

**Presencia de agroquímicos persistentes en tres
microcuencas abastecedoras de agua en el
Oriente de Honduras**

Walter Alejandro Guardado Mejía

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre 2019

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Presencia de agroquímicos persistentes en tres microcuencas abastecedoras de agua en el Oriente de Honduras

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Walter Alejandro Guardado Mejía

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2019

Presencia de agroquímicos persistentes en tres microcuencas abastecedoras de agua en el Oriente de Honduras

Walter Alejandro Guardado Mejía

Resumen. La aplicación de pesticidas en las cuencas altas de Honduras ha aumentado la transferencia de agroquímicos a fuentes de aguas. Se realizó una identificación de las causas asociadas al arrastre de agroquímicos integrando Sistemas de Información Geográfica (SIG), valoraciones participativas e identificación de agroquímicos en laboratorio, con el fin de orientar el manejo y prevención de este tipo de contaminación. Se caracterizaron los usos y coberturas y se identificó la presencia de agroquímicos mediante espectrometría de masas durante el periodo de octubre a noviembre de 2018. Se analizaron los resultados de las pruebas de laboratorio y se validaron con insumos obtenidos de grupos focales de productores en las microcuencas. Se detectaron 19 compuestos químicos que incluyen triazinas, organofosforados y carbamatos presentes en 12 herbicidas, 5 insecticidas y 2 fungicidas. Se detectaron 17, 10 y 4 agroquímicos en Neteapa, San Matías y Santa Inés respectivamente. Se identificó una relación entre el área agrícola y los conflictos en el uso de suelo en la presencia de un mayor número de agroquímicos en las cuencas y se comprobó que las prácticas de manejo por los productores propician el arrastre de estos compuestos a cuerpos receptores. Los resultados validan la importancia de la gestión de cuencas y el manejo de agroquímicos para prevenir la contaminación de fuentes de agua.

Palabras clave: Agricultura, contaminantes, pesticidas.

Abstract. The application of pesticides in the upper watersheds of Honduras has threatened to transfer agrochemicals to water sources. An identification of the causes associated with the run off agrochemicals was made by integrating Geographic Information Systems (GIS), participatory assessments, and identification of agrochemicals in the laboratory, in order to guide the management and prevention of this type of contamination. The uses and land cover types were characterized and the presence of agrochemicals was identified by mass spectrometry during the period from October to November 2018. The results of the laboratory tests were analyzed and validated with inputs obtained from focus groups of producers in the watersheds. Nineteen chemical compounds were detected, including triazines, organophosphates and carbamates present in 12 herbicides, 5 insecticides and 2 fungicides. 17, 10 and 4 agrochemicals were detected in Neteapa, San Matías and Santa Inés respectively. A relationship was identified between the agricultural area and the conflicts in the use of land in the presence of a greater number of agrochemicals in the basins and it was found that the management practices by the producers generates run off of these compounds to collecting bodies. The results validate the importance of watershed management and agrochemical management to prevent contamination of water sources.

Key words: Agriculture, pesticides, pollutants.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. METODOLOGÍA	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	11
4. CONCLUSIONES.....	34
5. RECOMENDACIONES.....	35
6. LITERATURA CITADA	36
7. ANEXOS	42

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Matriz de participación aplicada en grupos focales.	10
2. Área ocupada por cada rango de pendiente en la microcuenca de Santa Inés.	12
3. Área ocupada por cada rango de pendiente en la subcuenca Neteapa.	14
4. Área ocupada por cada rango de pendiente en San Marcos Arriba.	16
5. Caracterización de las propiedades fisicoquímicas de los compuestos químicos detectados.	19
6. Detección en laboratorio de agroquímicos presente en los sitios muestreados.	24
7. Agroquímicos utilizados en las diferentes microcuencas.	27
8. Comparación de campo y laboratorio a partir de familia químicas.	33

Figuras	Página
1. Ubicación de las tres microcuencas en el Oriente de Honduras.	3
2. Pasos para preparación de muestras para análisis en espectrofotómetro.	7
3. Diagrama de los pasos seguidos para el levantamiento de información de campo.	9
4. Mapa de caracterización por usos y coberturas de la microcuenca de Santa Inés.	11
5. Mapa de pendientes de la microcuenca Santa Inés.	12
6. Caracterización por usos y coberturas de la subcuenca de Neteapa.	13
7. Mapa de pendientes de la subcuenca de Neteapa.	14
8. Mapa de usos y cobertura de la microcuenca San Marcos Arriba.	15
9. Mapa de pendientes de la microcuenca San Marcos Arriba.	16
10. Observaciones de compuestos químicos en la microcuenca de Santa Inés.	21
11. Observaciones positivas de compuestos químicos en entrada y salida en la planta potabilizadora de Morocelí.	22
12. Frecuencia de observaciones positivas de compuestos químicos en la planta potabilizadora de San Matías.	23
13. Consenso de los productores en los grupos focales para los seis tópicos.	25
14. Diagrama de enunciados y criterios principales de los grupos focales.	26
15. Frecuencia de los tipos de cultivos citado por los agricultores de las tres microcuencas.	28

16. Agricultores que aplican técnicas de preparación químicas o físicas.	29
17. Resultados sobre tipos de agroquímicos utilizados según grupo focal	29
18. Momento de aplicación de los productos por agricultores.....	30
19. Percepción de los agricultores de las capacitaciones recibidas en el pasado.	31

Anexos	Página
1. Instrumento para grupos focales con productores/as de microcuencas.....	42
2. Espectrofotómetro “Thermo Scientific Quantify Exactive Mass”.....	43
3. Resultados del espectrofotómetro para la planta Morocelí.	44
4. Resultados del espectrofotómetro para la planta San Matías.....	45
5. Resultados de salida del espectrofotómetro para Santa Inés.....	46

1. INTRODUCCIÓN

Los agroquímicos son catalogados como pesticidas, un término que abarca productos químicos empleados principalmente como herbicidas, insecticidas y fungicidas. Una vez que son utilizados para aplicaciones agrícolas, pueden ser transportados a cuerpos de agua dulce a través de la deposición aérea, la escorrentía y la lixiviación (Cuevas, Martins y Costa, 2018). El arrastre de agroquímicos proveniente de la agricultura, constituye un aporte de contaminación de alto riesgo a la salud humana y ecológica. Su presencia en las fuentes de agua para consumo puede incrementar los efectos mutagénicos y cancerígenos en poblaciones expuestas a los mismos (Cao et al., 2018).

Una gran cantidad de productos utilizados en la agricultura son considerados como compuestos orgánicos persistentes (COP) y se caracterizan por poseer una alta capacidad acumulativa y una tasa de degradación lenta. Sus residuos están presentes en el suelo, el agua y los sedimentos incluso después de varios años de su aplicación. A pesar de que su uso ha sido restringido internacionalmente, numerosas investigaciones han informado de la presencia continua de COP en la agricultura global y en los ecosistemas asociados a los sistemas agrícolas (Parween, Ramanathan, Khillare y Raju, 2014).

En Honduras, se han utilizado productos químicos para controlar diversas plagas desconociendo los efectos e impactos, tanto en el ambiente y como en la salud humana y sin monitorear su presencia en medios. El uso de plaguicidas en Honduras inició en los monocultivos de importancia industrial como el banano en la costa norte y el algodón en la zona sur a comienzo de la década de los años 50s con insecticidas (Duarte, 1991). En una primera instancia, se utilizó la primera generación de plaguicidas a base de organoclorados, pero eventualmente se desarrollaron en la década de 1960 los pesticidas de compuestos Organofosforados, Piretroides y Carbamatos. Estos pasaron a ser parte de la lista de productos mayor demandados en Honduras por ser más tóxicos y efectivos (Orta, 2002).

Para la evaluación y medición de los COP, a lo largo del tiempo han surgido diversas herramientas de monitoreo y evaluación. Organismos como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, según sus siglas en inglés) han definido los parámetros técnicos y legales para el control de pesticidas (Segawa, Levine, Neal y Brattesani, 2014). Al mismo tiempo, científicos han actualizado metodologías efectivas para el monitoreo de estos componentes (Boivin y Poulsen, 2017; Dahshan et al., 2016; Lambropoulou, Hela, Koltsakidou y Konstantinou, 2018). El desarrollo de estos métodos

analíticos para el monitoreo de diferentes compuestos químicos arrastrados al agua abren la puerta al manejo y control de agroquímicos.

Se han utilizado Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la modelación y proyección hidrológica de escenarios de contaminación por agroquímicos en cuencas (Nagara, Lam, Lee, Othman y Shaaban, 2015). Para comprender qué parámetros morfológicos de las cuencas influye en el transporte de agroquímicos, los estudios topográficos permiten crear predicciones más lógicas y precisos (Long et al., 2018). Sin embargo, las herramientas SIG tienen que ir acompañadas con investigación de campo para su validación (Mottes, Lesueur-Jannoyer, Le Bail y Malézieux, 2014). La investigación cualitativa de campo es otro medio que permite comprender los aspectos socioeconómicos que influyen en la presencia de agroquímicos.

Los centros de investigación en Honduras dedicados al monitoreo de contaminantes de agroquímicos carecen de instrumentos precisos para detección de compuestos trazas en el agua. En colaboración con el laboratorio de análisis de agua la Universidad de Cornell se logró identificar compuesto de agroquímicos a niveles nanométricos. A través de la integración de métodos de análisis territorial, técnicas analíticas y participativas el presente estudio busca una mejor comprensión de la presencia de COPs en fuentes de agua en Honduras. El estudio se llevó a cabo en tres microcuencas que proporcionan agua a las plantas de tratamiento de AguaClara que abastecen al casco urbano de Morocelí, San Matías y en el mediano plazo, a Zamorano.

La caracterización de la microcuenca en conjunto con los análisis de agua nos permite realizar una visualización general del estado de las microcuencas. Se creó una visualización previa, que permitió conocer las condiciones actuales y cómo el panorama actual puede ser afectado por diferentes actividades agrícolas en donde realizan diferentes prácticas agrícolas. El presente estudio tiene como objetivo identificar compuestos agroquímicos en tres fuentes de agua para consumo humano en cuencas con influencia agrícola del oriente del país y caracterizar los factores productivos y de manejo que determinan su presencia. El estudio se enfoca las plantas potabilizadoras AguaClara de San Matías, Morocelí y Zamorano. Para ello, los objetivos específicos del estudio fueron:

- Caracterizar los aspectos biofísicos y el paisaje productivo que influyen en la presencia de agroquímicos en tres microcuencas abastecedoras de agua.
- Identificar la presencia de compuestos agroquímicos en el agua que abastece a las plantas potabilizadoras.
- Identificar los factores que determinan la selección, aplicación y el manejo de agroquímicos en las microcuencas.

2. METODOLOGÍA

Ubicación del estudio.

Se definió como unidad de estudio el área de drenaje de la microcuenca aguas arriba de la obra de captación de los sistemas de agua potable. Las microcuencas se encuentran en los departamentos de El Paraíso y Francisco Morazán. La microcuenca de Santa Inés se encuentra entre los municipios de San Antonio de Oriente, Yuscarán y Güinope. La subcuenca de Neteapa está ubicada entre Morocelí y Potrerillo pequeña parte en Jacaleapa y la microcuenca de San Marcos Arriba está ubicada en el municipio de Danlí, pero abastece la planta potabilizadora de San Matías (Figura 1).

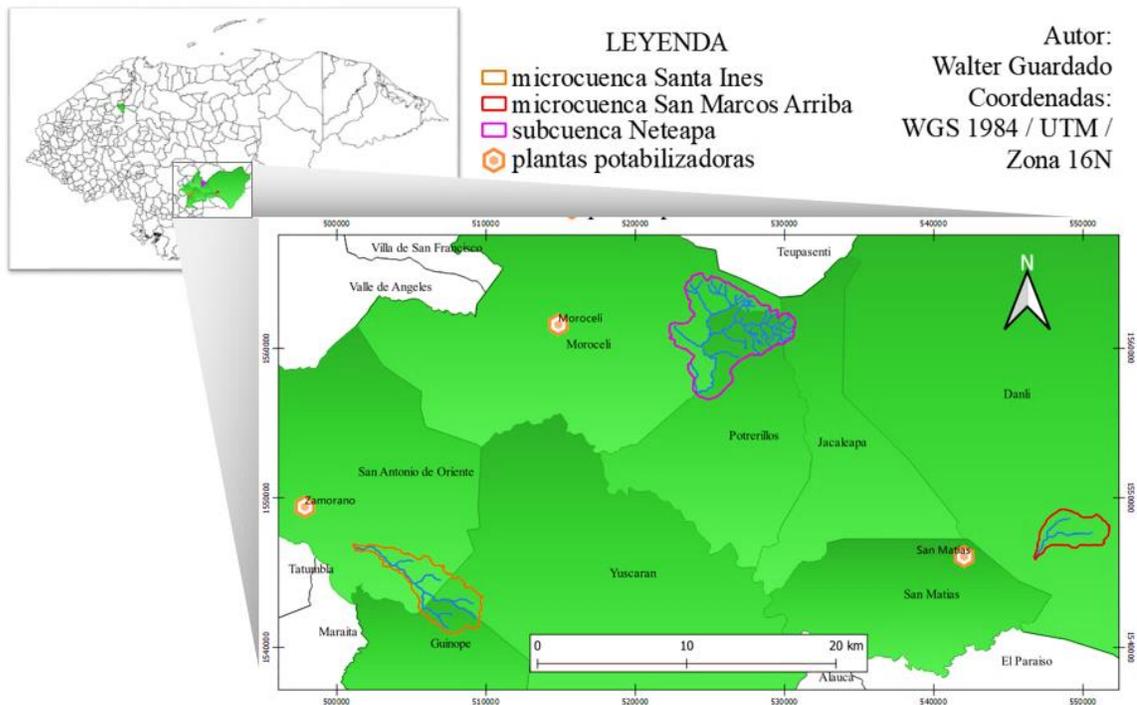


Figura 1. Ubicación de las tres microcuencas en el Oriente de Honduras.

Diseño de la investigación.

Se estableció un diseño exploratorio secuencial (DEXPLOS) de enfoque mixto. Esta metodología ha sido muy utilizada para investigaciones longitudinales que implican investigación de laboratorio y de campo (Veris, 2016). En una primera fase se recolectaron y analizaron datos cuantitativos sobre calidad de agua para ser analizados en laboratorio e identificar presencia de químicos persistentes. En la segunda fase se recabaron y analizaron datos cualitativos provistos por agricultores a través de grupos focales en cada microcuenca. La segunda fase cualitativa fue construida a partir de los resultados de la primera. La finalidad de establecer la segunda fase fue auxiliar en la interpretación y explicación de los descubrimientos cuantitativos de los compuestos químicos iniciales.

Caracterización de paisaje agrícola. Para caracterizar cada microcuenca se definieron los límites de la zona que abastece agua a cada microcuenca. Se revisó la documentación existente de catastro municipal en las tres microcuencas para identificar la ubicación de productores agrícolas y propietarios. Los límites y el catastro fueron proporcionados por la Unidad Municipal Ambiental (UMA) correspondiente a los municipios de Morocelí, San Matías y San Antonio de Oriente. Con estos insumos se elaboró mapas de cobertura y usos de suelos, así como la localización de los paisajes productivos y productores.

Modelación digital del territorio. Una vez definida el área de estudio de cada microcuenca se procedió a hacer la delimitación utilizando el software de Sistemas de Información Geográfica ArcMap 10.5. Para la delimitación de estas áreas se utilizó las curvas a nivel disponibles en la base de datos oficial del Estado de Honduras, descargadas directamente desde el Geo portal. A partir de las curvas a nivel, utilizando la función de “Spatial Analyst Tools” de ArcGis, se levantó el Modelo Digital de Elevaciones (DEM). Posteriormente se delimitó el área de las microcuencas con las funciones de “Hidrology” de ArcMap utilizando los picos de mayor elevación, que representan los parteaguas.

Caracterización de pendientes y conflictos de uso. Se realizó una clasificación de pendientes según el Reglamento General De La Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre. Este establece parámetros para el manejo de cuencas y fue establecido por el Instituto de Conservación Forestal (2010). Se utilizó la herramienta “Spatial Analyst Tools/Reclass” y se obtuvieron los rangos de pendientes siguientes: [1] 0 - 12%, [2] 12 - 30%, [3] 30 - 50%, [4] > 50%.

Identificación de los puntos de muestreo. Para caracterizar las cuencas, el punto de partida fue la ubicación y georreferenciación de los puntos de las obras de captación de agua. La información fue proporcionada por miembros de las Juntas de Agua y luego fue comprobado con las visitas de campo. Georreferenciar los puntos permitió definir los límites de los tributarios de las tres microcuencas. Los ríos muestreados fueron el Río Neteapa, la quebrada San Marcos Arriba y en Santa Inés, la quebrada El Guayabo y la quebrada El Hondable.

Clasificación de usos y coberturas de las microcuencas. A partir de la ubicación de los sitios de muestreo, se realizó un estudio más detallado de las principales prácticas agrícolas que los productores en toda el área de drenaje hasta el punto de captación. Con la base de datos del Instituto de Conservación Forestal (ICF), se realizó una clasificación a partir de los diferentes tipos de cobertura vegetal (forestal y agrícola) presente en cada microcuenca. Mediante la función de cálculo de área de campo de ArcGis, se determinó las áreas comprendidas por los cultivos agrícolas, y las áreas forestales (Esper y Perucca, 2014).

En la microcuenca Santa Inés se realizó la delimitación e identificación para determinar el área de contribución de cada tributario y principalmente los usos y coberturas del suelo de la microcuenca. Se delimitó las áreas de drenaje para cada tributario de los principales cursos de agua. Asimismo, se marcaron y dividieron las áreas destinadas a agricultura y los ocupados por cobertura forestal. La clasificación de usos y cobertura se tomó de investigaciones previas en la microcuenca Santa Inés (Cisneros, 2016).

Identificación de presencia de agroquímicos.

La recopilación de muestras de agua para detección de agroquímicos se realizó con enfoque de observación y comparación. Esto, debido a que solo se procedió a detectar la presencia de compuestos químicos sin obtener su concentración exacta. Por ello, no se realizó estadística inferencial y se limitó a descripción preliminar sobre los compuestos químicos encontrados y las posibles vías de transporte de los agroquímicos a las fuentes de agua.

Recolección de muestras en campo. Se realizaron cinco muestreos entre los meses de octubre y diciembre del 2018 durante la última fase de la época lluviosa. Se tomaron muestras de cada una de las dos plantas de tratamiento (Morocelí y San Matías) cada semana. Se registraron las coordenadas de las obras de captación de Morocelí y San Matías. Asimismo, se recolectó muestras de la fuente de agua directo de la obra toma. En el caso de Santa Inés, se buscó observar la presencia de agroquímicos de dos tributarios, uno con mayor de cobertura agrícola (El Hondable), el otro con menor cobertura agrícola (El Guayabo). Por tanto, se tomaron dos muestras de cada fuente de agua, en los cinco eventos. Se realizaron cinco eventos de muestreos en total en las tres microcuencas.

Procedimiento de muestreo. Para tomar las muestras se aplicó el procedimiento de muestreo establecidos por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés). Se utilizaron guantes de látex para evitar contaminación, retirando la tapa y evitando tocar los bordes, se sumergió el frasco sin tapa boca abajo. Se tomó la muestra a una profundidad mayor a 20 cm por debajo de la superficie (o la profundidad posible). Los viales se llenaron completamente. Se colocó papel aluminio antes de sellar con la finalidad de reducir los riesgos de contaminación y degradación de los compuestos por exposición a luz solar (Sanders, Orlando y Hladik, 2018). Se secaron las muestras y se colocaron en una nevera para su transporte al laboratorio.

Almacenamiento de las muestras. Las muestras se tomaron en viales plástico de polietileno de baja densidad de 35 mL de capacidad. Posteriormente fueron transferidos a un refrigerador con hielo y devueltos al laboratorio de Zamorano, donde se congelaron en los mismos viales plásticos. Para las muestras tomadas después de la cloración, se retiraron 5 mL de la muestra y se agregaron 5 mL de una solución de 23 mg/L de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ para estabilizar el cloro residual antes de congelación. Se mantuvo la temperatura entre -16 y -20 °C en la oscuridad. sin abrir los viales ni exponer a la luz (Shoda, Nowell, Stone, Sandstrom y Bexfield, 2018).

Análisis en laboratorio.

En la determinación de los tipos de agroquímicos en el agua, se utilizó un método multiresidual conocido como técnica de Espectrometría de Masas por Cromatografía de Gases (GC/MS) de alta resolución. Esta técnica es considerada altamente selectiva y específica que se aplicada en diversos estudios de contaminantes en agua por agroquímicos (Concha-Graña et al., 2001; Amelin, Lavrukhin, Tretjakov y Efremova, 2012; Sanders et al., 2018). El equipo utilizado fue el Espectrofotómetro “Thermo Scientific Quantify Exactive Mass” ya que proporciona una alta capacidad de discriminación. En combinación con la cromatografía de gases de alta resolución (HRGC), esta técnica ofrece una mejor identificación de contaminantes orgánicos persistentes. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Calidad de Agua de la Universidad de Cornell.

Para lograr la detección de trazas se realizó monitoreo selectivo de iones (MSI), seleccionando solo un ion o un conjunto pequeño de ellos para monitorear su variación en intensidad. En lugar de adquirir un espectro completo en cada barrido, un número mayor de los iones seleccionados llega al detector por unidad de tiempo, de tal manera que la sensibilidad alcanzada es aproximadamente de 100 a 1,000 veces mayor que la obtenida en el modo de barrido. Por lo que los límites de detección de agroquímicos fueron de 0.001 - 0.01 mg/L y los rangos de los contenidos determinantes fueron 0.005 - 10 mg/L. (Amelin et al., 2012). Sin embargo, en esta etapa del estudio no se tuvo un método de calibración que permitiera detectar las concentraciones exactas, sino que solamente se registró la detección positiva.

Se estableció un procedimiento para el análisis en espectrofotometría que permitió determinar la existencia o presencia de los compuestos químicos (Figura 2). Para asegurarse de que no quedaran sustancias químicas en las muestras en el vial de plástico, todos los viales se lavaron con metanol 0.3% (Uchikawa et al., 2013), para eliminación de posibles trazas externas. Las muestras se vertieron del vial de plástico a un vial de vidrio ámbar, que luego se cubrió y se refrigeró. Se agregaron 2 ml de metanol al vial de plástico vacío y luego se agitó vigorosamente. Este metanol se vertió luego en un nuevo vial de vidrio ámbar. El metanol se dejó evaporar bajo un evaporador de gas nitrógeno (Amelin et al., 2012). Una vez que se había evaporado todo el metanol, la muestra refrigerada se repartió en los diferentes recipientes correspondiente.

Las muestras se transfirieron luego a tubos de centrifugación de plástico de 40 ml y se centrifugaron a 4,000 rpm a 20 °C durante 20 minutos para separar todos los sólidos suspendidos. Luego se midió y registró el pH de todas las muestras utilizando una sonda de pH modelo PHS-3C 3D. Los niveles de pH se ajustaron con HCl (0.01 N y 0.1 N) y NaOH (0.01 N y 0.1 N) para lograr un rango entre 6.3 y 6.7 en pH. Regular el pH en estos rango mejora la precisión lo que permitió una mejor separación de iones en el espectrofotómetro y permitiendo identificación más precisa (Primel, Caldas y Escarrone, 2012).

Las muestras fueron analizadas por triplicado, lo que significa que fueron repartidas en tres viales pequeños de 10 ml. Se agregaron 8 ml de muestra a cada uno de los tres viales de ámbar. También, se agregó a cada vial 20 μ L de una solución de patrón interno a 2mg / L que sirve para aumentar la presión de vapor y volatilizar la muestra (Shoda et al., 2018). Los análisis de cada triplicado tardaron 2.5 horas en ser procesadas.

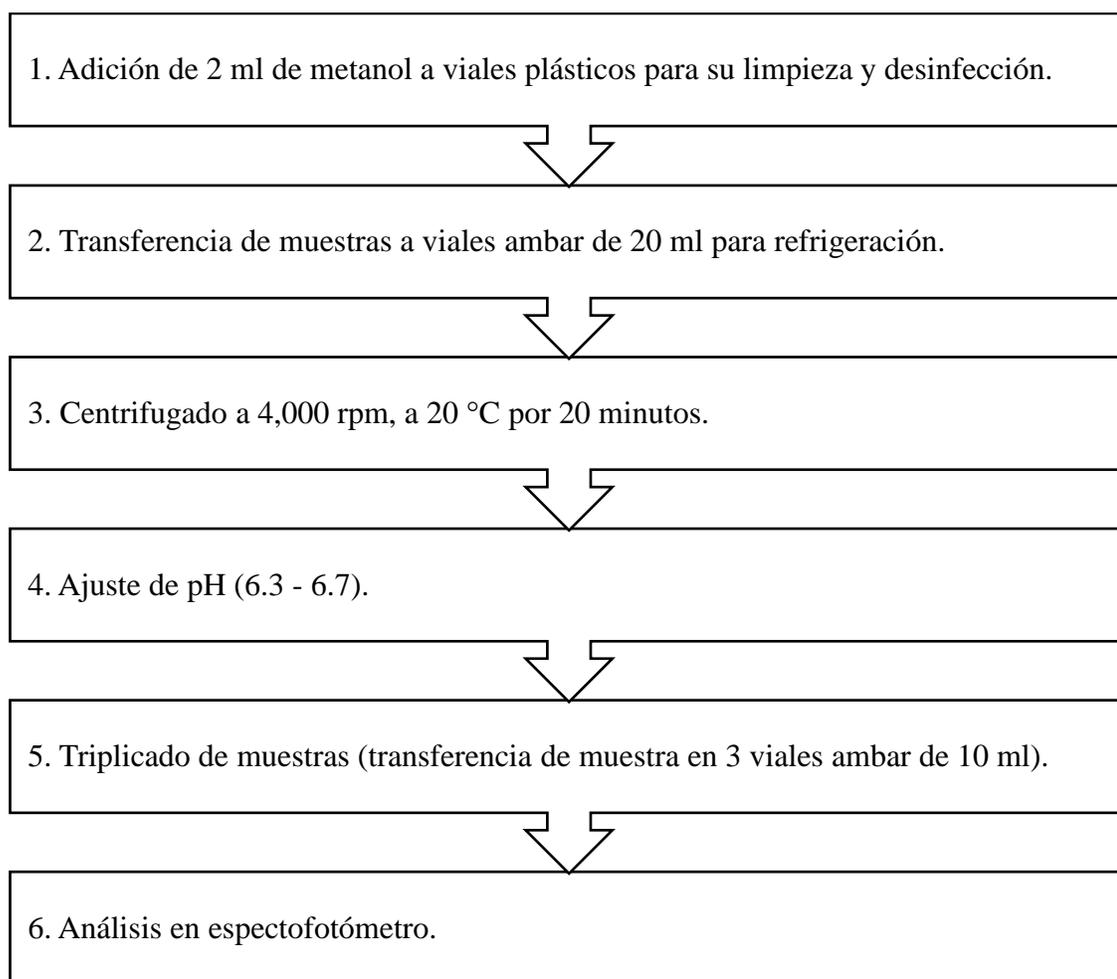


Figura 2. Pasos para preparación de muestras para análisis en espectrofotómetro.

Análisis de Información de laboratorio.

Para la primera etapa del diseño DEXPLOS, se planteó una investigación no experimental cuantitativa. Los resultados de laboratorio se reportaron de manera tabular y en la investigación no se manipularon variables de forma experimental. Se observó el fenómeno de arrastre de compuestos químicos a través de muestreos de agua en un periodo de dos meses. Se evaluó el tipo de pesticida, la frecuencia de identificación y las propiedades fisicoquímicas de los contaminantes orgánicos persistentes.

Primero se realizó una representación gráfica de frecuencia del número de veces que se detectó cada compuesto en cada una de las microcuencas. Se tomaron todas las observaciones positivas de los cinco eventos de muestreo y se presentó la sumatoria de las observaciones. Posteriormente, se clasificaron los compuestos de acuerdo con sus propiedades fisicoquímicas. Finalmente se realizó una comparación para observar cuales compuestos están presentes en las tres microcuencas simultáneamente.

Consulta participativa con agricultores.

Una vez que se completó la caracterización topográfica digital de las tres microcuencas, se procedió a realizar una clasificación y actualización de los mapas para un análisis de cobertura por medio de visitas a campo. Este proceso fue realizado para verificar si el mapeo realizado con información de la base de datos del ICF (2014) concordaba con la distribución real de agricultores. La visita de campo ayudó a identificar a los productores claves de cada microcuenca. Por medio de convocatorias para participar en grupos focales, se identificó a los actores claves que fueron los miembros de juntas de agua y patronatos y que a la vez eran productores en la parte alta de la cuenca.

Consulta a productores mediante grupos focales. Se realizaron grupos focales para consultar y registrar información sobre los productos agroquímicos y las prácticas de producción a través de actores claves de cada microcuenca. Diversos investigadores como (Adimassu, Langan y Johnston, 2016), afirmaron que identificando a los actores principales de cualquier conflicto social, se puede obtener un acercamiento más certero a los puntos de vista de todos los entes involucrados, en este caso, en los agricultores (Li et al., 2012).

Se utilizó un método de muestreo no probabilístico. Se preparó una muestra por conveniencia para los productores de fácil acceso que tienen cercanías con las juntas de agua. La mayoría de los participantes de los grupos focales eran pequeños agricultores de subsistencia. Este método de muestreo no permitió que el investigador calculara en qué medida las estadísticas de la muestra pueden diferir de los parámetros de la población de agricultores (Marsh, Zoumenou, Cotton y Hashem, 2017). El cuestionario se aplicó a 40 participantes: 10 por cada microcuenca muestreada. Los pequeños agricultores fueron seleccionados por conveniencia e identificados utilizando los criterios: productor de cada rubro agrícola y poseer parcelas cultivadas en el área de la microcuenca.

Los grupos focales se centraron en conocer los diferentes cultivos que se siembran, las plagas que los afectan, los productos que utilizan para controlar las plagas, la cantidad de veces de aplicación por ciclo de cultivo y la temporada en que realizan estas aplicaciones. Se diagramó el procedimiento que se llevó a cabo para recolectar la información en las diferentes microcuencas (Figura 3).

Los pasos del 1 al 3 consistieron en preparar los mapas para posteriormente ir a las alcaldías a validar con el catastro o información extra provista por agentes de la UMA. Los pasos 4 al 6 fueron para conocer la zona, los actores claves y a partir de lo visto en campo, diseñar en instrumento (cuestionario) de recolección de información. Posteriormente (pasos 7 al 9) se aplicó el instrumento y se analizó la información obtenida.

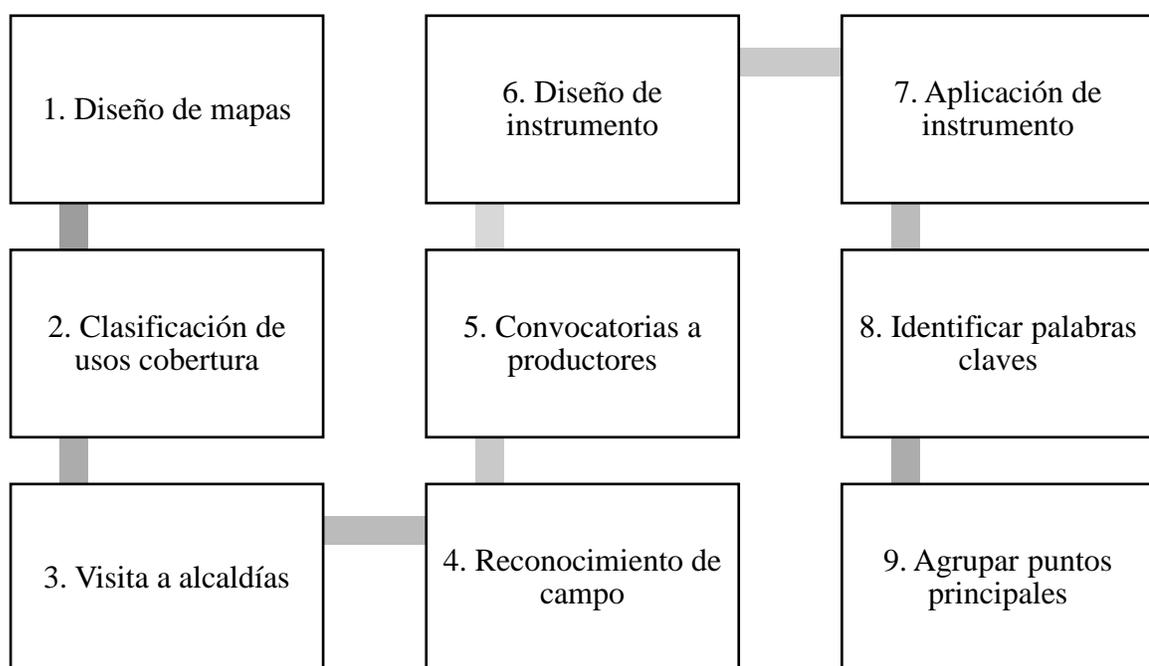


Figura 3. Diagrama de los pasos seguidos para el levantamiento de información de campo.

Análisis en grupos focales.

Matriz de participación de productores. En la segunda etapa del modelo DEXPLIS se estableció una investigación cualitativa. Para recopilar la información proveída por los agricultores (Cuadro 1), se registró la participación de cada agricultor en una matriz que ayuda a separar e identificar las aportaciones de cada uno, en cada pregunta realizada (Hamui-Sutton y Varela-Ruiz, 2013). Se registró si aportó información sustancial (DE) o si solo afirmaba o aprobaba con señas (C) al mismo tiempo se si refutaba las aportaciones de otro participante se registraba las declaraciones como disenso (DD).

Cuadro 1. Matriz de participación aplicada en grupos focales.

Pregunta	Participante 1	Participante 2	Participante 3	...	Participante 10
1					
2					
3					
...					
6					

Las casillas fueron llenados con las siguientes notaciones:

C = indicación de consenso (verbal o no verbal)

D = indicación de disenso (verbal o no verbal)

El instrumento aplicado es un cuestionario con 3 secciones principales: 1) prácticas agrícolas (pregunta 1 y 2); 2) experiencia y conocimiento de los agricultores (preguntas 3 y 4); 3) percepción, uso y actitudes en utilización de agroquímicos (preguntas 5 y 6). El cuestionario consistió en preguntas abiertas que dejó espacio para la opinión libre por parte de los agricultores participantes. Para las preguntas abiertas se crearon categorías que permitieron agrupación de diferentes participantes con similares opiniones. La información de los productos químicos utilizados se extrajo de las fichas técnicas de las casas fabricantes. Las preguntas se agruparon y presentaron en gráficos de frecuencia y los agroquímicos fueron clasificados por familias.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de microcuencas.

Para las tres microcuencas caracterizadas se generaron los mapas de uso de suelos y coberturas. Se realizó la clasificación de usos de acuerdo con el tipo de vegetación y uso que están dando a los suelos. En la base de datos del ICF estaban agrupados todos los cultivos de granos básicos y pastos para ganadería en un mismo polígono. A partir de esto, se pudo observar la alta influencia de agricultura al sureste de la microcuenca (Figura 4).

Caracterización de Microcuenca Santa Inés. La microcuenca de Santa Inés tiene un área total de 1,921 hectáreas. En ella se identificaron 181.02 hectáreas bajo cultivos, de estas, 91.29 hectáreas están ubicadas sobre el área de la microcuenca del Hondable, lo que representa un 50.43% del total de los cultivos y 37.62 hectáreas ubicadas sobre el área de la microcuenca de El Guayabo, lo que representa 20.78% del total de áreas bajo cultivo.

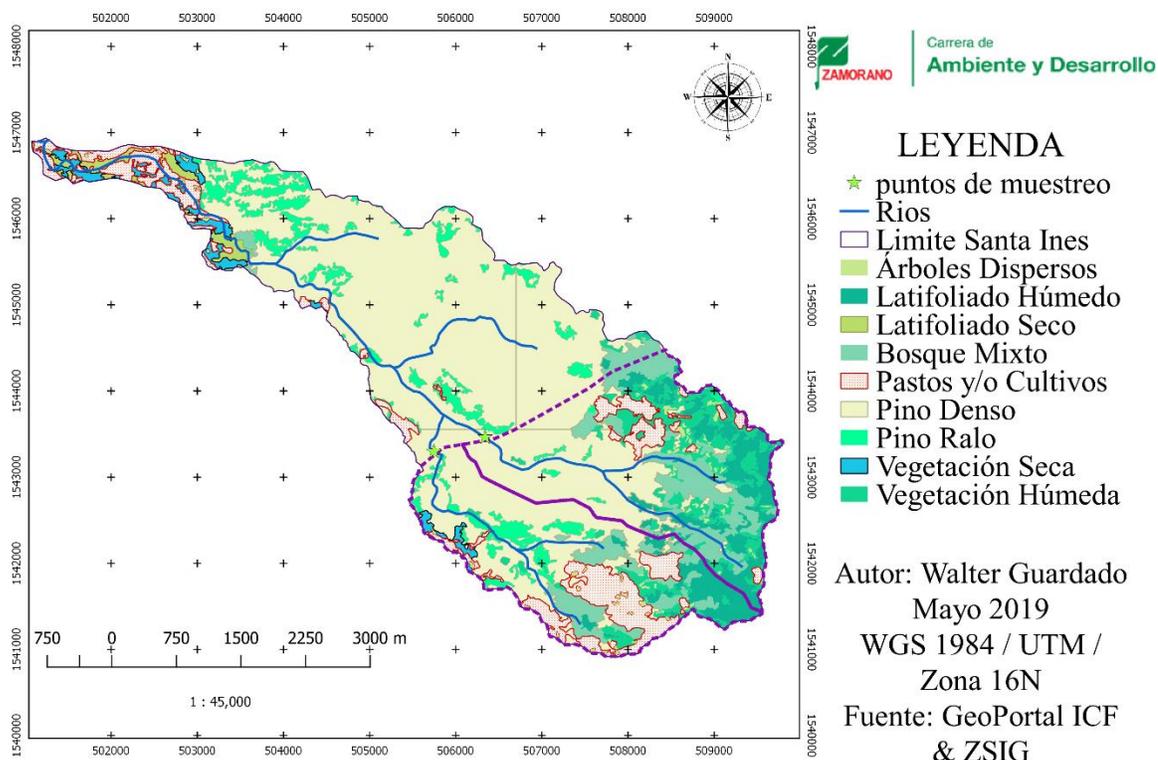


Figura 4. Mapa de caracterización por usos y coberturas de la microcuenca de Santa Inés.

A partir de la extensión de cultivos sobre la microcuenca Santa Inés se calculó que existen 70.37% en pendientes mayores al 12%. Esto es representado en una distribución de: 32.78% de área bajo cultivos se encuentra en pendientes entre el 12 – 30%. El 23.93% del área de cultivos se encuentra en pendientes de 30 - 50% y el 19.64% en pendientes mayores a 50%. Esta condición es predominante sobre la zona circundante de Hondable (Cuadro 2).

Cuadro 2. Área ocupada por cada rango de pendiente en la microcuenca de Santa Inés.

Rangos	Área total (Ha)	% Total	Área cultivada (Ha)	% Cultivado
0 - 12%	541.26	29.63%	59.34	32.78%
12 - 30%	977.85	53.54%	42.81	23.65%
30 - 50%	255.24	13.97%	43.32	23.93%
> 50%	52.20	2.86%	35.55	19.64%

Gráficamente se puede observar que la predominancia de pendiente se encuentra entre los 30 a 50%. El área circunvalar del río El Guayabo presenta las mayores alturas promedio (Figura 5). La existencia de cultivos con pendientes mayores a 30% en el área circundante del río Hondable sugiere que existe mayor probabilidad de arrastre de agroquímicos al río (Sangchan et al., 2014).

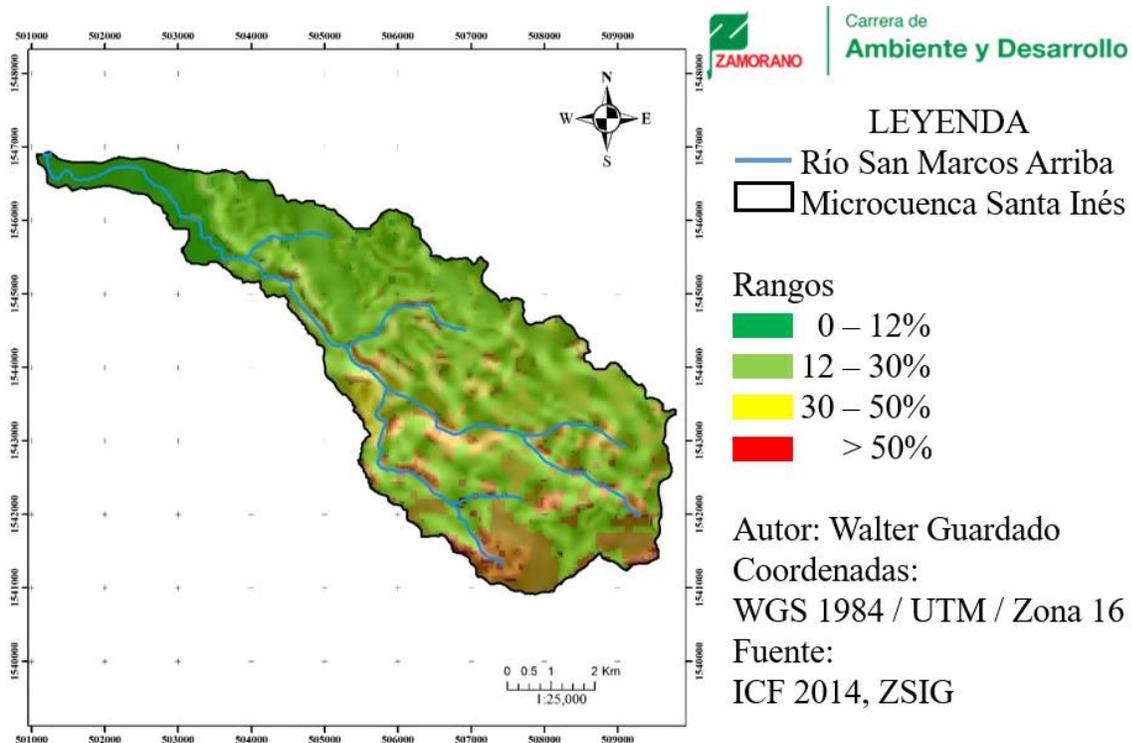


Figura 5. Mapa de pendientes de la microcuenca Santa Inés.

Caracterización de la microcuenca Neteapa.

La microcuenca de Neteapa tiene un área total de 3,713 hectáreas. El área bajo cobertura agrícola de toda la microcuenca es de 1,335.05 hectáreas. El área ocupada por pasto y granos básicos (principalmente maíz y frijol) es de 748.71 hectáreas lo que representa 56.08% de cobertura agrícola, mientras que la cobertura por café es de 586.37 hectáreas, representado 43.92% de cobertura agrícola.

En la identificación realizada en campo se determinó con información provista por la alcaldía de Morocelí que los principales cultivos presentes en la zona son café, maíz y frijol. Se observó la predominancia de cobertura agrícola en la parte media y baja de la cuenca (Figura 6). Las áreas agrícolas están distribuidas en toda la subcuenca de Neteapa y no se concentran en un solo sitio mayoritariamente.

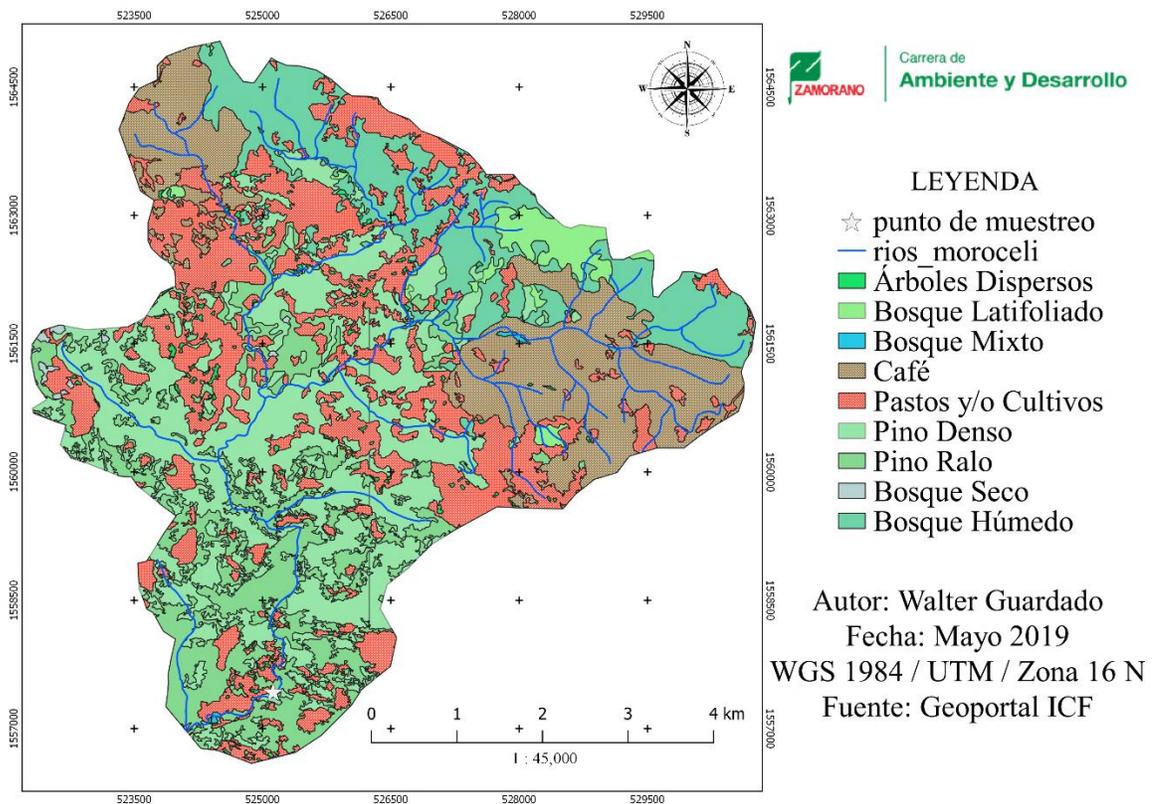


Figura 6. Caracterización por usos y coberturas de la subcuenca de Neteapa.

Al comparar el área de drenaje de Neteapa, Santa Inés y San Marcos Arriba, se identificó que Neteapa posee diferencia notablemente mayor en tamaño. El café en esta microcuenca tiene una alta influencia, casi la mitad de los cultivos son de café (43.92%), lo que representa el principal rubro agrícola. Según Skoulikidis, Dimitriou y Karaouzas (2018), la presencia de cultivos en pendientes mayores al 30% favorece el arrastre de sedimentos contribuyendo a las aportaciones de agroquímicos.

El área de la subcuenca de Neteapa cuenta con mayor extensión superficial, por tanto, el área agrícola es mucho mayor, en comparación a los demás sitios estudiados. Sin embargo, la distribución de estos de acuerdo a su pendiente, estuvo relativamente distribuida entre las pendientes de 0 - 30% (Cuadro 3). Hay 934.92 hectáreas con pendientes no adecuadas para agricultura (pendiente mayor a 30%) de las cuales 468.22 están bajo agricultura.

Cuadro 3. Área ocupada por cada rango de pendiente en la subcuenca Neteapa.

Rangos	Área total (Ha)	% Total	Área cultivada (Ha)	% Cultivado
0 - 12%	1,867.23	50.27	426.96	31.98
12 - 30%	911.97	24.55	439.87	32.95
30 - 50%	728.10	19.61	294.47	22.06
> 50%	206.82	5.57	173.75	13.01

Como se observa en el Cuadro 3, el 22.1% de cultivos se ubica entre 30 - 50%, principalmente atribuido al cultivo de café ubicado al Noreste de la cuenca. Alrededor los cultivos que se ubican en pendientes mayores al 50% y los que están principalmente son cultivos de café. Esto representa del total del área productiva, 39.2% de la agricultura que se concentra en pendientes mayores a 30%. Se pudo observar que existe mayor riesgo de arrastre al norte de la subcuenca donde las pendientes son mayores a 50% (Figura 7).

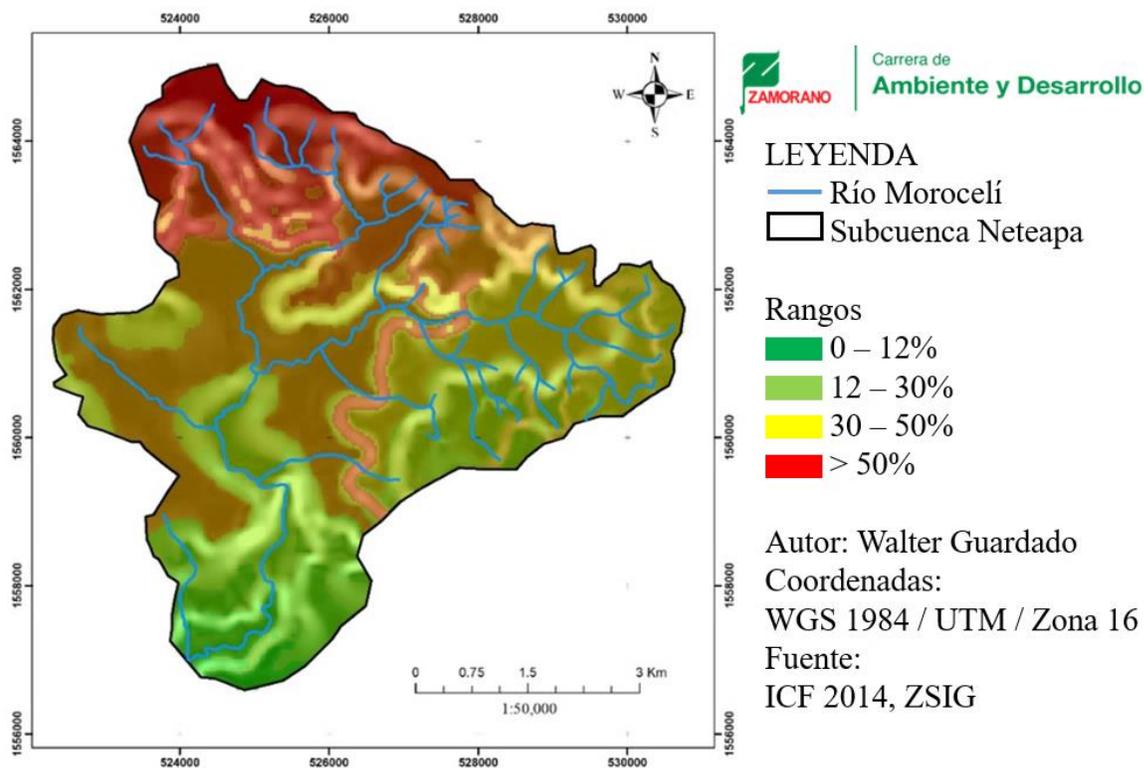


Figura 7. Mapa de pendientes de la subcuenca de Neteapa.

Caracterización de la microcuenca de San Marcos Arriba.

Tiene una extensión de 913.58 hectáreas y está ubicada en el municipio de Danlí, a 10 km de la planta potabilizadora San Matías. Esta microcuenca es la que cuenta con menor extensión, en comparación a todas las estudiadas. El Área estimada bajo cobertura agrícola es de 218.89 hectáreas, de las cuales solo 36.67 hectáreas se consideró como área efectiva debido a que están sobre el punto de toma de muestras (Figura 8).

La microcuenca de San Marcos Arriba, posee el área más pequeña de las microcuencas estudiadas con 913.58 hectáreas, pero por la alta intensidad de agricultura en la parte alta de la cuenca, se encontraron agroquímicos en todos los muestreos. De acuerdo con la identificación geográfica del punto de muestreo, la obra de captación se encuentra 0.9 km desde su punto de origen. La mayor cantidad de cultivos se ubican debajo de este punto, indicando que el 83.25% de la producción agrícola se encuentran fuera del área que drena al punto de la obra de captación. Tan solo 17.75% de los cultivos se ubican sobre el punto de captación.

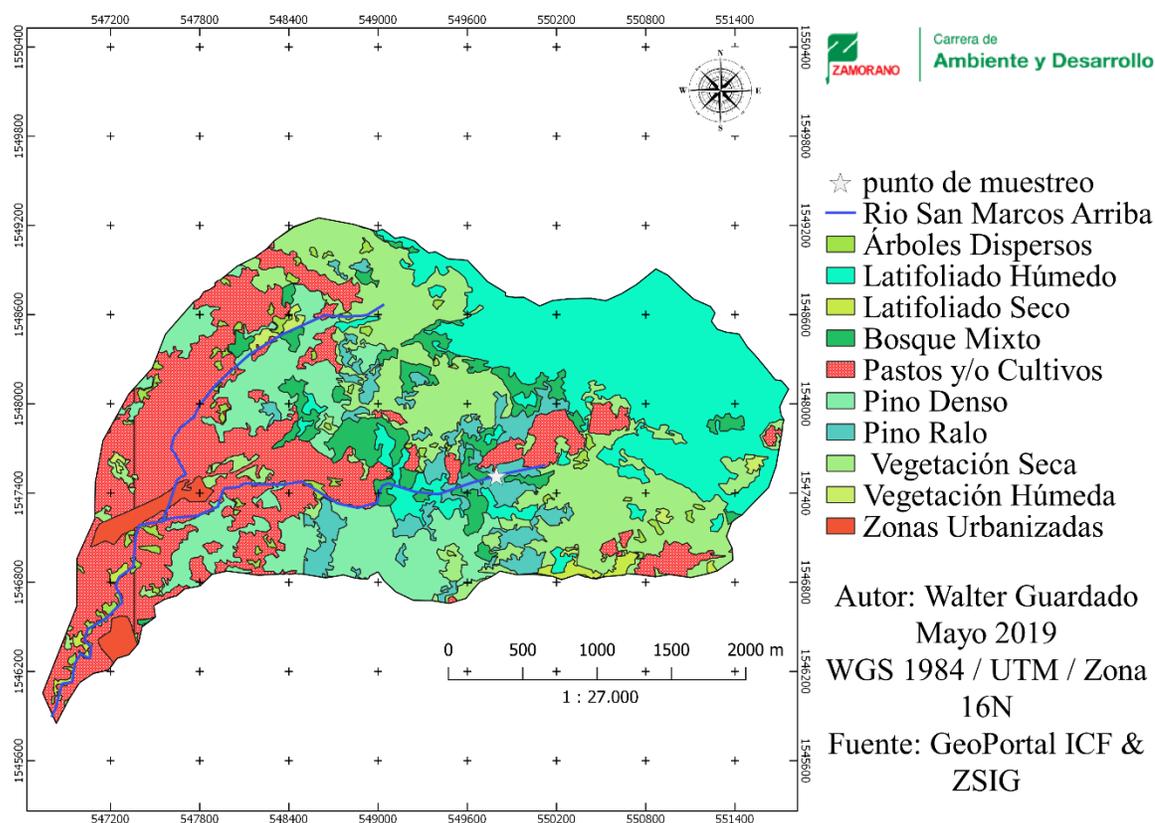


Figura 8. Mapa de usos y coberturas de la microcuenca San Marcos Arriba.

San Marcos Arriba es una microcuenca con el área de captación más pequeña en comparación al resto. Se determinó que 56.17% de la microcuenca esta entre 12 - 30% de pendiente. El área pastos y cultivos que está ubicada entre 0 - 30% de pendiente, es de 166.59 hectáreas. Existe 23.89 hectáreas de cultivos que están ubicadas en pendientes no adecuadas para esta actividad (> 30%).

Cuadro 4. Área ocupada por cada rango de pendiente en San Marcos Arriba.

Rangos	Área total (Ha)	% Total	Área cultivada (Ha)	% Cultivado
0 - 12%	336.69	36.64	94.56	43.20
12 - 30%	516.14	56.17	72.03	32.91
30 - 50%	54.27	5.91	39.45	18.02
> 50%	11.79	1.28	12.85	5.87

Entre las pendientes de 12 - 50%, se concentra la mayor cantidad de pastos y cultivos (Figura 9). Se pudo observar que la influencia de agricultores aguas arriba es poca en comparación de toda la microcuenca. El área con potencial de aporte de sedimentos es de 65.96 hectáreas, lo que representa un 7.19% del total de área en la microcuenca.

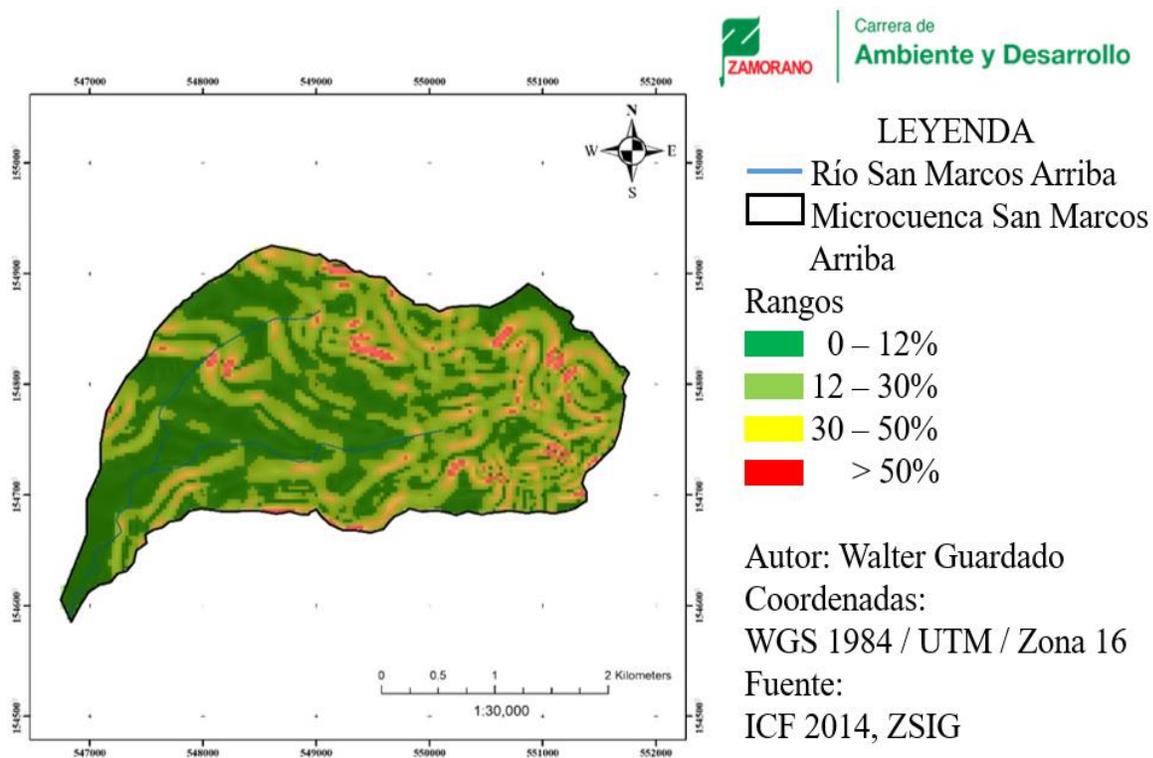


Figura 9. Mapa de pendientes de la microcuenca San Marcos Arriba.

Las investigaciones sobre la hidrología de laderas en los últimos años, se han enfocado principalmente en la comprensión del movimiento de contaminantes o el manejo del suelo agrícola (Echeverría-Sáenz et al., 2018). En el agua de escorrentía, se mueven tanto los agroquímicos disueltos como los unidos a partículas coloidales, sin embargo, pueden tener diferentes factores determinantes para la ocurrencia de estos fenómenos.

Los agroquímicos presentan una significativa degradación del ingrediente activo cuando entran a un sistema acuoso. Sin embargo, según estudios realizados por Peyrard, Liger, Guillemain y Gouy (2016), mencionan que a pesar de su degradación, quedan remanentes tanto en los tejidos vegetales como en las partículas del suelo. Dependiendo de la vida media del agroquímico, pueden ser arrastrados y transportado por los cuerpos de agua. Los agroquímicos también presentan una aplicación sin un control adecuado, lo que no sólo implica problemas a las gentes que los utilizan, sino que pueden afectar a los organismos terrestres y acuáticos.

Especialistas han determinado que en el suelo ocurren procesos de flujos laterales superficiales y subsuperficiales, estos son fenómenos que propicia la percolación y lixiviación el arrastre de contaminantes orgánicos. De hecho, cuando el agua que se infiltra en el suelo alcanza una capa menos permeable, puede acumularse. Cuando el caudal de entrada es mayor que la permeabilidad de esta capa, esta se mueve dependiendo de la pendiente (Peyrard et al., 2016). El agua acumulada puede fluir hacia abajo para ser recogida en zanjas y llegar rápidamente a los ríos.

La presencia de cultivos en pendientes mayores a 30% se consideran propicias para el arrastre de sedimentos, nutrientes y especialmente agroquímicos (Elias, Wang y Jacinthe, 2018). En la subcuenca de Neteapa el porcentaje de área cultivada, la pendiente y el área total de la subcuenca son factores propicios para encontrar mayor cantidad de agroquímicos en las fuentes de agua en comparación al resto de microcuencas. Sin embargo, no son los únicos factores que pueden influir en el arrastre de agroquímicos.

La afinidad de un agroquímico con el material suspendido es otro factor que influye la lixiviación de fertilizantes y agroquímicos. Está estrechamente relacionada con la hidrofobicidad del agroquímico y el contenido de materia orgánica en el material suspendido. Estos procesos en pendiente pronunciadas son el conjunto de factores que incrementa la movilidad (Wu, Riise, Lundekvam, Mulder y Haugen, 2004).

Por lo tanto, se tiene que considerar que la pendiente es un factor determinante pero no es el único que interactúa en el arrastre de agroquímicos desde las parcelas de cultivos a las fuentes de agua. El análisis de conflictos de usos y coberturas de las tres microcuencas provee un panorama general del manejo de las microcuencas. Una vez realizado la identificación de los factores morfológicos es necesario el respaldo por análisis de laboratorio.

Análisis de laboratorio.

Se identificaron 20 compuestos en todas las muestras analizadas en los tres sitios, de los cuales uno era cafeína, pero se descartó de la lista porque no es considerado un producto agroquímico. Se reportó la suma de todos los compuestos detectados que fueron encontrados en las tres microcuencas durante todos los eventos de muestreo. Se identificaron 19 diferentes compuestos químicos en las tres microcuencas analizadas, de los cuales 12 son herbicidas, cinco insecticidas y dos son fungicidas. Se ordenó y clasificó los compuestos detectados en el laboratorio a partir de su toxicidad, persistencia, solubilidad, volatilidad, coeficiente de partición octanol/agua (K_{ow}). La clasificación fue realizada para determinar el medio de transporte más probable que influye a la conducción del contaminante al cuerpo de agua del cual fueron recolectadas las muestras (Cuadro 5).

Para estandarizar, la solubilidad de los agroquímicos se dividió en tres categorías: compuestos solubles (solubilidad en agua ≥ 200 mg/L), compuestos moderadamente solubles (solubilidad en agua 10 – 200 mg/L) y compuestos poco solubles (solubilidad en agua < 10 mg/L) (Cao et al., 2018). Para determinados químicos, la solubilidad está íntimamente relacionada con la movilidad del compuesto, de forma que cuanto mayor es la solubilidad, mayor es también la movilidad (Orta, 2002). Por otra parte, investigaciones sugieren que existe una interacción directamente proporcional con respecto a la solubilidad de la materia orgánica y la fracción de pesticida presente en las partículas coloidales del suelo, lo que quiere decir que la materia orgánica facilita la desorción de algunos agroquímicos (Barriuso, Andrades, Benoit y Houot, 2011).

La resistencia de los agroquímicos a la degradación es función de la estructura molecular. En general, los más resistentes son los organoclorados y entre ellos los fenolbencenos altamente sustituidos; los agroquímicos menos resistentes son los organofosforados. La característica principal de los agroquímicos organofosforados es su baja persistencia, baja acumulación en la biota microbiana, y altos niveles de toxicidad (Sanchez-Hernandez, 2001). Los agroquímicos organoclorados persisten varios años, mientras que otros agroquímicos se degradan en meses o incluso semanas.

Por otra parte, el coeficiente de partición octanol/agua (K_{ow}) es utilizado para prever la evolución de un plaguicida en el medio ambiente acuático (Dierkmeier, 2001). La clasificación se estableció como compuestos hidrofílicos ($K_{ow} < 10$) y compuestos hidrofóbicos ($K_{ow} > 1000$) (Sarraute, Husson y Gomes, 2019). La deposición de sedimentos a los que se absorben los COP es un factor que conlleva a aumentos sustanciales en el tiempo de residencia de estos compuestos en los sistemas acuáticos, lo que facilita la bioacumulación. Es bien sabido que los COP se unen principalmente con la materia orgánica presente en los sedimentos, debido a su hidrofobicidad. Debido a esto se ha considerado el K_{ow} como un factor clave que influye en las concentraciones de COP en los sedimentos (Parween et al., 2014).

Cuadro 5. Caracterización de las propiedades fisicoquímicas de los compuestos químicos detectados.

Compuestos detectado	Toxicidad^{1}	Persistencia (días)^{2}	Solubilidad (mg/L)	C. Henry	K_{ow}	Ref.
Acetamiprid	II	>3 días	≥ 200	baja	bajo	[c]
Acetochlor-alachlor	II	>120 días	10-200	baja	bajo	[f]
Aldicarb Na	III	>120 días	≥ 200	baja	bajo	[d]
Atrazin-2-hydroxy	II	>120 días	10-200	baja	bajo	[b]
Atrazina	III	>120 días	10-200	baja	bajo	[b]
Atrazin-desethyl	III	>30 días	10-200	baja	bajo	[b]
Azoxystrobin	II	>30 días	< 10	alta	alto	[e]
Carbaryl	III	>5 días	< 10	baja	alto	[d]
Diazinon	I	>30 días	10-200	baja	bajo	[a]
Diuron	III	>120 días	10-200	baja	bajo	[g]
Ethofumesato	I	>30 días	10-200	baja	bajo	[h]
Isoproturon	III	>30 días	10-200	baja	bajo	[g]
Linuron	II	>5 días	≥ 200	baja	bajo	[g]
Malaoxon	II	>30 días	< 10	baja	alto	[a]
Metalaxyl	I	>30 días	≥ 200	baja	bajo	[h]
Metribuzina	I	>30 días	≥ 200	baja	bajo	[b]
Pirimicarb	III	>30 días	≥ 200	baja	bajo	[d]
Simazina	II	>30 días	< 10	baja	alto	[b]
Terbutylazina	II	<10 días	< 10	baja	alto	[b]

^{1} Extraído de la base de datos de PubChem (2018); ^{2} Categoría de toxicidad de EPA: I = Alta toxicidad, II = Moderada toxicidad, III = Leve toxicidad

Referencias:

[a] (Tian, Liu, Fang, An y Duan, 2014)

[b] (Huffman, Hausman, Hager, Riechers y Tranel, 2015)

[c] (Larson, Redmond y Potter, 2014)

[d] (Wu et al., 2009)

[e] (B Pazini et al., 2017)

[f] (Ye, 2003)

[g] (Mhadhbi y Beiras, 2012)

[h] (Wang, Zhu, Wang, Wang y Wang, 2015)

Cuando los coeficientes de partición (K_{ow}) son bajos, esto supone que se pueden encontrar los agroquímicos en la fase disuelta (Moreno-González y León, 2017) y que una de las posibles vías de transporte de 14 de los compuestos químicos a las plantas fue por medio disuelto y cinco compuestos se pudieron transportar por afiliación a la materia orgánica o sedimento (Saranjampour y Armbrust, 2018). De acuerdo a la constante de Henry, la volatilización no es una vía probable de transporte en ninguno de los compuestos, debido a que ni uno tiene una constante superior a 1×10^{-5} atm m³/mol. Estos resultados concuerdan con investigaciones realizadas con los mismos compuesto (Mao, Cryer, Altieri y Havens, 2018; Kromer, Ophoff, Stork y Führ, 2004).

Existen estudios donde aplican Acetamiprid 0.1 mg kg⁻¹ a plantas suculentas y miden la persistencia en la planta y el suelo. El estudio determinó que el Acetamiprid residual desaparece en 57% del suelo después de 24 horas. También, demostraron que después de 7 días ya no existe el compuesto químico detectable en el suelo (Saha, Mondal, Mukherjee, Sarkar y Kole, 2017). Esto sugiere que la aplicación del Acetamiprid, tuvo que haber ocurrido en un lapso de siete días anterior a los muestreos (Rasolonjatovo et al., 2017).

Agroquímicos como el Metalaxyl, Isoproturon, Atrazina, Carbaryl, Metribuzina, Terbutylazina, son no-iónicos bajo condiciones ambientales, lo que significa que son poco estables y presentan y con altas cargas electrovalentes (Barriuso et al., 2011). Al ser no iónicos, estos agroquímicos presentan inestabilidad en cargas lo que aumenta la probabilidad de afiliación a las aristas electronegativas de las partículas de arcilla. Desde otra perspectiva, compuestos como Triazinas tiene principalmente como vía de eliminación la actividad microbiana, ya que ha sido observada la degradación por medio monooxigenasas inespecíficas liberada por metabolitos secundarios de amplio espectro (Da Cunha, Pinelli, Bellini, Davyt y Fernandez-Scavino, 2013).

Existen compuestos que presentan una afinidad pronunciada por los sedimentos naturales debido a su hidrofobia, baja solubilidad en agua u otras características químicas. Las vías de transporte principalmente son por absorción en sedimentos suspendidos que son arrastrados por escorrentía de agua superficial (Parween et al., 2014). Por eso, Aldicarb Na, Atrazin-2-hydroxy, Atrazina, Atrazin-desethyl, Azoxystrobin, Diazinon, Diuron, Ethofumesato, Isoproturon se consideran que su medio ideal de transporte es por arrastre de sedimentos.

La cantidad de algún contaminante en un sistema de drenaje hídrico se ve relacionado con el tamaño de la cuenca debido al volumen de agua que estos pueden drenar (Esper A. y Perucca, 2014). Es decir que, a mayor área superficial, mayor probabilidad de arrastre. Sin embargo, eso puede ser relativo ya que existen otras variables que pueden interferir en el arrastre, como características morfométricas, periodos de lluvia, pendiente, y solubilidad del compuesto químico.

La estabilidad en el suelo o persistencia, depende de una serie de factores entre los que se encuentran el tipo de preparado, el modo de aplicación, las condiciones climáticas, evaporación, el tipo de plantas a las que se aplica el plaguicida y algunos procesos de descomposición que conducen a la degradación química, en particular la hidrólisis y la fotólisis, así como la transformación microbiana (Amelin, Bol'shakov y Andoralov, 2017).

La constante de la ley de Henry (H) indica la volatilidad de un contaminante y su afinidad por el proceso de aireación. Las sustancias con altas constantes de la ley de Henry se oxigenan fácilmente, mientras que aquellas con bajas constantes son difíciles de eliminar con oxígeno (Wang, Hung y Shammas, 2006). Por lo tanto, se establecieron las categorías de: volatilidad baja ($H < 1 \times 10^{-5} \text{ atm m}^3/\text{mol}$), volatilidad media ($1 \times 10^{-5} < H < 1 \times 10^{-3} \text{ atm m}^3/\text{mol}$) y volatilidad alta ($H > 1 \times 10^{-3} \text{ atm m}^3/\text{mol}$) para estandarizar y comparar entre compuestos (Mao et al., 2018). Investigaciones mencionan que las mayores pérdidas por volatilización se producen en el periodo inmediatamente posterior a la aplicación del plaguicida (Wang et al., 2006). Sin embargo, la volatilidad no es un medio probable debido a la baja constante (H), característica que comparten los compuestos encontrados.

Detección de compuestos químicos en cada microcuenca.

Se encontraron seis compuestos en total, de los cuales, Carbaryl fue el único que no fue detectado en el río El Guayabo. Solamente los compuestos de Cafeína, Carbaryl y Diuron fue encontrado en mayor cantidad en el río Hondable en comparación al río El Guayabo. En todos los demás casos (Acetamiprid, Malaoxon, Diazinon), la cantidad de observaciones fue similar (Figura 10).

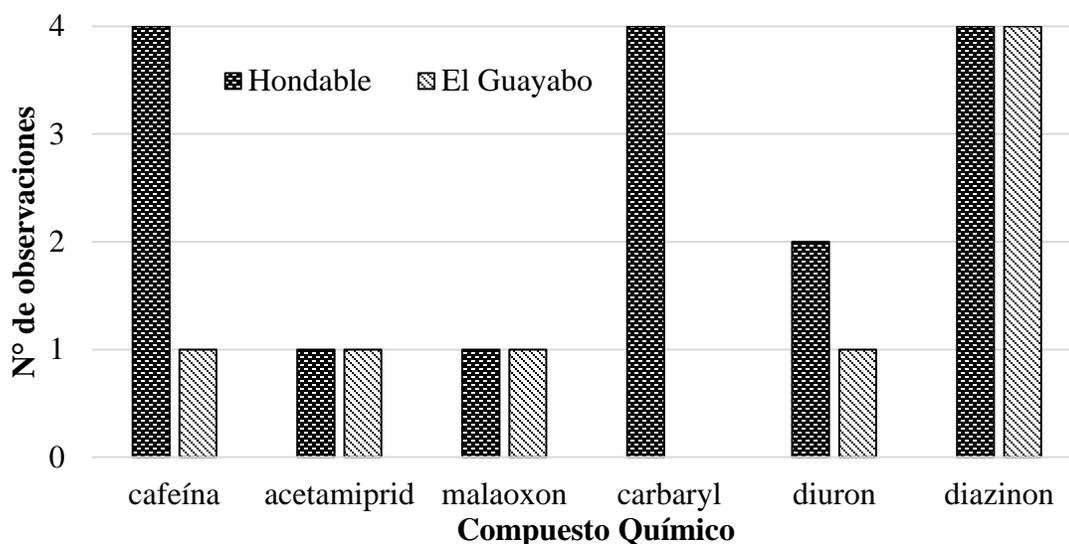


Figura 10. Observaciones de compuestos químicos en la microcuenca de Santa Inés.

El área de drenaje sobre Hondable, tiene mayor porcentaje de cobertura agrícola (50.43%), por lo que la frecuencia observada en los agroquímicos fue mayor. El Carbaryl se encontró solamente en el tributario El Hondable en cuatro muestreos. Este compuesto pertenece a la familia de Carbamatos utilizados para el manejo de lepidópteras, coleópteras, e insectos chupadores en cultivos de gramíneas y leguminosas (Chattoraj, Mondal y Sen, 2018).

En el agua de Morocelí se identificaron 19 compuestos químicos, encontrados en la planta potabilizadora durante el periodo de octubre a noviembre del 2018. Compuestos como Acetamiprid, Atrazina, Metalaxyl y Simazina fueron encontrados con mayor frecuencia en cuatro ocasiones. Se observó que existe diferencia en detección en 11 compuestos, entre la obra-toma y la etapa pos-cloración, siendo mayores en la obra de captación.

Se identificaron 11 compuestos que presentaron diferencia en la entrada y salida de las plantas de tratamiento (Figura 11). Esto coincide con investigaciones que sugieren que existe algún tipo de degradación a la salida del tratamiento. Otros compuestos como el Acetamiprid, Atrazina, Diuron, Ethofumesato, Carbaryl y Pirimicarb, no muestran diferencia entre entradas y salidas, los compuestos presentaron la misma cantidad de observaciones positivas. En estos casos, aunque se desconoció las concentraciones, los compuestos presentaron persistencia durante todo el tratamiento en la planta. Concluyeron que algunos Carbamatos, Neonicotenoides y Triazinas, pueden resistir remoción por los tratamientos convencionales como coagulación y floculación (Barbosa et al., 2018).

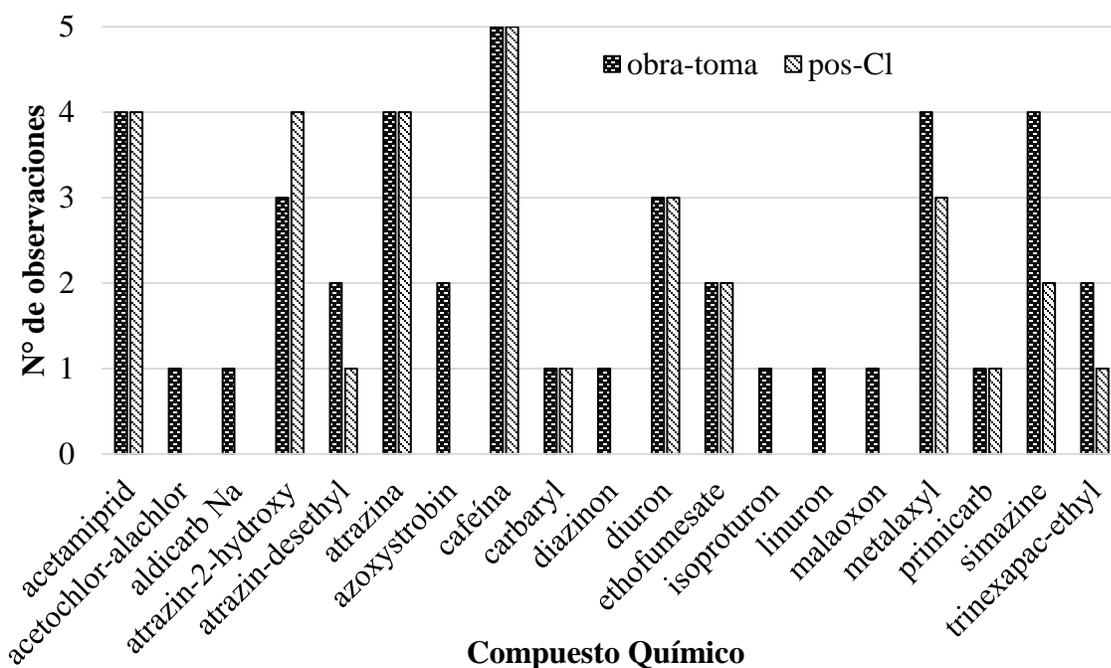


Figura 11. Observaciones positivas de compuestos químicos en entrada y salida en la planta potabilizadora de Morocelí.

Por otra parte, en la planta potabilizadora de San Matías se detectó un menor número de compuestos químicos (Figura 12), de los cuales 10 son agroquímicos y uno es cafeína. Los compuestos Acetochlor-alachlor, Diuron y Metribuzin se encontraron en tres muestreos, tanto en la entrada como en salida. Además, se encontró Acetamiprid, Atrazina, Diazinon, Isoproturon, Metalaxyl y Terbutylazina en solo un evento de muestreo y solo en la obra-toma (a excepción de Acetamiprid, encontrado también en la salida).

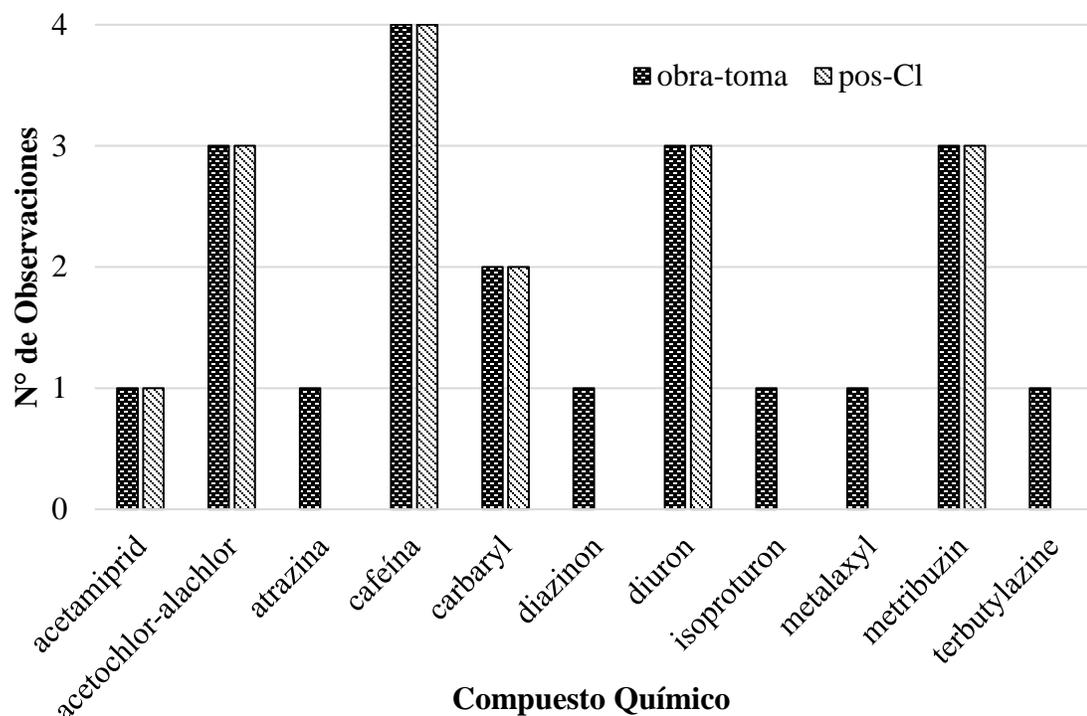


Figura 12. Frecuencia de observaciones positivas de compuestos químicos en la planta potabilizadora de San Matías.

Comparación entre microcuencas.

Una vez realizado el análisis de detección de compuestos químicos en los cuatro sitios que fueron muestreados y detectar la frecuencia de los 19 diferentes compuestos de agroquímicos, se realizó una comparación entre sitios (Cuadro 6). Se indicó con una marca qué agroquímico fue detectado en cada sitio. Se comparó los diferentes sitios en los cuales un mismo compuesto fue detectado. Esto permitió visualizar que microcuenca presenta mayor cantidad de agroquímicos.

La microcuenca del río Neteapa fue donde se identificó la mayor cantidad de compuestos químicos, detectando 18 agroquímicos. Los compuestos Metribuzina y Terbutylazina no fueron detectados durante ninguno de los cinco muestreos. En San Marcos Arriba fueron detectados 10 compuestos químicos, siete de ellos durante los primeros tres muestreos.

En la microcuenca de Santa Inés, de acuerdo al análisis de cobertura, se separó el río con influencia agrícola (Hondable) y el río con influencia de protección forestal (El Guayabo) para diferenciar qué compuesto había en cada una. Sin embargo, en ambas microcuencas se encontraron los mismos cuatro compuestos (Acetamiprid, Diazinon, Diuron y Malaoxon), pero en Hondable se encontró un compuesto más (Carbaryl).

Cuadro 6. Detección en laboratorio de agroquímicos presente en los sitios muestreados.

Compuesto Químico	Sitio Identificado			
	Neteapa	San Marcos Arriba	El Guayabo	Hondable
Acetamiprid	x	x	x	x
Acetochlor-alachlor	x	x		
Aldicarb Na	x			
Atrazin-2-hydroxy	x			
Atrazina	x	x		
Atrazin-desethyl	x			
Azoxystrobina	x			
Carbaryl	x	x		x
Diazinon	x	x	x	x
Diuron	x	x	x	x
Ethofumesato	x			
Isoproturon	x	x		
Linuron	x			
Malaoxon	x		x	x
Metalaxyl	x	x		
Metribuzina		x		
Primicarb	x			
Simazina	x			
Terbutylazina		x		
Trinexapac-ethyl	x			

[x] = detección positiva del compuesto químico.

Resultados de investigación cualitativa.

Las opiniones de los productores se ilustraron en un gráfico de radar que indicaron consenso o aprobación a los enunciados (Figura 13). La participación por parte de los agricultores fue de manera fluida estableciendo confianza desde los primeros diálogos. Esto permitió que se abordaran los temas a mayor profundidad. El instrumento aplicado contiene preguntas abiertas que los participantes agruparon en tópicos centrales. Los productores proveyeron información para completar una matriz por cada microcuenca.

Todos los participantes de las microcuencas coinciden con realizar la siembra durante el mismo periodo. Concuerdan que el mejor momento de siembra del maíz y del café es entre los meses de abril y mayo que son los meses de lluvias. Sin embargo, han notado irregularidad en los patrones de lluvia, por lo que la mayoría opta sembrar en las semanas tardías de mayo, ya que, al carecer de sistemas de riego, la mayoría dependen de la precipitación fluvial. Esto es importante conocer para inferir sí que temporada se aporta mayor cantidad de agroquímicos.

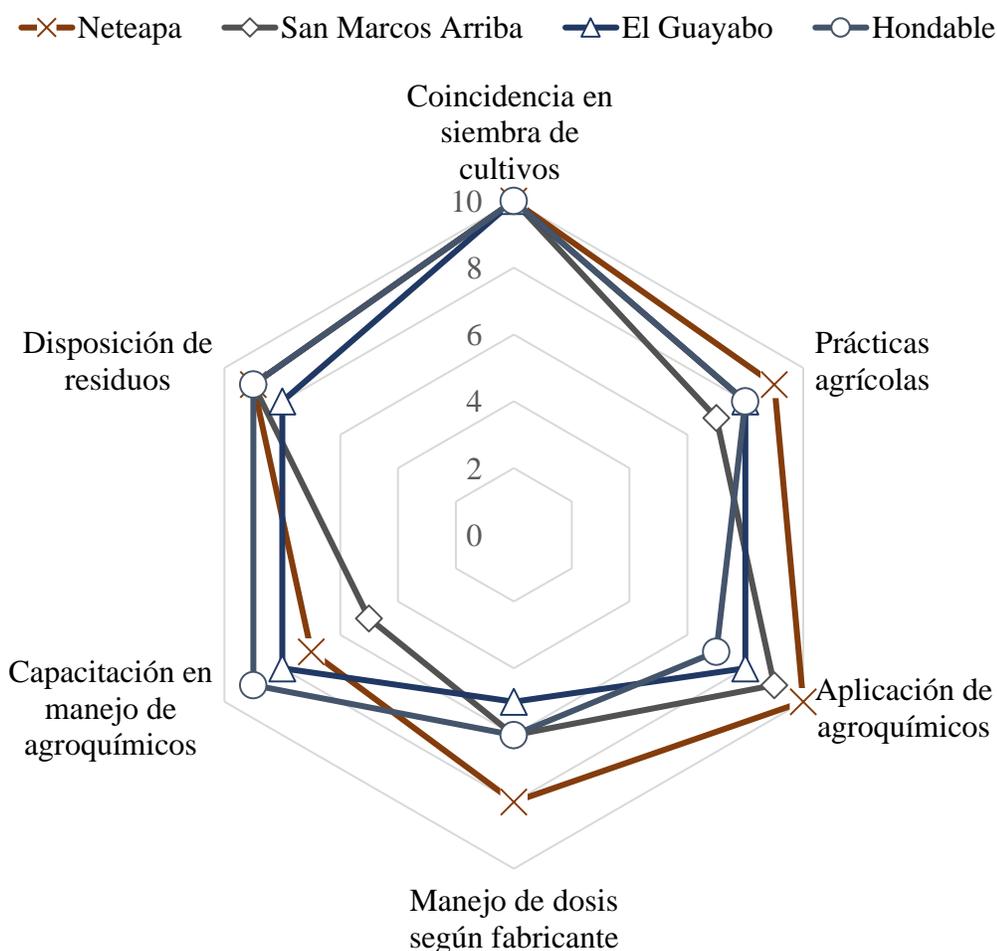


Figura 13. Consenso de los productores en los grupos focales para los seis tópicos.

Al finalizar cada grupo focal se realizó una tabla de contingencia donde se registró la participación y aportación de los participantes por cada pregunta. Se realizó un diagrama con los enunciados y los criterios que fueron planteados previos al diseño del instrumento. Se registró el número de productores que concordaron o afirmaron con los criterios de los 6 enunciados (Figura 14).

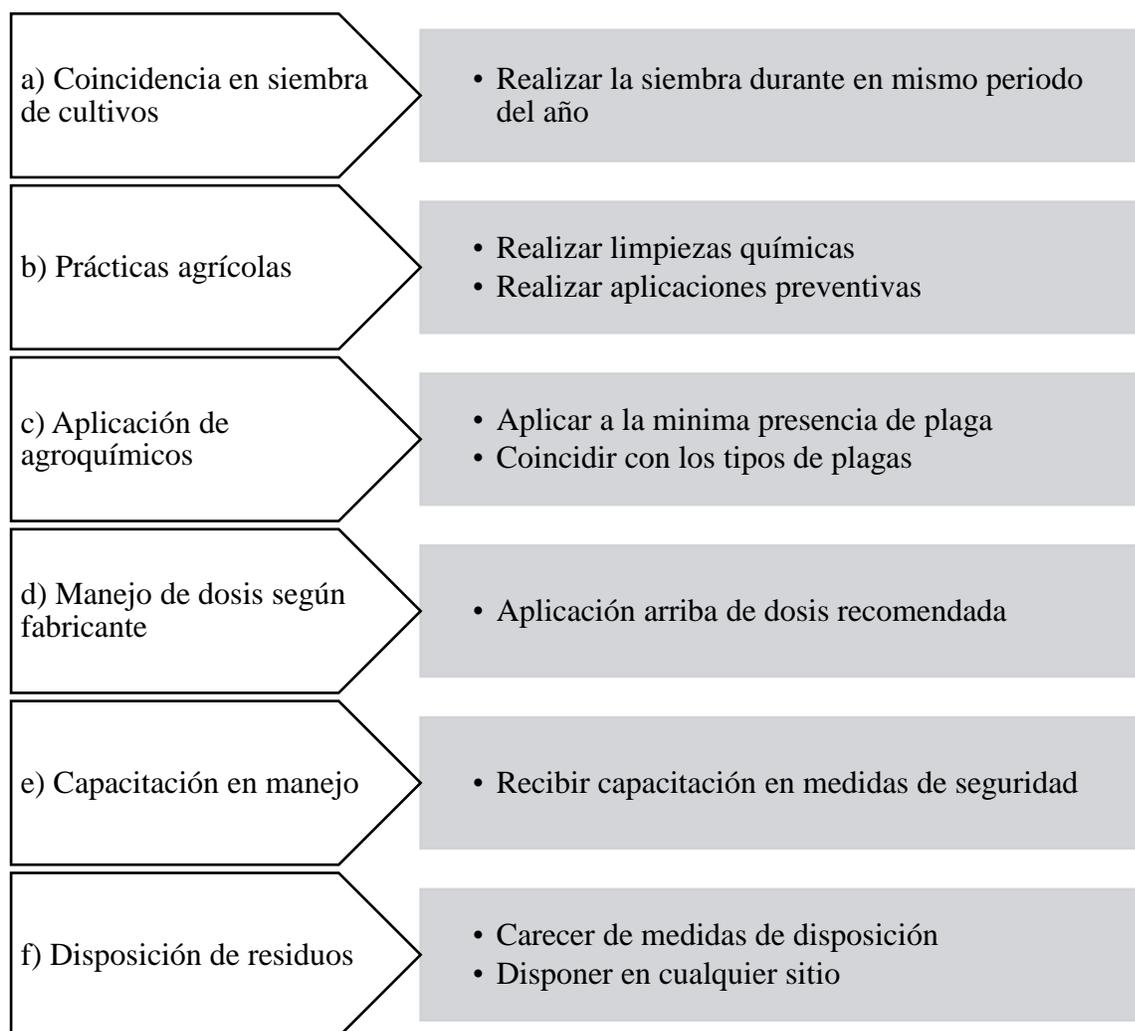


Figura 14. Diagrama de enunciados y criterios principales de los grupos focales.

Al realizar los grupos focales en las distintas microcuencas se identificaron 15 diferentes tipos de agroquímicos en total de todas las microcuencas. Se clasificó cada agroquímico utilizado en conjunto con su ingrediente activo y se señaló la aplicación por parte de los agricultores en cada microcuena (Cuadro 7). El ingrediente activo fue extraído de la ficha técnica de cada agroquímico proporcionada por la empresa fabricante.

El grupo focal comentó que existen agroquímicos que tiene un uso común en al menos dos de las microcuencas estudiadas. Las microcuencas de Neteapa y San Marcos Arriba son dos cuencas donde existe prácticas de agricultura intensiva. En cambio, Santa Inés ha recibido influencia de extensión agrícola por parte de Zamorano. Esto deriva en que se encontró ocho agroquímicos que son aplicados en Neteapa y San Marcos Arriba (2 4 D[®], Alto 10[®], Cipermetrina[®], Decis[®], Fusilade[®], Parathion[®], Roundup[®] y Timex[®]).

Cuadro 7. Agroquímicos utilizados en las diferentes microcuencas.

Agroquímico utilizados	Ingrediente activo	Neteapa	San Marcos Arriba	Santa Inés	
				Hondable	El Guayabo
2 4 D [®]	2,4-D				
	Dimetilamonio	ж	ж		
Alto10 [®]	Ciproconazole	ж	ж		
Cipermetrina [®]	Cypermetrina	ж	ж	ж	ж
Decis [®]	Deltametrina	ж	ж		ж
Eminent [®]	Tetraconazole	ж			
Evisect [®]	Thiocyclam				
	hidrogenoxalato		ж		
Fusilade [®]	Fluazifop-p-butil	ж	ж		
Gramoxone [®]	Paraquat	ж	ж	ж	ж
Lannate [®]	Methomyl	ж	ж		
Mocap [®]	Etoprofos		ж		
Monarca [®]	Thiacloprid, Beta-Ciflutrina	ж			
Nicosulfuron [®]	Nicosulfuron	ж			
Parathion [®]	metil-paration	ж	ж		
Roundup [®]	Glifosato	ж	ж	ж	ж
Solvigo [®]	Thiamethoxam, Abamectin	ж			
Timex [®]	Aldicarb	ж	ж		
Vydate [®]	Oxamyl				

[ж] = utilizado por los agricultores.

En la microcuenca Santa Inés los productores afirmaron utilizar tres compuestos de los cuales la Cipermetrina[®] y Roundup[®] son los que se aplican tanto en la parte agrícola como en la forestal. Los agroquímicos utilizados en esta microcuenca, coinciden con los utilizados en la agricultura convencional. Estos productos son utilizados para la limpieza y preparación del terreno, así como aplicaciones preventivas (Kumar y Jha, 2015).

Los productores en El Guayabo además aplican Decis[®], que es un insecticida piretroide de amplio espectro utilizado para plagas voladoras en general. Según los Agricultores de El Guayabo, la aplicación de Decis[®] se realiza debido a que, en los meses más calientes, la incidencia de plaga aumenta. Por lo anterior, los productores se ven en la necesidad de aumentar dosis. Este es un fenómeno común en las tres microcuencas, según la preocupación de los mismos productores.

Los agricultores en las diferentes microcuencas afirmaron tener cuatro principales cultivos (Figura 15). El café, maíz, frijol y hortalizas en menor proporción fueron los cultivos presentes en la mayoría de las parcelas de todas las áreas estudiadas. Un mismo agricultor afirmó sembrar más de un cultivo de forma simultánea (en el caso de maíz y café) o en épocas diferentes (en el caso de maíz y frijol).

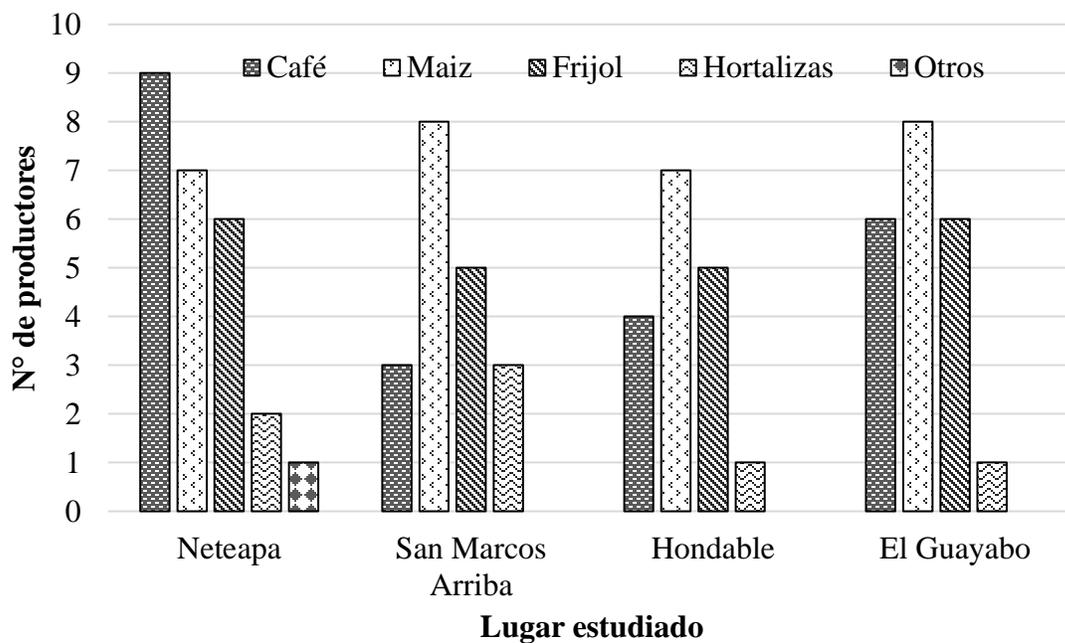


Figura 15. Frecuencia de los tipos de cultivos citado por los agricultores de las tres microcuencas.

En cuanto a las prácticas, se observó una tendencia en la utilización Herbicidas (Roundup[®] y Gramoxone[®]) en la limpieza química. El control de malezas con productos químicos es considerado como práctica de bajo costo en comparación a la limpieza mecánica (Figura 16). Por otro lado, los agricultores consideran que la limpieza química es de las prácticas más efectivas y necesarias para la producción agrícola. Debido a los altos costos de alquiler de maquinaria agrícola, las pendientes pronunciadas en donde se ubican la mayoría de los productores y el difícil acceso vehicular, son factores que complican el trabajo mecánico.

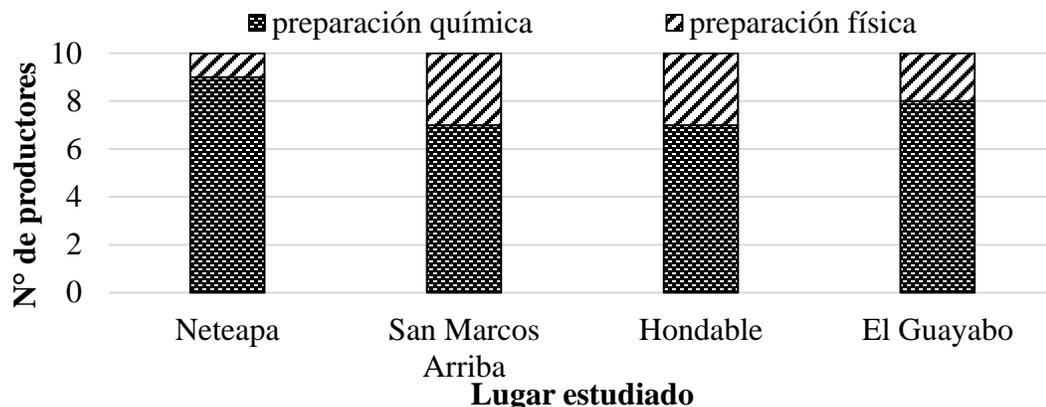


Figura 16. Agricultores que aplican técnicas de preparación químicas o físicas.

A nivel mundial, el consumo de herbicidas es el más alto en comparación con otros agroquímicos, mientras que, en países tropicales, el consumo de insecticidas es mayor. Esto se debe a que existe mayor incidencia de plagas de insectos debido principalmente a las condiciones climáticas cálidas y húmedas. Las altas temperaturas y humedad acelera el ciclo de vida y aumenta la tasa de reproducción en los insectos (Odukkathil y Vasudevan, 2013).

Lo anterior respalda el patrón de consumo mayor en insecticidas, de acuerdo a los productores de cada microcuenca (Figura 17). En Neteapa utilizan siete diferentes insecticidas y cinco diferentes herbicidas. en San Marcos Arriba utilizan seis diferentes tipos de insecticidas y cuatro diferentes tipos de herbicidas. Los agricultores de Neteapa afirmaron aplicar fungicida (Eminet[®]) y nematicida (Mocap[®] y Solvigo[®]) en sus cultivos para el control de roya en café, mientras que los agricultores de San Marcos Arriba afirmaron utilizar un nematicida (Mocap[®]).

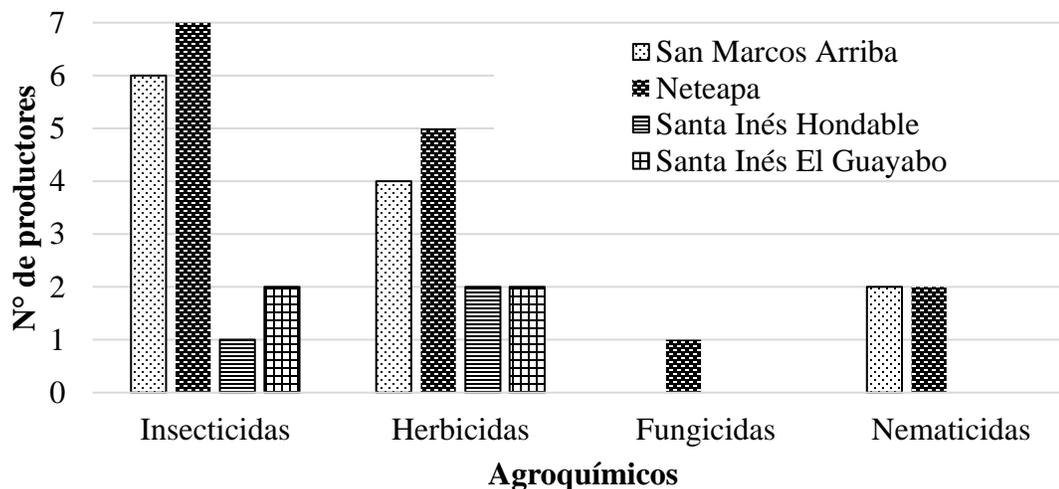


Figura 17. Resultados sobre tipos de agroquímicos utilizados según grupo focal.

También, los productores de Neteapa y San Marcos Arriba afirmaron realizar aplicaciones preventivas para evitar ser afectados durante el crecimiento de sus cultivos aun cuando no observan incidencias. Productores de Santa Inés afirman que solo si es necesario y si ven indicios sobre pequeñas incidencias de plagas, pero agricultores en Hondable consideran que cuando están en temporada seca es cuando consideran que hay más necesidad de aplicar algún plaguicida (Figura 18).

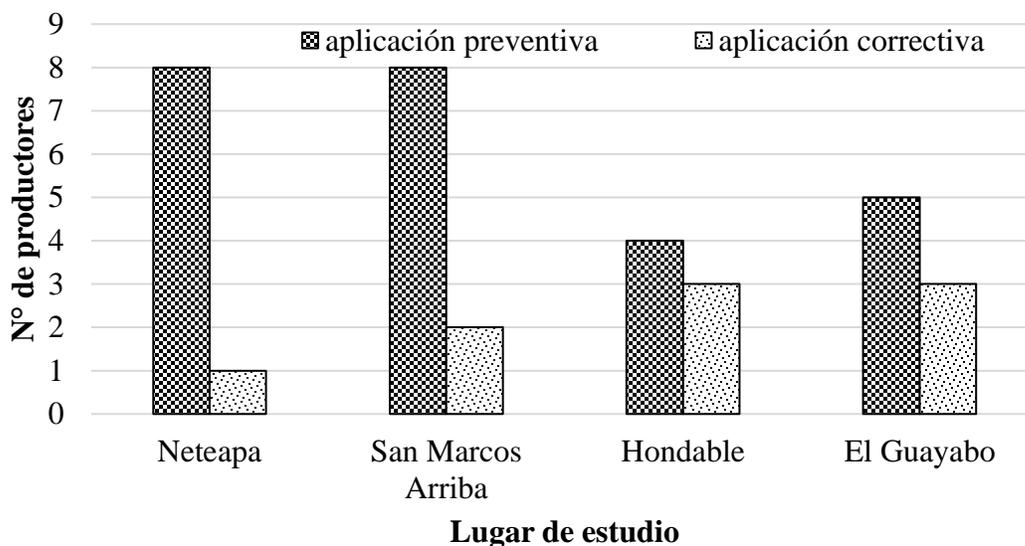


Figura 18. Momento de aplicación de los productos por agricultores.

En cuanto a la afección por plagas, los agricultores de Neteapa mostraron mayor preocupación a la afección por roya en café, los de San Marcos Arriba comentaron que las principales plagas que tiene son con moscas blancas y nematodos. En la microcuenca Santa Inés, se tienen las mismas afecciones de plagas, principalmente en el frijol que son afectados por una especie de virus del mosaico, que les amarillenta todo el cultivo y les hace perder las cosechas. Para esta afección no tiene solución y solo en el caso del frijol aplican productos preventivos como Decis[®] y Cipermetrina[®] para el control del insecto transmisor (*diabrotica* spp).

El producto más utilizado para el control de insectos es Cipermetrina[®] utilizado por los productores de las tres microcuencas estudiadas. Otros insecticidas usados frecuentemente por los productores de Neteapa y San Marcos Arriba son Decis[®], Alto10[®], Parathion[®], Lannate[®] y Timex[®]. En otro caso, para el combate de nematodos en estas mismas microcuencas utilizan Vydate[®] y Solvigo[®]. En cuanto al uso de herbicidas, los más utilizados en todas las microcuencas son Gramoxone[®] y Roundup[®] utilizados especialmente para la limpieza de malezas y preparación del terreno.

Durante la discusión sobre las dosis aplicadas, los agricultores de Neteapa fueron los que más aumentan las dosis en comparación a las demás microcuencas. La creencia común es que aumentar la dosis aumenta la efectividad y esto ha llevado a los productores a la aplicación de 25 ml y 50 ml adicionales a lo recomendado. Sin embargo, en Santa Inés, tanto en El Guayabo y Hondable conocen que aumentar la dosis de agroquímicos puede aumentar la resistencia de las mismas plagas, por lo que existe menor cantidad de productores que aplican más de lo recomendado.

Las capacitaciones recibidas fueron otro criterio a evaluar, en el cual la cantidad de productores capacitados en la Microcuenca Santa Inés fue mayor en comparación a las demás microcuencas (Figura 19). Esto se debió a que ellos indicaron haber tenido influencia por parte de Zamorano. En San Matías y Neteapa comentaron que si han recibido algún tipo de capacitación pero que no fue lo suficientemente efectiva como para crearles conciencia.

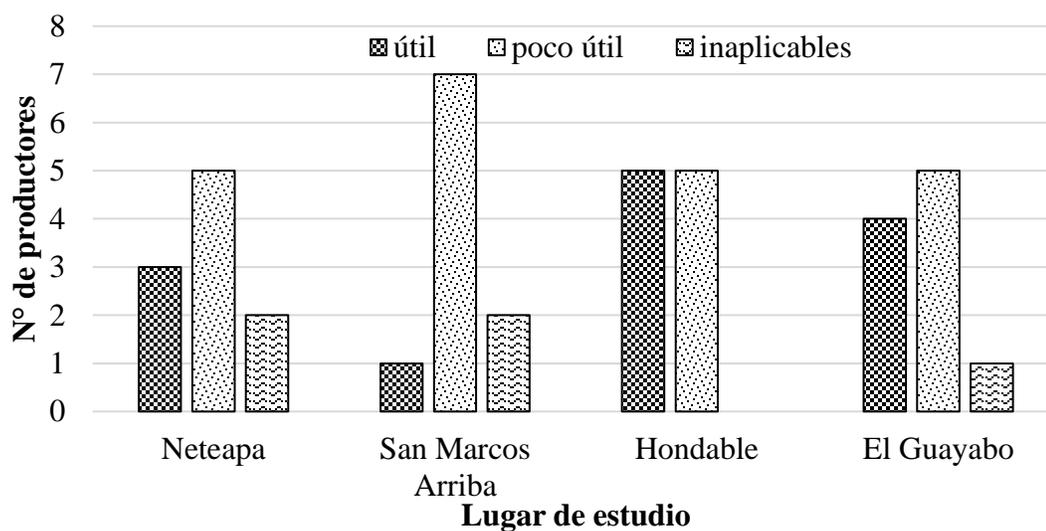


Figura 19. Percepción de los agricultores de las capacitaciones recibidas en el pasado.

Al mismo tiempo señalaron que a pesar de estar conscientes sobre la peligrosidad de los agroquímicos a la salud humana, los productores no tienen alternativas en cuanto a la disposición de los envases plásticos y contenedores de los agroquímicos, por los que optan a tirar los recipientes en cualquier parte de sus terrenos. Otro aspecto importante es que señalaron que muchos tienen la costumbre de limpiar sus bombas de fumigación, equipos y barriles de mezcla en las mismas quebradas o ríos, esto en conjunto con otras investigaciones (Orta, 2002) concuerdan con que el hábito común de un campesino es limpiar el equipo en la misma fuente en que se abastecen de agua. Dicha costumbre fue muy común entre las opiniones de los agricultores de Neteapa y San Marcos Arriba mientras que los agricultores de Santa Inés sugirieron quemar o enterrar los envases de químicos, aunque tampoco negaron que existen otros agricultores en la zona que también tiran los envases en cualquier parte.

Comparación de resultados de laboratorio y la consulta con agricultores.

Una vez identificado los compuestos químicos en laboratorio y los agroquímicos utilizados por los agricultores en sus parcelas, se procedió a hacer una agrupación de los datos. Esta agrupación permitió visualizar cuáles de los compuestos coincidieron, tanto, en detección en campo, como en laboratorio. La comparación fue realizada a nivel de familia debido a que los compuestos activos de los productos comerciales varían dependiendo de la marca o empresa fabricante (Cuadro 8). Existen varios tipos de agroquímicos que se clasifican en familias, dependiendo del componente químico. Según Odukkathil y Vasudevan (2013), clasificaron las familias en organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretorides, triazinas. Basado en esta clasificación los compuestos encontrados e agruparon en estas familias.

De acuerdo a los resultados de laboratorio, la familia de químicos con mayor incidencia en las microcuencas fueron las Triazinas (cinco compuestos), compuestos principal de una gran variedad de herbicidas. Otros herbicidas encontrados fueron las Ureas (tres compuestos), Benzofuran (un compuesto) y Cloroacetamida (un compuesto). Respecto a los insecticidas se detectaron Carbamatos (tres compuestos), Organofosforados (dos compuestos) y Neonicotenoides (un compuesto). Se encontraron solo dos tipos de Fungicidas, Metoxiacrylato y Acilalanina. Según los resultados de la validación participativa, los agricultores afirmaron utilizar una gama variada de agroquímicos, entre herbicidas, insecticidas, fungicidas y nematocidas. Entre ellos fueron identificados los más frecuentes: Organofosforados (tres compuestos), Carbamatos (tres compuestos), Piretroides (dos compuestos) y Neonicotenoides (dos compuestos).

A pesar de que los agricultores mencionaron que aplicaban mayor cantidad de insecticidas, los resultados de laboratorio indican que los productores en la microcuenca de San Marcos Arriba utilizan seis tipos de herbicidas y 10 herbicidas distintos en Neteapa. En la comparación se detectó que compuestos a nivel de ingrediente activo solo coincidió Aldicarb. A nivel de familias químicas principalmente los Organofosforados, Carbamatos, y Neonicotenoides coincidieron tanto en laboratorio como en campo.

Los resultados demuestran que existen 15 compuestos muy tóxicos de los cuales, se caracterizan por tener persistencia mayor a 30 días y 14 poseen una elevada solubilidad. Esto es un indicador alarmante debido a la exposición de compuesto cancerígenos en el agua de consumo humano para estas tres microcuencas. Esta exposición puede verse incrementada en los periodos de abril a julio, que fueron los meses en que los productores afirmaron realizar la mayoría de las aplicaciones. El potencial de arrastre de los agroquímicos y las prácticas de agricultura intensivas realizadas por los productores en la cuenca alta son las principales preocupaciones que influyen en la contaminación de las aguas superficiales en las microcuencas estudiadas.

Cuadro 8. Comparación de campo y laboratorio a partir de familia químicas.

	Ingrediente activo	Familia química	Tipo
Identificado en participación de agricultores	2,4-D-Dimetilamonio	Ácidos fenoxicarboxílicos	Herbicida
	Ciproconazole	Triazinas	Insecticida
	Cypermctrina	Piretroide	Insecticida
	Deltametrina	Piretroide	Insecticida
	Etoprofos	Organofosforados	Nematicida
	Fluazifop-p-butil	Carboxilos	Herbicida
	Glifosato	Organofosforados	Herbicida
	Methomyl	Carbamatos	Insecticida
	metil-paration	Organofosforados	Insecticida
	Nicosulfuron	Sulfenilureas	Herbicida
	Oxamyl	Carbamatos	Nematicida
	Paraquat	Bipirilo	Herbicida
	Aldicarb	Carbamatos	Insecticida
	Tetraconazole	Triazoles	Fungicida
	Thiacloprid, Beta-Ciflutrina	Neonicotinoides	Insecticida
Thiamethoxam, Abamectin	Neonicotinoides	Nematicida	
Thiocyclam hidrogenoxalato	Nereistoxinas	Insecticida	
Identificado en laboratorio	Acetamiprid	Neonicotinoides	Insecticida
	Acetochlor-alachlor	Cloroacetomidas	Herbicida
	Aldicarb Na	Carbamatos	Insecticida
	Atrazin-2-hydroxy	Triazinas	Herbicida
	Atrazina	Triazinas	Herbicida
	Atrazin-desethyl	Triazinas	Herbicida
	Azoxystrobin	Metoxiacrylatos	Fungicida
	Carbaryl	Carbamatos	Herbicida
	Diazinon	Organofosforados	Insecticida
	Diuron	Ureas	Herbicida
	Ethofumesato	Benzofuran	Herbicida
	Isoproturon	Ureas	Herbicida
	Linuron	Ureas	Herbicida
	Malaoxon	Organofosforados	Insecticida
	Metalaxyl	Acilalaninas	Fungicida
Metribuzina	Triazinonas	Herbicida	
Pirimicarb	Carbamatos	Insecticida	
Simazina	Triazinas	Herbicida	
Terbutylazina	Triazinas	Herbicida	

4. CONCLUSIONES

- El paisaje productivo de las microcuencas se caracteriza por la prevalencia de agricultura convencional de café, maíz y frijol en áreas frágiles y de altas pendientes. Esto propicia mayor potencial de arrastre y transporte de los agroquímicos hacia las fuentes de agua.
- En las microcuencas estudiadas, la extensión de cultivo es directamente proporcional a la cantidad de agroquímicos utilizados por los productores e identificado en el agua de las plantas potabilizadoras.
- La identificación de compuestos como herbicidas (Triazinas, Ureas), seguidos por insecticidas (Carbamatos y Organofosforados) en el agua de las fuentes estudiadas representa un riesgo a la salud humana debido a la alta toxicidad, alta solubilidad y su moderada a alta persistencia.
- De los compuestos químicos detectados en el laboratorio, solamente fue identificado en la consulta participativa el Aldicarb. Esto puede indicar que algunos compuestos aplicados anterior al periodo de muestreo han persistido en el medio.
- Los productores consultados identificaron insecticidas y herbicidas Organofosforados, Piretroides y Carbamatos, como los productos agroquímicos de mayor uso. Existen un elevado consumo principalmente en la preparación del terreno y en aplicaciones preventivas lo que resulta en un incremento en las cantidades de agroquímicos aplicados.
- Los productores afirman no tener alternativas para el manejo y disposición de agroquímicos, lo que incide en su presencia en las fuentes de agua y expone la necesidad de intervenir en las cuencas e implementar programas de manejo de agroquímicos.

5. RECOMENDACIONES

- Establecer un sistema de muestreo y análisis que permita determinar correlación entre parámetros morfológicos de la microcuenca, las características fisicoquímicas de los agroquímicos o el tipo de práctica agrícola implementada por los agricultores de subsistencia en cada microcuenca.
- Realizar un estudio socioeconómico más detallado en cada microcuenca. Incluir variables demográficas, económicas y culturales. Incluir una caracterización de parcelas y encuestas individuales por agricultor para conocer los paquetes tecnológicos que utilizan en la producción.
- Ampliar el estudio de monitoreo de agroquímicos durante la temporada seca y la temporada lluviosa para determinar si el caudal y/o la ausencia de arrastre, influye en la cantidad o concentración de los compuestos químicos. Realizar una cuantificación de las concentraciones de los compuestos químicos detectados para conocer las cantidades reales y comprender aún mejor el riesgo al que está expuesta la población que lo consume.
- Desarrollar un programa para implementar sistemas de producción agroecológica e implementar planes de capacitación con los productores de la cuenca alta en cuanto al manejo y disposición de residuos provenientes de envases y empaques de agroquímicos.
- Ampliar estudios sanitarios sobre morbilidad asociada a exposición crónica con agroquímicos en las comunidades abastecidas por las plantas de tratamiento evaluadas.

6. LITERATURA CITADA

- Adimassu, Z., Langan, S. y Johnston, R. (2016). Understanding determinants of farmers' investments in sustainable land management practices in Ethiopia: review and synthesis. *Environment, Development and Sustainability*, 18(4), 1005–1023. <https://doi.org/10.1007/s10668-015-9683-5>
- Amelin, V. G., Bol'shakov, D. S. y Andoralov, A. M. (2017). Determination of neonicotinoid insecticides in natural waters by high-resolution time-of-flight mass spectrometry with direct electrospray ionization of samples. *Journal of Analytical Chemistry*, 72(2), 178–182. <https://doi.org/10.1134/S1061934816120030>
- Amelin, V. G., Lavrukhin, D. K., Tretjakov, A. V. y Efremova, A. A. (2012). Determination of polar pesticides in water, vegetables, and fruits by high performance liquid chromatography. *Moscow University Chemistry Bulletin*, 67(6), 392–400. <https://doi.org/10.3103/S0027131412060028>
- B. Pazini, J. de, Pasini, R. A., Rakes, M., Armas, F. S. de, Seidel, E. J., da S Martins, J. F. y Grützmacher, A. D. (2017). Toxicity of Pesticide Tank Mixtures from Rice Crops Against *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera: Platygasteridae). *Neotropical entomology*, 46(4), 461–470. <https://doi.org/10.1007/s13744-017-0483-5>
- Barbosa, P. G. A., Martins, F. I. C. C., Lima, L. K., Milhome, M. A. L., Cavalcante, R. M. y do Nascimento, R. F. (2018). Statistical Analysis for Quality Adjustment of the Analytical Curve for Determination of Pesticide Multiresidue in Pineapple Samples. *Food Analytical Methods*, 11(2), 466–478. <https://doi.org/10.1007/s12161-017-1017-9>
- Barriuso, E., Andrades, M. S., Benoit, P. y Houot, S. (2011). Pesticide desorption from soils facilitated by dissolved organic matter coming from composts: experimental data and modelling approach. *Biogeochemistry*, 106(1), 117–133. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/41490510>
- Boivin, A. y Poulsen, V. (2017). Environmental risk assessment of pesticides: state of the art and prospective improvement from science. *Environmental science and pollution research international*, 24(8), 6889–6894. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8289-2>
- Cao, P., Yang, D., Zhu, J., Liu, Z., Jiang, D. y Xu, H. (2018). Estimated assessment of cumulative dietary exposure to organophosphorus residues from tea infusion in

- China. *Environmental health and preventive medicine*, vol 23(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s12199-018-0696-1>
- Chattoraj, S., Mondal, N. K. y Sen, K. (2018). Removal of carbaryl insecticide from aqueous solution using eggshell powder: a modeling study. *Applied Water Science*, 8(6), 63. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0808-5>
- Cisneros Aguirre, Y. (2016). Proyección de escenarios futuros utilizando el modelo hidrológico WEAP en la microcuenca Santa Inés, Honduras (Tesis de Licenciatura). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Concha-Graña, E., Turnes-Carou, M. I., Muniategui-Lorenzo, S., Lopez-Mahía, P., Fernandez-Fernandez, E. y Prada-Rodríguez, D. (2001). Troubleshooting in the trace analysis of organochlorine pesticides in water samples. *Chromatographia*, vol 54, 501–506.
- Cuevas, N., Martins, M. y Costa, P. M. (2018). Risk assessment of pesticides in estuaries: a review addressing the persistence of an old problem in complex environments. *Ecotoxicology (London, England)*, 27(7), 1008–1018.
- Da Cunha, J., Pinelli, L., Bellini, M. I., Davyt, D. y Fernandez-Scavino, A. (2013). Determinación de atrazina e intermediarios de biodegradación en enriquecimientos bacterianos provenientes de cursos de agua superficial de Uruguay. *Laboratorio Tecnológico del Uruguay*,
- Dahshan, H., Megahed, A. M., Abd-Elall, A. M. M., Abd-El-Kader, M. A.-G., Nabawy, E. y Elbana, M. H. (2016). Monitoring of pesticides water pollution-The Egyptian River Nile. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 14(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s40201-016-0259-6>
- Dierkmeier, G. (2001). Plaguicidas residuos efectos y presencia en el medio. *Editorial Científico Técnica*. Recuperado de <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe?IscScript=FAUSAC.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=026791>
- Echeverría-Sáenz, S., Mena, F., Arias-Andrés, M., Vargas, S., Ruepert, C., Van den Brink, Paul J., ... Gunnarsson, J. S. (2018). In situ toxicity and ecological risk assessment of agro-pesticide runoff in the Madre de Dios River in Costa Rica. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(14), 13270–13282. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7817-4>
- Elias, D., Wang, L. y Jacinthe, P.-A. (2018). A meta-analysis of pesticide loss in runoff under conventional tillage and no-till management. *Environmental monitoring and assessment*, 190(2), 79. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6441-1>
- Esper A., M. Y. y Perucca, L. P. (2014). Caracterización morfométrica de la Cuenca del río Seco a propósito de las fuertes precipitaciones de enero de 2013, Departamento Sarmiento, San Juan, Argentina. *ción morfométrica de la Cuenca del río Seco, San JuBoletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Vol 66, 121-132.

- Flora Duarte, C. d. C. (1991). Efectos de los Plaguicidas en Honduras. *Revista Medica Hondureña*, vol 59, 245-250.
- Hamui-Sutton, A. y Varela-Ruiz, M. (2013). Metodología para grupos focales. *Investigación en Educación Médica*, 2, 55–60.
- Huffman, J., Hausman, N. E., Hager, A. G., Riechers, D. E. y Tranel, P. J. (2015). Genetics and Inheritance of Nontarget-Site Resistances to Atrazine and Mesotrione in a Waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) Population from Illinois. *Weed Science*, vol 63, 799–809. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/43700680>
- Reglamento General De La Ley Forestal, Áreas Protegidas Y Vida Silvestre *Diario Oficial La Gaceta*. Instituto de Conservación Forestal 2010.
- Kromer, T., Ophoff, H., Stork, A. y Führ, F. (2004). Photodegradation and volatility of pesticides. *Environmental science and pollution research international*, 11, 107–120.
- Kumar, Y. y Jha, P. (2015). Effective Preemergence and Postemergence Herbicide Programs for Kochia Control. *Weed Technology*, 29, 24–34.
- Lambropoulou, D., Hela, D., Koltsakidou, A. y Konstantinou, I. (2018). Overview of the Pesticide Residues in Greek Rivers: Occurrence and Environmental Risk Assessment. En N. Skoulikidis, E. Dimitriou y I. Karaouzas (Eds.), *The Handbook of Environmental Chemistry: Vol. 59. The Rivers of Greece. Evolution, Current Status and Perspectives* (pp. 205–240). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/698_2015_428
- Larson, J. L., Redmond, C. T. y Potter, D. A. (2014). Impacts of a neonicotinoid, neonicotinoid-pyrethroid premix, and anthranilic diamide insecticide on four species of turf-inhabiting beneficial insects. *Ecotoxicology (London, England)*, 23(2), 252–259. <https://doi.org/10.1007/s10646-013-1168-4>
- Li, L., Zhang, S., Lin, Y., Liu, Y., Li, C. y Zhao, S. (2012). SNP and mtDNA Analysis by PLEX-ID Assay in Maternity Testing When the False Mother Can't be Excluded by 46 STRs Genotyping. *International Journal of Legal Medicine*, 126(1), 121–384. <https://doi.org/10.1007/s00414-012-0711-9>
- Long, K., Leung, V. C.M., Zhang, H., Feng, Z., Li, Y., Zhang, Z., ... Jin, S. (Eds.) 2018. *SWAT Hydrological Model and Big Data Techniques: 5G for Future Wireless Networks*: Springer International Publishing.
- Mao, M., Cryer, S. A., Altieri, A. y Havens, P. (2018). Predicting Pesticide Volatility Through Coupled Above- and Belowground Multiphysics Modeling. *Environmental Modeling & Assessment*, 23(5), 569–582. <https://doi.org/10.1007/s10666-018-9594-6>
- Marsh, L., Zoumenou, V., Cotton, C. y Hashem, F. (2017). Organic farming: knowledge, practices, and views of limited resource farmers and non-farmers on the Delmarva Peninsula. *Organic Agriculture*, 7(2), 125–132. <https://doi.org/10.1007/s13165-016-0150-x>

- Mhadhbi, L. y Beiras, R. (2012). Acute Toxicity of Seven Selected Pesticides (Alachlor, Atrazine, Dieldrin, Diuron, Pirimiphos-Methyl, Chlorpyrifos, Diazinon) to the Marine Fish (Turbot, *Psetta maxima*). *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(9), 5917–5930. <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1328-9>
- Moreno-González, R. y León, V. M. (2017). Presence and distribution of current-use pesticides in surface marine sediments from a Mediterranean coastal lagoon (SE Spain). *Environmental science and pollution research international*, 24(9), 8033–8048. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8456-0>
- Mottes, C., Lesueur-Jannoyer, M., Le Bail, M. y Malézieux, E. (2014). Pesticide transfer models in crop and watershed systems: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(1), 229–250. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0176-3>
- Nagara, G., Lam, W.-H., Lee, N. C. H., Othman, F. y Shaaban, M. G. (2015). Comparative SWOT Analysis for Water Solutions in Asia and Africa. *Water Resources Management*, 29(1), 125–138. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0831-8>
- Odukkathil, G. y Vasudevan, N. (2013). Toxicity and bioremediation of pesticides in agricultural soil. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 12(4), 421–444. <https://doi.org/10.1007/s11157-013-9320-4>
- Orta, L. O. (2002). Contaminación de las aguas por plaguicidas químicos. *Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal*, vol 6.
- Parween, M., Ramanathan, A., Khillare, P. S. y Raju, N. J. (2014). Persistence, variance and toxic levels of organochlorine pesticides in fluvial sediments and the role of black carbon in their retention. *Environmental science and pollution research international*, 21(10), 6525–6546. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-2531-6>
- Peyrard, X., Liger, L., Guillemain, C. y Gouy, V. (2016). A trench study to assess transfer of pesticides in subsurface lateral flow for a soil with contrasting texture on a sloping vineyard in Beaujolais. *Environmental science and pollution research international*, 23(1), 14–22. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4917-5>
- Primel, E., Caldas, S. y Escarrone, A. (2012). Multi-residue analytical methods for the determination of pesticides and PPCPs in water by LC-MS/MS: a review. *Open Chemistry*, 10(3), 1982. <https://doi.org/10.2478/s11532-012-0028-z>
- Rasolonjatovo, M. A., Cemek, M., Cengiz, M. F., Ortaç, D., Konuk, H. B., Karaman, E., ... Göneş, S. (2017). Reducción de los residuos de metomilo y acetamiprid de los tomates después de varias soluciones de lavado domésticas. *International Journal of Food Properties*, 20(11), 2748–2759. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1250099>
- Saha, S., Mondal, R., Mukherjee, S., Sarkar, M. y Kole, R. K. (2017). Persistence of acetamiprid in paddy and soil under West Bengal agro-climatic conditions. *Environ Monit Assess*, 189 (4). Recuperado de <https://sci-hub.tw/10.1007/s10661-017-5871-0>

- Sanchez-Hernandez, J. C. (2001). Wildlife Exposure to Organophosphorus Insecticides. En G. W. Ware (Ed.), *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 0179-5953: Vol. 172. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. Continuation of Residue Reviews* (Vol. 172, pp. 21–63). New York, NY: Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0159-2_2
- Sanders, C. J., Orlando, J. L. y Hladik, M. L. (2018). Detections of Current-Use Pesticides at 12 Surface Water Sites in California During a 2-Year Period Beginning in 2015. *United States Geological Survey (USGS)*, 40. Recuperado de <https://doi.org/10.3133/ds1088>
- Sangchan, W., Bannwarth, M., Ingwersen, J., Hugenschmidt, C., Schwadorf, K., Thavornyutikarn, P., ... Streck, T. (2014). Monitoring and risk assessment of pesticides in a tropical river of an agricultural watershed in northern Thailand. *Environmental monitoring and assessment*, 186(2), 1083–1099. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3440-8>
- Saranjampour, P. y Armbrust, K. (2018). Repeatability of n-octanol/water partition coefficient values between liquid chromatography measurement methods. *Environmental science and pollution research international*, 25(15), 15111–15119. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1729-4>
- Sarraute, S., Husson, P. y Gomes, M. C. (2019). Effect of the diffusivity on the transport and fate of pesticides in water. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(4), 1857–1872. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1815-7>
- Segawa, R., Levine, J., Neal, R. y Brattesani, M. (2014). Community air monitoring for pesticides. Part 1: selecting pesticides and a community. *Environmental monitoring and assessment*, 186(3), 1327–1341. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3507-6>
- Shoda, M. E., Nowell, L. H., Stone, W. W., Sandstrom, M. W. y Bexfield, L. M. (2018). Data Analysis Considerations for Pesticides Determined by National Water Quality Laboratory Schedule 2437. *United States Geological Survey (USGS)*, *Reporte de Investigación 2018-5007*. Recuperado de <https://doi.org/10.3133/sir20185007>.
- Skoulikidis, N., Dimitriou, E. y Karaouzas, I. (Eds.). (2018). *The Handbook of Environmental Chemistry: Vol. 59. The Rivers of Greece: Evolution, Current Status and Perspectives*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Tian, F., Liu, W., Fang, H., An, M. y Duan, S. (2014). Determination of Six Organophosphorus Pesticides in Water by Single-Drop Microextraction Coupled with GC-NPD. *Chromatographia*, 77(5-6), 487–492. <https://doi.org/10.1007/s10337-013-2609-1>
- Uchikawa, M., Uchikawa, K., Gomes, F., Bruna, C., Souza, R. y Lascala, C. (2013). Eficacia de la desinfección con alcohol al 70% (p/v) de superficies contaminadas sin limpieza previa. *Latino-Am. Enfermagem*, 21, 1–6.

- Veris, A. (2016). Atenas. *Revista Científico Pedagógica*, 2, 34. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvuzamoranosp/detail.action?docID=5350271>
- Wang, F., Zhu, L., Wang, X., Wang, J. y Wang, J. (2015). Impact of Repeated Applications of Metalaxyl on Its Dissipation and Microbial Community in Soil. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226(12), 135. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2686-x>
- Wang, L. K., Hung, Y.T. y Shamma, N. K. (2006). Advanced Physicochemical Treatment Processes. *Humana Press Inc*, vol. 4.
- Wu, Q., Riise, G., Lundekvam, H., Mulder, J. y Haugen, L. E. (2004). Influences of Suspended Particles on the Runoff of Pesticides from an Agricultural Field at Askim, SE-Norway. *Environmental Geochemistry and Health*, 26(2), 295–302. <https://doi.org/10.1023/B:EGAH.0000039593.81794.e5>
- Wu, Q., Zhou, X., Li, Y., Zang, X., Wang, C. y Wang, Z. (2009). Application of dispersive liquid-liquid microextraction combined with high-performance liquid chromatography to the determination of carbamate pesticides in water samples. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 393(6-7), 1755–1761. <https://doi.org/10.1007/s00216-009-2625-z>
- Ye, C. (2003). Environmental behavior of the herbicide acetochlor in soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 71(5), 919–923. <https://doi.org/10.1007/s00128-003-0217-8>
- Zimmermann, J. y Stout, J. C. (2016). Underestimating neonicotinoid exposure: how extent and magnitude may be affected by land-use change. *Environmental science and pollution research international*, 23(7), 7050–7054. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6159-6>

7. ANEXOS

Anexo 1. Instrumento para grupos focales con productores/as de microcuencas.

I. Datos generales:

Microcuenca: _____

Zona de la cuenca: Alta Media Baja

Miembro (1): _____ Miembro (2): _____

Miembro (3): _____ Miembro (4): _____ Miembro (5): _____

_____ Miembro (6): _____ Miembro (7): _____

_____ Miembro (8): _____ Miembro (9): _____

_____ Miembro (10): _____

Extensión territorial de la microcuenca (Km2): _____

Fecha de conversación (día/mes/año): ____/ ____/ ____/

II. Clasificación por el tipo de producción

1. ¿Podría describirnos el tipo de cultivo que siembra en sus parcelas? Detallar área para cada cultivo

Cultivo	Área
Café	
Maíz	
Frijol	
Hortalizas	
Otros	

2. ¿Puede describirnos en que épocas realizan la siembra de cada cultivo? ¿en qué fechas aproximadamente se realizan las siembras? (Realizar línea del tiempo)

3. ¿puede detallar las actividades o tareas por cada ciclo de producción de cada cultivo?
¿Qué actividades realizan en cada etapa? (utilizar tarjetas y la cartulina)

Preparación	Siembra	Crecimiento	Cosecha

Continuación de anexo 1.

III. *Identificación de los agroquímicos y forma de aplicación*

4. ¿Qué productos agroquímicos utilizan para cada tipo de cultivo? ¿en qué época los utiliza? ¿Qué plagas/enfermedad controla con los productos mencionados? (identificar nombre comercial o compuestos)

5. ¿Cuál es la **dosis** de agroquímicos que utilizan en cada etapa del ciclo del cultivo? ¿Cuál es la forma de aplicación de cada agroquímico?

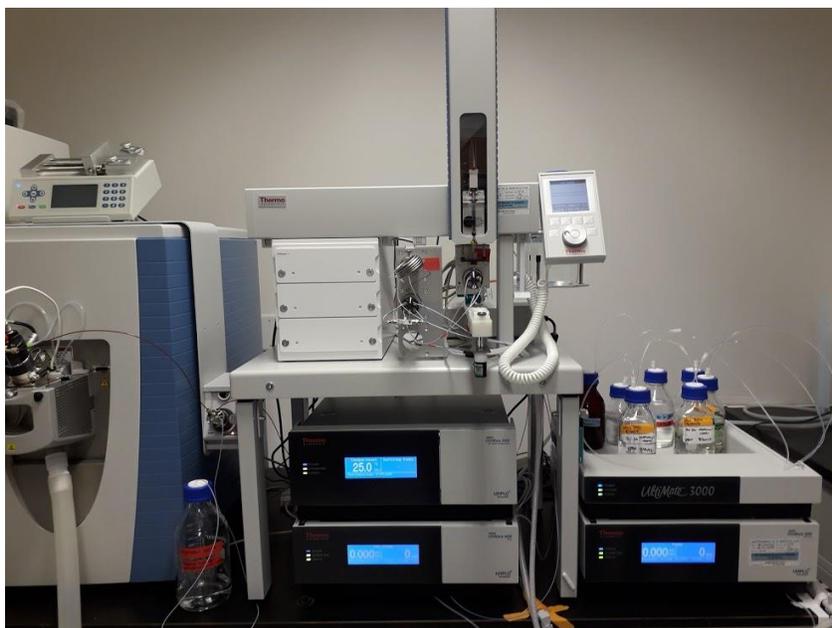
6. ¿Dónde consiguen/compran los productos agroquímicos que utilizan? (casas comerciales)

IV. *Identificación de problemáticas de salubridad*

7. ¿han recibido alguna capacitación o recibido algún tipo de educación en cuanto al uso y almacenamiento de agroquímicos?

8. Una vez se acaba el producto agroquímico (bote o bolsa), ¿Qué hace con ese desperdicio? ¿Dónde lo botan? ¿lavan los botes en el río?

Anexo 2. Espectrofotómetro “Thermo Scientific Quantify Exactive Mass”.



Anexo 3. Resultados del espectrofotómetro para la planta Morocelí.

Sitio de Muestreo	27/10/2018			3/11/2018			10/11/2018			17/11/2018			7/12/2018		
	obra- toma	pre- influyente	pos- CI												
cafféine	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
atrazin-2-hydroxy		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
primicarb															
acetamiprid		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
atrazin-desethyl															
aldicarb Na															
simazine	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
malaoxon		1	1												
carbaryl															
atrazine	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
metalaxyl		1	1												
isoproturon															
trinexapac-ethyl		1	1												
diuron	1	1	1												
azoxystrobin															
ethofumesate															
linuron															
acetochlor-alachlor	1	1	1												
diazinon															

Anexo 4. Resultados del espectrofotómetro para la planta San Matías.

Sitio de Muestreo	27/10/2018			3/11/2018			10/11/2018			17/11/2018			7/12/2018		
	obra-toma	pre-influyente Cl	pos-Cl	obra-toma	pre-influyente Cl	pos-Cl	obra-toma	pre-influyente Cl	pos-Cl	obra-toma	pre-influyente Cl	pos-Cl	obra-toma	pre-influyente Cl	pos-Cl
caffeine	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
acetamidrid			1						1						
dehidroacetic acid	1	1				1			1						
Metribuzin		1	1	1	1	1								1	1
carbaryl					1	1									
atrazine									1						
metalaxyl									1						
isoproturon									1						
diuron	1	1	1			1							1		
terbutylazine									1						
acetochlor-															
alachlor	1		1	1	1	1	1	1					1	1	1
diazinon											1				1

Anexo 5. Resultados de salida del espectrofotómetro para Santa Inés.

	4/11/2018		10/11/2018		18/11/2018		10/12/2018	
	El		El		El		el	
	Hondable	Guayabo	Hondable	Guayabo	Hondable	Guayabo	Hondable	Guayabo
caffeine	1		1		1		1	
Benzisothiazolin-3-one(BIT)		1	1		1		1	
acetamiprid							1	
dehydroacetic acid								1
malaixon							1	
carbaryl	1		1		1		1	
diuron			1		1		1	
diazinon	1		1		1		1	