

Diagnóstico de las prácticas agrícolas en las fincas cultivadas aguas abajo del embalse del Río Pirrís.

Carlos Abarca Castillo¹, Paola Brenes Rojas², Catalina Vargas Meneses³

1.TFG Bachillerato Ingeniería agronómica, Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica; carlosfranciscac@uned.cr

2. Vicerrectoría de Investigación, Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica; paolarjs@gmail.com

3.Universidad Estatal a Distancia (UNED), Laboratorio de Investigación en Agua y Suelos, LIAS – San Marcos, Coordinadora; cvargasm@uned.ac.cr

Resumen: Se realizó una evaluación de uso de suelo una de las fincas cultivadas aguas abajo del embalse del Río Pirrís, con el fin de evaluar el aporte por arrastre de cargas contaminantes al cauce del Río. Lo anterior se ejecutó mediante premonitorio de sedimentación durante 16 semanas y 2 pruebas de laboratorio de agentes asociados a la actividad agrícola. Un estudio se realizó en época de transición verano-invierno y el otro en invierno, con el objetivo de que hubiese capacidad de dilución de agentes contaminantes. Al ser la región de Los Santos una zona geográficamente vulnerable a la erosión hídrica, debido a las constantes precipitaciones durante la época de invierno, el área de estudio se ubicó sobre el cauce de este río. Este estudio buscó evidenciar cómo dos diferentes escenarios de producción contribuyen o no al arrastre superficial de sedimentos y que tipo de Buenas Prácticas Agrícolas se ejecutan en las fincas para mitigar los daños. Una vez finalizado el proyecto se concluyó que en la finca evaluada existe ausencia de BPA, facilitando el arrastre de sedimentos, así como también, alteraciones sobre la calidad del agua de esta cuenca. Al final se recomienda realizar los análisis químicos de forma mensual para evitar que las moléculas de los plaguicidas se degraden y se disipen a consecuencia de su alta solubilidad en agua y también realizar un análisis químico al agua con sedimentos capturados en las gavetas a nivel de finca, con la finalidad de obtener mejores resultados.

Palabras claves: Agentes contaminantes, sedimentación, verano-invierno, estudio de laboratorio, BPA

Abstract: An evaluation of land use was carried out in one of the cultivated farms downstream of the Pirrís River reservoir, in order to evaluate the contribution of polluting loads to the river bed. The foregoing was carried out through a premonitory of sedimentation for 16 weeks and 2 laboratory tests of agents associated with agricultural activity. One study was carried out in the summer-winter transition period and the other in winter, with the aim of having a capacity to dilute polluting agents. As the Los Santos region is a geographically vulnerable area to water erosion, due to the constant rainfall during the winter season, the study area was located on the course of this river. This study sought to show how two different production scenarios contribute or not to surface dragging of sediments and what kind of Good Agricultural Practices are carried out on farms to mitigate damage. Once the project was completed, it was concluded that there is an absence of BPA on the evaluated farm, facilitating the dragging of sediments, as well as alterations to the water quality of this basin. In the end, it is

recommended to carry out the chemical analyzes on a monthly basis to prevent the pesticide molecules from degrading and dissipating as a result of their high solubility in water and also to carry out a chemical analysis of the water with sediments captured in the drawers at the farm level in order to obtain better results.

Key words: Polluting agents, sedimentation, summer-winter, laboratory study, BPA.

Introducción

El agua es un recurso natural muy importante para la vida, debido a que la mayoría de las actividades económicas y de salubridad de los seres humanos se generan a partir de ella. Sin embargo, esto no significa que sea una riqueza bien apreciada, ya que en los últimos años se han encontrado residuos contaminantes asociados a la actividad humana y entre ellas la agropecuaria. Se sabe que más del 70% de la superficie del planeta está cubierta por agua, por lo tanto, es responsabilidad del ser humano velar porque los ríos y quebradas no se conviertan el destino ideal y vertedero usual de los plaguicidas que se utilizan en la actividad agropecuaria (Vargas y Marín, 2016; Molina, 2014). Si bien es cierto, la expansión de la frontera agrícola, desde el punto de vista económico, busca obtener mejoras monetarias en un territorio, contrariamente está propiciando desequilibrios importantes en el medio ambiente con la remoción de bosques y pérdidas sustanciales de suelo. En Costa Rica esta situación se evidencia con los más de 100 km cuadrados de terreno que han sido afectados por una pérdida potencial del suelo, a consecuencia de crecimiento abismal de la actividad agropecuaria y el impacto del urbanismo desordenado (Comisión Nacional de Emergencias (CNE), 2012). Según el MAG (2010), por esta situación, el uso de agroquímicos en la actividad agrícola ha auge muy importante en la última década, pero su uso desmedido ha repercutido directamente en la calidad del agua. Costa Ricas está muy ligado a esta situación, y su contribución a la contaminación de aguas se da principalmente, por que la planificación del sector agrícola no se realiza en función a la capacidad de uso de suelo y a su vez, porque no se ejecutan buenas prácticas agrícolas para mitigar efectos secundarios.

En la región de los Santo no hay estudios relacionados a contaminación por agroquímicos, por lo tanto, este trabajo es una herramienta sumamente útil en la búsqueda de resultados relacionados a la mala planificación y posible arrastre de partículas de suelo contaminadas, aguas abajo del embalse del Río Pirrís. Con esto se podría hacer eco para que los productores de una determinada región fomenten nuevas estrategias agrícolas en sus modelos de producción, e inclinen su visión hacia prácticas más educadas, que permitan reducir el impacto de la huella hídrica si es que se está propiciando (Chinchilla *et al.*, 2011; Rodríguez, 2016) (CNE, 2012).

Materiales y Métodos

El trabajo de investigación se llevó a cabo en la parte baja de la cuenca del Río Pirrís, aguas abajo del embalse en dos etapas: una en campo y otra en laboratorio. En campo el estudio se llevó a cabo en San Jerónimo de Tarrazú, coordenadas 9.64200-84.130288. La finca seleccionada es del señor Tulio Monge y se dedica a producir café. El terreno tiene una extensión de 54 251 m², presenta una precipitación anual de 2.400 milímetros, una temperatura promedio de 15 a 24 °C, una humedad relativa de 87% y una altitud cercana a los 700 m.s.n.m.



Figura 1. Mapa de la unidad observacional de muestreo.

Para los análisis de laboratorio se dispuso de tres espacios diferentes: el Laboratorio de Aguas y Suelos ubicado en el Centro Universitario de San Marcos de Tarrazú (LIAS), el Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA) y en el Instituto de Investigación en Salud (INISA). El proyecto se consideró una investigación del tipo cuantitativo contando con variables de respuesta como indicadores que permitieron evidenciar alteraciones fisicoquímicas y biológicas en la calidad del agua de esta cuenca.

Para el diseño experimental se tomaron en cuenta dos parcelas en una finca que drena sus aguas cerca del cauce del río Pirrís y que tiene dos escenarios de producción completamente distintos (un área en asocio con árboles nativos y áreas expuestas), potencial de erosión hídrica y diferentes pendientes. Para conocer las pendientes en ambos escenarios se usó un Clinómetro y una bitácora de campo, se hizo un estudio de variables en finca. Para determinar la profundidad efectiva del lugar fue necesario ir a ambas parcelas experimentales, seleccionar 3 unidades de muestreo, realizar tres aperturas y medir con una cinta métrica la profundidad a la cual existe un buen desarrollo radicular.

Para determinar la cantidad de suelo arrastro por la escorrentía superficial se construyeron dos gavetas, una en cada escenario. Estas gavetas se ubicaron en la parte inferior del ensayo y sus dimensiones fueron 1 m de ancho por 50 cm de profundidad. Para ello se utilizó un Pico, Palín, Pala, Sarán, Plástico negro, Regla, Macana, Romana. En el ensayo se evaluó ciertas actividades que influyeron directamente en el desarrollo del proyecto. Se evaluaron los cultivos de cobertura, las prácticas de conservación de suelo (terrazas, canales de desviación, drenajes) y el manejo general de arvenses en finca. Estas observaciones se realizaron durante las 16 semana de ensayo. Para la evaluación de parámetros climáticos se utilizó una estación meteorológica brindada por el LIAS, la cual se instaló en una zona cercana al área experimental. Con esta se cuantificaron parámetros como temperatura, humedad relativa y precipitación durante las 16 semanas de ensayos. Para recoger muestras de agua de río y su posterior análisis físico químico, se realizó una unidad de muestreo de 4m² en el área experimental del río y se extrajeron tres muestras que se promediaron para obtener un resultado final. Posteriormente, se extrajo una muestra representativa de misma unidad de muestreo para análisis microbiológico, con la ayuda de una bolsa estéril de plástico con cierre hermético. Del mismo modo se extrajo una muestra representativa para análisis químico de plaguicidas, en este caso con la ayuda de una botella ámbar.

Esta práctica se realizó en dos ocasiones para análisis fisicoquímico y microbiológico, una en época de transición verano-invierno y la otra en invierno. Mientras que, para análisis de plaguicidas, solamente en una ocasión, en época de transición verano-invierno. Para obtener las muestras directamente de río, se realizó: rotular los recipientes, ingresar al río, situarse en la línea trazada en la unidad de muestreo a favor de corriente (contra corriente solo para análisis microbiológico), esperar a estabilizarse el agua, introducir el recipiente a la mitad de profundidad del cauce, salir del cauce, colocar la muestra en hielera y analizarlo. En los estudios de laboratorio, los datos evaluados se analizaron bajo el Método para el análisis de residuos de plaguicidas en muestras de agua por cromatografía de líquidos acoplado a espectrometría de masas con triple cuadrupolo y/o cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas con triple cuadrupolo. Se planteó tomar muestras en época de transición verano-invierno e invierno con el fin de que existiera capacidad de dilución de agentes contaminantes en el agua. Al final, los datos del primer muestreo se contrapusieron con los datos del segundo estudio y se compararon con los máximos admisibles del Reglamento para la Calidad del Agua y según Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales. En el caso del estudio de plaguicidas, se planteó una sola extracción tras la primera llena de abril, para que existiese arrastre de partículas residuales de plaguicidas utilizados en la actividad agrícola en períodos anteriores.

RESULTADOS

En las zonas cercanas al cauce del Río Pirrís el uso actual del suelo se encuentra bastante alterado con relación a su cobertura natural, debido a que con el pasar de los años gran parte del bosque primario fue removido para darle paso a la actividad agrícola. Ver figura 2 y 3.



Figura 2. Cultivo con cobertura boscosa.
San Jerónimo 2022.



Figura 3. Cultivo sin cobertura boscosa.
San Jerónimo 2022.

En la en determinación de las variables que participan en la escorrentía superficial se registraron los siguientes datos: la parcela sin cobertura boscosa presentó una pendiente promedio de 27%, una profundidad efectiva de 50 cm, siembras a contorno, se realizó un manejo integrado de sombra, manteniendo la cobertura de poro y banano durante todo el ensayo, además, se dio un manejo cultural de arvenses y no se realizaron terrazas ni canales de desviación. En el sistema de producción agroforestal (en asocio con árboles nativos) la parcela presentó una pendiente más pronunciada, la cual fue de 34,4%, una profundidad efectiva de 60 cm, existen siembras a contorno y di se dio un manejo cultural de arvenses. Contrario la otra parcela, en este escenario no existe poro ni banano y tampoco se realizaron terrazas ni canales de desviación. El Cuadro 1 resume estos resultados.

Cuadro 1. Variables obtenidas en los sistemas de producción.

VARIABLES	Sistema de producción sin cobertura boscosa	Sistema de producción con cobertura boscosa	Condiciones ideales para cultivos perennes*
Pendiente	27%	34,4%	15-60%
Profundidad efectiva	50	60	Mayor a 30%
Canales de desviación	No existen	No existen	Presencia
Cultivos de cobertura	Poro y banano	Árboles nativos	Presencia
Terrazas	Existen	No existen	Presencia
Manejo de Arvenses	Cultural	Cultural	Cultural
Siembras a contorno	Presencia	Presencia	Presencia

Nota* Condiciones ideales para cultivos perennes, según Chichilla (2011).

En la determinación de la cantidad de suelo arrastrado por escorrentía, en la parcela sin cobertura boscosa se capturó un promedio semanal de 29 g durante un periodo de 16 semanas. La captura de sedimentos no mostro un comportamiento lineal con el parámetro lluvia conforme pasaron las semanas. La determinación de la cantidad de suelo arrastrado por escorrentía en la parcela dedicada al cultivo de café en asocio con árboles nativos capturó un promedio semanal de 55,25 g en el periodo de 16 semanas. La figura 3 evidencia como la gaveta 2 (área con cobertura boscosa), mantuvo la tendencia a una mayor captura de sedimentos durante las 16 semanas evaluativas y además, como no existió ninguna relación con el parámetro lluvia.

Las figuras 4 y5 muestra como en un estudio de gama de dispersión el arrastre de sedimentos y la precipitación no tuvieron ninguna relación estadística significativa en ninguno de los dos escenarios, ya que los datos no se encuentran agrupados en el centro, sino que más bien se hallan ampliamente dispersos mostrando una nula dependencia entre ambas variables.

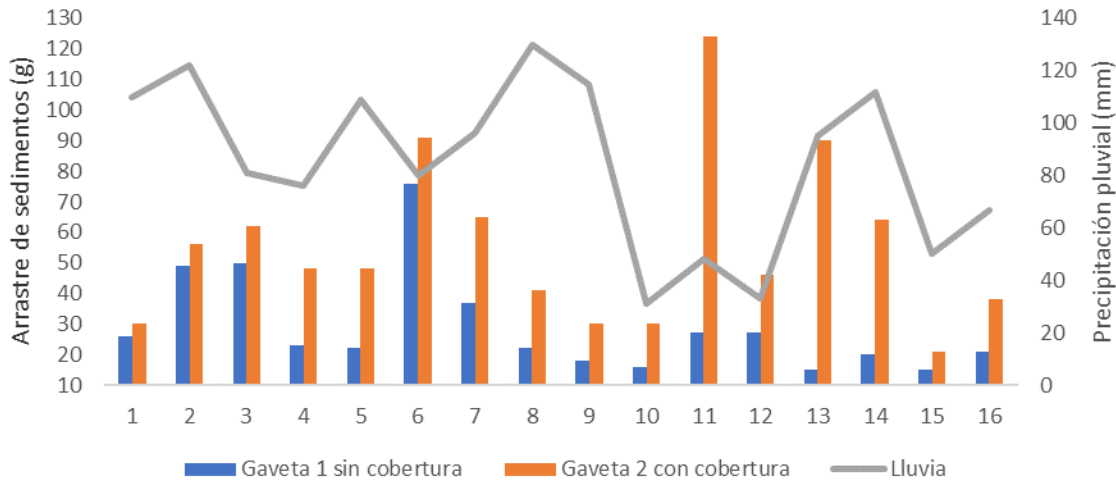


Figura 4. Comportamiento de las gavetas y su relación con el parámetro de lluvia

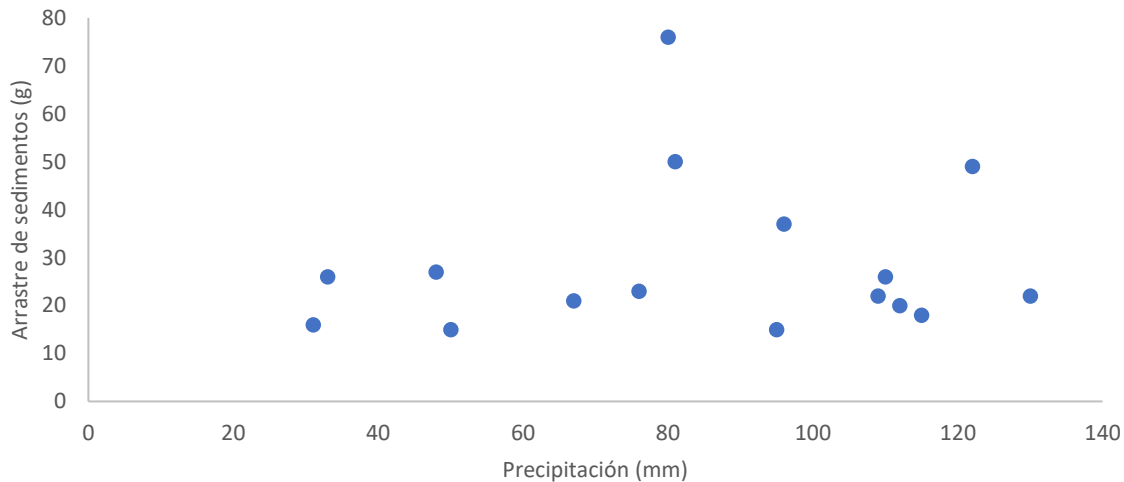


Figura 5. Dispersión de arrastre de sedimentos en área las parcelas evaluadas, en relación con la precipitación.

El análisis estadístico muestra cómo los datos de arrastre de sedimentos en ambas gavetas no siguen una distribución normal, ya que no recaen en una línea recta, sino que más bien se alejan formando una curvatura. Las siguientes gráficas muestran una inexistente correlación lineal entre el arrastre de sedimentos y la cantidad de lluvia caía, relacionados semanalmente. Ver figura 6.

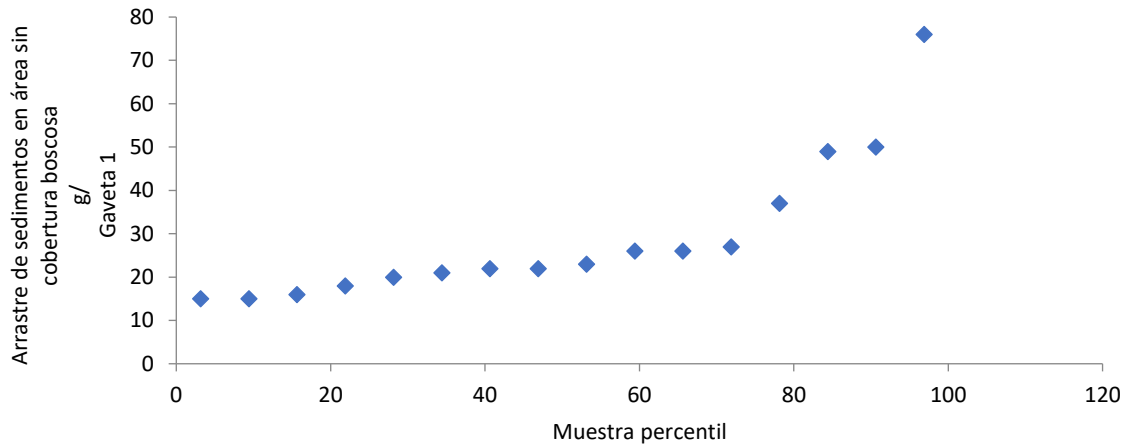


Figura 6. Comportamiento del arrastre en áreas evaluadas. Probabilidad normal.

Cuadro 2. Datos del análisis de microbiología en muestra extraída antes y después de la entrada de las lluvias.

Época de Muestras	Descripción de la muestra	Resultado de Coliformes fecales	Resultado de <i>Escherichia coli</i>	Admisible para consumo humano con desinfección simple*
Transición Verano-invierno	Río Pirrís, Tarrazú	2,2 * 10 ³ NMP/ 100 ml	2,2 * 10 ³ NMP/ 100 ml	2*10 ¹ NMP/ 100 ml
Invierno	Río Pirrís, Tarrazú	3,5 X 10 ² NMP/ 100 ml	3,5 X 10 ² NMP/ 100 ml	2*10 ¹ NMP/ 100 ml

Nota.

* Valor máximo admisible para ambos grupos de bacterias en agua para consumo humano con desinfección simple, según el reglamento para la evaluación y clasificación de cuerpos de aguas superficiales

Algunos de los parámetros fisicoquímicos medidos sobre el cauce del Río Pirrís en época de transición verano-invierno, sufren algunos cambios importantes con respecto a los datos obtenidos en época de invierno.

Cuadro 3. Datos de las variables químicas medidas directamente en la calidad de agua del Río Pirrís, antes y después de la entrada de las lluvias.

Variable	Dato obtenido en promedio antes de la entrada de las lluvias	Dato obtenido en promedio después de la entrada de las lluvias	Valores admisibles***
pH	7,28	8,14	8,5
Temperatura °C	26,67	11,9*	30
Salinidad ppt	0,06	0,06	25
Conductividad mS/m	124,7	121,1	400
Oxígeno disuelto O ₂ mg/L	29,7	29,4	<20
Turbiedad grande ntu	89,8**	42,3	25
TDS mg/L	83,1	79,9	250

Notas:

* El dato de temperatura del segundo muestreo resultó bajo. Esta situación se generó debido que la medición no se logró realizar directamente en el río, a consecuencia de las precipitaciones. Para evitar riesgos, la muestra se trasladó al laboratorio en una hielera con hielo y ahí se realizaron las respectivas mediciones.

En la transición verano-invierno se obtuvo un valor de turbiedad muy elevado, ya que el día anterior a la recolección de muestras llovió muy fuerte. Situación que no se esperaba, ya que en abril la presencia de lluvias es apenas mínima.

*** Valor admisible según el reglamento para la evaluación y clasificación de cuerpos de agua superficial.

Los análisis de agua realizados para la muestra tomada en época de transición verano-invierno e invierno, indican que sobre el cauce del Río Pirrís aguas abajo del embalse se presenta un valor de $2 \cdot 10^3$ NMP/ 100 ml y $3,5 \cdot 10^2$ NMP/ 100 ml para las bacterias del grupo Coliformes fecales y $2,2 \cdot 10^3$ NMP/ 100 ml y $3,5 \cdot 10^2$ NMP/ 100 ml para las bacterias del grupo *Escherichia coli*, respectivamente. Los datos obtenidos del análisis químico realizado en la muestra de agua extraída del Río Pirrís, después de la primera llena en el mes abril, dan como resultado ND (no detectables) para los plaguicidas utilizados en la actividad agrícola, especialmente para los más utilizados en la actividad cafetalera.

Cuadro 4. Datos obtenidos de laboratorio obtenido de los principales plaguicidas utilizados en actividad cafetalera.

Análisis	Familia	Unidad	Muestra	Límite de detención	Límite de cuantificación	Admisible*
Ametrina	Triazinas	µg/L	ND**	0,018	0,036	60
Cipermetrina	Piretroides	µg/L	ND	0,090	0,16	0,00
Diazinón	Organofosforados	µg/L	ND	0,040	0,075	1
Atrazina	Triazina	µg/L	ND	0,13	0,26	2
Clorpirifos	Organofosforados	µg/L	ND	0,003 6	0,0068	2
Terbufos	Organofosforados	µg/L	ND	0,049	0,094	0,4
Malatión	Organofosforados	µg/L	ND	0,011	0,021	50
2,4-D	Fenoxiácido	µg/L	ND	0,16	0,32	30
PCNB	Organoclorados	µg/L	ND	0,001 2	0,0023	0,3
Tebuconazol	Triazol	µg/L	ND	0,25	0,48	Nd***
Oxifluorfen	Difenil Éteres	µg/L	ND	0,002 8	0,0053	Nd***

Notas:

* Valores admisibles según el reglamento para la Calidad de Agua Potable.

** ND. No detectables según el método utilizado.

*** Nd. No disponible.

Discusión.

La finca evaluada muestra aptitud para el establecimiento de cultivos perennes como café, tal y como se enmarca en el cuadro 1 del apartado de resultados. No obstante, según el CNE (2012) se deben cumplir buenas prácticas agrícolas, donde además de las encontradas, se incluyan canales de desviación, cortinas rompeviento, barreras vivas y terrazas, ya que, de no ser así, una o dos prácticas no son suficientes para atenuar los daños causados por el movimiento de moléculas a los ríos.

Lo anterior se evidencia con los resultados obtenidos en ambos escenarios de producción, ya que en ninguno existió un manejo integrado que canalizara de todas estas BPA, y como consecuencia se mantuvo una tendencia al arrastre de sedimentos durante todo el ensayo. La figura 3 del apartado de resultados evidencia aún más esta situación, ya que la gaveta ubicada en el área con cobertura boscosa mantuvo la tendencia a una mayor captura de sedimentos durante todo el ensayo, con respecto a la gaveta ubicada en la parcela sin árboles nativos. Según Peña et al (2018), la situación anterior se generó porque, una vez establecidos; los cultivos de cobertura, la vegetación nativa y las terrazas juegan un papel muy importante en la mecánica del suelo. Esto se da ya que, al impedirse el golpe directo de las gotas de lluvia con la superficie, al atraparse las partículas con las raíces y al disminuir la velocidad de escorrentía, se evita que el agua se desplace libremente por el interior de las fincas. En la parcela con árboles nativos, la presencia de estos no fue suficiente para reducir las tasas de erosión hídrica, en comparación al escenario donde existían un mayor vinculado de prácticas para mitigar erosión.

Otro de los factores que pudo haber intervenido en la captura de sedimentos durante el ensayo, son los de origen antropogénico. Según FAO (1997) durante las prácticas de nutrición y manejo fitosanitario hay una importante actividad en las fincas que son ajenas al ensayo, y por como resultado en terrenos con pendientes muy pronunciadas, se da lugar a situaciones que favorecen el movimiento de partículas de suelo. Si por accidente se remueve un bloque de suelo cerca de una de las gavetas de ensayo, la lluvia posterior a este acontecimiento podría llevar el suelo removido directamente hacia la gaveta y alterar los resultados del ensayo. Según Chaves (2016) para que exista una correlación lineal entre el arrastre de sedimentos y la cantidad de lluvia caía, el coeficiente de correlación debe acercarse a 1 o a -1.

Según el autor si el valor obtenido es 1 la fuerza de asociación es perfecta, si es de 0,96 es intensa, si se acerca a 0,7 es fuerte, si se encuentra entre 0,4 y 0,7 es moderada, si se ubica entre 0,2 y 0,4 débil y si se encuentra entre 0 y 0,2 es inexistente. Si se toma en cuenta que para ambos escenarios de producción el valor de correlación obtenido fue muy cercano a 0, se corrobora la inexistente correlación que existió entre las variables analizadas. Al no obtenerse un valor de -1, el análisis estadístico indica que siempre que llovió hubo arrastre de sedimentos en ambas gavetas, lo cual sucedió en las 16 semanas de ensayo.

De acuerdo con la clasificación de la calidad de cuerpos de aguas superficiales, el TEC (2019) establece cinco categorías con máximos admisibles para determinar el uso del agua: clase 1 de 0-20, clase 2 de 20-1000, clase 3 de 1000-2000, clase 4 de 2000-5000 y clase 5 que va de 5000 NMP/ 100 ml en adelante. Según los datos del análisis microbiológico de las muestras tomadas en época de transición verano-invierno e invierno, están en las clases 4 y 2, respectivamente, por encima del valor máximo admisible para aguas de consumo humano (TEC 2019). Según Gamboa *et al* (2007) uno de los principales factores que influye en la presencia de estas bacterias es la precipitación, ya que cuando existe un incremento en las lluvias, la presencia de estos agentes en el agua se reduce considerablemente por dilución, concordando con los datos obtenidos en la investigación. En el caso de la época de transición verano-invierno el agua del cauce del Río Pirrís es utilizable con limitantes solamente para el abastecimiento de abrevaderos, actividades pecuarias y para la generación hidrométrica, debido a la alta concentración de agentes por la poca dilución de agua, mientras que en época de invierno es aceptable para acuicultura, protección de comunidades acuáticas, abastecimiento de abrevaderos y actividades pecuarias, y con tratamiento convencional para el abastecimiento de actividades industriales enfocadas en la producción de alimentos de consumo humano (MINAE 2007) (TEC 2019). Según Castillo (2020) las aguas naturales normalmente se encuentran en un ámbito de pH de 6,5 a 8,0 y muestran una alta capacidad para resistir cambios drásticos en su potencial de hidrógeno. En los resultados obtenidos el agua sufre un incremento en su pH, que se debió generar por los iones alcalinos aportados al agua mediante la disolución de rocas y suelos. Esta situación es aceptable, por el uso de enmiendas calcarías usadas para corregir acidez en la actividad cafetalera, una vez entrada la época lluviosa, colocando el pH en la clasificación de cuerpos de aguas superficiales mencionada anteriormente, en la clase 1, aceptable para cualquier tipo de actividad (TEC 2019).

De acuerdo con la categoría de clasificación de aguas de río, el valor del Oxígeno disuelto en las dos muestras analizadas, ubican este parámetro en la clasificación 2, disponible inclusive para consumo con tratamiento convencional. Según FAO (1997), a diferencia de las aguas retenidas o estancadas, las aguas con turbulencia constante todo el año, muestran mayor absorción de oxígeno, ya que la superficie del agua está expuesta al aire, siendo esencial en la conservación de ecosistemas acuáticos. Analizando esto se considera que el oxígeno disuelto en el agua de esta cuenca es aceptable tanto en época de transición como de invierno, ya que al mantenerse en movimiento por el interior de la zona de los Santos se oxigena, permitiendo el establecimiento de organismos acuáticos (MINAE 2007).

Valores muy altos de turbiedad se dan por una elevada concentración de sólidos en suspensión en el agua, que suele ser sucia. Esta variable es una de las medidas más evaluadas para determinar la calidad del agua, y en el caso de aguas superficiales es importante que se encuentre por debajo de 25 NTU. Según FAO (1997) valores elevados de turbiedad impiden que la luz solar penetre el agua, afectando drásticamente el crecimiento de las algas marinas y, además, una de las principales causas que le alteran se asocia a los sedimentos arrastrados por erosión, a través de las fuertes precipitaciones.

Esto se refleja con los datos obtenidos en el cuadro 3 del apartado de resultados, donde en ambos casos el valor se encuentra por encima de 25 NTU valor máximo admisible. Esta situación se esperaba en la evaluación de la muestra extraída en septiembre, al ser época de invierno, pero se presentó de igual manera para la muestra analizada en abril, como resultado del anticipo de las precipitaciones en el periodo 2022. Siendo el agua del cauce del Río Pirrís, en ambos periodos y sin tratamiento previo, utilizable solamente para la generación hidroeléctrica, navegación y riego de especies arbóreas, ya que se ubica en la clase 2 (MINAE 2007).

Según Rodríguez *et al* (2018) existen una serie de mecanismos que participan en la degradación de los plaguicidas y que interfieren en su movilidad hacia cuencas hidrográficas. Entre los más importantes se destacan dos biológicos, los cuales, al reducir la toxicidad del plaguicida, ven afectado su sano desarrollo: el primero se refiere a procesos microbiológicos que suceden en el suelo y agua, y el segundo a microorganismos que metabolizan los plaguicidas después de utilizarlos como fuente alimenticia. Si bien es cierto, también existen procesos de descomposición por hidrólisis, la principal degradación se da durante la conversión de las moléculas de plaguicidas a compuestos más simples, utilizadas por los microorganismos como fuentes de nutrientes.

Un estudio realizado por la FAO (2007) señala que, para obtener resultados eficientes en la evaluación de plaguicidas en el agua, es necesario fomentar un programa de monitoreo constante de campo-laboratorio, donde los estudios se realicen en los momentos de mayor demanda y aplicación de plaguicidas en la actividad agrícola. Sumado a esto, lo más adecuado es realizar análisis químicos también sobre los sedimentos arrastrados en el interior de las fincas, ya que no todos los plaguicidas presentan la misma movilidad. La movilidad de los ingredientes activos se da según sus propiedades fisicoquímicas, la solubilidad en agua y su vida media útil.

Además, los autores señalan que el porcentaje más elevado de escorrentía de moléculas químicas en la actividad agrícola se da a mediados del año, una vez establecidas las lluvias. De modo que se necesita realizar estudios mensuales durante el periodo de aplicación de agroquímicos, ya que muchas de las nuevas moléculas que se usan para el control fitosanitario, se disipan rápidamente tras su aplicación, como resultado de su alta solubilidad (Rodríguez). *et al.*, 2018). Según el Instituto Interamericano de Corporación para la Agricultura (2016) en la caficultura la mayor demanda de agroquímicos se da entre los meses abril-noviembre, ya que durante esta etapa la planta sufre una serie de procesos fisiológicos que la llevan a un mayor desgaste energético, y por consiguiente a una mayor vulnerabilidad para el ataque de patógenos. Si se toma en cuenta lo señalado para las moléculas de plaguicidas y, además, que para esta investigación el estudio de plaguicidas se realizó únicamente después de la primera lluvia en el mes de abril, se puede entender por qué para todas las moléculas analizadas el resultado fue no detectable. Según la teoría, para aspirar a encontrar resultados en estos estudios, lo ideal es realizar análisis químicos después de abril y antes de finalizar noviembre, para que estén ligados a la aplicación de agroquímicos, lo cual no fue bien gestionado para esta investigación, ya que el momento elegido para evaluar este parámetro de calidad agua no fue el más indicado.

REFERENCIAS

Argüello, E; Chaves, A; Chinchilla, A; Navarrete, M. (2015). Posibles efectos en la salud asociados a la exposición al agua para consumo humano contaminadas por plaguicidas en las poblaciones de Milano, Luiciana, y El Cairo, Siquirres. Estudiados entre septiembre 2013 y enero 2014. 1 era, ed. San José, Costa Rica, UCR.

Castillo, O. 2020. Estudio de sustancias naturales como indicadores de pH. 1 era ed. Madrid, EP. RSEQ. 86-97 p.

Chávez, O. 2016. Estadística descriptiva con aplicación a las ciencias forestales. 1era ed. San José, C,R. EUNED. 253 p.

Chinchilla, M; Alvarado, A; Mata, R. (2011). Capacidad de las tierras para uso agrícola en la subcuenca media-alta del río Pirrís, los santos, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 35(1): 109-130.

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE). (2012). 1era ed. San José, Costa Rica, CEN 15 p.

Escobar, J. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. 1 ed, Santiago, Chile, UN.

FAO. 1997. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. 1era ed. Roma, IT, FAO. 100 p.

Fournier L; Ramírez, F; Ruepert, C; Vargas, S; Echeverría S. (2010). Diagnóstico sobre contaminación de aguas, suelos y productos hortícolas por el uso de agroquímicos en la microcuenca de las quebradas Plantón y Pacayas en Cartago, Costa Rica. 1 era ed. Heredia Costa Rica, IRET. 1-40 p.

Gamboa, J.; Gómez, R.; Cárdenas, M.; Campos, C. 2007. Comportamiento de Coliformes fecales como indicadores bacterianos de contaminación fecal en diferentes mezclas de biosólido y estériles utilizados para la restauración ecológica de la cantera soratama, Bogotá. Ed, especial, Bogotá, CO. *Universitas Scientiarum*. 120 p.

- IICA (Instituto Interamericano de Corporación para la Agricultura). 2016. Guía Práctica de Caficultura. Ed rev, Cartago, C,R, IICA. 78 p.
- MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía) 2007. Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la
- Molina, J. (2014). Conservación y uso sostenible del servicio ecosistémico agua. 1era. Ed. San José, Costa Rica, AYA.
- Monge, J. (2021). Calidad fisicoquímica y microbiológica del agua superficial del Río Grande de Tárcoles, Costa Rica: un enfoque ecológico. ed rev. San José, Costa Rica, EUNED.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1997). Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. Ed rev, Roma Italia, FAO. 50 p.
- Peña, W; Muñoz, R; Salazar, C. (2018). Manejo y conservación de suelos tropicales. 1 reim. San José, Costa Rica, EUNED.
- Rodríguez, B; Martínez, L; Peregrina, A; Ortiz, C y Cárdenas, O. 2018. Análisis de residuos de plaguicidas en aguas superficiales. 1era ed. Guadalajara, MX, Terra Latinoamericana. 161 p.
- Rodríguez, E. (2016). La agricultura convencional del cultivo de cacao y su efecto en la erosión del suelo agrícola versus bosque primario en Jauneche–Ecuador. 1 era ed. Guayaquil, Ecuador, UDG.
- TEC (Tecnológico de Costa Rica) 2019. Nuevo índice para valorar la calidad de aguas superficiales en Costa Rica. Tecnología en Marcha. 32 (4): 104-115 p.
- Vargas, E y Marín, A. (2016). Costa Rica demanda una gestión integral del recurso hídrico: escenario latinoamericano y la realidad país. InterSedes. 35(15):1-26