está entre los rangos permisibles; mientras la temperatura del agua empieza a subir en proximidad de Cocalles (A4), sobrepasando el límite máximo aceptable de 25°C, definido por la Ley COGUANOR 29001, y en el punto A7, en proximidad de la Trocha 2, alcanza el límite máximo permisible de 34°C. Este incremento se explica con la reducción considerable del volumen de agua que fluye en el tramo agua abajo de Cocalles. No hay valores altos de sólidos totales disueltos (TDS), ni de conductividad eléctrica (EC); la capacidad del sistema acuático de degradar la materia orgánica presente en el agua es buena, ya que no observamos valores por debajo de +150 Madre Vieja (ORP), ni por encima de +400 Madre Vieja. La salinidad del agua es alta en los puntos A3-A4 y A7-A8. Concentraciones bajas de oxígeno disuelto se observan en el punto A6 (3.6 mg/l) y en el punto A5 (5,19 mg/l) ya que están arriba del límite de internacional de 5 mg/l.

Campaña	Parametros	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
		P. Robles	San Jorge	Patulul	Cocalles	Las Ilusiones	El sombrero	Trocha 2	Trocha 14	San Francisco
FEBRERO 2018	pH (6,5 - 8,5)	8,4	ND	8,5	8,49	8,3	8,22	8,35	8,32	8,43
	T (25 °C LMA - 34°C LMP)	13,7	ND	24,48	25,5	28,8	32,3	34	33,7	30,23
	TDS (500 mg/L LMA - 1000 mg/L LMP)	73	ND	211	179	159	177	191	190	183
	Conductividad (LMA 750 µS/cm LMP <1500 µS/cm)	146	ND	422	372	324	352	383	380	365
	Salinidad PSU	0,07	ND	0,2	0,18	0,14	0,17	0,18	0,18	0,17
	Salinidad Tot (180 mg/L)	70	ND	200	180	140	170	180	180	170
	ORP (150 - 400 mV)	195	ND	212	229	157	204	151	170	216
	OD %	77,8	ND	90,5	69	67	50	85,9	86	100
	O.D mg/L (> 5 mg/L)	6,45	ND	7,19	6,25	5,19	3,6	6,1	6,07	7,5
	Fecha/Hora	28.02.2018 11.00 am	28.02.2018 1.30 pm	28.02.2018 15.00 am	28.02.2018 16.00 am	27.02.2018 16.00 am	27.02.2018 14.30 am	27.02.2018 1.00 pm	27.02.2018 12.00 am	27.02.2018 10.00 am

Cuadro 5: resultados de la campaña de febrero 2018

Durante la campaña a final de abril se registraron valores bastante elevados de temperatura desde Cocalles hacia abajo, sobrepasando los límites máximos permisibles en los puntos A6 y A9.



Durante la campaña a final de abril se registraron valores bastante elevados de temperatura desde Cocalles hacia abajo, sobrepasando los límites máximos permisibles en los puntos A6 y A9. El caudal medido en estos dos puntos era aproximadamente de 4 m³/s lo que indica un exiguo volumen de agua en el cauce que permite al agua calentarse más rápidamente reduciendo la concentración de oxígeno disuelto e instaurando condiciones prohibitivas para la vida y sobrevivencia de las especies acuáticas animales y vegetales. Así que los bajos niveles de oxígeno registrados en la parte baja de la cuenca, sobre todo en los puntos A8 y A9, son fatales para muchos organismos acuáticos y contribuyen a una reducción de la funcionalidad y empeoramiento del estado del ecosistema.

En los puntos A2-A3-A4 medimos valores de pH ligeramente por encima del límite 8,5 (con tendencia a la alcalinidad) y altos valores de salinidad. No observamos niveles preocupantes de sólidos totales disueltos (TDS), ni de conductividad eléctrica, aunque se nota un aumento de valores desde A1 hasta A2 y con un pico en A3, para después bajar levemente y estabilizarse a unas

concentraciones medias similares al A2. El aumento de sólidos disueltos y sales en el agua en correspondencia del punto A3 es muy probablemente ligado a la descarga de aguas residuales por parte de la empresa PARMA con concentraciones muy elevadas de materias orgánicas que alteran la calidad del agua.

Los análisis de laboratorio, cuyos resultados se reportan en el Anexo 2, evidencian una moderada carga contaminante a lo largo de todo el río Madre Vieja, representada por altos valores de la demanda biológica de oxígeno (DBO₅), que representa una medida del nivel de contaminación del agua. Se tomó como referencia los estándares de 5 mg/l reportados en la Directiva Europea 75/440/CE en materia de protección del ecosistema acuático, ya que a nivel de Guatemala no existe una norma que fije límites para este parámetro. Generalmente un río con valores por encima de 5 mg/l es clasificado como contaminado. Los valores medidos en el Madre Vieja son entre 2-3 veces por encima de este valor de referencia internacional. A nivel de Estados Unidos se aplican los límites de 10 mg/l para el uso de regadío del agua superficial del río; y si se aplica este estándar, tampoco el agua del Madre Vieja se podría utilizar para uso agrícola.

Diferente a los valores de la demanda química de oxígeno (DQO) están por debajo de los límites internacionales tomados como referencia (160 mg/l). La proporción de DBO₅:DQO es un buen indicador de la correlación de los valores de DBO a DQO para un río.⁹³

La Costa Sur es una región donde la gran parte de la superficie está ocupada por actividades agrícolas, y los elevados niveles de fosfatos encontrados en correspondencia de los puntos A5-Las Ilusiones y A6-El sombrero con concentraciones de 4 mg/l, podrían estar conectados con la contaminación por parte de los fertilizantes agrícolas.

Si la proporción resulta mayor de 0,5, significa que el agua tiene una buena y rápida capacidad de biodegradar los contaminantes; valores entre 0,4-0,2 indican una moderada capacidad de degradación solamente en condiciones térmicas favorables; y valores menores de 0,2 definen una situación donde no hay degradación y solo acumulación de los contaminantes.⁹⁴ Durante la campaña de abril, el valor promedio DBO₅:DQO en la parte baja de la cuenca es de 0,7, lo que indica una moderada capacidad de degradación. Bajos valores de DQO (valor promedio 53 mg/l) resultan bastante inconsistentes con los valores de los fosfatos (orgánico e inorgánico) encontrados (como se puede observar en el párrafo siguiente), presentes en altas concentraciones; lo que hace dudar sobre la validez de estos resultados de laboratorio. Además, los valores de DQO no tienen una variabilidad a lo largo del Río y se mantienen alrededor del mismo valor con un promedio de 53 mg/l.

La Costa Sur es una región donde la gran parte de la superficie está ocupada por actividades agrícolas, y los elevados niveles de fosfatos encontrados en correspondencia de los puntos A5-Las Ilusiones y A6-El sombrero con concentraciones de 4 mg/l, podrían estar conectados con la contaminación por parte de los fertilizantes agrícolas. Valores elevadísimos de fósforo que están muy por encima del límite 0,1 mg/l fijado por muchos organismos internacionales, están a la base de un fuerte deterioro de la calidad del agua ya que están a la base del proceso de eutrofización: un aumento del crecimiento de las algas acuáticas y consecuentemente de las bacte-

rias, cuyas actividades reducen la cantidad de oxígeno disuelto disponible, causando la muerte de organismos acuáticos y comprometiendo la calidad del agua para uso potable, de regadío y doméstico. Por otra parte, no se observaron valores altos de nitratos, que de hecho están muy por debajo de los límites impuestos a nivel nacional (COGUANOR 29001 = 50 mg/l para el agua potable) e internacional (10 mg/l EPA para la protección del ambiente acuático).

En el punto A3 se registró un valor elevado de aceites y grasas: se hipotetiza que podría estar ligado a las descargas de aguas residuales desde las plantas procesadoras de la industria alimenticia PARMA, que trabaja en continuo. Este parámetro es útil para medir la carga contaminante de las plantas procesadoras de aceite de palma, ya que durante las fases de extracción del aceite, se acostumbra a liberar las aguas residuales en los ríos. El hecho que no se encontraron valores altos en los puntos de muestreo, puede ser ligado a dos factores. Primero, en la temporada en que se hizo el muestreo, siendo época seca,



Los resultados de laboratorio para detectar concentraciones de trazas de pesticidas no evidenciaron concentraciones altas por encima de 1 mg/l (ppm), así que se reporta el valor de No Detectado (ND). Esto no significa que no hay pesticidas en el agua del Madre Vieja, sino que no se encontraron valores por encima del límite de detección del instrumento (1 mg/l).



no hay arrastre, por parte de la lluvia hacia el río, de los componentes orgánicos aceitosos (aplicados después del tratamiento anaeróbico) aplicados juntos con agua de fertirriego. Segundo, se desconoce si la Finca Santa Rosa del Grupo Hame (planta extractora) ubicada en Tiquisate tenga descargas (a través de quebradas y canales de riego) de aguas residuales directamente al Río Madre Vieja y si estás descargas (si existen) no se realizaron en momentos previos al monitoreo y la dilución y el tiempo no ha permitido detectarlos.

Los resultados de laboratorio para detectar concentraciones de trazas de pesticidas no evidenciaron concentraciones altas por encima de 1 mg/l (ppm), así que se reporta el valor de No Detectado (ND). Esto no significa que no hay pesticidas en el agua del Madre Vieja, sino que no se encontraron valores por encima del límite de detección del instrumento (1 mg/l).

Esto, a pesar de que la Ley nacional obliga el respecto de unos estándares con una unidad de medida inferior del mg/l: o sea, las concentraciones de muchos pesticidas consentidas en el agua, son del orden de microgramos por litro (µg/l). Uno de los mayores laboratorios a nivel nacional, el de Toxicología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, no tiene los instrumentos adecuados y suficiente para detectar los pesticidas, que son de las sustancias más peligrosas que se encuentran en el agua dentro de zonas cuya actividad principal es la agrícola, tal como sucede en la Costa Sur de Guatemala. Esto implica, para el Gobierno que no se pueda tener traza del nivel de contaminación de los pesticidas en las aguas dentro de su territorio, ya que el envío al extranjero de las muestras de agua para análisis (así es como acostumbran las agroindustrias), aunque si se aplican las medidas de conservación con refrigeración, tendrá siempre un margen de error, en defecto, de los resultados.

Durante el mes de junio, un mes y medio desde el comienzo de la época de lluvia, no se observaron valores elevados por ningunos de los parámetros medidos. Solamente la temperatura se mantuvo alta en la parte baja de la cuenca desde el punto A6 hacia el A9.

Campaña	Parametros	A1 P. Robles	A2 San Jorge	A3 Patulul	A4 Cocales	A5 Las Ilusiones	A6 El sombrero	A7 Trocha 2	A8 Trocha 14	A9 San Francisco
ABRIL 2018	pH (6,5 - 8,5)	8,3	8,6	8,6	8,66	8,28	8,3	8,3	8,4	8,3
	T (25 °C LMA - 34 °C LMP)	17,9	22,4	22	26,9	27,14	34,38	31,9	31,68	35,65
	TDS (500 mg/L LMA - 1000 mg/L LMP)	70	153	204	190	163	171	173	172	180
	Conductividad (LMA 750 µS/cm LMP < 1500 µS/cm)	141	306	408	377	326	342	360	344	360
	Salinidad PSU	0,07	0,15	0,2	0,18	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17
	Salinidad Tot (180 mg/L)	70	150	200	180	150	160	160	170	170
	ORP (150 - 400 mV)	217	186	191	166	209	190	216	191	180
	OD %	82	92	105	85	83	75	74	58	60
	O.D mg/L (> 5 mg/L)	6,26	7,14	8,7	6,5	6,6	5,26	5,4	4,3	4,17
	Nitratos (10 mg/L - 50 mg/L)	1,1	2	2	2,8	2,4	2,4	1,4	1,5	1,4
	Fosfatos (0,1 mg/L EPA)	2,4	1,3	1,7	2,6	4	4	1,7	1,7	1,5
	DBOs (10-30 mg/L EPA - 5 mg/l EU)	14,5	6,8	18,5	10,2	16,2	15,7	15,1	13,4	11,1
	DQO (160 mg/L)	71	51	53	54	54	54	54	53	34
	DBO:: DQO ratio	0,20	0,13	0,35	0,19	0,30	0,29	0,28	0,25	0,33
	Aceites/grasas (25 mg/L Guate- 10 mg/l BM)	<1	1	12	3	2	<1	<1	<1	<2
	Pesticidas *	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Fecha / Hora	27.04.2018 11 am	27.04.2018 12.30 am	30.04.2018 07.00 am	27.04.2018 11.00 am	26.04.2018 10.15 am	26.04.2018 08.30 am	25.04.2018 09.00 am	25.04.2018 08.00 am	24.04.2018 11.00 am

Cuadro 6: Resultados de la campaña de abril 2018

Gracias al aumento del caudal con el aporte de la lluvia, la temperatura media, medida en este tramo (A6-A9) pudo bajar de 7°C desde abril (época seca, T media 33°C) hasta junio (época lluviosa, T media 26°C). El valor del ORP resulta afuera de los rangos acepta-

bles en los puntos A1 y A2 en la parte alta de la cuenca. No se reportan los valores de oxígeno disuelto medidos ya que no se cuenta, por esta temporada, de las membranas de reemplazo para la sonda, lo que no permitió incluir estos valores.

Campaña	Parametros	A1 P. Robles	A2 San Jorge	A3 Patulul	A4 Cocales	A5 Las Ilusiones	A6 El sombrero	A7 Trocha 2	A8 Trocha 14	A9 San Francisco
JUNIO 2018	pH (6,5 - 8,5)	8,01	8,24	8,3	8,12	7,82	7,84	7,84	7,91	7,98
	T (25 °C LMA - 34 °C LMP)	17,77	20,63	23,18	23,77	24,33	28,29	27,45	25,66	25,49
	TDS (500 mg/L LMA - 1000 mg/L LMP)	61	130	154	136	131	112	110	109	109
	Conductividad (LMA 750 µS/cm LMP < 1500 µS/cm)	122	259	298	271	262	224	219	219	217
	Salinidad PSU	0,06	0,12	0,15	0,13	0,12	0,1	0,1	0,1	0,1
	Salinidad Tot (180 mg/L)	60	120	150	130	120	100	100	100	100
	ORP (150 - 400 mV)	126	134,6	197,4	170	156,9	233,5	210,5	232,9	224,8
	Fecha/Hora	28.06.2018 01.00 pm	28.06.2018 11.30 am	28.06.2018 10.00 am	28.06.2018 09.30 am	28.06.2018 08.00 am	27.06.2018 01.30 pm	27.06.2018 12.13 pm	27.06.2018 09.40 am	27.06.2018 09.10 am

Cuadro 7: Resultados durante la campaña de junio

A final de julio, durante la época de lluvia, se presentó la canícula (temporada de reducción de las lluvias respecto a junio y septiembre) que se ha prolongado hasta final de agosto. En estas semanas se siguió el monitoreo mensual de calidad del agua y se registraron valores bajos de oxígeno disuelto, en concentraciones menores de 4 mg/l, en el último tramo del río Madre Vieja (A7-A8-A9) antes de la

desembocadura al océano. Siempre en este tramo y en la cuenca alta del río (A1-A2-A3) se midieron valores de ORP fuera del rango aceptable (menores de +150 Madre Vieja) para un buen funcionamiento del ecosistema. En los puntos A2 y A3, los valores de salinidad son bastante altos respecto a los niveles medios encontrados en el Río, así como el pH que resulta ser levemente mayor de 8.5.

La temperatura se queda bastante alta en la parte baja de la cuenca aumentando considerablemente en los últimos 3 puntos de monitoreo. Agua arriba de Patulul se registró un pico de valores de la conductividad eléctrica (833 µS/cm), arriba del límite máximo aceptable de 750 µS/cm fijado por

la norma nacional COGUANOR 29001. Siempre en este punto la concentración de sólidos totales disueltos (TDS) se acerca al LMP fijado por Ley a 500 mg/l, aunque si no lo sobrepasa, resulta el único punto a lo largo del río donde se observa un pico de este parámetro.

Campaña	Parametros	A1 P. Robles	A2 San Jorge	A3 Patulul	A4 Cocales	A5 Las Ilusiones	A6 El sombrero	A7 Trocha 2	A8 Trocha 14	A9 San Francisco
JULIO 2018	pH (6,5 - 8,5)	8,48	8,68	8,54	7,68	8,45	8,44	8,5	8,45	8,35
	T (25 °C LMA - 34°C LMP)	21,6	22,86	24,75	24,03	26,16	26,51	30,89	31,23	30,87
	TDS (500 mg/L LMA - 1000 mg/L LMP)	156	246	423	179	83	69	132	133	129
	Conductividad (LMA 750 µS/cm LMP < 1500 µS/cm)	313	493	833	357	166	137	264	265	259
	Salinidad PSU	0,15	0,24	0,42	0,17	0,08	0,06	0,12	0,13	0,12
	Salinidad Tot (180 mg/L)	150	240	420	170	80	60	120	130	120
	ORP (150 - 400 mV)	129	143	128	169	163	199	146	149	133
	OD %	93	94	90	92	65	73	53	50	50
	O.D mg/L (> 5 mg/L)	5,53	7,6	6,8	5,9	5,28	5,96	3,9	3,59	3,66
	Fecha/Hora	31.07.2018 11.00 am	31.07.2018 10.00 am	31.07.2018 9.00 am	31.07.2018 8.15 am	02.08.2018 8.30 am	02.08.2018 1.30 pm	01.08.2018 4.30 pm	01.08.2018 4.00 pm	01.08.2018 3.30 pm

Cuadro 8: Resultados durante la campaña de julio

En la segunda quincena de agosto, cuando se ha procedido al monitoreo, la canícula estaba en su última fase. El prolongamiento de esta época de sequía, que alcanzó casi 45 días de reducción de la cantidad de agua, ha llevado muchos daños a los cultivos familiares (maíz y frijol) con una fuerte pérdida de las cosechas y consecuentes daños a la economía familiar, agudizando la situación de inseguridad alimentaria de las familias. Mientras tanto las agroindustrias tenían fácil, continuo y acceso ilimitado a fuentes de agua (superficial y subterránea) para el riego de sus monocultivos, los pequeños campesinos y campesinas vieron secar sus cultivos familiares. El monitoreo ambiental de calidad del agua se llevó a cabo el 21-22 de agosto: la tempera-

tura es siempre bastante alta, pero ahora se observaron valores altos en la cuenca media ya cerca de Patulul. El aumento de la temperatura del agua está ligado no sólo al hecho que la temporada de la canícula es la época más calurosa del año (aumento en la temperatura del aire), sino también al reducido volumen del agua que escurre en el Río (aunque mayor respecto a la época de sequía) que se calienta más rápidamente bajo las condiciones climáticas locales. El pH es levemente arriba del límite 8.5 en la parte media-alta de la cuenca y antes de la desembocadura al mar. Valores fuera del rango del ORP se observan en el tramo final del Río y en el punto A1. Se registró un pico de salinidad en el punto A5-Las Ilusiones.

Campaña	Parametros	A1 P. Robles	A2 San Jorge	A3 Patulul	A4 Cocales	A5 Las Ilusiones	A6 El sombrero	A7 Trocha 2	A8 Trocha 14	A9 San Francisco
AGOSTO 2018	pH (6,5 - 8,5)	7,96	8,5	8,61	8,54	8,47	8,17	8,29	8,37	8,6
	T (25 °C LMA - 34°C LMP)	16,54	23,22	28,55	26,13	31,84	31,56	29,41	30	28,25
	TDS (500 mg/L LMA - 1000 mg/L LMP)	72	156	179	195	154	160	158	161	169
	Conductividad (LMA 750 µS/cm LMP < 1500 µS/cm)	121	301	383	398	348	360	343	356	360
	Salinidad PSU	0,07	0,15	0,17	0,19	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16
	Salinidad Tot (180 mg/L)	70	150	170	190	140	150	150	150	160
	ORP (150 - 400 mV)	130,4	218	176	208	111	191	99,7	128	76,7
	OD %	101,2	113	120	120	124	133	126	104	114,4
	O.D mg/L (> 5 mg/L)	7,98	8,82	8,98	9,31	9	9,68	9,59	7,72	8,6
	Fecha/Hora	21.08.2018 7.00 am	21.08.2018 10.00 am	21.08.2018 11.00 am	21.08.2018 12.00 am	22.08.2018 3.30 pm	22.08.2018 12.00 am	22.08.2018 11.00 am	22.08.2018 10.50 am	22.08.2018 9.00 am

Cuadro 9: Resultados de la campaña durante agosto

Durante la campaña de septiembre se observan, a lo largo de todo el Madre Vieja, niveles de ORP fuera del rango aceptable, lo que presenta una situación de escasa calidad del agua. La concentración de oxígeno disuelto está por debajo del estándar recomendado para los ríos en el punto A1 y A7, aunque

en los puntos A5-A6 y A8 no es muy elevado, sí está por arriba del límite de 5 mg/l. La temperatura se mantiene siempre alta en la parte baja de la cuenca. Los valores de salinidad están dentro de los rangos recomendables. No se observan concentraciones altas de STD y conductividad eléctrica.

Campaña	Parametros	A1 P. Robles	A2 San Jorge	A3 Patulul	A4 Cocales	A5 Las Ilusiones	A6 El sombrero	A7 Trocha 2	A8 Trocha 14	A9 San Francisco
SEPTIEMBRE 2018	pH (6,5 - 8,5)	7,99	8,61	8,54	8,35	7,97	7,30	7,99	7,90	7,87
	T (25 °C LMA - 34°C LMP)	20,25	21,76	23,56	24,27	25,25	30,10	26,25	27,43	28,15
	TDS (500 mg/L LMA - 1000 mg/L LMP)	136	156	179	158	111	125	136	122	139
	Conductividad (LMA 750 µS/cm LMP < 1500 µS/cm)	273	313	357	315	222	245	273	243	124
	Salinidad PSU	0,13	0,15	0,17	0,15	0,10	0,13	0,13	0,11	0,13
	Salinidad Tot (180 mg/L)	130	150	170	150	100	130	130	110	130
	ORP (150 - 400 mV)	144,5	160,3	143	142,4	129,4	135,5	144,5	163,4	165,5
	OD %	64,8	86,4	76,2	82,0	68,2	66,2	64,8	71,9	73,9
	O.D mg/L (> 5 mg/L)	4,8	6,85	6,13	6,64	5,54	5,12	4,8	5,41	6,86
	Fecha/Hora	29.09.2018 12.45 pm	29.09.2018 11.45 am	29.09.2018 10.00 am	29.09.2018 9.10 am	29.09.2018 7.30 am	28.09.2018 12.30 pm	28.09.2018 8.30 am	28.09.2018 09.40 am	28.09.2018 10.30 am

Cuadro 10: Resultados de la campaña de septiembre

En general los resultados de los análisis de noviembre no evidenciaron valores preocupantes de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Los valores de fertilizantes (nitratos y fosfatos) no son muy elevados: solamente el fósforo total se encuentra en concentraciones relativamente altas, arriba del límite establecido por la Agencia de

Protección Ambiental de Estados Unidos (0,025 mg/l para ríos a uso potable - 0,1 mg/l no potable). Aunque si el agua del Madre Vieja no es utilizada para uso potable, se tiene como referencia los límites 0,025 y 0,1 mg/l ya que muchos países, incluido a Canadá, adoptan el rango 0,02-0,1 mg/l para la protección del ecosistema acuático.

Compuestos	COGUANOR 29001	A1 P.Los Robles mg/l	A2 San Jorge mg/l	A3 Patulul mg/l	A4 Cocales mg/l	A5 Las Ilusiones mg/l	A6 El sombrero mg/l	A7 Trocha 2 mg/l	A8 Trocha 14 mg/l	A9 Desembocadura mg/l
Nitritos (NO2)	3 mg/l LMP	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Ammoniaca (NH4)	ND	<0.10	<0.10	<0.10	0.11	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Nitratos (NO3)	50 mg/l LMP	2.0	6.0	5.0	4.0	4.0	4.0	3.0	2.0	2.0
Cloruros (Cl)	100 mg/l (LMA) 250 mg/l (LMP)	2	12	14	12	10	10	10	10	10
Sulfatos (SO4)	100 mg/l (LMA) 250 mg/l (LMP)	4	25	41	34	30	30	30	29	29
Ortofosfato (PO4)	ND	<0.1	0,25	0,22	0,2	0,16	0,15	0,14	0,15	0,17
Fosforo total	0,025- 0,1 mg/l USEPA	<0.1	0,0815	0,07172	0,0652	0,05216	0,0489	0,04564	0,0489	0,05542

Cuadro 11: Análisis completos de fertilizantes

Metales/Elementos	COGUANOR 29001	Unidad	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
Dureza Total	100 mg/l (LMA) 500 mg/l (LMP)	F*	5.0	11.0	14.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	11.0
Sodio (Na)	ND	mg/l	11.5	29.7	31.6	28.0	24.7	24.5	24.2	23.9	24.0
Potasio (K)	ND	mg/L	2.4	4.0	4.7	4.4	4.6	4.5	4.5	4.5	4.6
Calcio (Ca)	75 mg/l (LMA) 150 mg/l (LMP)	mg/L	12.3	21.3	21.8	19.8	20.0	20.0	20.2	19.3	19.2
Magnesio (Mg)	50 mg/l (LMA) 100 mg/l (LMP)	mg/L	4.8	13.2	21.2	18.1	17.9	17.8	18.0	16.7	16.3
Hierro (Fe)	300 µg/l (LMA)	µg/l	190	220	130	80	50	80	<50	80	100
Cadmio (Cd)	3 µg/l (LMA) (LMP ND)	µg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Nichel (Ni)	ND	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cromo (Cr)	50 µg/l LMP	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cobre (Cu)	50 µg/l LMA 1500 µg/l LMP	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Plomo (Pb)	10 µg/l LMP	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Zinc (Zn)	3000 µg/l LMA 70000 µg/l LMP	µg/l	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30
Arsenico (As)	10 µg/l LMP	µg/l	4	7	5	4	3	3	3	3	3
Cobalto (Co)	ND	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Manganeso (Mn)	100 µg/l LMA 400 µg/l LMP	µg/l	8	9	5	4	10	4	3	4	4
Aluminio (Al)	50 µg/l LMA 1000 µg/l LMP	µg/l	152.0	495.0	142.0	71.0	27.0	57.0	54.0	143.0	161.0
Fluoruro (F)	1.5 mg/l	mg/l	<0.10	0.25	0.22	0.20	0.16	0.15	0.14	0.16	0.17
Mercurio	0.001 mg/l	µg/l	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2

Cuadro 14: Resultados análisis de metales y otros elementos - noviembre 2018

No se observan concentraciones altas de pesticidas, de hecho, todos los agrotóxicos analizando están dentro de los límites aceptables y permisibles. En el punto A7 se observa un valor alto de Acetoclor, un herbicida para cultivo de maíz, arriba del límite fijado para la Directiva Europea 2013/39, que se utilizó como referencia ya que las normas

nacionales no mencionan estándares para este compuesto.

No se detectaron niveles altos de metales pesados, a excepción del aluminio que mantiene valores altos, arriba del límite máximo aceptable según la norma nacional COGUANOR 29001.



4.5. Discusión de los resultados

No existe un nivel, fijado por leyes guatemaltecas, de temperatura máxima para la protección de la calidad del ecosistema acuático, así que se utilizó el Límite Máximo Permisible (LMP) fijado para el agua potable como unidad de medida. Todos los organismos tienen un rango óptimo de temperaturas en las que se produce su crecimiento normal, en que ocurre la reproducción y donde su estado físico general es bueno.

La temperatura del agua aumenta a lo largo del camino del Madre Vieja desde la parte montañosa hacia el mar, llegando por encima de 25°C desde Cocales por abajo. Durante la época seca (en febrero y abril) se observa un pico de valores por arriba de 34°C llegando a un valor máximo medido de 35.6°C en el punto terminal del Río en el mes de abril. Mientras durante la época de lluvia la temperatura media se reduce y los valores más altos se observan solamente desde Las Ilusiones-El Sombrero por abajo.

No existe un nivel, fijado por leyes guatemaltecas, de temperatura máxima para la protección de la calidad del ecosistema acuático, así que se utilizó el Límite Máximo Permisible (LMP) fijado para el agua potable como unidad de medida. Todos los organismos tienen un rango óptimo de temperaturas en las que se produce su crecimiento normal, en que ocurre la reproducción y donde su estado físico general es bueno. Temperaturas fuera del óptimo térmico pueden afectar el metabolismo, el crecimiento, el comportamiento, los

hábitos alimentarios, la reproducción, la distribución geográfica, la estructura comunitaria, las migraciones, la tolerancia a parásitos y las enfermedades. Cada especie animal tiene su rango óptimo de temperatura que puede variar mucho desde el territorio en que se encuentra que es función del clima, de la vegetación ribereña, de los factores humano que alteran el equilibrio, etc. Algunos estudios científicos internacionales han documentado temperaturas máximas letales para invertebrados acuáticos que varían desde 16°C para la familia *Perilidae*, hasta 38.4° C para un camarón de agua dulce aclimatado a 32°C en México. En el hemisferio sur, los límites letales varían desde 21.9°C para una familia de moscas a 32.4° C para un caracol.⁹⁵

Desconociendo las especies de peces que pueblan los ríos de la Costa Sur, es difícil saber cuales son los rangos óptimos de las familias, aunque si los valores promedios de temperatura medidos no parecen ser valores adecuados para la sobrevivencia.



⁹⁵ <http://www.scielo.org.za/pdf/wsa/v34n3/13.pdf>

El aumento de la temperatura del agua en el Madre Vieja está influenciado por la temperatura del aire, la radiación solar, y los factores antrópicos. La temperatura media del aire durante el año varía entre un valor promedio mínimo de 18.3°C y máximo de 35.7°C⁹⁶ y la radiación solar al suelo ha aumentado por la masiva deforestación en la Costa Sur, lo que ha contribuido a un aumento de la temperatura del aire a nivel local.

La reducción del volumen de agua en el cauce causa un rápido calentamiento del agua bajo el aumento de la temperatura del aire local. No hay plantas industriales de palma y/o azúcar en proximidad del Río Madre Vieja que podrían descargar aguas calientes como efluentes y contribuir a la contaminación térmica del Río, así que se excluyó el aporte industrial como causa directa del aumento de la temperatura. Sin embargo los desvíos son responsables de la reducción del caudal, lo que implica un aumento de las temperaturas del agua, así que las empresas son responsable de impactos indirectos en el rápido aumento de la temperatura del agua.

Los datos medidos evidencian una situación crítica para el mantenimiento del ecosistema acuático del Madre Vieja: temperaturas así tan elevadas representan un obstáculo a la sobrevivencia de las especies animales y vegetales acuáticas para una menor disponibilidad de oxígeno

En todos los puntos el pH, en las diferentes estaciones climáticas desde febrero hasta septiembre, no se ha alejado de un valor promedio mínimo de 8.0 y máximo de 8.4, respetando los límites del intervalo recomendado de 6.5-8.5. Sobre todo en la época de sequía, los valores en los puntos A2-A3-A4 (parte alta-media de la cuenca) se han destacado del límite recomendable alcanzando el valor de 8.6, levemente arriba del límite.

En cuanto al oxígeno disuelto, sus concentraciones disminuyen cuanto más se desciende hacia valle, con valores preocupantes (alrededor de 3-4 mg/l) en la parte baja de la cuenca (A7-A8-A9), ya que el caudal es menor y bajo la influencia de la mayor temperatura del aire que contribuye a su reducción en el agua. En estos mismos puntos, se observa, de hecho, un ligero aumento en su concentración durante la época de lluvia por la saturación durante el caudal máximo. Este fenómeno se explica por la mayor turbulencia y las temperaturas más bajas registradas respecto a los meses de sequía, lo que aumenta la capacidad de disolución del oxígeno en el agua.

y un aumento de procesos de putrefacción. El oxígeno disuelto está influenciado también por las sales ya que disminuye exponencialmente a medida que aumentan los niveles de sal y aumentará a medida que aumenta la presión. El agua en altitudes más bajas puede contener más oxígeno disuelto que el agua en altitudes más altas.

Sin embargo, los valores medidos en general muestran una escasa oxigenación de las aguas ya que no alcanzan nunca el 100% de la saturación, excepto durante el mes de agosto donde se registraron valores altos de oxígeno en todo el Río. La conductividad, por otro lado, muestra una tendencia, aunque si no muy marcada y constante, a un aumento cuanto más se procede hacia el valle con un pico en proximidad de Patulul, para después reducirse y quedarse más o menos constante hacia la desembocadura. Durante la época seca los valores promedios son mayores respecto a la época de lluvia, pero siempre están dentro

Valores bajos de ORP se observan en la parte alta de la cuenca en el afluente del Río Madre Vieja y en el tramo terminal. Generalmente valores bajos están ligados a descargas industriales o aguas residuales. Durante septiembre se registraron valores bajos de ORP casi a lo largo de todo el río, destacándose de los valores promedios de los meses previos.

La conductividad se reduce durante la época de lluvia por el mayor volumen de agua que escurre en el cauce, lo que conlleva una mayor dilución de los iones disueltos.

Los valores promedios de TDS varían entre un mínimo de 76 mg/l y un máximo de 227 mg/l y en ningún punto del monitoreo se sobrepasan los valores recomendados de 500 mg/l.

Así como para la conductividad, se observa un aumento en proximidad del punto A3 en Patulul, para reducirse un poco y mantenerse estable en el tramo final. Los resultados indican que la carga de sólidos suspendidos en el agua no es preocupante.

Los valores de la salinidad registrados son altos en los puntos A3 y A4 en proximidad de la industria alimenticia y un casco urbano (Cocales) y, solamente en la campaña de febrero, en el tramo final (A7-A8) del Río.

En los demás puntos no se observan valores anómalos de salinidad.

de los límites máximos aceptable establecidos por la norma nacional, excepto en el punto A3, agua abajo de la empresa PARMA, donde en el monitoreo de Julio se registró un pico de 833 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Este alto valor, arriba del LMA de 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$, hace hipotetizar que la empresa podría ser responsable de una contaminación local del agua por sus aguas de descarga. Bajos valores de conductividad eléctrica indican una baja carga contaminante en el agua del Río durante los momentos en que se realizaron las mediciones.

Valores bajos de ORP se observan en la parte alta de la cuenca en el afluente del Río Madre Vieja y en el tramo terminal. Generalmente valores bajos están ligados a descargas industriales o aguas residuales.

Durante septiembre se registraron valores bajos de ORP casi a lo largo de todo el río, destacándose de los valores promedios de los meses previos. Durante la campaña de abril se observaron valores altos de fosfatos, lo que indican una probable contaminación por fertilizantes o pesticidas a base de fósforo o por detergentes. Es preocupante que estos valores encontrados son dañinos por la estabilidad del ecosistema acuático, ya que implican el fenómeno de la eutrofización del agua y su empeoramiento en términos cualitativos. Se encontraron concentraciones de nitratos dentro los estándares internacionales. No se encontraron valores altos de aceites y grasas.

En noviembre no se observaron niveles altos de nitratos y fosfatos y en general el quimismo parece no evidenciar un nivel de contaminación preocupante. Durante el muestreo de abril se observaron valores altos de DBO_5 lo que indica una carga considerable de contaminantes en el agua del Madre Vieja. Mientras los valores de DQO no resultaron ser preocupantes.

⁹⁶ Calculados en base a datos climáticos de INSIVUMEH de la estación de San José, Escuintla entre los años 2000-2017.

Para los análisis de detección de los pesticidas en el agua (durante el mes de abril 2018), que se hicieron al laboratorio de Toxicología en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC de Guatemala, se utilizó el método cuantitativo cromatografía de gases acoplada a detector selectivo de masas (CG/MS).

El instrumento de CG/MS solamente detecta el pesticida si su concentración es mayor de 1 ppm; así que si está presente en una concentración inferior, el instrumento no lo detecta, pero eso no significa que no esté presente. En lugar la metodología analítica internacional para análisis de algunos pesticidas, en particular el glifosato, prevé análisis con cromatografía líquida (HPLC).

Los límites de referencia que se aplicaron son niveles permisibles establecidos por la Norma Nacional de Guatemala (COGUANOR 29001) y referencias internacionales como la Unión Europea, Canadá y la Organización Mundial de la Salud.

Los análisis de laboratorio que se realizaron en noviembre, reportan que los niveles de pesticidas están dentro de los límites máximos permisibles. Los valores están siempre por debajo de 0,03 µg/l. En caso del glifosato, los valores son mayores pero siempre por debajo del límite 0,1 µg/l. Para el glifosato la norma guatemalteca fija el límite de 700 µg/L, mientras si se compara con los estándares internacionales se observa que éstos son mucho más restrictivos: la Unión Europea⁹⁷ establece el límite de 0,1 µg/L y Canadá⁹⁸ 65 µg/L.

El monitoreo ambiental de los parámetros fisicoquímicos permitió clasificar el Río Madre Vieja como un río de baja calidad, ya que la reducción del volumen de agua ocasiona alteraciones en los parámetros fisicoquímicos como oxígeno y temperatura entre otros. La investigación ha evidenciado algunas criticidades que comprometen la calidad ambiental del Río Madre Vieja con consecuencias en los ámbitos: ecológico, socioeconómico y sanitario de quien viven los territorios.

La reducción de la salinidad, conductividad y sólidos totales disueltos durante la temporada de lluvia está ligada a la mayor dilución de las sustan-

cias presentes en el agua, lo que sugiere que hay que focalizar mayor atención a la protección de la calidad del agua durante la época seca donde se observan valores generalmente más altos.

Según testigos de la población local del territorio de la Costa Sur, el río Madre Vieja ha visto una reducción drástica de la presencia de peces en los últimos 20 años por múltiples razones. La causa prevalente es el escaso e insuficiente volumen de agua del Río durante la estación seca, lo que no permite que se mantenga un hábitat vital y satisfactorio para la vida acuática. Consecuentemente la baja profundidad del agua, conlleva un aumento de los valores de temperatura y reducción de oxígeno disuelto, lo que implica la presencia de un ambiente difícil para la sobrevivencia de la fauna acuática. Durante el año 2018 las instituciones nacionales junto con las empresas liberaron peces para repoblar el Río. En estas condiciones cualquier acción de repoblación de peces resulta inútil, ya que los peces no pueden sobrevivir en un ecosistema que no tiene los requisitos mínimos, suficientes e indispensables para asegurar la vida. Una baja calidad del agua no permite el mantenimiento de peces, macroinvertebrados, crustáceos, moluscos y aves acuáticas.

Otro asunto es el problema del bosque de manglar que recibe las aguas del río Madre Vieja. Los manglares son ecosistemas muy complejos con múltiples funciones ecológicas y alto valor económico. Pero a causa del avance de la frontera agrícola en la Costa Sur y la reducción de la cantidad de agua dulce que llega, los manglares están desapareciendo, lo que implica un menor servicio ecológico que este hábitat proporciona en la región como la protección contra la erosión del mar; las acciones destructivas de huracanes y tsunamis, además como hábitat de la base de la cadena alimenticia por la presencia de muchas especies comestibles para los humanos. El cambio del paisaje que ha visto la conversión desde el bosque de manglar a los cultivos de caña ha alejado de la zona la biodiversidad: aves acuáticas, reptiles, mamíferos, anfibios. La expansión de la frontera agrícola de la caña y de la palma en la Costa Sur, para exportación de bienes alimenticios y como consecuencia del rápido crecimiento del mercado de los agrocombustibles, ha sido la mayor causa de la pérdida de biodiversidad, del declive de la calidad ambiental y del empeoramiento de la vida de las comunidades que viven los territorios.

⁹⁷ Glyphosate Task Force (GTF) Glyphosate Facts. Ground Water Quality and Glyphosate. Available online: <http://www.glyphosate.eu/ground-water-quality-and-glyphosate>.

⁹⁸ The Canadian Water Quality Guideline for glyphosate for the protection of freshwater aquatic life is 65 µg/L.

Low cost monitoring of glyphosate in surface waters using the ELISA method: an evaluation.

Byer JD, Struger J, Klawunn P, Todd A, Sverko E, Environ Sci Technol. 2008 Aug 15; 42(16):6052-7

5.1. Materiales y métodos

La infiltración del agua de lluvia o de riego desde el suelo, enriquecido de fertilizantes y pesticidas (sean aplicados mecánicamente con bombas, sea por aspersión de las fumigaciones) al acuífero, causa la contaminación del agua subterránea. También la infiltración del agua superficial contaminada desde el lecho del Río hacia los acuíferos, es fuente de contaminación.

No se tiene acceso a estudios hidrogeológicos de la zona por escasez de investigaciones nacionales e internacionales y por falta de intercambio de los pocos datos que existen y que están en las manos de las agencias privadas (financiadas por los mismos agroempresarios) que ejecutan los estudios. Tener información sobre el aspecto hidrogeológico de la región facilita la comprensión de las dinámicas que ocurren entre los diferentes recursos hídricos: ¿Cuál es la relación entre el agua superficial y subterránea? ¿El acuífero es superficial o confinado? ¿Cuál es su profundidad? ¿Cuál es el nivel de susceptibilidad del acuífero a la contaminación? Estas son algunas de las preguntas, cuyas respuestas permitirían entender cómo fluyen los contaminantes en la cuenca del Madre Vieja para prever el trayecto de migración en el ambiente y exposición de las personas.

En función de los exiguos datos e información con la que se dispone (datos geológicos del MAGA)⁹⁹ se conoce que, por ejemplo, la geología de la zona de estudio es de origen volcánica piroclástica, y esto hace suponer que los suelos son permeables lo que conlleva una rápida infiltración de agua, junto con los contaminantes, en los estratos más profundos del suelo en dirección del acuífero.

En función de los datos geológicos, sobre la permeabilidad de los suelos, e hipotetizando que la vulnerabilidad de los acuíferos a recibir la contaminación sea alta, y considerando el severo uso de pesticidas y fertilizantes en una zona altamente agrícola, se ha enfocado parte del estudio en las mediciones fisicoquímicas del agua subterránea a través de mediciones de calidad del agua

de los pozos. Se hicieron mediciones durante la época de sequía y de lluvia en 6 pozos artesanales en la zona de las Trochas, que representa la parte sureña de la región de la Costa Sur. Se analizó la calidad de 4 pozos artesanales privados y 2 públicos a través de un monitoreo mensual desde abril hasta septiembre 2018 con el uso de la sonda multiparámetro para la toma de datos fisicoquímicos de campo. En dos temporadas, durante las épocas secas de abril y de noviembre, se analizaron otros parámetros químicos y biológicos a través de análisis de laboratorio para detectar la presencia de pesticidas, fertilizantes e indicadores de calidad del agua.

La metodología para la medición de la calidad del agua de pozo se basa en el enjuague del vaso de plástico, donde se coloca el agua para la medición, con agua destilada, y se procede a secarlo sacudiéndolo y tratando de eliminar las gotas de humedad.

Posteriormente se procede en activar el pozo; se abre el grifo y se deja fluir el agua un par de minutos. Se muestra el agua en el vaso de plástico (que está en dotación del instrumento), y se inserta la sonda multiparámetro. Se procede a la lectura instantánea de los valores y luego se guardan los datos en las tablas de campo. Se enjuagar la sonda y el vaso de plástico con agua destilada después de cada medición; se sacude para secarlos y se guardan en sus respectivos estuches. La metodología de la toma de muestras para los análisis de laboratorio es la misma que se ha aplicado para el muestreo del agua del Río Madre Vieja, que es reportada en el capítulo 4 previo.



5. ESTUDIO SOBRE CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA

Paralelamente a la investigación de calidad del agua superficial del Río Madre Vieja, se midió la calidad del agua subterránea que escurre en la zona de estudio para investigar el nivel de contaminación y daños a los recursos hídricos para uso potable y doméstico.

⁹⁹ USAC; <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3062/1/Alejandra%20Margarita%20Chupina%20de%20Leon.pdf>

5.2. Resultados del estudio

Se reporta a continuación en el cuadro 15 los datos de campo de los pozos investigados con referencia a la tipología de pozo (público/privado); su ubicación dentro de las Trochas, el tipo de monocultivo que se encuentran más próximos y modalidad de uso del agua (para cocinar, para tomar y/o bañarse).

Pozos	Tipología	Ubicación	Cultivos cercanos	Utilizo del agua		
				Cocinar	Tomar	Bañarse
P1	Privado	Trocha 2	Palma	si	no	si
P2	Privado	Trocha 5	Palma - Caña	si	si	si
P3	Privado	Trocha 6	Parcelas familiares Caña	si	no	si
P4	Público	Trocha 7	Parcelas familiares Caña	si	si	no
P5	Público	Trocha 10	Caña	si	si	no
P6	Privado	Desembocadura	Caña y manglar	si	no	si

Cuadro 15: Datos de campo de los pozos

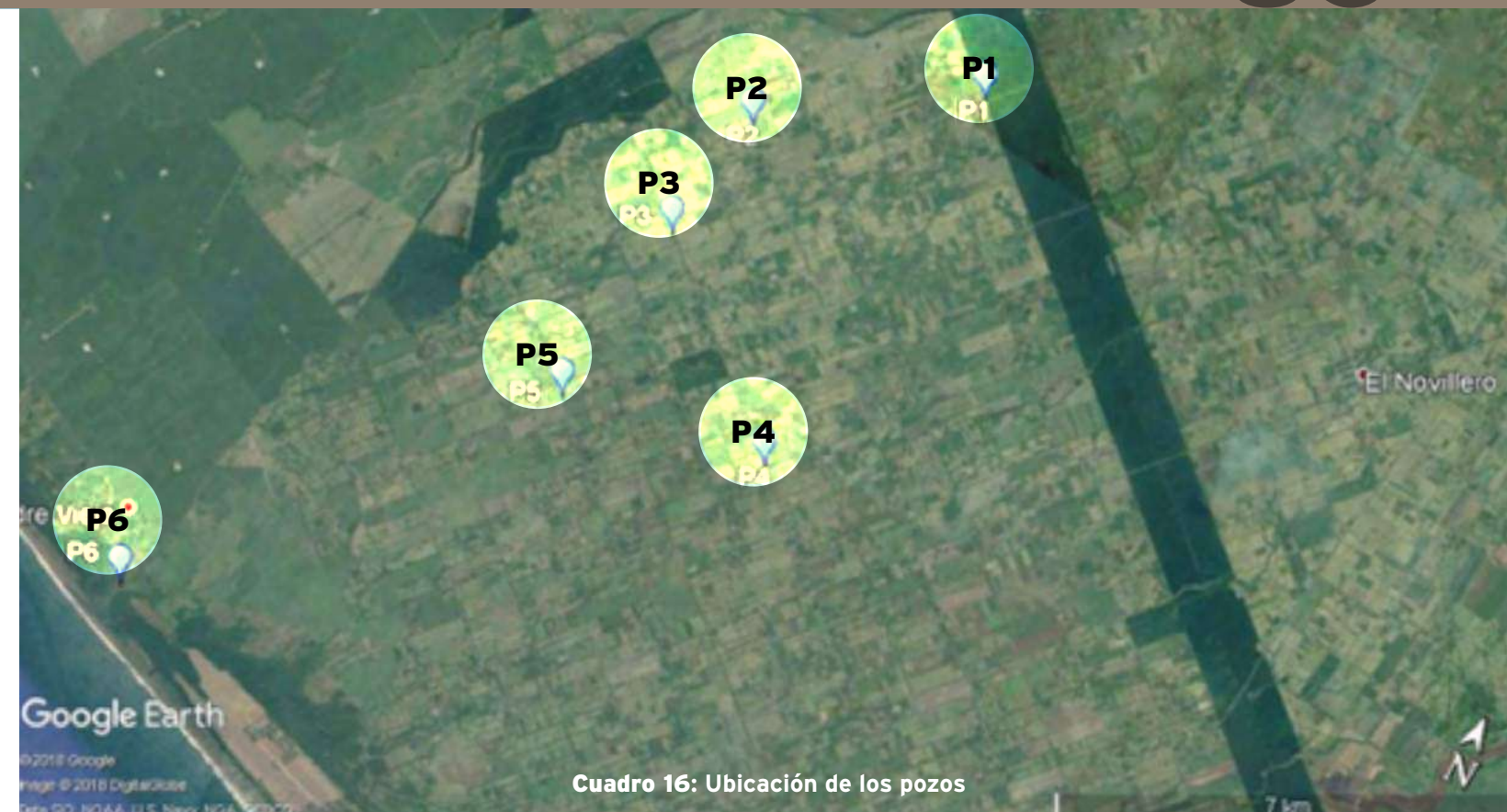
Se reporta a continuación en el cuadro 15 los datos de campo de los pozos investigados con referencia a la tipología de pozo (público/privado); su ubicación dentro de las Trochas, el tipo de monocultivo que se encuentran más próximos y modalidad de uso del agua (para cocinar, para tomar y/o bañarse).

Este último factor es importante ya que el modo en que se consume el agua, potencialmente contaminada, indica el nivel de riesgo que hay para la salud. Tomar agua contaminada representa un riesgo mayor que se utiliza solamente para usos domésticos o de higiene. La ubicación de los puntos del monitoreo ambiental refleja la decisión de medir la calidad del agua subterránea a diferentes distancias del mar para averiguar el problema de la salinización de los pozos por la intrusión de agua marina a causa de la reducción del agua dulce por la sobreexplotación del acuífero por parte de las empresas y por la falta de la recarga por los desvíos. El muestreo se enfocó solamente en la sección oeste de las Trochas porque es el área donde los líderes y lideresas comunitarias, que acompañaron el proceso

del estudio, están más familiarizados y donde tienen un mayor contacto con los habitantes. Por factores de tiempo y de recursos, el estudio se enfocó solamente en 6 puntos, que representan una primera fotografía para definir el nivel de calidad del agua subterránea.

El pozo P1 es un pozo privado de una habitación que se encuentra en la Trocha 2 en un terreno privado pegado a la franja de palma aceitera y en sus alrededores hay muchas y pequeñas parcelas con cultivos de caña de azúcar. La familia utiliza el agua del pozo solamente para uso doméstico como cocinar, lavar trastes, ropa y para la higiene personal. Para tomar, utiliza agua embotellada o del pozo público.

El pozo P2 es un pozo privado de una habitación que se ubica en la Trocha 5. En todo el territorio de las Trochas hay muchas parcelas de caña y el punto P2 está, de hecho, rodeado de parcelas de caña; a 1 km en línea recta hacia el río, está el cultivo de palma aceitera. La familia utiliza el agua



Cuadro 16: Ubicación de los pozos

del pozo para uso doméstico, de higiene y para tomar: en algunos casos se hierva, pero en general no. Los niños (5 y 10 años) se enferman, con mucha frecuencia, del estómago por tomar agua del pozo. En la familia hay dos miembros que padecen enfermedades serias: la madre tiene problemas serios de tiroides e hígado, con problemas de despigmentación cutánea; y el hijo menor (5 años) presenta retraso de crecimiento y mental.

El pozo P3 es un pozo privado de una habitación en la Trocha 6 rodeada de parcelas de caña de azúcar y a 1.5 Km del extenso cultivo de palma aceitera que colinda al Madre Vieja. La familia dejó de tomar agua del pozo en el 2017 y empezó en adquirirla embotellada. Se usa agua del grifo para usos domésticos y para la higiene. La familia presenta un caso de enfermedad muy grave: el hijo mayor (8 años) sufre de parálisis cerebral, convulsiones y le diagnosticaron microcefalia.

El pozo P4 es un pozo público en la Trocha 7 y se ubica en un punto que está rodeado de parcelas de caña de azúcar. Según entrevistas a los habi-

tantes locales que se abastecen de este pozo, esta agua se utiliza solo para cocinar y beber.

El pozo P5 es un pozo público en la Trocha 10 cerca de la Escuela en un punto que está rodeado de parcelas de caña de azúcar. Según entrevistas a los habitantes locales que se abastecen de este pozo, esta agua se utiliza solo para cocinar y tomar.

El pozo P6 es un pozo privado de una habitación agua abajo de la última Trocha 14, cerca de la desembocadura del Madre Vieja al mar. La habitación se encuentra en el caserío de San Francisco y en sus alrededores hay parcelas de caña de azúcar y lo que queda del bosque de manglar. La familia utiliza el agua de pozo para usos domésticos, cocinar, higiene y para la cría de sus animales (vacas y cerdos). La familia se abastece de agua embotellada para uso potable o recolecta agua en los pozos públicos. En el mapa siguiente se evidencia la ubicación geográfica de los puntos muestreados en el territorio de las Trochas.

Se reporta en los cuadros siguientes los resultados de los monitoreos ambientales de calidad de agua de los pozos divididos en las diferentes 4 etapas de la campaña de mediciones desde abril hasta septiembre 2018 (a exclusión de julio). Se evidencian de color rojo los valores que definen un estado de contaminación, ya que sobrepasan los límites

fijados por las diferentes instituciones gubernamentales que se utilizaron como referencia para este estudio. De color naranja, aquellos valores que sobrepasan los estándares recomendables (para ORP y salinidad) que diferentes países y/o instituciones científicas han adoptado, ya que no existe un nivel fijado por las normas.

Campaña	Parametros	P1	P2	P3	P4	P5	P6
AGOSTO 2018	pH (6,5 - 8,5)	6,93	7,17	6,88	6,8	7,31	7,25
	T (25 °C LMA - 34 °C LMP)	27,97	29,65	28,93	30,29	28,32	30,19
	TDS (500 mg/L LMA - 1000 mg/L LMP)	318	355	384	124	184	440
	Conductividad (LMA 750 µS/cm LMP < 1500 µS/cm)	636	711	769	244	368	882
	Salinidad PSU	0,31	0,34	0,37	0,12	0,17	0,43
	Salinidad Tot (180 mg/L)	310	340	370	120	170	430
	ORP (150 - 400 mV)	222	266	166	110	217	60
	OD %	15	31	25	24	26	59
	O.D mg/L (> 5 mg/L)	1,01	2,4	1,9	1,88	2,12	4,22
	Fecha /hora	02.08.2018 10.00 am	02.08.2018 11.15 am	02.08.2018 11.30 am	02.08.2018 12.30 am	02.08.2018 2.30 pm	02.08.2018 3.30 pm

Campaña	Parametros	P1	P2	P3	P4	P5	P6
JUNIO 2018	pH (6,5 - 8,5)	6,88	7,07	6,48	6,75	7,01	7,58
	T (25 °C LMA - 34 °C LMP)	27,77	28,94	28,91	29,23	30,14	26,95
	TDS (500 mg/L LMA - 1000 mg/L LMP)	357	369	404	127	198	554
	Conductividad (LMA 750 µS/cm LMP < 1500 µS/cm)	714	738	808	254	397	1148
	Salinidad PSU	0,34	0,36	0,39	0,12	0,19	0,55
	Salinidad Tot (180 mg/L)	340	360	390	120	190	550
	ORP (150 - 400 mV)	85,4	187,7	194,5	73,4	233,1	192,3
	OD %	12,1	12,2	12	12,6	12,2	11,9
	O.D mg/L (> 5 mg/L)	0,96	0,93	0,93	0,94	0,92	0,94
	Fecha /hora	27.06.2018 12.30 am	27.06.2018 11.30 am	27.06.2018 11.20 am	27.06.2018 4.00 pm	27.06.2018 10.00 am	27.06.2018 9.00 am

Campaña	Parametros	P1	P2	P3	P4	P5	P6
SEPTIEMBRE 2018	pH (6,5 - 8,5)	7,01	7,00	6,95	6,89	7,02	7,15
	T (25 °C LMA - 34 °C LMP)	28,41	25,75	26,00	29,44	29,09	27,10
	TDS (500 mg/L LMA - 1000 mg/L LMP)	327	355	392	122	186	434
	Conductividad (LMA 750 µS/cm LMP < 1500 µS/cm)	654	698	784	245	372	988
	Salinidad PSU	0,32	0,34	0,38	0,11	0,18	0,45
	Salinidad Tot (180 mg/L)	320	340	380	110	180	450
	ORP (150 - 400 mV)	156,8	160,8	84,1	42,2	165,5	185,5
	OD %	35,1	25,4	49,2	36,2	41,0	55,2
	O.D mg/L (> 5 mg/L)	2,69	1,90	3,60	2,72	3,10	1,98
	Fecha /hora	28.09.2018 12.15 pm	28.09.2018 09.00	28.09.2018 09.15 am	28.09.2018 11.50 am	28.09.2018 11.30 am	28.09.2018 10.45 am

El agua fría tiene, por lo general, un sabor más agradable que el agua tibia, y la temperatura repercute en la aceptabilidad de algunos otros componentes inorgánicos y contaminantes químicos que pueden afectar al sabor. La temperatura alta del agua potencia la proliferación de microorganismos y puede aumentar los problemas de sabor, olor, color y corrosión de las tuberías.¹⁰⁰

Los valores de pH en los 6 pozos, en las cuatro campañas de monitoreo, se han mantenido siempre dentro los valores recomendados y solamente en el punto P3 en el mes de junio se ha registrado un valor (6,48) que es ligeramente inferior al límite de 6,5. No hay mucha diferencia de valores de pH entre agua de pozo público y privado, ni diferencia significativa entre las estaciones climáticas en las cuales se realizó el muestreo.

La temperatura del agua de los pozos es muy alta, con un promedio de 28°C, y en todos los pozos, en todas las estaciones climáticas los valores medidos están por arriba de los límites máximos aceptables (LMA 25°C). El agua fría tiene, por lo general, un sabor más agradable que el agua tibia, y la temperatura repercute en la aceptabilidad de algunos otros componentes inorgánicos y contaminantes químicos que pueden afectar al sabor. La temperatura alta del agua potencia la proliferación de microorganismos y puede aumentar los problemas de sabor, olor, color y corrosión de las tuberías.¹⁰⁰

Estos altos valores pueden tener explicaciones en muchos factores: podría ser en parte debido al calor retenido por el suelo por la radiación solar y las altas temperaturas del aire que varía entre un valor promedio mínimo de 18.3°C y máximo de 35.7°C¹⁰¹; además que por la cercanía a muchos volcanes (Pacaya, Fuego) puede haber una conexión a aguas termales subterráneas.

El contenido de oxígeno disuelto del agua de las tuberías está influenciado por su temperatura y los procesos químicos o biológicos que tienen

lugar en el sistema de distribución. Aunque en general las instituciones nacionales e internacionales no recomiendan ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud directos, se puede observar como los valores de oxígeno son extremadamente bajos con un valor promedio mínimo de 1.7 mg/l y máximo 3.8 mg/l. Los valores de oxígeno del mes de junio no se incluyeron en los cálculos. En general no se observa una diferencia entre los pozos, ni durante las estaciones climáticas. Pero el agotamiento del oxígeno disuelto en los sistemas de abastecimiento de agua puede estimular la reducción, por parte de los microorganismos, del nitrato a nitrito (más tóxico para la salud humana) y del sulfato a sulfuro, y puede hacer que aumente la concentración de hierro ferroso en disolución, con el consiguiente cambio de color del agua al entrar en contacto con el aire al salir del grifo.¹⁰²

Entonces en general, aunque si no existe un límite mínimo aceptable de oxígeno disuelto en las aguas subterránea para uso potable, si el oxígeno se encuentra en concentraciones mínimas, esto representa un problema para la salud por las reacciones químicas que convierten las sustancias en el agua en compuestos más tóxicos para los seres humanos. Las aguas están generalmente en condiciones anóxicas (ausencia de oxígeno): típica condición que naturalmente se encuentra en acuíferos ricos de sustancia orgánica y/o con insuficiente capacidad de recarga de agua en el acuífero.

Los Sólidos Totales Disueltos (TDS) es el término utilizado para describir las sales inorgánicas y las pequeñas cantidades de materia orgánica presentes en solución en agua.

¹⁰⁰ OMS, Guías para la calidad del agua potable, 2006

¹⁰¹ Calculados en base a datos climáticos de INSIVUMEH de la estación de San José, Escuintla entre los años 2000-2017

¹⁰² OMS, Guías para la calidad del agua potable, 2006.

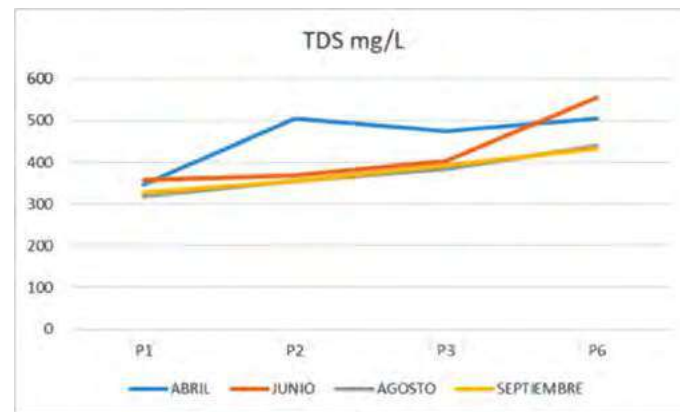
Se observa una sustancial diferencia entre la calidad del agua de los pozos públicos y privados: en los pozos públicos (P4 y P5) la concentración de TDS es la mitad de las concentraciones medidas en los pozos artesanales privados. De hecho el pozo público P4 es aquel que presenta valores menores de TDS respecto al P5. Esto significa que es de calidad mejor.

Los constituyentes principales son usualmente cationes de calcio, magnesio, sodio y potasio y carbonato, hidrogenocarbonato, aniones de cloruro, sulfato y nitrato. La palatabilidad del agua con una concentración de TDS menos de 300 mg/litro suele ser excelente; es buena entre 300 y 600 mg/l; justa entre 600 y 900 mg/l; pobres entre 900 y 1200 mg/l; e inaceptable, mayor de 1200 mg/l.¹⁰³ Se observa una sustancial diferencia entre la calidad del agua de los pozos públicos y privados: en los pozos públicos (P4 y P5) la concentración de TDS es la mitad de las concentraciones medidas en los pozos artesanales privados. De hecho el pozo público P4 es aquel que presenta valores menores de TDS respecto al P5. Esto significa que es de calidad mejor. El pozo P6 en San Francisco presenta niveles de sólidos disueltos (505-554 mg/l) encima del estándar nacional para la aceptabilidad del agua potable (500mg/l). Se observa un aumento de los valores de TDS procediendo en dirección sur del mar, lo que implica la influencia del proceso de intrusión salina.



Se observa una disminución de los valores de TDS en la época lluviosa por la probable recarga de agua dulce en los acuíferos y mayor dilución de las sustancias en el agua. "A través de los parámetros detectados no puede determinarse si existe intrusión salina. Puede conocerse si el agua es salada, lo que podría indicar tempranamente la existencia de la intrusión."

En los pozos P2, P3, P6 se observan valores altos de la conductividad eléctrica, que sobrepasan los límites nacionales aceptables (750 µS/cm).¹⁰⁴ En los pozos P3 y P6, en todas las cuatros campañas de medición, se midieron valores muy altos con un promedio de 835 µS/cm para el P3 y 1008 µS/cm para el P6. Se observa un sustancial aumento de la conductividad procediendo hacia el mar. Probablemente esto es debido a la intrusión de agua salada en el acuífero. Los pozos públicos no presentan niveles preocupantes, de hecho, sus valores son bastante inferiores a los demás pozos. Cuando el problema de intrusión salina se manifiesta en los acuíferos costeros, se producen modificaciones físico-químicas en el agua subterránea que principalmente se manifiestan en la zona de mezcla entre el agua dulce y agua salada. Estas reacciones corresponden



Cuadro 17: Tendencia de la conductividad (sin P4-P5)

El ión cloruro es el que posee mayor estabilidad química, debido a que no está sujeto a procesos de disolución o precipitación, y, además, es el elemento de mayor abundancia en el agua salina. Estas características lo convierten en el ión más fiable y que mejor información proporciona en la identificación de contaminación marina.

básicamente al intercambio iónico que se da entre ambas fases en busca del equilibrio químico, donde los parámetros que cobran importancia en los fenómenos modificadores destacan, entre los aniones, el contenido en cloruros, sulfato, bicarbonato y nitrato, y entre los cationes, sodio, calcio, magnesio y potasio, por lo que el análisis hidrogeoquímico del agua subterránea en el estudio de la intrusión salina, deberá contemplar fundamentalmente dichos elementos y las relaciones que se produzcan entre ellos.

El conjunto de reacciones que se producen en un acuífero, está fuertemente influenciado por las características litológicas e hidrogeológicas de la zona en estudio, ya que condicionan el comportamiento que presenta el acuífero al estar sometido al contacto con el frente de agua salada. Para medir la real existencia de la intrusión salina se deben medir además que la salinidad, pH, conductividad y TDS, los nitratos, bromuros, dureza del agua, ion Calcio-Magnesio-Sodio-Potasio, carbonatos, sulfatos. Nosotros a través de los pará-

metros detectados no puede definirse si hay o no una intrusión salina, ya que en el estudio no pudo detectar todos estos parámetros, pero se puede conocer si el agua es salada, lo que podría indicar tempranamente la existencia de la intrusión, cuya existencia habrá que validarla con investigaciones adicionales.

El ión cloruro es el que posee mayor estabilidad química, debido a que no está sujeto a procesos de disolución o precipitación, y, además, es el elemento de mayor abundancia en el agua salina. Estas características lo convierten en el ión más fiable y que mejor información proporciona en la identificación de contaminación marina. En términos generales, las muestras analizadas corresponden a aguas con características muy similares, con altos valores de salinidad en todos los pozos a excepción de los pozos públicos P4 y P5 (P5 presenta valores levemente arriba del límite). Valores promedios de salinidad incluidos entre un mínimo de 327 mg/l y un máximo de 480 mg/l.

Compuestos	COGUANOR 29001	P1 mg/l	P2 mg/l	P3 mg/l	P4 mg/l	P5 mg/l
Nitritos (NO2)	3 mg/l LMP	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Ammoniaca (NH4)	ND	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Nitratos (NO3)	50 mg/l LMP	2.0	3.0	9.0	<1.0	<1.0
Cloruros (Cl)	100 mg/l (LMA) 250 mg/l (LMP)	32	17	27	6	7
Sulfatos (SO4)	100 mg/l (LMA) 250 mg/l (LMP)	62	59	84	4	16
Ortofosfato (PO4)	ND	0.2	<0.1	0.11	<0.1	<0.1

Cuadro 18: Resultados de análisis de fertilizantes - noviembre 2015

¹⁰³ WHO; https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/tds.pdf

¹⁰⁴ COGUANOR 29001, 2013, <http://www.ecosistemás.com.gt/wp-content/uploads/2015/07/04-COGUANOR-NTG-29-001-Ia-Revision.pdf>

Se observa un aumento de valores en los pozos más cerca del mar por la probable intrusión salina. No hay una variación sustancial en las estaciones climáticas. Durante la campaña de abril, los resultados del laboratorio para detectar trazas de pesticidas no evidenciaron concentraciones altas por encima de 1 mg/l (ppm), así que se reporta el valor de No Detectado (ND). Esto no significa que no hay pesticidas en el agua del Madre Vieja, sino que no se encontraron valores por encima del límite de detección del instrumento (1 mg/l).

Durante la campaña de noviembre no se observaron valores preocupantes de fertilizantes, de hecho, los valores de nitratos, nitritos, sulfatos y fósforo están dentro de los límites para el agua potable fijados por la norma nacional COGUANOR 29001. La norma no define (*ND) límites para el fósforo total para el agua a uso potable. De toda forma, la concentración de fósforo está por debajo de 0.1 mg/l en la mayoría de los pozos analizados.

Compuestos	COGUANOR 29001	Unidad	P1	P2	P3	P4	P5
Tribromometano	ND / Dir.EU 0,3 µg/l	µg/l	<0.10	<0.10	<0.10	0.40	<0.10
Triclorometano	ND / DirEU 2.5 µg/l	µg/l	<0.05	<0.05	<0.05	19.10	<0.05
Dibromoclorometano	ND/Dir.EU 0,13 µg/l	µg/l	<0.05	<0.05	<0.05	1.74	<0.05
Bromodiclorometano	ND/Dir.EU 0,17 µg/l	µg/l	<0.05	<0.05	<0.05	2.65	<0.05
Cloruro de vinilo	0.3 µg/l	µg/l	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
1,2-Dicloroetano	30 µg/l	µg/l	<0.10	<0.10	0.67	<0.10	<0.10
1,2-Dicloroetileno (suma cis+trans)	100 µg/l	µg/l	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
1,2-Dicloropropano	40 µg/l	µg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
1,1-Dicloroetano	30 µg/l	µg/l	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
Benzene	10 µg/l	µg/l	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Etilbenzene	300 µg/l	µg/l	0.14	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Stirene	20 µg/l	µg/l	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Toluene	700 µg/l	µg/l	0.64	<0.10	0.88	<0.10	<0.10
m-p-Xileno	500 µg/l	µg/l	0.12	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
PFBA (PerfluoroButanoic Acid);	ND	ng/l	<5	<5	<5	<5	<5
PFPeA (PerfluoroPentanoic Acid);	ND	ng/l	<5	<5	<5	<5	<5
PFBS (PerfluoroButane Sulfonate);	ND	ng/l	<5	<5	<5	<5	<5
PFHxA (PerfluoroHexanoic Acid);	ND	ng/l	<5	<5	<5	<5	<5
PFHpA (PerfluoroHeptanoic Acid);	ND	ng/l	<5	<5	<5	<5	<5
PFHpS (PerfluoroHeptane Sulfonate);	ND	ng/l	<25	<25	<25	<25	<25
PFHxS (PerfluoroHexane Sulfonate);	ND	ng/l	<5	<5	<5	<5	<5
PFQA (PerfluoroOctanoic Acid) isomero lineare;	ND	ng/l	<5	<5	<5	<5	<5
PFQA isomeri ramificati espressi come PFOA lineare;	ND	ng/l	<5	<5	<5	<5	<5
PFNA (PerfluoroNonanoic Acid);	ND	ng/l	<5	<5	<5	<5	<5
PFDeA (PerfluoroDecanoic Acid);	ND	ng/l	<5	<5	<5	<5	<5
PFOS (PerfluoroOctane Sulfonat) isomero lineare;	ND	ng/l	<5	<5	<5	<5	<5
PFOS isomeri ramificati espressi come PFOS lineare;	ND	ng/l	<5	<5	<5	<5	<5
PFUnA (PerfluoroUndecanoic Acid);	ND	ng/l	<5	<5	<5	<5	<5
PFDoA (PerfluoroDodecanoic Acid);	ND	ng/l	<5	<5	<5	<5	<5
HFPO-DA (Perfluoro 2-Propoxy-Propanoic Acid);	ND	ng/l	<25	<25	<25	<25	<25
4:2-FTS (4:2-FluoroTelomerSulfonate);	ND	ng/l	<5	<5	<5	<5	<5
6:2-FTS (6:2-FluoroTelomerSulfonate);	ND	ng/l	<5	<5	<5	<5	<5
8:2-FTS (8:2-FluoroTelomerSulfonate);	ND	ng/l	<5	<5	<5	<5	<5
cC6O4 (CAS 1190931-27-1)	ND	ng/l	<50	<50	<50	<50	<50

Cuadro 19: Resultados de análisis de diferentes compuestos -noviembre 2018

Pesticidas	P1 µg/l	P2 µg/l	P3 µg/l	P4 µg/l	P5 µg/l
Azetansprid	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Acefator	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Asetrina	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Atrazina	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Azinfos-etile	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Azinfos-metile	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Azoxystrobin	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Boscalid	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Clorfenfos	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Clorpirifos	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Clorpirifos-metile	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Cianazina	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Cyanoamid	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Cymoxanil	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Demeton-s-metile	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Demeton-s-methyl-sulfone	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Demeton-s-methyl-sulfonide	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Desetiazina	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Desetibutiazina	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Diclorvos	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Dimetato	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Dimetomorf	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Diazin	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Epoconazole	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Ethion	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Ethofomesate (0.01 µg/l Dir. EU)	<0.03	<0.03	<0.03	0.08	<0.03
Fenbuconazole	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Fenbut	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Fludiofop	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Fludiofop	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Flufenacet	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Haloxifop-methyl	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Haloxifop-free acid	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Iprovalicarb	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Isoproturon	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Linuron	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Lufenuron	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Malaoxon	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Malation	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Metasol-M	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Metosulfonate	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Metribuzin	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Ormetato	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Oradiazon	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Oradifol	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Pencicazole	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Pendimetalin	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Prometria	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Propizamide	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Quintofop-estil	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Simsina	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Tebuconazole	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Terbutialina	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Terbutrina	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Tetrametrina	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Thiainline	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Prochloraz	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Pyrimetani	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Propiconazole	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Triametolan	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Iproconazole	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Metconazole	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Bentazone	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
2,4D	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
MCPA	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
MCPB	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Mecoprop	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
2,4,5T	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Dicamba	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Glyphosate	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Glyphosate	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
AMPA	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Trinecipac-ethyl	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03

Cuadro 20: Resultados de análisis de diferentes compuestos-noviembre 2018

Durez Total	100 mg/l (LMA) 500 mg/l (LMP)	F*	34.0	26.0	34.0	8.0	14.0
Sodio (Na)	ND	mg/L	47.7	43.4	76.3	25.5	27.8
Potasio (K)	ND	mg/L	9.0	12.6	12.6	2.9	4.6
Calcio (Ca)	75 mg/l (LMA) 150 mg/l (LMP)	mg/L	41.8	40.3	55.8	17.6	30.5
Magnesio (Mg)	50 mg/l (LMA) 100 mg/l (LMP)	mg/L	58.5	39.7	48.1	8.4	16.6
Hierro (Fe)	300 µg/l (LMA) (LMP ND)	µg/l	70	<50	<50	<50	<50
Cadmio (Cd)	3 µg/l (LMA) (LMP ND)	µg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Nichel (Ni)	ND	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5
Cromo (Cr)	50 µg/l LMP	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5
Cobre (Cu)	50 µg/l LMA 1500 µg/l LMP	µg/l	<2	2	3	49	<2
Plomo (Pb)	10 µg/l LMP	µg/l	<2	<2	<2	14	<2
Zinc (Zn)	3000 µg/l LMA 70000 µg/l LMP	µg/l	<30	<30	<30	448	<30
Arsenico (As)	10 µg/l LMP	µg/l	3	3	3	5	4
Cobalto (Co)	ND	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1
Manganeso (Mn)	100 µg/l LMA 400 µg/l LMP	µg/l	1380	2221	203	7	242
Alluminio (Al)	50 µg/l LMA 1000 µg/l LMP	µg/l	10.0	<2.0	<2.0	30.0	<2.0
Fluoruro (F)	1.5 mg/l	mg/l	0.19	0.10	0.11	<0.10	<0.10
Mercurio	0,001 mg/l	µg/l	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2

Cuadro 21: Resultado de análisis de metales y otros elementos - noviembre 2018

En el pozo P4 se observaron valores elevados de compuestos halogenados y clorurados (Tribromometano, triclorometano, dibromoclorometano, bromodichlorometano). Los compuestos halogenados son residuos del proceso de cloración del agua y son compuestos no muy solubles en agua, persistentes, tóxicos y en algunos casos cancerígenos. La norma nacional COGUANOR 29001 no define límites

para estos compuestos, pero la Directiva Europea 2006/118/CE, en materia de agua superficial establece algunos estándares, que se reportaron en la tabla 5.2.c. Todos los demás compuestos están por debajo de los límites de detección. No se evidenciaron concentraciones elevadas de pesticidas: todos los agrotóxicos analizados se encuentran dentro de los niveles aceptables y permisibles.



Solamente la concentración de etofumesato en el pozo P4, un herbicida usado en los cultivos de tabaco y betabel, se encuentra arriba de los límites fijados para la norma europea 2013/39, utilizada como referencia, ya que la norma nacional COGUANOR 29001 no define límites para este compuesto. Siempre en el pozo P4 se observó una concentración alta (arriba de la norma COGUANOR 29001) de Plomo, un metal pesado peligroso para la salud humana.

Valores altos de Manganeso se observan en todos los pozos a excepción del P4: en el pozo P1 y P2 las concentraciones medidas sobrepasan los límites máximos permisibles (LMP) para la norma nacional COGUANOR 29001, mientras en los pozos P3 y P5 sobrepasan solo los límites máximos aceptables (LMA).

Las mediciones de las aguas subterráneas evidencian una clara diferencia entre pozos públicos, de mejor calidad, y aquellos privados de baja calidad hasta

alcanzar la no potabilidad del agua por altas concentraciones de sales y sustancias varias (medidos a través de altos valores de TDS y conductividad).

Por estas razones, a la base de la escasa palatabilidad del agua, los usuarios (a excepción del pozo P2) han dejado de tomar agua del pozo, sin embargo, el agua sigue siendo utilizada para usos domésticos, de higiene, en la cocina y para las actividades agropecuarias.

Entre los pozos privados artesanales se observa un aumento de la salinidad avanzando en dirección de la costa por la probable intrusión salina como causa de la reducción del aporte de agua dulce desde el cauce al acuífero. La escasa calidad del agua de los pozos privados, como consecuencia indirecta de los impactos de las desviaciones del Río (intrusión salina) y de la contaminación química (infiltración de sustancias desde el cauce del río al acuífero) y biológica, impacta la salud y la economía familiar.

6.1. Descripción de los agrotóxicos utilizados

6.1.1. Gesaprim (Atrazina)¹⁰⁵

La atrazina es el principio activo contenido en el agrotóxico Gesaprim, utilizado en el cultivo de caña de azúcar en la Costa Sur de Guatemala. Se trata de un Plaguicida de Uso Restringido (RUP), lo que significa que solamente personas certificadas pueden adquirir o usar. La certificación para usar atrazina se obtiene a través de la oficina estatal en donde el usuario está licenciado. Entre los nombres registrados de la atrazina se incluyen Aatrex®, Aatram®, Atratol® y Gesaprim®.

La atrazina es un herbicida organoclorado que se aplica sobre terrenos agrícolas o sobre cosechas para eliminar hierbas. Cierta cantidad de atrazina puede entrar al aire luego de ser aplicada al suelo. Cierta cantidad de atrazina en el suelo puede también ser arrastrada por el agua de lluvia hacia áreas cercanas, incluyendo arroyos, lagos u otras corrientes de agua. Puede migrar desde la superficie del suelo a capas del suelo más profundas y entrar al agua subterránea permaneciendo allí por mucho tiempo. Después de que se aplica al suelo, permanecerá ahí por días o meses. En raras ocasiones, permanecerá en el suelo durante varios años. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la atrazina será degradada en el suelo durante el transcurso de una temporada de cultivo.

Además de ser removida del suelo, la atrazina también es incorporada por las plantas que crecen en el suelo, y esta incorporación representa la primera etapa en la eliminación de las hierbas. Toda atrazina que es movilizada desde el suelo hacia arroyos u otros cuerpos de agua permanecerá ahí

por mucho tiempo debido a que la degradación de esta sustancia en ríos y lagos es lenta. Este es uno de los motivos por el cual la atrazina se encuentra frecuentemente en muestras de agua tomadas en pozos de agua potable en ciertas regiones agrícolas. Si la atrazina entra al aire, puede ser degradada por reacciones con otras sustancias químicas. Sin embargo, algunas veces la atrazina se adhiere a partículas de polvo y cuando esto sucede, es improbable que se degrade, y se puede movilizar, a causa del viento, lejos del área de aplicación. La atrazina es removida del aire principalmente por la lluvia. No tiende a acumularse en organismos vivientes tales como algas, bacterias, almejas o peces, y por lo tanto, no se acumula en la cadena alimentaria.

Trabajadores de las fincas están expuestos directamente: en general la gente que vive cerca de áreas donde se ha aplicado sobre cosechas puede estar expuesta a través de agua potable contaminada. Algunos estudios en parejas que viven en fincas que usan atrazina para controlar hierbas encontraron un aumento en el riesgo de parto prematuro. Estos estudios son difíciles de interpretar porque la mayoría de estos agricultores eran hombres que pudieron haber estado expuestos a varios tipos de plaguicidas. Se ha demostrado que la atrazina causa alteraciones en los niveles de hormonas en animales, lo que afecta la capacidad para reproducirse. Puede afectar a las mujeres embarazadas: los bebés crecen más lentamente de lo normal. Se evidencian defectos de nacimiento, daño al hígado, riñones y corazón en animales expuestos a altos niveles.

Aunque si los análisis de laboratorio no detectaron concentraciones preocupantes de pesticidas en el agua, es importante tomar en cuenta que hay exposición, por parte de los trabajadores a estas sustancias y por esto se necesitan medidas para reducir el daño sanitario, empezando más que nada con la información y la formación.

Es importante evidenciar que los agrotóxicos y plaguicidas no necesariamente incrementan la disponibilidad de alimentos ni la prosperidad de productores pequeños y agricultores de subsistencia. No obstante, el uso de plaguicidas sigue aumentando en forma permanente en monocultivos extensivos con efectos negativos sobre las poblaciones en los alrededores y el medio ambiente. Además, los consumidores también se pueden ver afectados por los múltiples residuos que han sido detectados a lo largo de las cadenas de valor y en los alimentos. Se reportan, en los párrafos, los estudios epidemiológicos realizados por parte de muchas instituciones científicas, sobre las afectaciones en la salud que las actividades agroindustriales están ocasionando en muchos países, para tener una visión global del problema y encontrar similitudes con la situación de la Costa Sur.

6. EVALUACIÓN DEL RIESGO SANITARIO

Este capítulo se focaliza sobre los impactos de las actividades agroindustriales en la salud de los trabajadores y en la salud de quien vive en territorios dominados por monocultivos de palma, caña y banano. El capítulo se articula con una primera descripción de los plaguicidas que se utilizan en los cultivos en la cuenca del Río Madre Vieja, tomando en cuenta sus características químicas y su toxicidad para el ambiente y salud humana.

¹⁰⁵ Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR); https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs153.html

6.1.2. Round up - Flash (Glifosato)

El glifosato es el principio activo contenido en los herbicidas Round Up y Flash utilizados en el cultivo de la palma aceitera en la Costa Sur de Guatemala. Es un plaguicida organofosforado. Una vez en el medio ambiente, se absorbe al suelo y se descompone a través de los microorganismos del suelo en su metabolito AMPA. Considerando su absorción al suelo, generalmente la tasa de lixiviación del suelo a las aguas subterráneas es baja; en las aguas superficiales puede llegar por deposición atmosférica o por arrastre de la lluvia y una vez en el agua no se descompone fácilmente por la luz solar.

La Agencia Internacional de la Investigación sobre Cáncer (IARC, 2015) clasifica al glifosato como un probable carcinógeno, grupo 2A. Es irritante para los ojos, piel, tracto respiratorio. En lugar, el último estudio de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016) afirma que la baja toxicidad, la baja volatilidad y la baja absorción de glifosato en el cuerpo hacen que su aplicación con un pulverizador de mochila sea segura cuando los trabajadores usan ropa de protección completa.¹⁰⁶ Esto generalmente no sucede en los trabajadores de la Costa Sur de Guatemala.

El peligro de este herbicida, contenido en las plantas y en el suelo, es su ingreso en la cadena alimenticia de los herbívoros y omnívoros, exponiendo animales y humanos a la contaminación por glifosato por ingestión de alimentos que lo contienen. Estudios científicos han demostrado la posible absorción de glifosato en el tracto gastrointestinal de humanos y mamíferos,¹⁰⁷ así como la absorción por inhalación¹⁰⁸ y contacto dérmico¹⁰⁹.

Numerosos estudios se han realizado en ratones y ratas y los resultados muestran que la sustancia causa retrasos en el crecimiento, daño renal, inflamación del hígado, y enfermedad gástrica. Además, para organismos acuáticos y vegetales, el glifosato se considera tóxico y actúa alterando las funciones vitales relacionadas con la fotosíntesis, la respiración y la síntesis de aminoácidos aromáticos esenciales.¹¹⁰

En estudios sobre personas expuestas en áreas de Ecuador rociadas con una base de glifosato, se observó un significativo aumento del daño del ADN (roturas de cadenas) en las células sanguíneas entre 2 semanas hasta 2 meses después de la fumigación.¹¹¹ En otro estudio basado en Colombia, en un grupo de mujeres en edad reproductiva, sobresalió un aumento significativo de las rupturas de los cromosomas con formación de micronúcleos en la población expuesta a la fumigación aérea de glifosato. La ruptura de los cromosomas es causada por sustancias clastógenas, o sea que tienen la capacidad de provocar mutaciones que pueden ser el origen de una carcinogénesis.¹¹² En un estudio de vigilancia de plaguicidas llevado a cabo por el Servicio Nacional de Información sobre Venenos del Reino Unido, el glifosato estaba entre los plaguicidas más comunes implicados en casos de intoxicación grave o mortal entre 2004 y 2013.¹¹³ Envenenamientos deliberados con glifosato resulta en toxicidad y muerte en muchos Países como Australia,¹¹⁴ India,¹¹⁵ República de Corea¹¹⁶ y Sri Lanka.¹¹⁷

¹⁰⁶ International Agency for Research on Cancer (IARC), 2018; <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono112-10.pdf>

¹⁰⁷ US National Library of Medicine; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4756530/>

¹⁰⁸ Europe PMC; <https://europepmc.org/abstract/med/15079922>

¹⁰⁹ US National Library of Medicine; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1241861/pdf/ehp0112-000321.pdf>

¹¹⁰ Vincenzo Torretta et al.; Critical Review of the Effects of Glyphosate Exposure to the Environment and Humans through the Food Supply Chain, 2018

¹¹¹ Paz-y-Miño et al., 2007; Evaluation of DNA damage in an Ecuadorian population exposed to glyphosate, <http://www.scielo.br/pdf/gmb/v30n2/a26v30n2.pdf>

¹¹² Bolognesi et al., 2009; Biomonitoring of genotoxic risk in agricultural workers from five Colombian regions: association to occupational exposure to glyphosate; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19672767>

¹¹³ Perry et al., 2014.

¹¹⁴ Stella & Ryan, 2004; Glyphosate herbicide formulation: a potentially lethal ingestion.

¹¹⁵ Mahendrakar et al., 2014; Glyphosate surfactant herbicide poisoning and management.

¹¹⁶ Park et al., 2013; Effect of intravenous lipid emulsion in patients with acute glyphosate intoxication

¹¹⁷ Roberts et al., 2010; A prospective observational study of the clinical toxicology of glyphosate-containing herbicides in adults with acute self-poisoning.

6.1.3. Hedonal (2,4-D)

El principio activo del Hedonal es el 2,4-D, un ácido fenossicarbónico, un herbicida utilizado para el cultivo de caña de azúcar en la Costa Sur de Guatemala. En el ambiente se degrada rápidamente en agua y por la luz solar. Tiene un tiempo de vida en el suelo de unos días y de 1 solo día en la atmósfera. No es bioacumulable en los organismos.¹¹⁸

La IARC lo clasifica como posiblemente carcinógeno para los humanos (Grupo 2B), debido a la

insuficiencia de evidencia en humanos, pero si hay evidencia, aunque si limitada, en animales experimentales. Hay una fuerte evidencia de que el 2,4-D induce estrés oxidativo, un mecanismo en humanos, y evidencia moderada de que el 2,4-D causa inmunosupresión, basada en estudios in vivo e in vitro. Los estudios epidemiológicos han sugerido una asociación entre el desarrollo de sarcoma de tejidos blandos y linfoma no Hodgkin por exposición a 2,4 D.¹¹⁹

6.1.4. Moddus (Trinepax-ethyl)

El principio activo del madurativo más utilizado en los cultivos de caña de azúcar es muy tóxico para organismos acuáticos: su tiempo de vida en el ambiente es de 3-5 días. No es persistente en agua y no se bioacumula en los organismos animales. Puede dar reacción alérgica de la piel. Si ingerido (< 2 mg/l) provoca irritación oral, diarrea, náusea, vómito, dolores abdominales.¹²⁰

Según la plataforma online Pesticide Properties DataBase (PPDB) de la Universidad de Hertfordshire (Reino Unido), esta sustancia no es carcinógena.¹²¹ Los efectos críticos en estudios de toxicidad oral a corto plazo con ratas y perros incluyeron cambios histopatológicos en el riñón en ratas y signos clínicos y cambios en el peso del útero, vacuolización cerebral y hallazgos

hematológicos en perros. En ratas, no se observó potencial de neurotoxicidad en los estudios de toxicidad estándar y neurotoxicidad específica. Sin embargo, se observó neurotoxicidad en estudios de toxicidad con perros.

El análisis de la relevancia biológica de los hallazgos mostró que los compuestos que alteran el metabolismo de la glucosa indujeron una inflamación similar de los astrocitos (células que constituyen el sistema nervioso central) y la vacuolización cerebral (daños cerebrales por presencia de cavidades y rupturas de las células nerviosas). Los expertos apoyaron la opinión de RMS de que, en ausencia de estudios mecanicistas y/o datos humanos, la vacuolización cerebral observada en perros debería considerarse relevante para los humanos.¹²²

¹¹⁸ WHO, 2,4 d in drinking water, 2003.

¹¹⁹ IARC, 2015; http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2015/pdfs/pr236_E.pdf

¹²⁰ Syngenta, <https://www.syngenta.co.uk/product/crop-protection/plant-growth-regulator/moddus>

¹²¹ Universidad de Hertfordshire (UK); <https://item.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/672.htm>

¹²² Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), 2018; Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance trinexapac (variant evaluated trinexapac-ethyl).

6.1.5. Mancozeb (Ethylene bis-dithio-Carbamato -EBDCs)

Mancozeb es un fungicida utilizado en el cultivo de banano en la Costa Sur de Guatemala. Debido a que es prácticamente insoluble en agua, es poco probable que se infiltre en aguas subterráneas. Mancozeb se degrada en agua con una vida media de uno a dos días a pH 5, 7 y 9. Debe mantenerse fuera de lagos, arroyos y lagunas y no debe aplicarse donde es probable que se produzcan escorrentías.

Este fungicida no debe almacenarse ni desecharse cerca o en el agua, ya que el almacenamiento o la eliminación de mancozeb en cuerpos de agua puede causar contaminación. Es caracterizado por baja volatilidad y baja movilidad en el suelo. Mancozeb es ligeramente tóxico para las aves. La etiqueta del producto advierte de su toxicidad para los peces, sobre todo

para aquellos de agua caliente.¹²³ Las principales vías de exposición al mancozeb son a través de la piel o por inhalación.

En forma de aerosol o polvo, los EBDC son moderadamente irritantes para la piel y las membranas mucosas respiratorias. Los síntomas de envenenamiento de esta clase de químicos incluyen picazón, dolor de garganta, estornudos, tos, inflamación de la nariz o garganta y bronquitis. No hay evidencia de "neurotoxicidad", destrucción del tejido nervioso o cambio de comportamiento. Sin embargo, los ditiocarbamatos se descomponen, o se metabolizan parcialmente químicamente en disulfuro de carbono, una neurotoxina capaz de dañar el tejido nervioso. La etilentiourea (ETU), un metabolito de la clase de sustancias químicas en la que se incluye mancozeb, ha causado cáncer en animales de experimentación y ha sido clasificado como probable carcinógeno humano por la EPA.¹²⁴ Es probable nocivo para el feto.¹²⁵

6.1.5. Tordon (Picloram -Acido 4-amino-3,5,6-tricloro-2-piridincarbossilico)

Tordon es un herbicida utilizado en el cultivo de palma aceitera en la Costa Sur de Guatemala. Se trata de un Plaguicida de Uso Restringido (RUP), lo que significa que solamente personas certificadas pueden adquirir o usar. Picloram, su principio activo, es altamente soluble en agua, resistente a procesos de degradación, y móvil. Es estable a la hidrólisis y degradación anaeróbica, y se degrada muy lentamente con una vida media que va desde 167 a 513 días. La principal vía de disipación parece ser la lixiviación. Por su alta persistencia, parece poco probable que el picloram degrade una vez que alcanza el agua subterránea, incluso durante un período de varios años. Se prohíbe de aplicar a través de cualquier tipo de sistema de riego, cuidando la observación de un intervalo de pre-cosecha de 30 días para forraje. Se incluye prohibiciones contra la contaminación de aguas destinadas al riego o fines

domésticos. Es una sustancia tóxica para organismos acuáticos con efectos a largo plazo.

En los animales de experimento se evidencia daño al hígado y leucopenia (reducción glóbulos blancos). El picloram y sus derivados no son tóxicos, de forma oral aguda, para las aves, mamíferos y abejas. El ácido picloram y sus sales son moderadamente tóxicos para los peces de agua dulce e invertebrados. La sal de picloram es levemente tóxica para los moluscos marinos/estuarinos e invertebrados. Picloram es extremadamente fitotóxico.¹²⁶

Picloram es altamente tóxico, y sus derivados son moderadamente tóxicos por la ruta de inhalación (Categorías de toxicidad I y II); causan irritación moderada de los ojos (Categoría de toxicidad III); y la mayoría no son irritantes para la piel (Categoría de toxicidad IV, excepto IOE en Categoría III).¹²⁷

¹²³ Extension Toxicology Network; <http://pmep.cce.cornell.edu/profiles/extoxnet/haloxfop-methylparathion/mancozeb-ext.html>

¹²⁴ Extension Toxicology Network; <http://pmep.cce.cornell.edu/profiles/extoxnet/haloxfop-methylparathion/mancozeb-ext.html>

¹²⁵ Office of Health and Environmental Assessment, Environmental Criteria and Assessment Office, Cincinnati.

¹²⁶ DOW AGROSCIENCES CANADA INC, 2017; http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDAS/dh_09a3/0901b803809a3c59.pdf?filepath=/pdfs/noreg/010-22518&fromPage=GetDoc

¹²⁷ US EPA; https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/reregistration/fs_PC-005101_1-Aug-95.pdf

6.1.7. Tega - (Estrobirulina -Trifloxystrobin)

Tega es un fungicida utilizado en los cultivos de banano en la Costa Sur de Guatemala, que se degrada rápidamente (de horas a días) en la mayoría de los ambientes acuáticos y del suelo.¹²⁸ Resulta ser tóxicos para organismos acuáticos (peces y invertebrados) de río y de estuario.¹²⁹ Es una sustancia neurotóxica y altamente tóxica para el sistema reproductivo humano. Es irritante para el sistema respiratorio y causa pneumoconiosis; y resulta

ser irritante para ojos y piel. No es cancerígeno para humanos. Estudios de toxicidad subcrónica y crónica demostraron que los efectos primarios en altas dosis de la trifloxistrobina ocurren en el hígado y riñones. Estudios de toxicidad del desarrollo prenatal en ratas y conejos no proporcionaron indicios de aumento de susceptibilidad a la exposición en el útero a la trifloxistrobina. No hay problemas de mutagenicidad en las pruebas de trifloxistrobina.¹³⁰

6.1.8. MCPA (Ácido 4-cloro-2 metilfenoxi)

MCPA es un herbicida utilizado en el cultivo de caña de azúcar en la Costa Sur de Guatemala. Es muy soluble en agua y su tiempo de vida en el suelo es de 15-50 días y resulta ser bastante móvil en el suelo.¹³¹ Puede someterse a una fotólisis directa en el aire, y es fotoquímicamente reactivo en el agua. Está sujeto a escorrentía (a través de la lluvia) con el transporte a las corrientes y estanques. El potencial de bioconcentración en organismos acuáticos es bajo. La bibliografía de estudios sobre efectos ecológicos y ambientales del MCPA es muy escasa; existen pocos estudios a la fecha y se afirma que el MCPA es moderadamente tóxico para las aves silvestres y no es tóxico para los invertebrados de agua dulce y para los organismos estuarinos y marinos. No es tóxico para las abejas.¹³²⁻¹³³ En lugar, PubChem que es ella base de datos sobre moléculas químicas, manejado por el Centro Nacional de la Información Biotecnológica de Estados Unidos,¹³⁴

afirma que es muy tóxico para los organismos acuáticos. La exposición ocupacional a MCPA puede ocurrir por inhalación, ingestión de gotas de aerosol, y por contacto dérmico.¹³⁵ Causa severa irritación ocular; los síntomas en seres humanos por exposición tóxica aguda incluyen dificultad para hablar, contracciones, sacudidas y espasmos, babeo, presión arterial baja e inconsciencia.¹³⁶ Si expuesto por inhalación causa dolor de cabeza, náuseas, enrojecimiento piel. Si ingerido genera dolor abdominal, náuseas, vómitos, debilidad, pérdida del conocimiento. La experimentación animal muestra que esta sustancia posiblemente cause efectos tóxicos en la reproducción humana.¹³⁷ La exposición de los trabajadores agrícolas ha resultado en anemia reversible, debilidad muscular, problemas estomacales y daño leve al hígado.¹³⁸ La bibliografía indica que el compuesto no causa cáncer.¹³⁹

¹²⁸ EPA, https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/registration/fs_PC-129112_20-Sep-99.pdf

¹²⁹ EPA Pesticide Fact Sheet 1999.

¹³⁰ EPA, https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/registration/fs_PC-129112_20-Sep-99.pdf

¹³¹ WHO, MCPA in drinking water, 2016

¹³² The Agrochemicals Handbook. 1991. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, England.

¹³³ EPA, 2004, https://archive.epa.gov/pesticides/reregistration/web/pdf/mcpa_red.pdf

¹³⁴ PubChem, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/mcpa#section=General-MS>

¹³⁵ Pubchem, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/mcpa#section=ICSC-Environmental-Data>

¹³⁶ Extoxnet, Extension Toxicology Network; <http://pmep.cce.cornell.edu/profiles/extoxnet/haloxfop-methylparathion/mcpa-ext.html>

¹³⁷ Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas, Fichas Internacionales de Seguridad Química; http://training.itcilo.it/actrav_cdrom2/es/osh/ic/94746.htm

¹³⁸ Stevens, James T. and Darrell D. Sumner. 1991. Herbicides in Handbook of Pesticide Toxicology, Volume

¹³⁹ Walker, Mary M. and Lawrence H. Keith. 1992. EPA's Pesticide Fact Sheet Database. Lewis Publishers. Chelsea

6.2. Estudios sobre daños a la salud por exposición a las actividades agroindustriales

6.2.1. Impactos en la salud de los trabajadores

EN GENERAL LAS CONDICIONES DE TRABAJO EN LAS GRANDES FINCAS INCLUYEN MUCHOS TIPOS DE RIESGOS:

- 1 FÍSICO-AMBIENTALES**
Alta temperatura, exposición a radiaciones solares, lluvias, tormentas, inundaciones, etc.
- 2 QUÍMICOS**
Exposición a plaguicidas, etc.
- 3 BIOLÓGICOS:**
Exposición a hongos, parásitos, animales, etc.
- 4 MECÁNICOS:**
Uso de maquinaria, transporte, accidentes, etc.

La literatura médica se ha focalizado principalmente sobre los riesgos químicos y ha documentado una fuerte correlación entre la exposición a plaguicidas y efectos crónicos de salud en agricultores. Algunos plaguicidas utilizados en la cuenca del Madre Vieja han sido prohibidos en otros países desde hace tiempo. Es el caso del atrazina para la Unión Europea que ha prohibido el uso desde el 2004;¹⁴⁰ en Italia se vetó su uso en el 1992.¹⁴¹ Los impactos crónicos en

la salud han sido más fuertes con respecto a las enfermedades del ojo y piel y del deterioro del sistema neurológico, respiratorio y gastrointestinal.¹⁴²

La enfermedad renal crónica (ERC) de causa no tradicional (ERCnT) se presenta frecuentemente en la costa sur de América Central y regiones de Sri Lanka. Poco se sabe de esta patología pero, afecta poblaciones jóvenes, trabajadores de la agroindustria que se exponen al golpe de calor, viven debajo de 200 metros de altitud, bajo valores de proteinuria (presencia de proteínas en la orina como síntomas de problemas a los riñones) y no se asocian a factores tradicionales de ERC. Se reconocen, además otros factores como deshidratación frecuente, rabdomiolisis,¹⁴³ uso de AINES (fármacos antiinflamatorios no esteroides), contexto de pobreza, bajo peso al nacer y malnutrición.¹⁴⁴

Como resultado de las precarias condiciones laborales en la agroindustria azucarera, se han incrementado considerablemente las enfermedades renales crónicas (ERC), especialmente en las regiones de mayor presencia de este monocultivo. La Asociación Nicaragüense de Afectados por Insuficiencia Renal Crónica aseguró que solo en Nicaragua hubo 2,677 fallecidos en los últimos años. Recientes estudios de la Universidad de Costa Rica mostraron que la mortalidad, en dos municipios de la región noroccidental del país, es actualmente de 25 personas cada 100,000 habitantes.¹⁴⁵

¹⁴⁰ Pan-Europe.info; <https://www.pan-europe.info/old/Archive/About%20pesticides/Banned%20and%20authorised.htm>

¹⁴¹ Agronotizie, 2004; <https://agronotizie.imagelinenetwork.com/difesa-e-diserbo/2004/03/18/revocati-in-europa-atrazina-e/773>

¹⁴² Pingali PL, Marquez CB, Palis FG. Pesticides and Philippine rice farmer health: a medical and economic analysis. Am J Agric Econ 1994;76:587-92

¹⁴³ Rotura de las células del músculo esquelético y liberación al torrente sanguíneo de las sustancias contenidas en la musculatura.

¹⁴⁴ Prevalencia de enfermedad renal crónica de causa no tradicional (ERCnT) en pacientes en hemodiálisis de la costa sur de Guatemala, Timothy S. Laux et al. 2017

¹⁴⁵ El País, 2011; https://elpais.com/sociedad/2011/12/25/actualidad/1324846356_918435.html.

El representante de la Organización Panamericana de la Salud-OPS, para Guatemala, Oscar Barrenche, afirma, que la enfermedad crónica renal de origen desconocido, se centra en hombres menores de 40 años, en su mayoría trabajadores agrícolas de las costas del litoral del pacífico.¹⁴⁸



En Chichigalpa, en Nicaragua, la insuficiencia renal ha sido responsable del 46% de todos los casos de muerte de hombres en los últimos diez años.¹⁴⁶ Los agricultores con ERC han tenido una alta exposición a los plaguicidas tóxicos debidos al mal uso en casi todas las etapas del manejo de los plaguicidas. La agencia norteamericana de Administración de Seguridad y Salud Ocupacionales (OSHA por sus siglas en inglés), afirma que los jornaleros de corte de caña tendrían que descansar 45 minutos por cada 15 de trabajo en esas condiciones ambientales caracterizada por altas temperaturas y exposición a los tóxicos.¹⁴⁷

El representante de la Organización Panamericana de la Salud-OPS, para Guatemala, Oscar Barrenche, afirma, que la enfermedad crónica renal de origen desconocido, se centra en hombres menores de 40 años, en su mayoría trabajadores agrícolas de las costas del litoral del pacífico.¹⁴⁸ Dado el hecho de las crecientes tasas de prevalencia y mortalidad, el Ministerio de Salud y Prevención Social (MSPAS) de Guatemala concluye, que la ERC representa desde luego un problema

de salud pública. Quetzaltenango con una prevalencia de 42 casos; Petén con 247 casos; Escuintla con 94 casos; Santa Rosa con 42 casos; Retalhuleu con 22 casos; Suchitepéquez con 32 casos; San Marcos con 37 casos registrados.

Los casos de mortalidad se comportan de manera similar, es decir, muestran tasas de prevalencia mayores en los departamentos de la Costa Sur y en los dos centros urbanos Guatemala (25.4) y Quetzaltenango (11). En el departamento de Retalhuleu la mortandad por causa de la ERC alcanzó una tasa de 37.1; Escuintla 20.4; Suchitepéquez 12; San Marcos 9.4; Santa Rosa 13; Jutiapa 13.15 casos por cada 100,000 habitantes.

Los tratamientos de sustitución de la función renal mediante hemodiálisis son tan altos que corresponden a un grave problema de salud pública en toda Centro América, que requiere aumentar la vigilancia y alertas, así como la generación de mayor evidencia para dirigir los programas y políticas en el sentido de dar cumplimiento al derecho humano a la salud.

De acuerdo al Centro de Integridad Pública de Estados Unidos, el número de muertes por la ECR, entre 2005 y 2009, superan los 16.000 en Centro América. Las muertes anuales por insuficiencia renal se han triplicado desde 1990. En El Salvador, la ERC se ha vuelto la causa principal de mortalidad en hombres adultos.¹⁴⁹

En Guatemala, el número de casos de ERC se duplica en el periodo 2009-2015 de 349 a 877 casos. Aunado a ello, la prevalencia de casos ha aumentado, a pesar de que a nivel nacional esta se mantiene en 5,4 casos por cada 100,000 habitantes, a nivel departamental la prevalencia aumenta considerablemente para el año 2015

Otras fuentes afirman, que la mortalidad a causa de la insuficiencia renal supera la mortalidad de VIH, diabetes y leucemia juntos.¹⁵⁰

La Organización Panamericana de Salud sugiere que los agrotóxicos y fertilizantes que contienen metales pesados deben ser responsables para la insuficiencia renal no tradicional.¹⁵¹

La Nefritis Intersticial Crónica de las Comunidades Agrícolas (NICCA) está determinada socialmente por la pobreza, la contaminación ambiental y condiciones de trabajo insalubres. Tiene manifestaciones extra-renales no atribuidas a la progresión de la enfermedad renal y es compatible con la hipótesis de etiología multifactorial en la cual los agentes nefrotóxicos ambientales como detonantes de la epidemia y potenciadores del daño renal.¹⁵²

Los contaminantes ambientales podrían explicar también, al menos en parte, la presencia de biomarcadores de la ERC en personas que no trabajan en la agricultura y viven en las comunidades de alto riesgo. La exposición a tóxicos se ha propuesto también como posible factor causal de ERC en otras regiones geográficas fuera de Centroamérica. Por ejemplo, un estudio estadounidense reciente sobre 32000 mujeres cónyuges de aplicadores de plaguicidas, las cuales nunca habían manipulado plaguicidas, reveló que su riesgo de insuficiencia renal extrema guar-

daba una correlación significativa con la exposición acumulada del cónyuge a los plaguicidas, lo que parece indicar que podría estar implicada la exposición a los residuos de líquidos de fumigación sobre la ropa y piel llevados por los hombres a sus hogares.¹⁵³

Además, que el aspecto directo de los plaguicidas, los efectos sanitarios incluyen también otros impactos en la esfera psicofísica.

Un estudio sobre los síntomas físicos y psicológicos en cortadores de caña en Brasil, evidenció cómo el estrés aumenta después de la cosecha (34.2% antes de la cosecha y 46.1% después de la cosecha).¹⁵⁴ Las consecuencias del estrés excesivo van desde la gastritis (factor de riesgo en desarrollar úlceras gástricas), problemas dermatológicos (herpes, dermatitis, urticaria, psoriasis y vitiligo), hipertensión arterial, envejecimiento temprano, ansiedad por depresión y, en casos raros, muerte.

Los procesos productivos y laborales ahora instituidos en el sector brasileño de la caña de azúcar tenían el objetivo de aumentar la



¹⁴⁶ Diario Las Americas, <https://www.diariolasamericas.com/americas-latina/rara-enfermedad-renal-mata-trabajadores-la-cana-centroamerica-n4108636>

¹⁴⁷ El Pasi, 2015; https://elpasi.com/internacional/2015/02/26/actualidad/1424988812_763512.html

¹⁴⁸ Amazonas News; https://s3-eu-central-1.amazonaws.com/weeffect.es.wordpress.prod/wp-content/uploads/2018/07/18201511/ESTUDIO-AGROTOX_11-jul-2018_VF.pdf

¹⁴⁹ Amazonas News; https://s3-eu-central-1.amazonaws.com/weeffect.es.wordpress.prod/wp-content/uploads/2018/07/18201511/ESTUDIO-AGROTOX_11-jul-2018_VF.pdf

¹⁵⁰ Agrotóxicos en el cultivo de caña de azúcar y sus impactos en la salud humana. Causas y orígenes de la nefropatía en Guatemala, Katja Winkler.

¹⁵¹ PAHO/WHO 2013 Chronic Kidney Disease in Agricultural Communities in Central America CE152/25 (Concept Paper); 17 June 2013.

¹⁵² Ministerio de Salud del Salvador; https://www.salud.gob.sv/archivos/pdf/cursos/Becas/Curso_UIISP-7-2017/presentaciones/dia5_presentaciones_28112017/1-UIISP-ERC-en-El-Salvador.pdf

¹⁵³ Epidemia de enfermedad renal crónica en comunidades agrícolas de Centroamérica. Definición de casos, base metodológica y enfoques para la vigilancia de salud pública, OPS, 2017

¹⁵⁴ Roseana Mara Aredes Priulil et al.; The impact of stress on the health of sugar cane cutters, Rev Saúde Pública 2014;48(2):225-231.

productividad del trabajo y la principal forma de pago es por producción. Esto se traduce en el aumento de los esfuerzos del trabajador durante el proceso de trabajo. El aumento de la energía y el esfuerzo de los trabajadores, para cortar la caña de azúcar, se ha vuelto demasiado depredador para los trabajadores y, en el límite, está causando la muerte de dichos trabajadores o la pérdida temprana de la capacidad de trabajo.¹⁵⁵

Los trabajadores en los cultivos de palma aceitera están principalmente bajo el riesgo químico por la exposición a plaguicidas tóxicos sin informaciones de precaución y/o medidas de protección, lo que implica un nivel elevado de daños sanitarios. Generalmente los trabajadores son personas en desventajas económica, y al no tener tampoco un seguro médico y considerando un escaso servicio sanitario en la región de la Costa Sur, esto empeora aún la situación. Este discurso vale para todos los trabajadores en las diferentes fincas.

Los impactos en la salud de los trabajadores de las fincas de banano/plátanos son principalmente ligados al riesgo químicos por el uso, antes de la cosecha, de las bolsas,

especialmente las azules, que contienen clorpirifos, un insecticida organofosforado. Entre los principales síntomas que aparecen como resultado de sobreexposición a estas sustancias son: náuseas, vómito, diarrea y dolor de cabeza. Como los organofosforados se absorben a través de la piel, el contacto cutáneo, puede, localmente, causar sudor y contracciones musculares involuntarias y puede llevar a otros efectos sistémicos de los descritos anteriormente.¹⁵⁶

Otra problemática, reportada por testimonios locales según estudios internacionales sobre los monocultivos son los daños psicofísicos sobre las mujeres. Enfrentan riesgos de salud específicos de género, además de ser acosadas sexualmente cuando trabajan solas en grandes plantaciones. Las mujeres que trabajan también en los cultivos están expuestas a los agrotóxicos, lo que implica una contaminación indirecta a sus hijos a través de contacto directo con la ropa, piel. En caso estén amamantando o embarazadas transmiten los plaguicidas desde su organismo, en el cual están concentrados, hacia el bebé y/o feto.

6.2.2. Impactos en la población expuesta a diferentes formas de contaminación

Un estudio en Araraquara, São Paulo State, en Brasil evidencia como la zafra es responsable del aumento de caso de hospitalización por asma a causa del incremento en el aire de las partículas totales suspendidas (PTS). Un aumento de 10 µg/m³ en 5 días de las concentraciones de PTS, se asoció con un aumento del 11,6% en los ingresos hospitalarios por asma.¹⁵⁷

A nivel de la zona de estudio de la Costa Sur de Guatemala aún no se pueden manejar estos datos por falta de estudios y atención médica. Así que, considerando

la gravedad del problema, y más aún en un lugar en desventaja económica, puede imaginarse cuáles serían los efectos en la salud pública en poblaciones susceptibles como niños y ancianos.

Existe un uso generalizado de pesticidas en grandes cantidades que se dispersan en el ambiente y se encuentran en el aire, el agua, el suelo y alimentos.¹⁵⁸ Por lo tanto hay bastante literatura científica que trata y explica el fenómeno de la bioacumulación de residuos de plaguicidas en tejidos humanos.¹⁵⁹

¹⁵⁵ Alves F. Por que morrem os cortadores de cana? Saude Soc. 2006;15(3):90-8. DOI:10.1590/S0104 12902006000300008

¹⁵⁶ Contaminacion de operaios con clorpirifiros, por praticas de embolsado de banano e Urabà, Antioquia, 2014. <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n38/n38a12.pdf>

¹⁵⁷ Arbex MA, et al. Air pollution from biomass burning and asthma hospital admissions in a sugar cane plantation area in Brazil. J Epidemiol Community Health. 2007;61(5):395-400. DOI:10.1136/jech.2005.044743

¹⁵⁸ US Environmental Protection Agency. Pesticide Industry Sales and Usage Report: 1999 Market Estimates (Online) 1999.

¹⁵⁹ Waliszewski et al. Partitioning coefficients of organochlorine pesticides between mother blood serum and umbilical blood serum. Environ Contam Toxicol. 2000 Sep; 65(3):293-9.

La exposición a plaguicidas en mujeres embarazadas es una preocupación importante, ya que la mayoría de los pesticidas son neurotóxicos. Los fetos y los recién nacidos¹⁶⁰ son altamente vulnerables a estos tóxicos debido al rápido crecimiento¹⁶¹ y desarrollo de su cerebro por peso corporal, y tienen una menor actividad y niveles de enzimas que desintoxican los pesticidas.¹⁶² Aunque los efectos reconocibles de la exposición materna a dosis bajas de pesticidas ambientales son mínimos, se han expresado serias preocupaciones acerca de sus efectos adversos sobre el feto, en particular en el desarrollo neurológico.

En varios estudios sobre la exposición prenatal a plaguicidas organofosforados, se ha encontrado que se asocia un mayor número de reflejos anormales en recién nacidos según lo evaluado por la Escala de Evaluación del Comportamiento Neonatal de Brazelton.^{163, 164} En niños pequeños, la exposición prenatal y postnatal a organofosforados se ha asociado con valores menores en la prueba de Stanford-Binet sobre el tiempo de reacción medio, se ha visto una peor memoria a corto plazo, y puntos más bajos de MDI (Índice de Desarrollo Mental; es una escala mental que evalúa la memoria, la capacidad de la resolución de problemas, los primeros conceptos numéricos, la capacidad de clasificar, vocalización, comprensión y producción del lenguaje, competencia social) y el PDI (Índice de Desarrollo Psicométrico; es una escala psicomotrices que evalúa la motricidad fina y gruesa en las diversas posturas, así como las habilidades involucradas en el tomar y usar

las herramientas necesarias para escribir) en las escalas Bayley de Memoria de término de desarrollo infantil.^{165, 166, 167, 168}

Entre los niños expuestos a pesticidas, la exposición en curso debe ser monitoreada para minimizar la exposición y evaluar la efectividad de la intervención preventiva. Además, para cualquier estudio que se ocupe del efecto longitudinal de la exposición a plaguicidas en el desarrollo infantil, se debe monitorear la exposición actual a plaguicidas. Se informa sobre el análisis del pelo y el polvo doméstico de los niños como sustitutos de los marcadores ambientales y biológicos de la exposición continua de los niños a los pesticidas. La exposición de las personas a los pesticidas se produce de tres maneras, es decir, a través



¹⁶⁰ Eriksson P. Developmental neurotoxicity of environmental agents in the neonate. Neurotoxicology. 1997; 18(3):719-26.

¹⁶¹ Weiss B. Vulnerability of children and the developing brain to neurotoxic hazards. Environ Health Perspect. 2000 Jun; 108 Suppl 3():375-81

¹⁶² Holland N et al. Paraoxonase polymorphisms, haplotypes, and enzyme activity in Latino mothers and newborns. Environ Health Perspect. 2006 Jul; 114(7):985-91.

¹⁶³ Engel SM et al. Prenatal organophosphate metabolite and organochlorine levels and performance on the Brazelton Neonatal Behavioral Assessment Scale in a multiethnic pregnancy cohort. Epidemiol. 2007 Jun 15; 165(12):1397-404.

¹⁶⁴ Young JG et al. Association between in utero organophosphate pesticide exposure and abnormal reflexes in neonates. Neurotoxicology. 2005 Mar; 26(2):199-209

¹⁶⁵ Eskenazi B et al. Exposures of children to organophosphate pesticides and their potential adverse health effects. Environ Health Perspect. 1999 Jun; 107 Suppl 3():409-19.

¹⁶⁶ Handal AJ et al. Neurobehavioral development in children with potential exposure to pesticides. Epidemiology. 2007 May; 18(3):312-20.

¹⁶⁷ Rauh VA et al. Impact of prenatal chlorpyrifos exposure on neurodevelopment in the first 3 years of life among inner-city children. Pediatrics. 2006 Dec; 118(6):e1845-59

¹⁶⁸ Ruckart PZ et al. Long-term neurobehavioral health effects of methyl parathion exposure in children in Mississippi and Ohio. Environ Health Perspect. 2004 Jan; 112(1):46-51.

de la inhalación, la ingestión oral y la absorción dérmica. Pero para los niños pequeños, las vías oral y dérmica son las más comunes: su comportamiento de boca a boca aumenta la ingestión de sustancias químicas tóxicas en el polvo o el suelo, y la probabilidad de jugar cerca del suelo aumenta su exposición a toxinas en el polvo, el suelo y las alfombras, así como a cualquier sustancia tóxica que forme capas bajas en el aire, como ciertos vapores de pesticidas. Por lo tanto, la exposición al polvo doméstico es una vía importante para la exposición de los niños a los pesticidas.¹⁶⁹ Los estudios también indican que se encuentran más

pesticidas y mayores concentraciones de plaguicidas en el polvo doméstico en comparación con el aire, el suelo y los alimentos.^{170, 171}

Los pesticidas no persistentes, como carbamatos y piretroides, se biodegradan fácilmente en el ambiente, pero su persistencia en el ambiente interior en forma de polvo parece ser más estable y se degradan más lentamente que al aire libre porque están protegidos de la luz solar, humedad, temperaturas extremas, viento y la dispersión de la lluvia y la actividad microbiana.¹⁷²

Entre los impactos en la salud de miles de personas, que viven en la región, además que la exposición a los plaguicidas, cabe señalar como la escasez de agua se repercute en el estado de calidad de vida y de salud.

Como se ha evidenciado en los capítulos previos, la agroindustria utiliza diariamente millones de litros de agua desde el río Madre Vieja, lo que ocasiona, sobre todo durante la época seca, escasez de agua para uso de riego de las actividades agropecuaria, uso doméstico y potable (como secamiento de los pozos por ausencia de la recarga por la infiltración).

La falta de agua influencia negativamente la salud de las personas en una región rural, vulnerable y socio-económicamente en desventaja como es la Costa Sur. Por ejemplo, el lavado de manos y la higiene pueden desaconsejarse para conservar el agua, aumentándose con ello la propagación de las enfermedades infecciosas, como la enfermedad gastrointestinal. La disminución de la producción agrícola, como consecuencia de falta de agua, se agravará en la alimentación influyendo en una mayor incidencia de enfermedades, inseguridad alimentaria y la malnutrición.



¹⁶⁹ Andrew Clayton C et al. Distributions, associations, and partial aggregate exposure of pesticides and polynuclear aromatic hydrocarbons in the Minnesota Children's Pesticide Exposure Study (MNCPEs). *Environ Epidemiol.* 2003 Mar; 13(2):100-11.

¹⁷⁰ Lewis RG et al. Distribution of pesticides and polycyclic aromatic hydrocarbons in house dust as a function of particle size. *Environ Health Perspect.* 1999 Sep; 107(9):721-6.

¹⁷¹ Tsatsakis AM et al. Pesticide deposition in hair: preliminary results of a model study of methomyl incorporation into rabbit hair. *Toxicol.* 1998 Aug; 40(4):200-3.

¹⁷² Bradman A et al. Characterizing exposures to nonpersistent pesticides during pregnancy and early childhood in the National Children's Study: a review of monitoring and measurement methodologies. *Environ Health Perspect.* 2005 Aug; 113(8):1092-9.



Las empresas agroindustriales de la caña de azúcar, palma aceitera y banano, son las principales responsables del acaparamiento del agua del Río, que por medio de los desvíos restan más de 300 millones de litros de agua por día, lo que causa una reducción drástica del caudal durante la temporada de sequía.

La investigación representa una fuerte evidencia científica sobre una concatenación de impactos por parte de las actividades agroindustriales en la parte media-baja de la cuenca del Río Madre Vieja.

Las empresas agroindustriales de la caña de azúcar, palma aceitera y banano, son las principales responsables del acaparamiento del agua del Río, que por medio de los desvíos restan más de 300 millones de litros de agua por día, lo que causa una reducción drástica del caudal durante la temporada de sequía. Esto a su vez, impacta severamente los ecosistemas de la cuenca, con repercusiones en los ámbitos socioeconómicos y sanitarios.

A manera de comparación, la norma italiana, bajo las directrices europeas,¹⁷³ define un volumen máximo de 60 litros/s y 300 millones de litros cada año por desvío. Valores restrictivos frente a aquellos observados para una sola derivación en el Madre Vieja: 130 litros/s y 2 mil millones de litros de agua cada año.

Si se aplicase la legislación italiana¹⁷⁴, por ejemplo, podría clasificarse los desvíos del Madre Vieja como grandes derivaciones ya que captan más de 1000 litros/minuto (en la derivación del punto C6 se captan 7800 l/s) para uso agrícola de riego.

El caudal que actualmente fluye, en la época de sequía, en el cauce del Madre Vieja, en su parte media-baja, no representa un nivel de caudal adecuado para el mantenimiento de los servicios ecológicos como la protección de la biodiversidad vegetal y animal; la recarga de los

acuíferos; las funciones de dilución de los contaminantes; el amortiguamiento de los extremos climatológicos e hidrológicos; y la preservación del paisaje.

Pequeños volúmenes de agua impiden un adecuado aprovechamiento del agua como recurso natural a la base de las necesidades básicas de las comunidades locales.

La reducción del caudal ocasiona alteraciones en los parámetros fisicoquímicos del agua como la cantidad de oxígeno disuelto y la temperatura, que añadido a las altas concentraciones encontradas de fosfatos (de origen agrícola y/o urbana) y de la carga orgánica contaminante biodegradable (originada por aguas residuales de los cascos urbanos y/o por lixiviación del agua de fertirriego a base de aguas residuales de las plantas aceiteras y cañeras), produce un empeoramiento de la calidad del agua del río. Un río condiciones anóxicas implica el deterioro del ecosistema.

La escasa calidad de agua de los pozos privados, como consecuencia indirecta de los impactos de las desviaciones del Río (intrusión salina) y de la contaminación química (infiltración de sustancias desde el cauce del río al acuífero) y biológica, impacta la salud y la economía familiar.

Como parte del contexto más amplio en el que se desenvuelven las agroindustrias y sus encadenamientos, la expansión de estos monocultivos ejerce además presión sobre las tierras cultivables para alimentos, afectando la seguridad alimentaria de la población.

7. CONCLUSIONES

Las empresas agroindustriales de la caña de azúcar, palma aceitera y banano, son las principales responsables del acaparamiento del agua del Río, que por medio de los desvíos restan más de 300 millones de litros de agua por día, lo que causa una reducción drástica del caudal durante la temporada de sequía. Esto a su vez, impacta severamente los ecosistemas de la cuenca, con repercusiones en los ámbitos socioeconómicos y sanitarios.

¹⁷³ Provincia di Torino, Governo Italiano, http://www.provincia.torino.gov.it/ambiente/filestorage/download/ris_idriche/pdf/manuale/opere_derivazione.pdf

¹⁷⁴ Provincia di Torino, Governo Italiano, http://www.provincia.torino.gov.it/ambiente/filestorage/download/ris_idriche/pdf/manuale/opere_derivazione.pdf

Aunque este trabajo no ha evidenciado niveles preocupantes de pesticidas en el agua, gracias a muchos estudios científicos hechos en la región de América Central, existe una estrecha relación entre el uso de los agrotóxicos en los monocultivos y el impacto en la salud humana, mostrando especialmente el incremento epidémico de las enfermedades renales no tradicionales en la región. Para averiguar si este fenómeno se realiza en la zona del Madre Vieja son necesarias sólidas evidencias sobre los impactos en la salud humana de los trabajadores y de las poblaciones de la cuenca.

En general se puede resumir que los impactos que se están ocasionado en la cuenca del Madre Vieja tienen un tamaño considerable, a largo plazo y en algunos casos son impactos irreversibles como ha estado, y está siendo, la pérdida de los hábitat,

de las especies animales-vegetales y la intrusión salina de agua marina en los acuíferos.

Los ecosistemas ambientales necesitan de muchos años para recuperarse al cesar los impactos. Es decir, aunque hoy fueran eliminadas las fuentes de impacto físico (desvíos) y químico (contaminantes de diferente naturaleza), el ambiente no puede restablecer tan pronto su estado óptimo, por lo que se necesitan de muchos años y décadas de acciones restaurativas y protectivas de los recursos naturales.

La escasa regulación nacional y la ausencia del respeto de los límites (a pesar de la existencia de regulaciones internacionales marco que protegen la salud y el ambiente, ratificados por Guatemala), han permitido prácticas impunes por parte de las

instituciones gubernamentales nacionales a favor de la agroindustria azucarera, palmera y bananera. Es indispensable y urgente generar mayor información científica independiente sobre el tema de los impactos de los diferentes tipos de agroindustria en Guatemala.

Las instituciones gubernamentales responsables del manejo de la agricultura, de la protección ambiental y de las políticas sanitarias en Guatemala, no están cumpliendo con sus deberes, obligaciones y responsabilidades. Sus poderes son muy débiles, sus responsabilidades reducidas, y no tienen un impacto significativo en la promoción de un desarrollo bajo las esferas sociales, económicas y ambientales que incorpora a todos los ciudadanos, por lo que hasta hoy se empujaron solamente los intereses de unas cuantas fami-

lias tierratenentes. No hay planes políticos que empujen la regulación de los desvíos de las aguas superficiales, tampoco hay órganos de control y seguimiento a las quejas. No hay estrategias de promoción sustentable del desarrollo rural y de las pequeñas economías agrícolas.

Las agroempresas presentes con mayor presión en la cuenca del río Madre Vieja, son responsables del acaparamiento del agua con una apropiación y manejo injusto de aquellos bienes naturales que representan el fundamento para la sobrevivencia de las comunidades indígenas y rurales; así que la continua expansión de los monocultivos, que requiere de siempre más agua y tierra, está dañando la economía regional y por ende hace subir la tasa de pobreza que sigue siendo incontenible.





8. RECOMENDACIONES

Este trabajo concluye con las siguientes recomendaciones para los diferentes actores públicos y privados responsables de las múltiples afectaciones que caracterizan la Costa Sur.

8.1.1. Limitar la expansión de los monocultivos

Se requiere limitar las extensiones de monocultivos: al limitar la expansión de áreas cultivadas, se reduce la cantidad de agua derivada y de pesticidas vertidos. Las extensiones máximas de cualquier monocultivo deberían: no implicar nuevas deforestaciones, sobretodo de las áreas del manglar en proximidad de la costa; no desplazar los cultivos para alimentos; y permanecer dentro del ordenamiento territorial que debería ser establecido por la Secretaría de Planificación y Programación de

la Presidencia (SEGEPLAN) para la agricultura, sin imponerse sobre áreas habitacionales o pobladas o de agricultura de subsistencia.

En el marco de reducir la expansión de los monocultivos, es útil generar unas zonas de amortiguamiento (reforestación), bastante amplia, entre los cultivos y los centros poblados, con el fin de reducir la exposición a los agrotóxicos aerotransportados.

8.1.2. Reducir los desvíos

Reducción del volumen de agua en cada derivación y en el número de derivaciones y bombas a lo largo del Río a través de una regulación del acaparamiento del agua. Esta regulación debería funcionar a través de concesiones que fijen un límite (litros/seg) de agua que se pueda captar por día y con un estricto control y monitoreo por parte de las instituciones para sancionar cualquier

violación y anular el título de la concesión.

Cada nueva derivación debería ser evaluada por parte del Ministerio del Ambiente para definir cual podría ser el impacto acumulativo sobre la situación del Río, ya bastante comprometida por otros factores, y definir su compatibilidad ambiental.

8.1.3. Reforestar las orillas del río

Reforestar las zonas riberas del río Madre Vieja, con mayor atención en la parte medio-baja de la cuenca donde los cultivos han sido planteados al límite de las orillas.

La franja ribereña es una zona de transición entre los hábitats fluviales y terrestres y su existencia es vital para la salud de cualquier ecosistema acuático, ya que genera amplios beneficios, como mantener la calidad

del agua al frenar su eutrofización a causa de los contaminantes que arrastra el escurrimiento superficial de zonas urbanas y agrícolas. Es decir, es un filtro de la contaminación difusa y reduce la energía del flujo de agua, evitando la erosión del suelo.

El bosque ripario concede una variedad de servicios a la vida silvestre local, como abundantes y diversos recursos alimenticios a la comunidad animal, por

lo que es la base de la cadena alimenticia de los cuerpos de agua. Por su parte, los árboles controlan el flujo de radiación solar que llega al lecho de los ríos, mediante la sombra, modificando el microclima. Ofrece un espacio de reposo para la fauna silvestre local y migrante, pues ahí puede anidar, alimentarse, moverse o refugiarse. Incluso, puede albergar a espe-

cies depredadoras de roedores o insectos de zonas agrícolas o a especies endémicas. Entre otros beneficios se encuentran el suministro de alimento a seres humanos, la generación de ingresos agrícolas a través de los productos cosechados, la captura de dióxido de carbono que contribuye a reducir los gases de efecto invernadero y la diversificación del paisaje.¹⁷⁵

8.1.4. Reducir el uso de los agrotóxicos - Prohibición de la fumigación aérea

Mientras no se tengan datos de concentraciones de pesticidas en las aguas superficiales y subterráneas, se deben adoptar medidas (principio precautorio) para poder reducir el peligro ligado al uso de los agrotóxicos, eliminando el uso de aquellos que interfieren con el sistema endocrino y aquellos considerados posiblemente cancerígenos y altamente peligrosos para la salud humana y el ecosistema.

Es urgente adaptar la norma nacional, en tema de límites de pesticidas en las aguas, a los estándares internacionales (EPA, UE, Canadá) más restrictivos. En apego a los convenios y tratados internacionales que han sido ratificados por Guatemala, debe regularse: el uso, comercio, transporte, producción

y formulación de los agrotóxicos de mediano impacto, mientras que debe ser respetada la prohibición definitiva de los agrotóxicos más nocivos, tales como, la atrazina, 2,4-D, Gramoxone,¹⁷⁶ entre otros. Por ejemplo el 2,4 D, MCPA, Endosulfán son sustancias prioritarias para las políticas europeas por lo que se prevé la reducción progresiva de la contaminación causada por estas sustancias y su eliminación.¹⁷⁷

Los sobrevuelos con drones y avionetas para la aspersión de agrotóxicos deben ser prohibidas, ya que las fincas colindan a las casas de los pobladores y por la cercanía de los cultivos al Río Madre Vieja.

8.1.5. Proporcionar información clara e imparcial sobre los efectos agrotóxicos

El gobierno, conjuntamente con los empresarios, deben establecer diálogos para informar, a los trabajadores de las fincas y a la población aledaña, de los riesgos a corto y largo plazo de la exposición a

los agentes utilizados en gran medida en el territorio. Los gobiernos tienen la obligación de proteger la salud de sus ciudadanos y asegurar una calidad del medio ambiente que garantice su pleno desarrollo.

8.1.6. Prohibición de la práctica de la quema de la caña (zafra)

En muchos países donde se cultiva la caña de azúcar existen normas nacionales que prohíben esta práctica como en: Cuba, Australia, Sudáfrica y algunas regiones de Brasil¹⁷⁸. En Argentina esta

práctica ha sido vetada desde el 2007.¹⁷⁹ Existen además otras zonas tradicionales productoras de caña como Hawaii y Colombia donde la práctica se regula.

8.1.6. Respetar las normas nacionales

Prever sanciones administrativas y penales para los infractores y aplicar un constante monitoreo y control sobre la calidad del agua superficial, subterránea y residuales, además que sobre el tema de la deforestación y dese-

chos urbanos. Es urgente adaptar las normas nacionales en tema de límites permisibles de calidad de agua a los estándares internacionales (EPA, UE, Canada) más restrictivos.

¹⁷⁵ Estado ecológico de ríos y vegetación ribereña en el contexto de la nueva Ley General de Aguas de México, 2014. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000400010

¹⁷⁶ Según testimonios en el área de Champerico se utiliza Gramoxone.

¹⁷⁷ http://www.isprambiente.gov.it/files2017/publicazioni/manuali-linee-guida/MLG_152_17.pdf

¹⁷⁸ REGULACIONES INTERNACIONALES SOBRE QUEMA DE LA CAÑA DE AZÚCAR; <https://www.laica.co.cr/>

¹⁷⁹ <https://www.lagaceta.com.ar/nota/606813/opinion/atajos-ley-prohibe-quema-canaverales.html>

8.1.8. Mayor atención médica en el territorio

Apoyo en término económico y de recursos humanos deben ser planeados para acudir los centros de salud ubicados en el territorio rural para mejorar el acceso a los servicios médicos, a los habitantes de esta región, que, siendo de bajo recursos económicos, les dificulta moverse y trasladarse hacia los grandes Hospitales en Retalhuleu y Escuintla.

Establecer una metodología de vigilancia de la Enfermedad Renal Crónica y la ERCnt, enfermedades presentes con alto porcentaje en toda la Costa Sur, a través de una oportuna y adecuada difusión e intercambio de información entre los centros de salud, las agroindustrias y los trabajadores y habitantes de la región para buscar soluciones comunes a un gran problema de salud.

8.1.9. Cumplimiento de los derechos laborales

El Estado es la autoridad competente en materia del cumplimiento de los derechos. Debe proveer a la eliminación definitiva de las condiciones extremas del trabajo en las fincas, principalmente azucareras; debe garantizar el pago de salario mínimo, alimen-

tación, transporte y cobertura de seguros por accidentes; formación e información de medidas precaucionales en caso de riesgo; provisión de equipo de protección adecuado; y libertad de sindicalización, entre otros.

8.1.10. Adoptar un plan nacional que incluya estrategias de resiliencia contra la sequía

Las políticas nacionales deberían tomar en cuenta medidas para promover estrategias de resiliencia para la población que vive en territorios rurales, a través de nuevas técnicas de riego;

para promover la comercialización de productos agrícolas; incrementar la fertilidad del suelo y evitar su erosión; y fortalecer y empoderar los productores agrícolas a pequeña escala.

8.1.11. Presiones a los entes certificadores de Palma Aceitera

Por lo que se puede observar a nivel mundial, es evidente que los monocultivos no pueden ser sustentables y el impacto ambiental no puede ser bajo con base en la lógica depredadora y la sobreexplotación laboral. No obstante los daños conocidos y ahora documentados de las afectaciones en el caudal y por ende a la calidad ecosistémicas de la cuenca del Madre Vieja, se pidió a las siguientes certificadoras que cancelen/modifiquen sus certificados a la empresa Grupo Hame, la principal empresa de cultivo de palma aceitera y banano en la Costa Sur, por no respetar los parámetros con base en los estándares fijados por la certificadoras:

Rainforest Alliance, que fija parámetros según los cuales la empresa actúa a manera de conservar la biodiversidad, de mejorar los medios de vida y bienestar humano, de proteger los recursos naturales.

Global GAP, para respetar estándares internacionales para la comercialización de productos

y para asegurar la formación del personal sobre medidas de seguridad, salud en el trabajo, manejo basura y contaminación; además que ocuparse del manejo del suelo y agua y del uso de fitofármacos. Mientras se está a la espera de las siguientes certificaciones, se invitó a estas instituciones a no entregar el acto ya que no se cumple con los valores:

SCS Global Services: para metas ambientales, de sostenibilidad y de calidad de los alimentos.

La Mesa Redonda sobre Aceite de Palma Sostenible (RSPO) entrega un certificado específico para palma de aceite que busca, por medio del cumplimiento de diferentes criterios, ayudar a minimizar el impacto negativo de los cultivos de palma en el medio ambiente y las comunidades en las cuales se produce.

La mejor estrategia para proteger la biodiversidad es detener la expansión de los monocultivos, tratando de proteger los bosques y el paisaje en el entorno de las plantaciones.



Se recomienda las siguientes propuestas de manera prioritaria para profundizar el tema de los impactos de las actividades agroindustriales.

SEGUIR MONITOREANDO EL CAUDAL DEL RÍO MADRE VIEJA

El uso del molinete permite averiguar en forma precisa la velocidad del Río lo que permite calcular un caudal. Sin embargo existen otras metodologías e instrumentos, más baratos y sencillos en su aplicación, que pueden ser adoptados para que se pueda ampliar esta tipología de estudio a otras cuencas para comprender los daños e impactos ambientales a nivel regional y nacional.

Véase la guía redactada por parte del Instituto Privado de Investigación Sobre el Cambio Climático (ICC).¹⁸⁰ Los instrumentos profesionales como molinetes y caudalímetros se utilizan para fines también de incidencia legal, ya que por la baja precisión de medición de los demás métodos, resultan más confiables y con resultados más objetivos.

Tener datos anuales de los caudales del Madre Vieja permitiría tomar conciencia de los cambios positivos o negativos que pueden ocurrir en el tiempo y actuar medidas urgentes en caso de que el caudal se reduzca. El comienzo de una base de datos de caudales es útil para empezar a organizar el cálculo del caudal ecológico.

CONTINUAR EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL MADRE VIEJA Y DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Seguir en las campañas de mediciones de los parámetros fisicoquímicos a través de la sonda multiparámetro con constancia semanal y sobre todo diaria cuando empieza la temporada de lluvia (final de abril-mayo), ya que aumentando la frecuencia del muestreo (entre 3, 6, 12 y 24 horas), siendo más continuo, se obtienen indicaciones más exactas de la calidad media del agua.

Repetir los análisis de pesticidas en las aguas superficiales y subterráneas a principio de la época de lluvia en mayo, y buscar una mejor opción entre los laboratorios en Norte América para que el traslado de las muestras no implique excesivos gastos y/o que accidentes en la cadena de frío obstaculicen la obtención de datos fiables, certeros, representativos y que además reflejen la concentración real de los pesticidas.

Añadir los análisis de contaminación bacteriológica en agua de pozos públicos y privados en las Trochas, ya que muchos de los habitantes entrevistados reportan dolores de estómago al consumir agua de pozo privado y en algunos pozos públicos el agua huele a azufre y lodo. El Estado es responsable de proveer de agua potable a los y las ciudadanas, así que debe garantizar agua potable en los pozos. El agua embotellada no es económicamente accesible para muchas familia en desventaja económica.

Ampliar los análisis de calidad del agua, bajo la influencia de las agroindustrias, al Río Coyolate (que escurre desde Chimaltenango hacia Escuintla) y Río Bolas (Champerico) con mediciones de campo y de laboratorio incluyendo los parámetros que se investigan el la campaña de abril 2018, cuales indicadores prioritarios de una contaminación por la agroindustria.

9. PASOS SIGUIENTES EN LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

¹⁸⁰ ICC; <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medicion%C3%B3n-de-caudales-ICC.pdf>

Considerando que los resultados de laboratorio no evidenciaron, en las dos estaciones de muestreo, valores altos de pesticidas, se aconseja tratar de detectar la presencia de pesticidas en los organismos receptores, en particular modo los trabajadores y en la población local, a través de los siguientes estudios.

RECOLECTAR DATOS SOBRE LA EXPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN A LOS AGROTÓXICOS

Se proponen dos líneas de investigación: una de análisis sobre matrices biológicas humanas (cabello, leche materna y/u orina) y otra de análisis de residuos de pesticidas en matrices vegetales, es decir análisis de la fruta y verduras producidas en las parcelas familiares y consumida localmente. Los análisis químicos de los pesticidas en la comida representan un dato interesante de la transferencia de sustancias tóxicas a lo largo de la cadena alimentaria y sobre los cuales hay muchas restricciones normativas que establecen la concentración máxima de pesticidas en los alimentos.

Por otro lado, el monitoreo humano representa la mejor forma para documentar si los agroquímicos liberados en el ambiente entran en el organismo, en que concentración, y cómo afectan la salud. Sobre todo resulta ser de mucha preocupación la exposición de los niños y las niñas ya que son más sensibles y vulnerables a estos compuestos. La niñez puede estar expuesta a niveles peligrosos de pesticidas en el aire que respiran, en los alimentos que consumen, el agua que beben y las superficies que tocan.

Ya que las normativas internacionales aún no cuentan con límites permisibles para todos los pesticidas y metabolitos en estas matrices biológicas, la metodología se basará en dos poblaciones diferentemente expuestas a los pesticidas para comparar cómo los factores de impactos inciden en la exposición de la gente. Se escoge una muestra de personas que viven cerca de los cultivos (en las Trochas), directamente expuestas a las fumigaciones, y a la contaminación del suelo y agua, y una muestra de personas no expuestas, que viven en áreas rurales sin monocultivos (la parte alta de la cuenca).

El cabello puede incorporar pesticidas en su crecimiento ya sea por ingestión o por exposición pasiva. De hecho hay una mayor sensibilidad del cabello en comparación con el análisis de sangre para detectar la exposición a plaguicidas en mujeres embarazadas.

EXISTEN VARIAS VENTAJAS EN EL USO DEL CABELLO PARA EVALUAR LA EXPOSICIÓN CONTINUA A LOS PESTICIDAS EN LA NIÑEZ, POR EJEMPLO:

El análisis del cabello tiene una amplia ventana para detectar la exposición debido a la capacidad del cabello para incorporar pesticidas en el tallo del cabello en crecimiento. La incorporación de methomyl, un pesticida carbamato y diazinón, se han estudiado en el pelo de animales de laboratorio y mostraron una respuesta dependiente de la dosis. En humanos, el análisis del cabello de los fosfatos de dialquilo se ha utilizado para confirmar la exposición a organofosforados. Del mismo modo, el análisis del cabello se ha utilizado para detectar exposiciones ocupacionales al DDT en adultos y en niños.

No hay metabolismo activo a nivel del pelo, por lo tanto, los pesticidas permanecen sin cambios. Por otro lado, los pesticidas en la sangre y la orina están sujetos al metabolismo y la excreción en el cuerpo; por lo tanto, son más difíciles de detectar en estas matrices y, si se detectan, su presencia es frecuentemente indicativa de exposición a corto plazo o reciente.

El muestreo de cabello es menos invasivo que el muestreo de sangre, y es un método más deseable, especialmente si los niños son sujetos de muestreo. La recolección de cabello también requiere menos mano de obra en comparación con la recolección de orina/sangre que requiere muestreos múltiples, o recolección las 24 horas.

ANÁLISIS DE ORINA

Muchos estudios utilizan los biomarcadores urinarios de pesticidas y sus metabolitos para caracterizar los niveles de carga de plaguicidas para las poblaciones expuestas. Pero hay que escoger cuidadosamente cuales metabolitos buscar ya que los diferentes pesticidas son más o menos persistentes: algunos permanecen más tiempo dentro el organismo, otros menos.

La medición de metabolitos de pesticidas no persistentes en la orina generalmente refleja una exposición reciente (es decir, en los últimos días) debido al poco tiempo que estos metabolitos permanecen dentro del cuerpo.

ANÁLISIS DE LECHE MATERNA

Los pesticidas acumulados en la masa grasa del organismo de la madre pasan a la leche y de allí al bebé con daños al sistema nervioso y endocrino, y trastornos del comportamiento.

Las normativas internacionales aún no fijan límites para todos los pesticidas, de hecho la EPA, por ejemplo, ha fijado un límite normativo solo para el glifosato (700 ug/l). Algunos pesticidas pueden además sobrepasar la placenta y pasar al feto. Es el caso de pesticidas organoclorados, organofosforados y carbamatos, afectando así doblemente el organismo de la madre expuesta y su feto.

MONITOREO SOCIAL SOBRE LOS DAÑOS A LA SALUD

Un paso esencial sería emprender una recopilación de datos e información capaz de captar las tendencias temporal de las enfermedades que padecen los pobladores locales como:

Datos demográficos: sexo, fecha de nacimiento, grupo étnico, lugar de nacimiento, lugar de residencia.

Datos socioeconómicos: vivienda, educación, empleo, ingresos.

Antecedentes médicos familiares y personales: diabetes, hipertensión, enfermedades renales, medicamentos nefrotóxicos, otros posibles factores de riesgo.

Antecedentes laborales: lugar de trabajo (anterior, actual, duración), tipo, duración, estacional/anual, exposiciones laborales (temperaturas, tipo de cultivos, plaguicidas, herbicidas, fertilizantes, quemadas).

Las estrategias basadas en la vigilancia de escenarios de alto riesgo pueden utilizarse potencialmente como banco de pruebas, así como para conocer mejor la magnitud de las enfermedades ligadas a los agrotóxicos y sus posibles soluciones. La inclusión de uno o más "controles" (o sea, comunidades "de bajo riesgo") en un sistema de vigilancia puede resultar útil con fines comparativos.



10. ANEXOS

Los primeros analisis que hicieron en abril en el Laboratorio de Analisis Fisicos Quimicos y Microbiologicos LAFYM de la USAC de Guatemala, se aplicò la siguiente metodologia para la investigación de nitratos, fosfatos, DQO e DBO₅. La referencia científica es: Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 ed. Washington, DC: 2005.

Para los análisis de pesticidas hechos en la USAC de Guatemala, el laboratorio reporta que se utilizaron las siguientes metodologías de referencia:

- 1** Herrera, Mónica Alejandra, Implementación de una metodología para la determinación de Glifosato en agua, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga 2011. (Puede acceder en el link tangara.uis.edu.co)
- 2** Determinación de residuos de plaguicidas problemáticos en productos vegetales y suelos mediante Cromatografía- Espectrometría de masas en Tándem, tesis doctoral Aránzazu Peruga Mínguez, noviembre 2015 Universitat Jaume I de Castellon.
- 3** Hernández F. y Beltrán J. Análisis de residuos de plaguicidas en aguas. Avances en la Investigación en zona no Saturada. Grupo de investigación de medio ambiente y recursos naturales, Universidad Jaime I Castellón 1995.

ANÁLISIS	MÉTODO	PRINCIPIO DEL METODO	LÍMITE DE TECCIÓN
Nitratos	ISO 78901 Fotométrico	Nitrospectal	0,05 mg/L
Fosfatos	4500- P of Standard Methods Fotométrico	Vanadomolibdato	0,04 mg/L
DBO ₅	5210 B. Método de 5 días of Standard Methods	Sistema Oxitop	2,5 mg/L
DQO	EPA 410.4 5220 of Standard Methods ISO 15705 Fotométrico	Oxidación ácido cromosulfúrico	2,5 mg/L

