

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA INGENIERÍA AGRÍCOLA

PRÁCTICA PROFESIONAL SOMETIDA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERÍA EN MANEJO DE CUENCAS Y AMBIENTE

EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LA
SUBCUENCA DEL RÍO CAÑO QUEBRADO

MAURICIO GABRIEL GARCÍA BENÍTEZ
CÉDULA: 8-887-212

PANAMÁ, PANAMÁ
REPÚBLICA DE PANAMÁ

2023

**EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LA
SUBCUENCA DEL RÍO CAÑO QUEBRADO**

**PRÁCTICA PROFESIONAL SOMETIDA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERÍA EN MANEJO DE CUENCAS Y AMBIENTE**

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**PERMISO PARA SU APROBACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEBE
SER OBTENIDA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

APROBADO:

PROF. M.Sc. LOURDES RUBATINO

DIRECTOR

PROF. M.Sc. BELMA SOTO

ASESOR

PROF. M.Sc. EDGAR CHACON

ASESOR

PANAMÁ, PANAMÁ

REPÚBLICA DE PANAMÁ

2023

DEDICATORIA

Este trabajo final como profesional en la carrera de Ingeniero en Manejo de Cuencas y Ambiente, va dedicado principalmente a mi madre Eneida Benítez, por darme la oportunidad en brindarme su apoyo total en mis estudios, a mi padre Roberto García, por su apoyo total en mis años como estudiante, a mi sobrino Eddier García, porque quiero ser un guía para él, teniendo una formación profesional en la Universidad de Panamá.

Recordando mi pasión a las actividades del campo, a mi formación como bachiller agropecuario, por el cual es la carrera que elegí, es el área en donde estoy totalmente identificado, y, sin antes mencionar, las motivaciones y ayuda en tiempos de estudios de mis compañeros (as), en seguir estudiando esta carrera.

MAURICIO GABRIEL GARCÍA BENÍTEZ

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme la oportunidad de culminar mis estudios y optar por el título como Ingeniero en Manejo de Cuencas y Ambiente, a mi abuela Justina Prado, porque creyó en mí, y en mis decisiones, a mi abuelo Severo Benítez Ojo (Q.E.P.D), que con sus grandes consejos y ver que estoy enfocado en superarme.

A la profesora, M.Sc. Lourdes Rubatino, por ser el guía, que como docente de educación superior de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Al Ing. M.Sc. José Isaac Mejía, como el investigador del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, por haber abierto las puertas como institución para poder realizar mi práctica investigativa por tesis en suelos, y sin antes mencionar a los productores y dueños de fincas que permitieron realizar los muestreos de suelos en sus propiedades.

También quiero mencionar a mi padrino Heriberto Aguirre, porque siempre ha estado conmigo, en motivarme en seguir adelante y que siempre mantenga pensamientos enfocados en mis metas, a aquellos familiares que han tenido buenos deseos hacia mí, también quiero mencionar al Prof. M.Sc. Roberto Carrillo, que jugó un papel fundamental en mis años como estudiante de Bachiller Agropecuario, de igual forma por su apoyo en conocimientos y guía en diversas asignaciones universitarias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. General	4
1.3.2. Específicos	4
1.4. Alcances y limitaciones	5
1.4.1. Alcances	5
1.4.2. Limitaciones	5
2. Revisión literaria	6
2.1 Suelo	6
2.1.1. Definición de suelo ultisol	6
2.2. Suelos ultisoles en la República de Panamá	7
2.3. Propiedades físicas del suelo	7
2.3.1. Textura del suelo	8
2.3.2. Estructura	8
2.3.3. Color del suelo	8
2.4. Propiedades químicas del suelo	9
2.4.1. El pH	9
2.4.2. Materia orgánica (M.O).	9
2.5. Origen de los metales pesados	10
2.6. Origen natural	11
2.7. Actividad antrópica	11
2.8. Origen agrícola o pecuario	12
2.9. Características de los metales	12
2.9.1. Cadmio (Cd)	13
2.9.2. Cromo (Cr)	13
2.9.3. Cobre (Cu)	13
2.9.4. Níquel (Ni)	13
3. Materiales y Métodos	14
3.1. Área de estudio: Ubicación y división político-administrativa	14
3.1.1. Generalidades	15

3.1.1.1.Clima.....	16
3.1.1.2.Geología.....	16
3.1.1.3.Capacidad agrológica.....	17
3.2.Diseño de muestreo.....	17
3.2.1.Muestreo de suelos.....	20
3.3. Método de análisis en el laboratorio.....	22
3.3.1. Determinación de los metales pesados.....	22
3.3.2. Metodología para la determinación de color.....	23
3.3.3. Determinación de la textura del suelo.....	23
3.3.4. Medición de pH del suelo.....	24
3.3.5. Metodología de proceso de extracto para lectura en espectrofotómetro de absorción atómica, modelo analytik jena contraAA 800.....	24
4. Diseño experimental.....	26
5. Resultados y Discusión.....	27
5.1. Características de los suelos muestreados en la temporada seca, de la subcuenca del Río Caño Quebrado.....	27
5.2. Análisis del contenido de metales pesados, en los suelos de la parte alta, media y baja de la subcuenca del Río Caño Quebrado.....	30
5.3. Análisis estadístico.....	32
6. Conclusiones.....	39
7. Recomendaciones.....	40
8. Referencias bibliográficas.....	41
9. Anexos.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ubicación geográfica de puntos de muestreo, coordenadas (UTM), parte alta.	18
Tabla 2 Ubicación geográfica de puntos de muestreo, coordenadas (UTM), parte media.	18
Tabla 3 Ubicación geográfica de puntos de muestreo, coordenadas (UTM), parte baja.	19
Tabla 4 Clase textural, parte alta.	27
Tabla 5 Clase textural, parte media.	28
Tabla 6 Clase textural, parte baja.	28
Tabla 7 Color suelo (suelo seco), parte alta.	28
Tabla 8 Color suelo (suelo seco), parte media.	29
Tabla 9 Color suelo (suelo seco), parte baja.	29
Tabla 10 Resultados de análisis de la concentración total de metales pesados en suelos de la Subcuenca del Río Caño Quebrado, 2022. Estación seca, parte alta.	30
Tabla 11 Resultados de análisis de la concentración total de metales pesados en suelos de la Subcuenca del Río Caño Quebrado, 2022. Estación seca, parte media.	31
Tabla 12 Resultados de análisis de la concentración total de metales pesados en suelos de la Subcuenca del Río Caño Quebrado, 2022. Estación seca, parte baja.	31
Tabla 13 Concentración de metales pesados, interpretados en promedios, Subcuenca del Río Caño Quebrado, parte alta.	33
Tabla 14 Concentración de metales pesados, interpretados en promedios, Subcuenca del Río Caño Quebrado, parte media.	35
Tabla 15 Concentración de metales pesados, interpretados en promedios, Subcuenca del Río Caño Quebrado, parte baja.	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la subcuenca del Río Caño Quebrado (fuente, anuario hidrológico, ACP, 2022).	15
Figura 2 GPS satelital “GARMIN ETREX 22X”.....	20
Figura 3 Modelos de muestreos de suelo: a) aleatorio simple, b) aleatorio estratificado, c) rejilla sistemática rectangular, d) rejilla sistemática polar.	21
Figura 4 Muestreo de suelo con Barreno Holandés por el método aleatorio simple, completamente al azar.	21
Figura 5 Delimitación de la subcuenca del Río Caño Quebrado, con el trazo del Río, y con puntos de muestreo para la estación seca (Google Earth, 2023).	22
Figura 6 Determinación de color por cartas Munsell.....	23
Figura 7 Etapa de decantación de las partículas del suelo en la metodología de textura.	23
Figura 8 Lectura de pH (pH-metro).	24
Figura 9 Preparación de los extractos de las muestras de suelo.	25
Figura 10 Filtrado de extracto de muestras de suelo.....	26
Figura 11 Calibración del Espectrofotómetro de absorción atómica, para lecturas de los extractos de suelo.	26
Figura 12 Gráfica comparativa de promedios, desviación estándar y la normativa USEPA (1993), de la sección alta de la subcuenca: cobre (Cu), cadmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni).....	33
Figura 13 Dispersión del cobre en donde el 1-B (bosque), tiene mayor presencia, en cuanto la muestra 5-G (ganadería), mostro menos concentración.	34
Figura 14 Se tomo esta variable cromo, por mostrar mayor valor en la muestra de 1-B (bosque), de esta sección alta de la subcuenca.	34
Figura 15 Gráfica comparativa de promedios, desviación estándar y la normativa USEPA (1993), en la sección media de la subcuenca: Cobre (Cu), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Níquel (Ni).....	35
Figura 16 Resumiendo a continuación mostrando una dispersión muy representativa por parte de la muestra 14-G (ganadería), en esta sección media de la subcuenca.....	36
Figura 17 Esta gráfica muestra un cambio directo de datos con mayor concentración de cromo en la muestra 13-B (bosque).	36
Figura 18 Gráfica comparativa de promedios, desviación estándar y la normativa USEPA (1993), en la sección baja de la subcuenca: Cobre (Cu), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Níquel (Ni).	37
Figura 19 En esta grafica se muestran valores de dispersión desde un resultado de alto contenido de la muestra 21-G (ganadería), y una más baja 27-P (piña).....	38
Figura 20 Análisis de dispersión del Cromo, en la sección baja de la subcuenca.	38

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1 Mapa de las comunidades de la subcuenca del Río Caño Quebrado.	45
Anexo 2 Mapa de la capacidad agrológica de la República de Panamá.	46
Anexo 3 Valores extremos y promedios del caudal líquido del Río Caño Quebrado en la estación de Caño Quebrado.	46
Anexo 4 Caracterización química de los suelos muestreados por secciones de la subcuenca del Río Caño Quebrado, 2022.	47
Anexo 5 Caracterización química de los suelos muestreados por secciones de la subcuenca del Río Caño Quebrado, 2022.	48
Anexo 6 Resumen de la concentración total de metales pesados en suelos durante la temporada seca en la sección media de la Subcuenca del Río Caño Quebrado, 2022.	48
Anexo 7 Resumen de la concentración total de metales pesados en suelos durante la temporada seca en la sección baja de la Subcuenca del Río Caño Quebrado. 2022.	48

1. Introducción

La presencia de altas concentraciones de metales pesados en el suelo, han llevado a tener impactos ambientales negativos, conduciendo a la degradación de la calidad de los suelos. Esta condición, al igual que las técnicas intensivas de abonamientos y preparación tradicional del terreno; son las actividades que provocan las afectaciones en los horizontes del suelo y los componentes que este posee.

Los análisis de suelos en la subcuenca del Río Caño Quebrado, permitirán conocer las condicionantes que los cultivos pueden sufrir, así como evaluar el grado de afectación ambiental asociado a los distintos tipos de usos de suelo y de los requerimientos nutricionales que demanden de manera natural en sus respectivos periodos vegetativos.

Esta investigación tiene como totalidad salvaguardar la seguridad hídrica de la cuenca número 115 Río Chagres (Canal de Panamá, embalse del Lago Gatún), mediante la recuperación y calidad de los suelos, de igual forma cuantificar la concentración de los metales pesados que son transportados por la erosión hídrica, a causa de, las precipitaciones de la zona, transportando estos metales pesados a las fuentes hídricas.

La solución a la problemática en la zona canalera implica buscar las mejores técnicas para mantener las condiciones adecuadas de la cuenca, en donde el tema principal es la protección de los bosques, suelos y aguas; esta iniciativa implica el acompañamiento con los productores, para que logren mantener sus predios productivos, sin que ocasionen daños al medioambiente por el manejo de sus actividades.

Es importante lograr condiciones de la fertilidad de los suelos, considerando un periodo de descanso para obtener una resiliencia adecuada.

1.1. Antecedentes

En Panamá, se han realizado investigaciones relacionadas con la determinación de metales pesados en el suelo en distintos sitios de estudio, así como diferentes usos de suelo. Efraín Oses, Xavier Navarro (2022). Estudiaron la evaluación de la concentración de metales pesados en la cuenca del Río Santa María N.º132 (Herrera). Establecidas en las diferentes partes (alta, media y baja); en la época seca.

Santos *et al* (2019) Determino los metales pesados en la cuenca N.º 128 del Río la Villa de las provincias de Herrera y los Santos en la cuenca alta, media y baja de actividad principal agrícola intensiva y ganadera durante los meses de octubre (época lluviosa) 2016 y marzo (época seca) 2017. Seguidamente, efectuaron muestreos en fincas de productores donde se extrajo muestras de los principales cultivos de la zona, y muestras de leche y heces de bovino y productos fitosanitarios como herbicidas y fungicida más utilizados. Todas las muestras de cultivos colectadas presentaron altos valores de Cu, Cr, Cd, As.

Panamá se han realizado diversos estudios para la determinación de metales pesados en suelos, por ejemplo, Espinosa *et al.* (1987), determinaron la concentración de residuos cúpricos y de metales pesados en suelos agrícolas de Barú vinculado con la producción de banano, encontrando niveles de cobre (Cu) superiores a 1000 mg/kg, dificultando la siembra de hortalizas y granos en estos suelos. De este modo, Espinosa (1990), durante el la investigación de su tesis de nivel doctoral en suelos dedicados al cultivo de banano y palma aceitera en Barú, encontró elevados valores totales de cinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), en el suelo, asociándolo con el uso de fungicidas.

1.2. Justificación

Dedicados los esfuerzos a realizar esta investigación sobre los metales pesados en el suelo de la subcuenca del Río Caño Quebrado, perteneciente a la cuenca número 115 Río Chagres, la cual tiene una ubicación cercana al lago Gatún.

En la actualidad se desconoce la concentración de los metales pesados en estos suelos, de modo que, pueden llegar a ser tóxicos para los cultivos, y, por ende, a la población. Además, es importante resaltar el origen de estos metales, ya sea natural o por la aplicación de agroquímicos.

La identificación y descripción de los usos de suelos de la subcuenca, nos permitirá, comparar la evaluación y concentración de estos metales pesados en el suelo, ya que los mismos tienen distintos usos, como lo es en el cultivo de piña MD2 (*Ananas comosus* L.), también variedades de pastos exóticos para la alimentación del ganado bovino y los bosques en conservación.

Por otra parte, dicho afluente constituye en la actualidad una fuente de agua que alimenta al lago Gatún, de gran importancia, para la actividad del Canal de Panamá. Por eso es determinante detectar si hay una contaminación por metales pesados, ya que, en los últimos años, debido al incremento de la población en Panamá Oeste, el lago Gatún abastece de agua a algunas potabilizadoras que suplen del vital líquido a muchas comunidades.

La detección de concentración y evaluación de metales pesados obligaría a los productores de la zona de estudio a mejorar sus técnicas de trabajo para evitar que los metales pesados, producto de las actividades agrícolas y pecuarias, sean transportados hacia los caudales.

Este estudio será basado en la interpretación y representación de los análisis de suelos, identificando las concentraciones de metales pesados presentes en estos. Sus resultados servirán como marco de referencia para evitar la contaminación de la subcuenca del Río Caño Quebrado, dándole una referencia a futuras investigaciones en el país.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

- Evaluar la concentración de metales pesados en suelos de la subcuenca del Río Caño Quebrado en la cuenca número 115 del Canal de Panamá.

1.3.2. Específicos

- Seleccionar puntos estratégicos para el muestreo de los suelos, en la parte alta, media y baja de la subcuenca del Río Caño Quebrado.
- Realizar el análisis de las muestras en el laboratorio de suelos del IDIAP-DIVISA, PANAMÁ.
- Analizar los resultados obtenidos en relación con la acumulación de metales pesados.

1.4. Alcances y limitaciones

1.4.1. Alcances

En este proyecto investigativo, se evaluará la concentración de metales pesados y se analizará el contenido de los elementos del suelo en la subcuenca del Río Caño Quebrado, dentro de este orden de ideas, identificar si hay una posible contaminación o exceso de un elemento que componen estos sitios. Sin embargo, en su mayoría estos sitios no cuentan con estudios edáficos, lo que sé lograr tener un marco de referencia y obtener un levantamiento de datos de los mismos.

1.4.2. Limitaciones

En esta investigación, los sitios de estudios que se analizaron, fueron tomados en la estación seca, lo cual no se pudo trabajar la estación lluviosa y muestras de agua por limitaciones de tiempo. Debe señalarse, que los lugares elegidos para estos resultados, se tomaron con un estudio de prospección y lograr abarcar la mayor parte de la subcuenca, pero sin llevar a hectáreas por la cantidad de muestras que el laboratorio de suelos acepto para trabajar.

Una de las limitaciones en este trabajo, fue el transporte de las muestras al laboratorio de suelos del IDIAP-DIVISA, e ir a trabajarlas al punto ya mencionado, por consiguiente, la demanda de insumos, la utilización de equipos en óptimas condiciones operativas y el presupuesto de proyecto, redujo la posibilidad de concretar con una investigación más detallada de la zona estudiada.

2. Revisión literaria

2.1 Suelo

El suelo puede definirse como un material de profundidad variable, con un contenido sustancial de sólidos en la superficie de la tierra que padecen cambios como consecuencias de procesos biológicos, físicos y químicos (Young *et al.* 1994).

2.1.1. Definición de suelo ultisol

Los ultisoles son los suelos más extensos en las tierras bajas de América tropical, se localizan en posiciones geomorfológicas viejas bajo vegetación de bosque y se caracterizan por presentar un horizonte argílico de acumulación de arcilla, nivel de lavado y meteorización (CIAT 1983). Además, Buol (2004) señaló que estos suelos, la eluviación y la iluviación son los procesos más importantes en el desarrollo del perfil, dándose el caso de acumulación de arcillas en horizontes profundos del perfil, y produciéndose una pérdida de arcillas en horizontes superficiales.

Cabe considerar, por otra parte, la CICH (2007) indicó que los suelos presentes en la zona de estudio son típicos de las zonas tropicales.

2.2. Suelos ultisoles en la República de Panamá

En Panamá, los suelos Ultisoles son importantes, porque representan a nivel del trópico latinoamericano el 20 por ciento, con una extensión estimada de 320 millones de hectáreas y cubren más del 40 por ciento del territorio nacional (Name *et al.* 2004). Por un lado, los ultisoles predominan en toda la costa atlántica de Colón, Veraguas y Bocas del Toro. También ocupan extensiones del sur de Chiriquí, Veraguas y en la zona central de Panamá y Panamá Oeste. En Cambio, CATAPAN (1970) y AED (2004) se refieren a tres órdenes de suelos en el distrito de La Chorrera, destacando principalmente los oxisoles, luego le siguen en importancia los inceptisoles y entisoles.

Cabe considerar por otra parte, Jaramillo *et al.* (1991) que los ultisoles se encuentran en áreas planas y onduladas geomorfas, muy estables; desarrolladas a partir de material sedimentario del mioceno, bajo régimen climático húmedo, en donde las precipitaciones medias anuales oscilan entre 2515 y 2974 milímetros.

2.3. Propiedades físicas del suelo

Según Black *et al.* (1965), las propiedades físicas del suelo se refieren a la forma como se observa, se percibe o se comporta el suelo en procesos que no implican modificaciones químicas, las cuales tienen influencia directa o indirecta sobre el estado del cultivo.

2.3.1. Textura del suelo

Según Baver et al. (1973), Brady y Weil (2013), la textura de un suelo es una propiedad física permanente, que se refiere a la expresión porcentual de las fracciones granulométricas arena, limo y arcilla que lo constituyen. Indica la clasificación textural a la que pertenece de acuerdo al sistema americano (USDA 2010), y al triángulo de textura que se dispone para cada horizonte del suelo. A su vez, CIAT (1983), debido a la presencia del horizonte argílico, los ultisoles tienen mayores contenidos de arcilla en el subsuelo y frecuentemente tienen una textura franca sobre un subsuelo arcilloso.

2.3.2. Estructura

Se puede referir a la estructura del suelo que es la forma de agregarse las partículas del suelo en unidades de mayor tamaño y al espacio vacío asociado a ellas y se caracteriza en cada horizonte atendiendo al grado, forma y tamaño de los agregados (Baver *et al.* 1973).

2.3.3. Color del suelo

En la descripción del color del suelo, Munsell (2013), señaló que es una propiedad física relacionada con la longitud de onda del espectro visible que el suelo refleja al recibir los rayos de luz. En donde, su interés radica en que permite inferir otras propiedades y la respuesta esperable de las plantas. En tanto, Baver *et al.* (1973), Narro (2004) y Brady y Weil (2013), describieron que la coloración del suelo se debe a elementos cromógenos, como el humus que resulta en suelos de color café oscuro o negro y los compuestos de hierro o arcilla que generan colores rojos, pardos y grises.

2.4. Propiedades químicas del suelo

En metodologías para análisis de los suelos, Black *et al.* (1965) y Lora (2003) se refieren a la química de suelo como la ciencia concerniente a la constitución química, a las propiedades y a las reacciones químicas; donde su conocimiento permite interpretar en forma confiable los resultados de los análisis de suelo para su fertilización y manejo en la producción agrícola.

2.4.1. El pH

Según Sánchez (1981), en el trópico abundan los suelos ácidos y, la reacción del suelo está en función de la concentración de iones de hidrógeno (H^+) para suelos ácidos y de hidroxilos (OH) en suelos alcalinos. Castañeda (2003), señalo que los suelos con mejores condiciones para el cultivo de piña, el pH debe estar entre 4.5 hasta 6 y, con niveles muy bajos de aluminio.

2.4.2. Materia orgánica (M.O).

Los estudios de la materia orgánica del suelo, Broadhent (1965) y Porta *et al.* (2003) indicaron que, la biomasa muerta, procedente principalmente de plantas, animales, microorganismos y sus derivados, es la que permite explicar la materia orgánica en los suelos y, es un indicador para evaluar el estado del suelo debido a que su calidad y cantidad influye directa e indirectamente en sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Pulido *et al.* 2010). También se puede mencionar que, Mortensen e Himes (1964) indicaron que, la materia orgánica es una fuente importante de fósforo orgánico

para las plantas, usualmente constituyendo entre el 15 y 80 por ciento del fósforo total del suelo.

2.5. Origen de los metales pesados

Los metales pesados presentes en el suelo considerados tóxicos y en concentraciones que sobrepasan los límites permisibles aceptados son: Plata (Ag), Arsénico (As), Bismuto (Bi), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Paladio (Pd), Platino (Pt), Selenio (Se), Estaño (Sn), y Zinc (Zn). De todos los metales pesados mencionados, solo diez son fácilmente movilizados por la actividad humana en proporciones superiores a las originadas por los procesos geológicos, los cuales son: Plata (Ag), Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Antimonio (Sb), Estaño (Sn) y Talio (Tl) (USEPA, 1993).

En la década de los 80 se reconocían alrededor de 63 000 sustancias sintéticas de uso común, mismas que incrementan anualmente en número de entre 1 000 y 2 000. De este tipo de sustancias, solamente 2 000 eran conocidas toxicológicamente (Albert y Molina, 1985). Esto indica que en la actualidad se usa una gran cantidad de sustancias sintéticas de las que se conocen los problemas que pueden ocasionar en la salud de la población humana y el daño a los ecosistemas.

Los metales son de origen antrópico cuando sus concentraciones son mayores a las correspondientes a su composición geoquímica y son el resultado de las actividades del hombre por actividad industrial, en mineras y agropecuarias (USEPA, 1993).

2.6. Origen natural

La concentración de metales pesados en los suelos debe ser de origen directamente en función de la descomposición litológica y de los procesos edafogénicos que dan lugar al suelo, determinando así la cantidad de metales de manera natural; el suelo debería provenir únicamente de la composición de la roca madre.

El contenido en elementos metálicos de un suelo libre de interferencias humanas depende en primer lugar de la descomposición de la roca madre originaria y de los procesos erosivos sufridos por los materiales que forman el mismo (Adriano, 1986).

2.7. Actividad antrópica

La contaminación de origen antropogénico es producto de la intervención humana en el ciclo biogeoquímico de los metales pesados.

En condiciones naturales, el suelo presenta un estado de equilibrio que puede estar perturbado por acciones entre las que indudablemente merece destacar de forma antrópicas. Las industrias, el tráfico, entre otros, constituyen los emisores antrópicos principales de elementos contaminantes tanto para la atmosfera como para el suelo.

Actualmente, es difícil encontrar una actividad a nivel industrial o un producto con sustancias químicas en los que no intervengan algún metal pesado. Si bien, la tendencia, aunque lenta, es sustituir progresivamente en la industria, algunos metales pesados potencialmente tóxicos por otros materiales más inocuos (Forstner y Wittmann, 1981).

2.8. Origen agrícola o pecuario

Es necesario considerar que la presencia de metales pesados en suelos agrícolas está directamente relacionada con su carácter acumulativo, además que una vez establecidos en los suelos agrícolas y suelos para cultivos es casi imposible erradicarlos, la evolución de la investigación en estos temas define la capacidad casi inadvertida de su no biodegradabilidad hasta alcanzar concentraciones tóxicas, resultando estos suelos no aptos para las actividades de la agricultura.

Se considera como origen ganadero debido a los desechos de los animales y de las aguas de lavado de establos y granjas. La concentración de estos elementos en dichos materiales es variable y depende de tipo de ganado del que se trate, de la edad del animal, tipo de dieta, tipo de establo, e incluso del manejo de los desechos (Adriano, 1986).

2.9. Características de los metales

Según la tabla periódica, es un elemento químico con alta densidad (mayor a 4 g/cm^3), masa y peso atómico por encima de 20, y son tóxicos en concentraciones bajas. Algunos de estos elementos son: aluminio (Al), bario (Ba), berilio (Be), cobalto (Co), estaño (Sn), hierro (Fe), manganeso (Mn), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), cromo (Cr), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plata (Ag), selenio (Se), talio (Tl), vanadio (Va), oro (Au), y zinc (Zn) (Luis Fernando Londoño-Franco P. T.-M.-G., 2016).

2.9.1. Cadmio (Cd)

El cadmio se acumula en los horizontes superficiales de los suelos, pero puede emigrar hasta la capa freática. Su vida media es de 15 a 1 100 años, suponiendo un problema a largo plazo.

Los procesos naturales de liberación de Cd como fuente de contaminación son insignificantes en comparación con el procedente de la actividad humana. La contaminación de suelo proviene de pigmentos, pinturas, baterías, PVC, aleaciones y fertilizantes químicos fosfatados (Yeimy Nieves, 2018).

2.9.2. Cromo (Cr)

El Cr se encuentra de forma natural en todas las rocas, principalmente en las rocas básicas y ultrabásicas. En areniscas y calizas su contenido puede variar entre 100 y 110 mg/kg (Turekian y Wedepohl, 1961, Andreu, 1991).

2.9.3. Cobre (Cu)

En el suelo el contenido de Cu, dependerá de la roca madre. Su biodisponibilidad varía según los valores de pH, de materia orgánica y arcilla.

2.9.4. Níquel (Ni)

Está presente en todas las rocas, su concentración es mayor en las rocas ultrabásicas, disminuyendo cuanto más ácida sea la roca. En suelos desarrollados a partir de rocas básicas o volcánicas y con alto contenido de arcilla y materia orgánica, se presenta en grandes concentraciones. Puede formar quelatos con la materia orgánica muy solubles,

estar presente en óxidos amorfos y quedar absorbidos por las arcillas (Davis, 1980, Andreu, 1991). La aplicación de cal, fosfatos y materia orgánica, previenen la transferencia a la vegetación (Kabata – Pendias y Pendias, 1984; Andreu, 1991).

3. Materiales y Métodos

3.1. Área de estudio: Ubicación y división político-administrativa

El estudio se realizó en la Cuenca Hidrográfica N.º 115 Río Chagres, con un área de 3338 km², específicamente en la subcuenca del río Caño Quebrado y está ubicada al noroeste del distrito de La Chorrera, provincia de Panamá Oeste y tiene parte de su superficie en 6 de los 18 corregimientos de dicho distrito, siendo estos: Amador, Mendoza, Iturralde, Hurtado, Herrera y La Represa. Para efectos de este plan, se cuenta como parte de esta subcuenca, un área que se encuentra entre las desembocaduras de los ríos Los Hules y Caño Quebrado, la que ha sido llamada Área Integrada.

Los límites de esta subcuenca son los siguientes: al norte con el lago Gatún, al este con la subcuenca del río Pescado, al sur con la divisoria de aguas de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CHCP) y las subcuencas de las quebradas; Las Yayas, Las Piedras y Grande (que son afluentes del río Caimito), y al oeste con la subcuenca del río Los Hules-Tinajones (Panamá, Plan de Acción Inmediata del río Caño Quebrado).

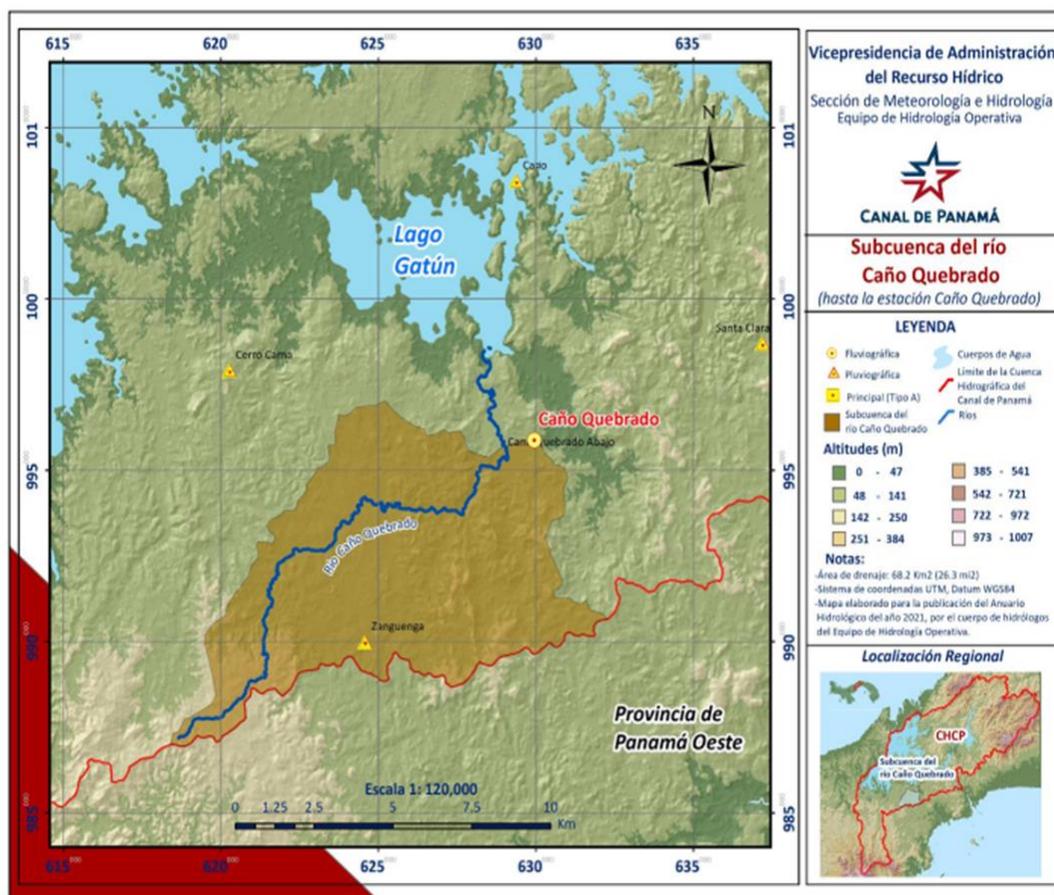


Figura 1 Ubicación de la subcuenca del Río Caño Quebrado (fuente, anuario hidrológico, ACP, 2022).

3.1.1. Generalidades

El río Caño Quebrado nace a 220 m.s.n.m. en la loma del Zaino, al sureste de la comunidad El Amargo (corregimiento de Iturralde), desde donde recorre un total de 19,67 Km, hasta desembocar en el Lago Gatún, justo al este de la comunidad de Pueblo Nuevo (corregimiento de La Represa).

Este río tiene un área de drenaje de 7,413.1 hectáreas, que sumados a las 1,907.4 hectáreas del área integrada, hacen un total de 9,320.5 hectáreas, lo que representa 2.74% del total de la CHCP.

3.1.1.1. Clima

El área de estudio se encuentra dentro de la zona de vida, correspondiente al bosque Húmedo Tropical (bh-T), ubicado al noroeste de Panamá Oeste, la temperatura promedio anual se mantiene dentro del rango de todo el sector oeste de la Cuenca, que es alrededor de los 26.5 °C, con poca variación a lo largo del año. La precipitación tiene variaciones de entre 1,800 a 2,500 mm por año. El caudal promedio anual registrado es de 2.19 m³/s (anuario hidrológico, ACP, 2022). Este clima presenta típicamente dos estaciones distintas, la estación seca de enero a abril y la estación lluviosa, a partir de mayo a diciembre. El 88 por ciento de la lluvia ocurre entre los meses de mayo hasta noviembre. (GUTIÉRREZ, 2018).

3.1.1.2. Geología

La zona de estudio se encuentra ubicada en su posición actual a causa de los movimientos de las placas tectónicas. Esta región está influenciada por cuatro grandes fallas regionales: La Falla Azota, Caballo, Limón y Río Gatún; esta última, con una mayor actividad sísmica con respecto al resto.

Cabe resaltar que las rocas volcánicas intrusivas y extrusivas de esta región, tuvieron su punto más alto o intenso del proceso de formación a partir del Oligoceno y el Mioceno temprano. También, la constituyen rocas de origen volcánico del Mesozoico Terciario específicamente, del período Cretácico. Los suelos se han desarrollado a partir de un material parental, casi uniforme, de rocas ígneas extrusivas basálticas de la formación Tucué como andesitas, basaltos, lavas, brechas tobas y plugs (Atlas Ambiental de Panamá, 2010) (GUTIÉRREZ, 2018).

3.1.1.3. Capacidad agrológica

El sistema de clasificación de capacidades agrológicas de las tierras fue elaborado por el departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), según la clasificación propuesta por Klingebiel y Montgomery (1961), con el objetivo de determinar el uso más adecuado y conservando así los suelos.

A partir de estudios sobre la capacidad agrológica en Panamá, los suelos del área de influencia del ensayo son de tipo IV y V, de aptitud principalmente para la utilización pecuaria y cultivos permanentes (Atlas Ambiental de Panamá, 2010). Estos suelos tienen pendientes de 45 por ciento con alguna o varias de 51 las siguientes limitantes: suelos someros, pedregosidad fuerte, problemas de erosión moderada o riesgo de inundación severo.

3.2. Diseño de muestreo

Los muestreos de suelos fueron tomados en una zona representativa, por el cual se seleccionaron dentro de la subcuenca del Río Caño Quebrado, por consiguiente, dentro del orden de Bosques, Ganadería (pastos o potreros) y el cultivo de piña, dentro de este marco se tomaron nueve muestras con sus repeticiones siendo un total de 27 muestras de la parte alta, media y baja de la subcuenca.

Para la ubicación georreferenciada, se utilizó un equipo de GPS satelital “GARMIN ETREX 22x” configurado en coordenadas UTM y mapeado en el software “Google Earth Pro”.

Tabla 1 Ubicación geográfica de puntos de muestreo, coordenadas (UTM), parte alta.

Sección de la cuenca	Código de muestra	Lugar	Uso del suelo	Latitud (x) M, N	Longitud (y) M, E	Altura m.s.n.m.
Parte alta	1-MP-BS1-ES	El Amargo	Bosque	619133.59	987819.39	167.55
	2-MP-GS1-ES	El Amargo	Ganadería	618976.31	987829.25	159.35
	3-MP-PS1-ES	El Amargo	Piña	619759.72	987283.65	165.25
	4-MP-PS2-ES	El Iguano	Piña	620988.29	989088.62	132.45
	5-MP-GS2-ES	El Iguano	Ganadería	621201.13	989868.41	147.85
	6-MP-BS2-ES	El Iguano	Bosque	620803	988631	151
	7-MP-BS3-ES	El Almendral	Bosque	621332	988568	159
	8-MP-GS3-ES	El Almendral	Ganadería	622131.43	989173.28	159
	9-MP-PS3-ES	El Almendral	Piña	622196.70	989081.57	164

Tabla 2 Ubicación geográfica de puntos de muestreo, coordenadas (UTM), parte media.

Sección de la cuenca	Código de muestra	Lugar	Uso del suelo	Latitud (x) M, N	Longitud (y) M, E	Altura m.s.n.m.
Parte media	10-MP-BS1-ES	La Zanguenga	Bosque	623642	991833	108
	11-MP-GS1-ES	La Zanguenga	Ganadería	624050	991701	102
	12-MP-PS1-ES	La Zanguenga	Piña	623956	991294	109
	13-MP-BS2-ES	Caño Quebrado Arriba N.º1	Bosque	627036	992770	112
	14-MP-GS2-ES	Caño Quebrado Arriba N.º1	Ganadería	626771	992695	105

15-MP-PS2-ES	Caño Quebrado Arriba N.º1	Piña	627442	990674	120
16-MP-GS3-ES	Río Conguito	Ganadería	624856	995260	100
17-MP-PS3-ES	Río Conguito	Piña	623901	994434	113
18-MP-BS3-ES	Río Conguito	Bosque	623746	994137	101

Tabla 3 Ubicación geográfica de puntos de muestreo, coordenadas (UTM), parte baja.

Sección de la cuenca	Código de muestra	Lugar	Uso del suelo	Latitud (x) M, N	Longitud (y) M, E	Altura m.s.n.m.
Parte baja	19-MP-PS1-ES	Caño Quebrado Abajo	Piña	628379	995611	74
	20-MP-BS1-ES	Caño Quebrado Abajo	Bosque	629092	995242	46
	21-MP-GS1-ES	Caño Quebrado Abajo	Ganadería	628873	995490	36
	22-MP-GS2-ES	Calabacito	Ganadería	628322	997049	64
	23-MP-PS2-ES	Calabacito	Piña	628344	997031	68
	24-MP-BS2-ES	Quebrada Lagarto	Bosque	629631	995260	50
	25-MP-BS3-ES	Quebrada Lagarto	Bosque	629758	996398	52
	26-MP-GS3-ES	Quebrada Lagarto	Ganadería	629699	996493	58
	27-MP-PS3-ES	Calabacito	Piña	628118	996732	85



Figura 2 GPS satelital “GARMIN ETREX 22X”.

3.2.1. Muestreo de suelos

Para realizar los puntos de muestreo de los suelos en temporada seca en la parte Alta, Media y Baja de la subcuenca del Río Caño Quebrado, se trazó el área rectangular (conocido como trilla) de 10x30 metros utilizando el método sistemático o de rejilla a distancias uniforme en zigzag (Mason, 1992), donde se tomaron 15 submuestras a una profundidad de 0-30 cm hasta obtener una muestra compuesta (Valencia y Hernández, 2002) dado por la topografía y la actividad principal del área (figura 3 y 4), para lograr una mejor representación de la zona muestreada, se aplicó el diseño, completamente al azar para obtención de las muestras (el laboratorio de suelo donde se analizaron las muestras, exige al menos medio kilogramo de suelo para sus estudios correspondiente).

Se utilizó el tipo de muestreo (a), recomendable para áreas homogéneas menores de cinco hectáreas, delimitadas por referencias visibles a lo largo y ancho de toda la zona (Valencia y Hernández, 2002).

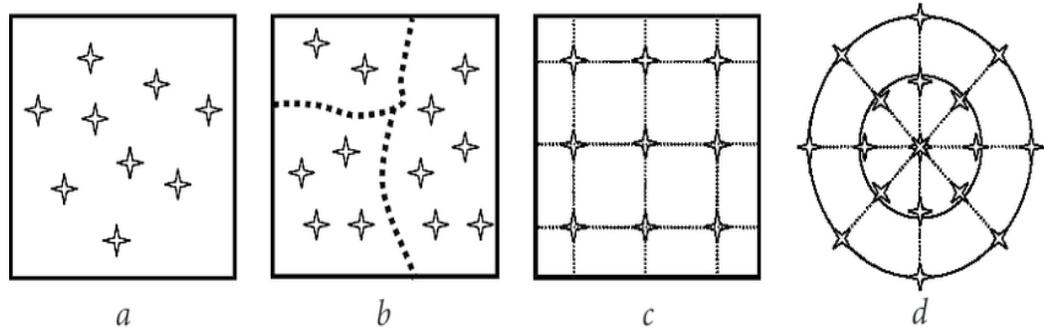


Figura 3 Modelos de muestreos de suelo: a) aleatorio simple, b) aleatorio estratificado, c) rejilla sistemática rectangular, d) rejilla sistemática polar.



Figura 4 Muestreo de suelo con Barreno Holandés por el método aleatorio simple, completamente al azar.

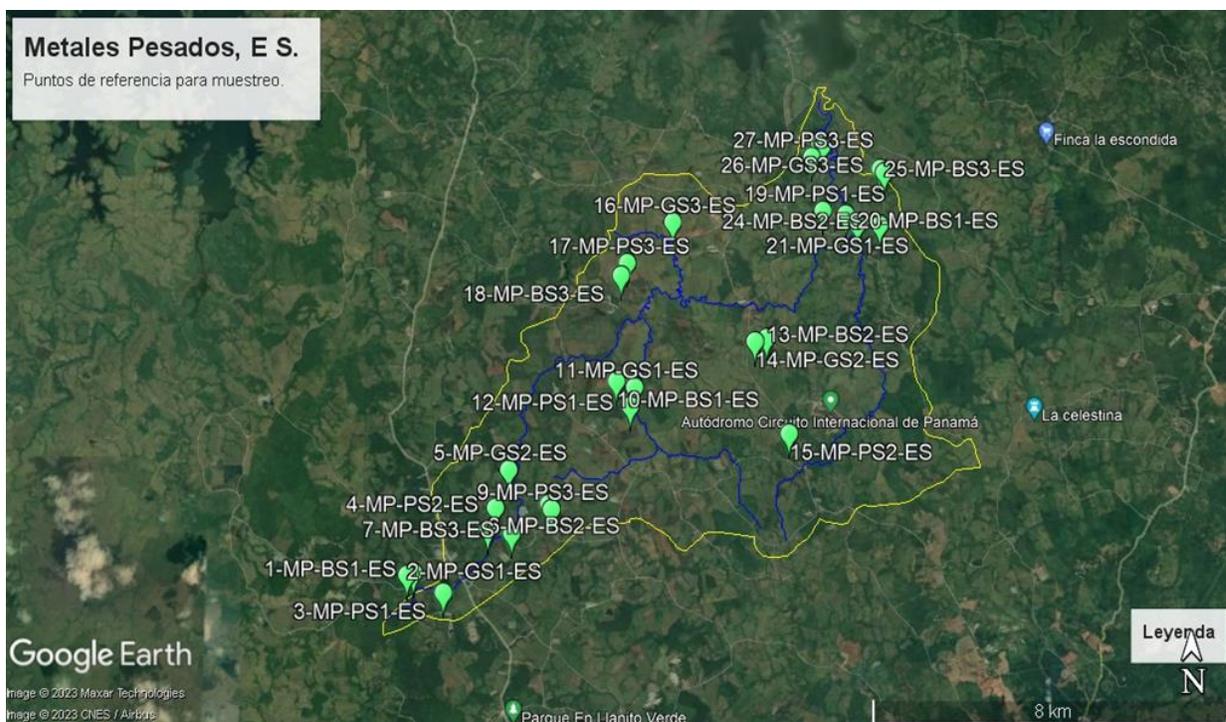


Figura 5 Delimitación de la subcuenca del Río Caño Quebrado, con el trazo del Río, y con puntos de muestreo para la estación seca (Google Earth, 2023).

3.3. Método de análisis en el laboratorio

Las muestras de suelo obtenidas en los puntos de muestreo, se caracterizaron tanto físico como químico, siguiendo las metodologías que se utilizan en el Laboratorio de suelos del IDIAP (Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá) con sede en Divisa (Villarreal y Name, 1996).

3.3.1. Determinación de los metales pesados.

Los metales pesados que se detectaron en los análisis son él: Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni).

3.3.2. Metodología para la determinación de color

Para la determinación del color de los suelos, se implementó el método estándar de cartas Munsell (Munsell SOIL-COLOR CHARTS with genuine Munsell color chips, 2009 Year Revised/2021 Production).

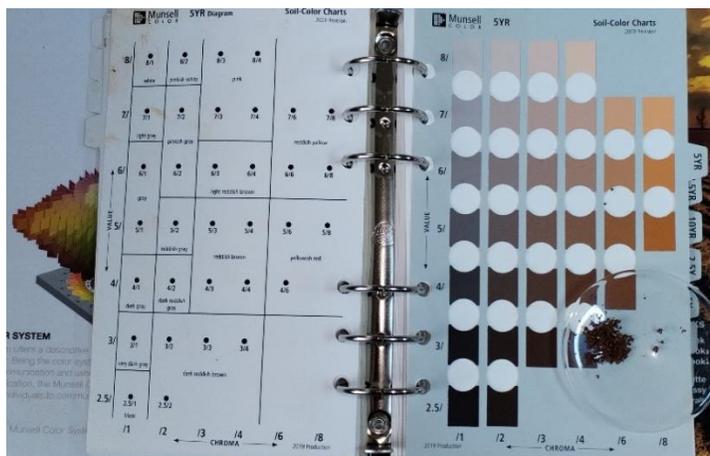


Figura 6 Determinación de color por cartas Munsell

3.3.3. Determinación de la textura del suelo

Se determinó la textura del suelo, porcentaje (%) de arena, limo y arcilla, con el método del hidrómetro de Bouyoucos, tomando dos lecturas (Bouyoucos 1962) (Figura 7).



Figura 7 Etapa de decantación de las partículas del suelo en la metodología de textura.

3.3.4. Medición de pH del suelo

Se determinó el pH de las muestras de suelo utilizando el potenciómetro en medio acuoso, relación suelo-agua destilada 1:2.5 (Peech, 1965).



Figura 8 Lectura de pH (pH-metro).

3.3.5. Metodología de proceso de extracto para lectura en espectrofotómetro de absorción atómica, modelo analytik jena contraA 800

Para determinar las concentraciones en las muestras de suelo se utilizó el método EPA 3051A: que, por consiguiente, pesar en la balanza analítica, 0.50 g, de suelo seco, pasado por el tamiz N.º10, luego pasarlos a los recipientes de sello tipo labio del digestor. Posteriormente, agregar 9 ml de ácido nítrico (HNO_3), 3 ml de ácido clorhídrico (HCl), 1 ml de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), por consiguiente, se programa el digestor ANTON PAAR MICROWAVE REACTION SYSTEM MULTIWAVE PRO con la metodología EPA 3051A – HVT80 (cada ronda de extractos sometidos al digestor por microondas, tiene un tiempo de programación de 20 minutos). Después de retirar los recipientes de su base, dejarlo en el extractor de aire por ventilación,

(dejar enfriar por 15 minutos), retirar la tapa de presión, pasar el extracto a una probeta y aforar a 50 ml, con agua destilada; a continuación, Filtrar el extracto en papel filtro y pasarlo a botellas plásticas de 2 onzas. Las lecturas de metales pesados Cobre (Cu), Cadmio (Cd), Cromo (Cr) y Níquel (Ni) analizados por el espectrofotómetro de absorción atómica, modelo ANALYSTIK JENA CONTRAA 800 (Figura 7, 8 y 9).



Figura 9 Preparación de los extractos de las muestras de suelo.



Figura 10 Filtrado de extracto de muestras de suelo.



Figura 11 Calibración del Espectrofotómetro de absorción atómica, para lecturas de los extractos de suelo.

4. Diseño experimental

Los datos estadísticos de esta investigación se analizaron Microsoft Excel para la confección del diseño de gráficas.

Variable analizada: Suelo.

5. Resultados y Discusión

5.1. Características de los suelos muestreados en la temporada seca, de la subcuenca del Río Caño Quebrado

Las muestras de suelo analizadas, con respecto a las propiedades físicas de textura de Franco Arcillo Arenoso (FARA) y Arcilloso (ARC), con predominio de la fracción de Franco Arcillo Arenoso con 52% (arena), 20% (limo), 28% (arcilla) (de promedios), en cuanto a la fracción de Arcilloso con un 38% (arena), 16.4% (limo) y 45.6% (arcilla) (de promedios). El contenido de materia orgánica, con un promedio medio general de 2.47 %, en secciones separadas en parte alta promedio de 2.62%, parte media 2.58% y la parte baja de 2.20%. El pH, con datos generales teóricos en suelo ácidos, con promedio de todos los puntos muestreados de 4.6; dentro de este marco en la parte alta de 4.3 (tabla 13), parte media con 4.7 (tabla 14) y para la parte baja presento 4.8 (tabla 15).

Los resultados obtenidos de los elementos disponibles analizados presentaron los siguientes promedios de los sitios muestreados en la subcuenca: fósforo 4.79 mg/kg, potasio 107.62 mg/kg, manganeso 1880.92 mg/kg, hierro 303.70 mg/kg, zinc 85.27 mg/kg, cobre 50.68 mg/kg, como se presentan en el Anexo 4.

Tabla 4 Clase textural, parte alta.

Sección de la cuenca	Código de muestra	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase textural
Parte alta	1-MP-BS1-ES	48	24	28	FARA
	2-MP-GS1-ES	52	12	36	ARCA
	3-MP-PS1-ES	40	12	48	ARCA
	4-MP-PS2-ES	52	12	36	ARCA
	5-MP-GS2-ES	52	12	36	ARCA
	6-MP-BS2-ES	44	20	36	FARC
	7-MP-BS3-ES	52	16	32	FARA
	8-MP-GS3-ES	56	20	24	FARA
	9-MP-PS3-ES	36	16	48	ARC

Tabla 5 Clase textural, parte media.

Sección de la cuenca	Código de muestra	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase textural
Parte media	10-MP-BS1-ES	56	16	28	FARA
	11-MP-GS1-ES	56	12	32	FARA
	12-MP-PS1-ES	36	20	44	ARC
	13-MP-BS2-ES	48	20	32	FARA
	14-MP-GS2-ES	56	24	20	FARA
	15-MP-PS2-ES	40	16	44	ARC
	16-MP-GS3-ES	52	24	24	FARA
	17-MP-PS3-ES	32	16	52	ARC
	18-MP-BS3-ES	40	16	44	ARC

Tabla 6 Clase textural, parte baja.

Sección de la cuenca	Código de muestra	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase textural
Parte baja	19-MP-PS1-ES	36	16	48	ARC
	20-MP-BS1-ES	48	20	32	FARA
	21-MP-GS1-ES	52	24	24	FARA
	22-MP-GS2-ES	40	20	40	ARC
	23-MP-PS2-ES	40	16	44	ARC
	24-MP-BS2-ES	40	24	36	FARA
	25-MP-BS3-ES	60	16	24	FARA
	26-MP-GS3-ES	40	12	48	ARC
	27-MP-PS3-ES	40	16	44	ARC

Tabla 7 Color suelo (suelo seco), parte alta.

Sección de la cuenca	Código de muestra	Notación Munsell	Nombre del color en español	Nombre del color en inglés
Parte alta	1-MP-BS1-ES	7.5 YR 4/3	Pardo	Brown
	2-MP-GS1-ES	5 YR 4/4	Pardo rojizo	Reddish brown
	3-MP-PS1-ES	5 YR 5/4	Pardo rojizo	Reddish brown
	4-MP-PS2-ES	7.5 YR 4/4	Pardo	Brown
	5-MP-GS2-ES	7.5 YR 5/4	Pardo	Brown
	6-MP-BS2-ES	7.5 YR 4/4	Pardo	Brown
	7-MP-BS3-ES	7.5 YR 4/3	Pardo	Brown
	8-MP-GS3-ES	7.5 YR 5/4	Pardo	Brown
	9-MP-PS3-ES	7.5 YR 4/4	Pardo	Brown

Tabla 8 Color suelo (suelo seco), parte media.

Sección de la cuenca	Código de muestra	Notación Munsell	Nombre del color en español	Nombre del color en inglés
Parte media	10-MP-BS1-ES	7.5 YR 4/6	Pardo fuerte	Strong brown
	11-MP-GS1-ES	5 YR 5/4	Pardo rojizo	Reddish brown
	12-MP-PS1-ES	5 YR 5/4	Pardo rojizo	Reddish brown
	13-MP-BS2-ES	5 YR 3/3	Pardo rojizo oscuro	Dark reddish brown
	14-MP-GS2-ES	7.5 YR 3/3	Pardo oscuro	Dark brown
	15-MP-PS2-ES	7.5 YR 4/4	Pardo	Brown
	16-MP-GS3-ES	7.5 YR 4/3	Pardo	Brown
	17-MP-PS3-ES	5 YR 5/6	Rojo amarillento	Yellowish red
	18-MP-PS3-ES	5 YR 4/4	Pardo rojizo	Reddish brown

Tabla 9 Color suelo (suelo seco), parte baja.

Sección de la cuenca	Código de muestra	Notación Munsell	Nombre del color en español	Nombre del color en inglés
Parte baja	19-MP-PS1-ES	5 YR 4/4	pardo rojizo	Reddish brown
	20-MP-BS1-ES	5 YR 3/3	pardo rojizo oscuro	Dark reddish Brown
	21-MP-GS1-ES	7.5 YR 4/4	pardo	Brown
	22-MP-GS2-ES	7.5 YR 4/3	pardo	Brown
	23-MP-PS2-ES	7.5 YR 5/4	pardo	Brown
	24-MP-BS2-ES	7.5 YR 3/4	pardo oscuro	Dark brown
	25-MP-BS3-ES	7.5 YR 4/4	pardo	Brown
	26-MP-GS3-ES	7.5 YR 3/2	pardo oscuro	Dark brown
	27-MP-PS3-ES	7.5 YR 4/4	pardo	Brown

5.2. Análisis del contenido de metales pesados, en los suelos de la parte alta, media y baja de la subcuenca del Río Caño Quebrado

Los sitios muestreados fueron analizados con su respectivo levantamiento de datos en laboratorio de suelos, resumidos en la tabla 4. Estos resultados para mejor entendimiento se clasificaron por secciones y sus repeticiones por sitio de estudio en la subcuenca, parte alta, media y baja del Río Caño Quebrado. Los siguientes códigos:

- MP-BS1-ES: Metales Pesados-Bosque Suelo 1-Estación Seca
- MP-GS1-ES: Metales Pesados-Ganadería Suelo 1-Estación Seca
- MP-PS1-ES: Metales Pesados-Piña Suelo 1-Estación Seca
- Ejemplo de repetición: MP-BS2-ES: Metales Pesados Bosque Suelo 2-Estación Seca

Es importante tener en cuenta que los metales pesados de acuerdo con origen pueden clasificarse en litogénicos y antropogénicos. El segundo grupo está conformado por el Cd, Cu, Cr y Zn, que se agrupan así por tener generalmente su origen de las actividades humanas o antropogénicas (Peris, 2006).

Tabla 10 Resultados de análisis de la concentración total de metales pesados en suelos de la Subcuenca del Río Caño Quebrado, 2022. Estación seca, parte alta.

Sección de la cuenca	Código de muestra	Cobre mg/kg	Cadmio mg/kg	Cromo mg/kg	Níquel mg/kg
Parte alta	1-MP-BS1-ES	89.741	14.588	297.44	43.025
	2-MP-GS1-ES	44.767	7.679	86.691	1
	3-MP-PS1-ES	51.888	5.774	59.448	7.654
	4-MP-PS2-ES	35.509	9.433	8.518	1
	5-MP-GS2-ES	31.892	0.47	5.12	1
	6-MP-BS2-ES	47.788	1.15	92.677	1
	7-MP-BS3-ES	50.522	1.121	136.74	1
	8-MP-GS3-ES	41.776	0.565	52.689	1
	9-MP-PS3-ES	54.471	0.155	86.692	1

Tabla 11 Resultados de análisis de la concentración total de metales pesados en suelos de la Subcuenca del Río Caño Quebrado, 2022. Estación seca, parte media.

Sección de la cuenca	Código de muestra	Cobre mg/kg	Cadmio mg/kg	Cromo mg/kg	Níquel mg/kg
Parte media	10-MP-BS1-ES	42.201	0.66	242.01	1
	11-MP-GS1-ES	57.296	0.589	5.242	1
	12-MP-PS1-ES	49.639	0.746	28.608	1
	13-MP-BS2-ES	75.916	2.111	1039.2	188.28
	14-MP-GS2-ES	82.29	1.462	737.12	162.98
	15-MP-PS2-ES	50.013	1.147	386.91	62.066
	16-MP-GS3-ES	56.537	0.616	201.07	1
	17-MP-PS3-ES	42.829	1	60.567	1
	18-MP-BS3-ES	45.157	1	65.189	1

Tabla 12 Resultados de análisis de la concentración total de metales pesados en suelos de la Subcuenca del Río Caño Quebrado, 2022. Estación seca, parte baja.

Sección de la cuenca	Código de muestra	Cobre mg/kg	Cadmio mg/kg	Cromo mg/kg	Níquel mg/kg
Parte baja	19-MP-PS1-ES	42.62	1	448.68	47.47
	20-MP-BS1-ES	44.716	0.87	351.91	27.287
	21-MP-GS1-ES	61.247	0.32	407.45	39.781
	22-MP-GS2-ES	40.94	0.006	140.82	1
	23-MP-PS2-ES	43.071	1	148.62	1
	24-MP-BS2-ES	46.048	0.512	120.26	1
	25-MP-BS3-ES	45.335	1	76.581	1
	26-MP-GS3-ES	52.316	1	1	1
	27-MP-PS3-ES	41.747	0.155	532.24	50.675

5.3. Análisis estadístico

Se presentaron las concentraciones totales, en promedio, de metales pesados en suelos durante la temporada seca. Parte alta, media y baja de la subcuenca del Río Caño Quebrado 2022.

Los resultados se presentaron de esta forma: parte alta, media y baja, para zonificar la subcuenca, con los datos obtenidos de los análisis de suelo; como se puede observar en la Tabla 13, el elemento Cromo, fue el de mayor concentración con 91.78, seguido del cobre que mostró unos 49.82 mg/kg, de presencia en esta sección, cabe resaltar que ningún elemento sobre paso los límites permisibles por la normativa USEPA (1993), con unidad de medición en mg/kg. Siguiendo con la Tabla 14, (parte media) el cobre arrojó un valor de 55.76 mg/kg, superior a la parte alta y baja, porque en esta zona hay mayor producción de terrenos con piñales en producción, por lo que la gran cantidad de fertilizantes aumentan la cantidad de este elemento ya mencionado, y ningún pesado en esta sección supera el límite correspondiente de la normativa. Debe señalarse que en la parte media el resultado del cromo, con 307.31 mg/kg, es el de mayor presencia en toda la subcuenca.

La Tabla 15, la representación del cromo con índice de 247.51 mg/kg, estando dentro de la normativa de los Estados Unidos (USEPA), se encontró en esta estación seca una buena correlación significativa entre el cobre y el hierro; como se refleja en el Anexo 6.

Tabla 13 Concentración de metales pesados, interpretados en promedios, Subcuenca del Río Caño Quebrado, parte alta.

Sección de la cuenca	Elemento	Promedio mg/kg	Desviación estándar	Intervalo de confianza al 95%	USEPA, 1993
Parte alta	Cobre (Cu)	49.82	15.78	10.93	750
	Cadmio (Cd)	0.05	0.05	0.03	20
	Cromo (Cr)	91.78	82.59	57.23	1500
	Níquel (Ni)	6.41	13.91	9.09	210
	pH	4.3	0.28	0.18	-
	M.O %	2.62	0.99	0.65	-

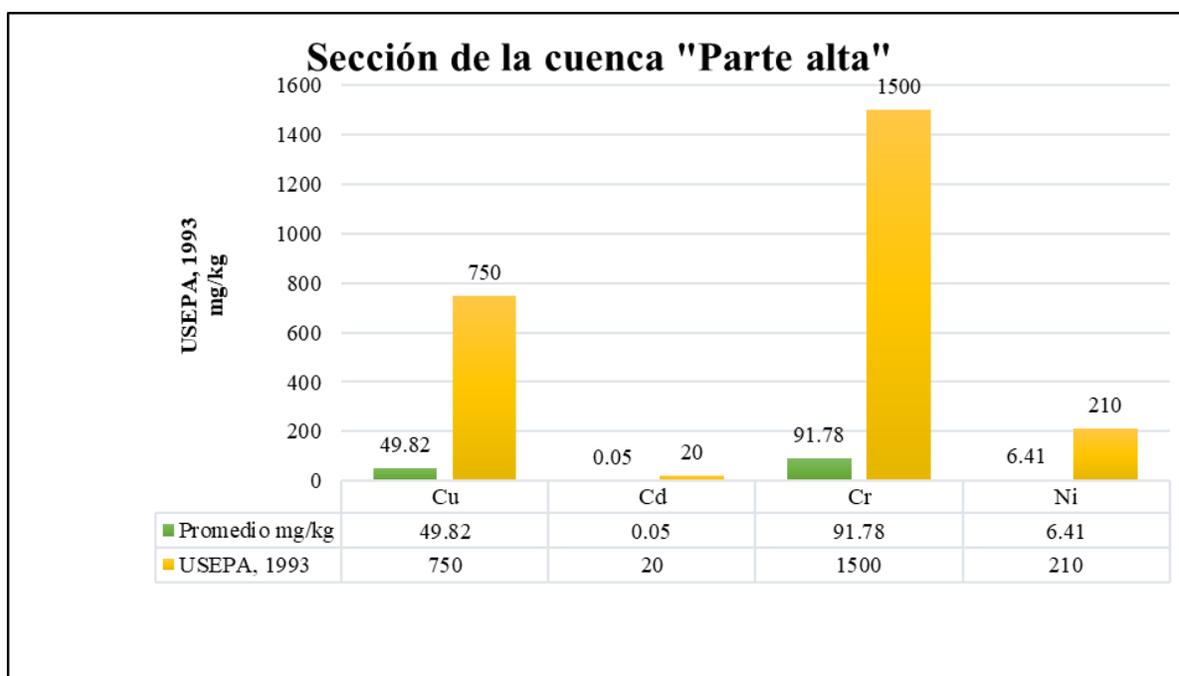


Figura 12 Gráfica comparativa de promedios, desviación estándar y la normativa USEPA (1993), de la sección alta de la subcuenca: cobre (Cu), cadmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni).

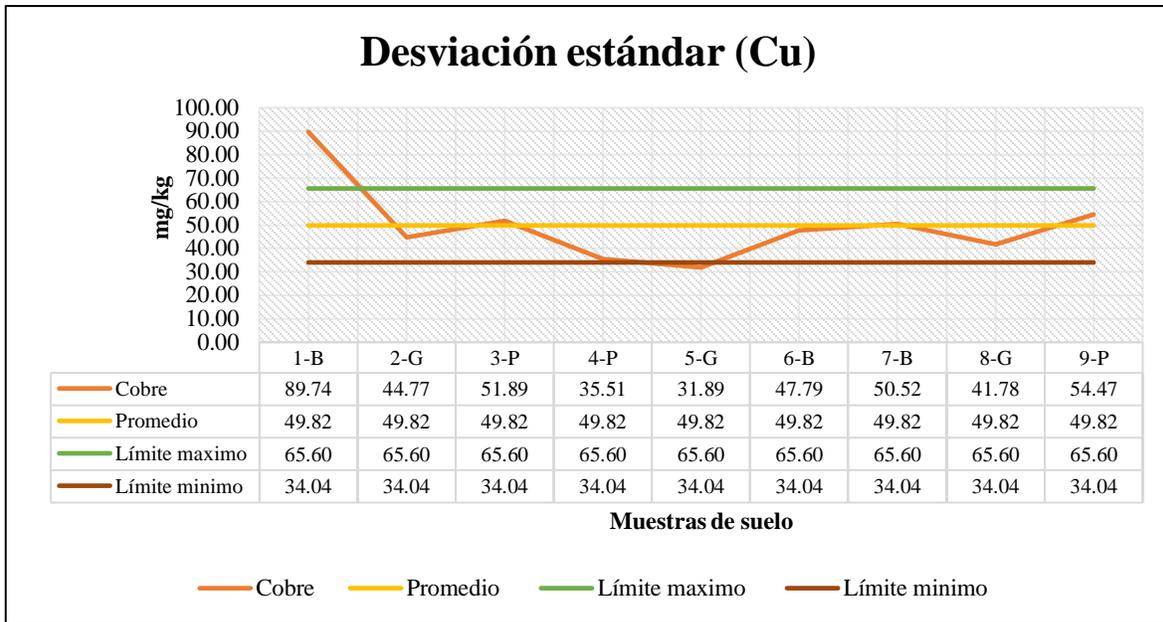


Figura 13 Dispersión del cobre en donde el 1-B (bosque), tiene mayor presencia, en cuanto la muestra 5-G (ganadería), mostro menos concentración.

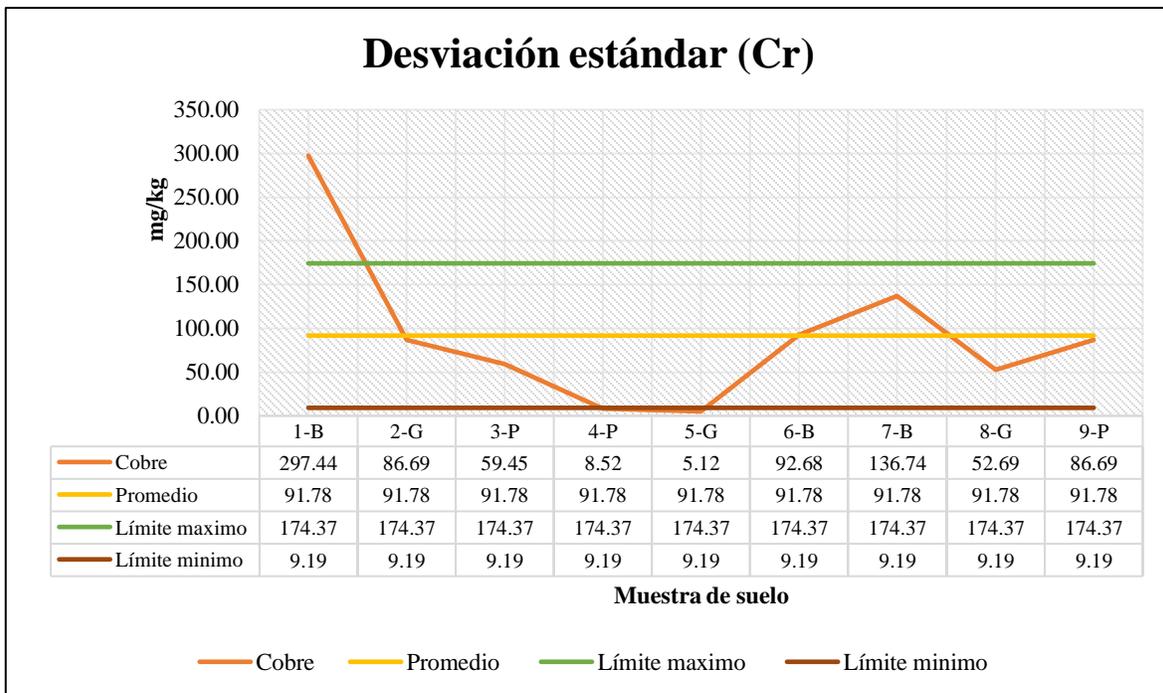


Figura 14 Se tomó esta variable cromo, por mostrar mayor valor en la muestra de 1-B (bosque), de esta sección alta de la subcuencia.

Tabla 14 Concentración de metales pesados, interpretados en promedios, Subcuenca del Río Caño Quebrado, parte media.

Sección de la cuenca	Elemento	Promedio mg/kg	Desviación estándar	Intervalo de confianza al 95%	USEPA, 1993
Parte media	Cobre (Cu)	55.76	13.53	9.37	750
	Cadmio (Cd)	0.01	0.01	0.00	20
	Cromo (Cr)	307.32	338.41	234.50	1500
	Níquel (Ni)	46.59	76.10	49.72	210
	pH	4.7	0.60	0.39	-
	M.O %	2.58	0.31	0.20	-

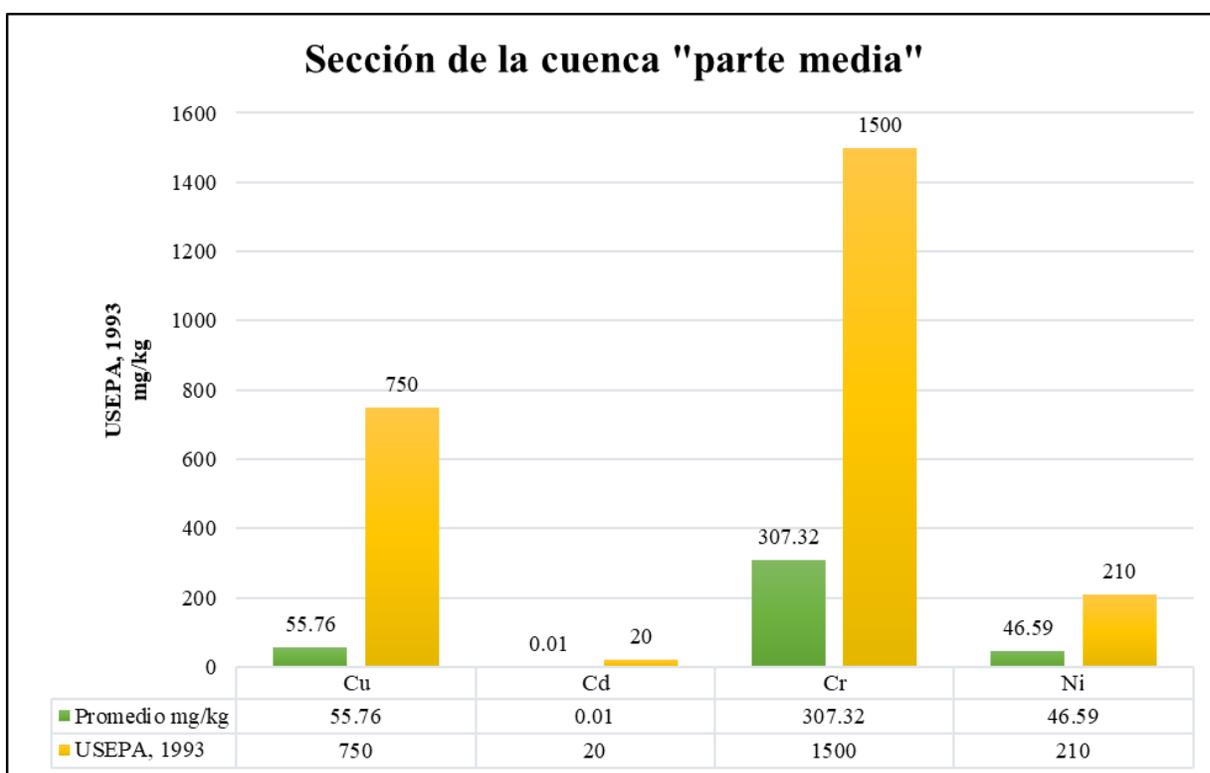


Figura 15 Gráfica comparativa de promedios, desviación estándar y la normativa USEPA (1993), en la sección media de la subcuenca: Cobre (Cu), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Níquel (Ni).

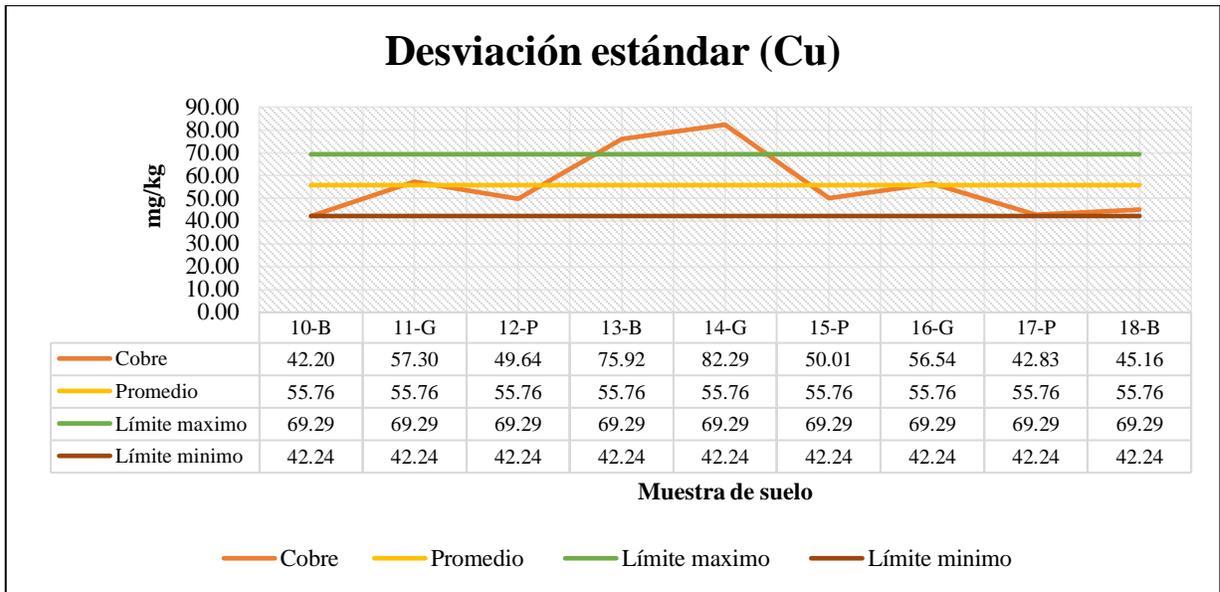


Figura 16 Resumiendo a continuación mostrando una dispersión muy representativa por parte de la muestra 14-G (ganadería), en esta sección media de la subcuenca.

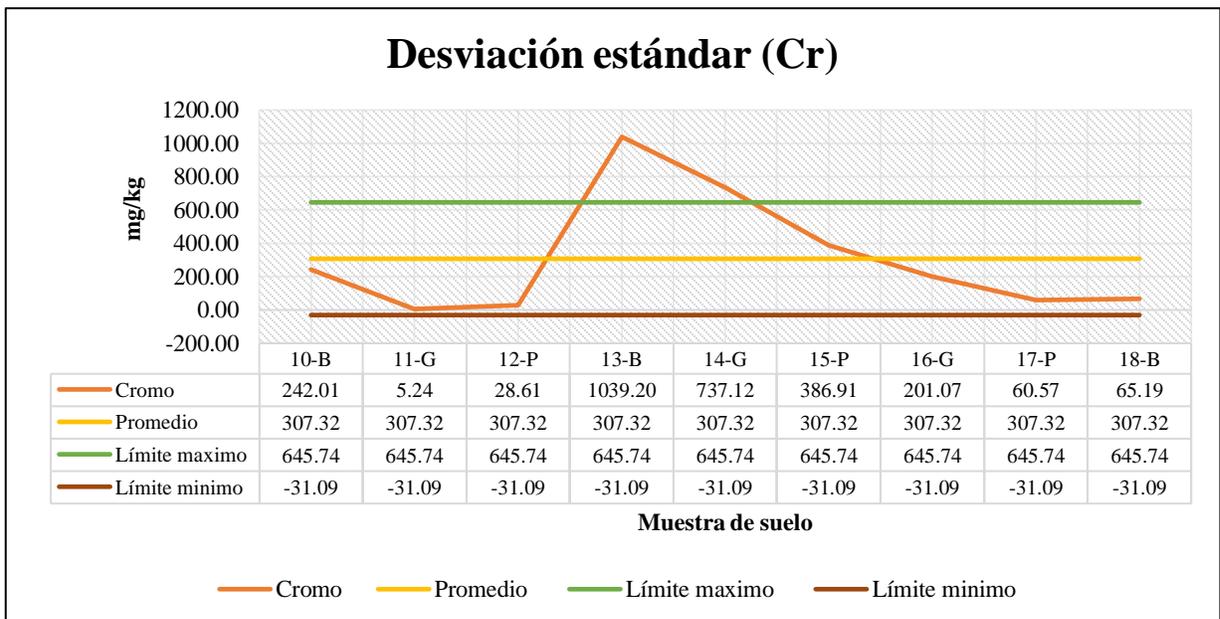


Figura 17 Esta gráfica muestra un cambio directo de datos con mayor concentración de cromo en la muestra 13-B (bosque).

Tabla 15 Concentración de metales pesados, interpretados en promedios, Subcuenca del Río Caño Quebrado, parte baja.

Sección de la cuenca	Elemento	Promedio mg/kg	Desviación estándar	Intervalo de confianza al 95%	USEPA, 1993
Parte baja	Cobre (Cu)	46.45	6.11	4.24	750
	Cadmio (Cd)	0.01	0.00	0.00	20
	Cromo (Cr)	247.51	178.06	123.39	1500
	Níquel (Ni)	18.91	22.18	14.49	210
	pH	4.8	0.49	0.32	-
	M.O %	2.20	0.58	0.38	-

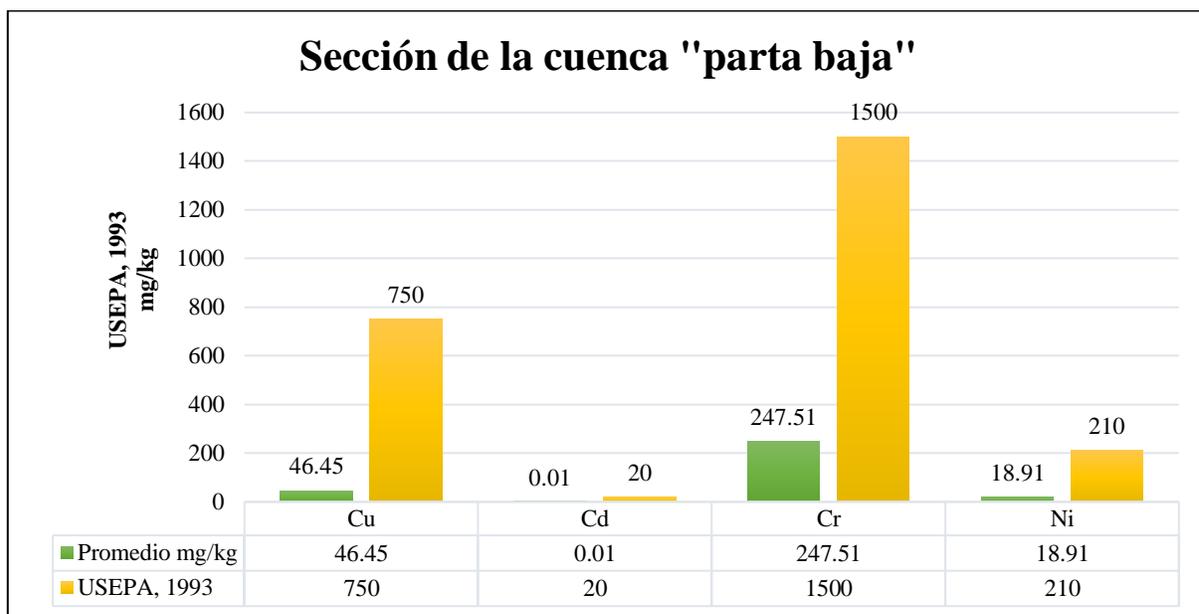


Figura 18 Gráfica comparativa de promedios, desviación estándar y la normativa USEPA (1993), en la sección baja de la subcuenca: Cobre (Cu), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Níquel (Ni).

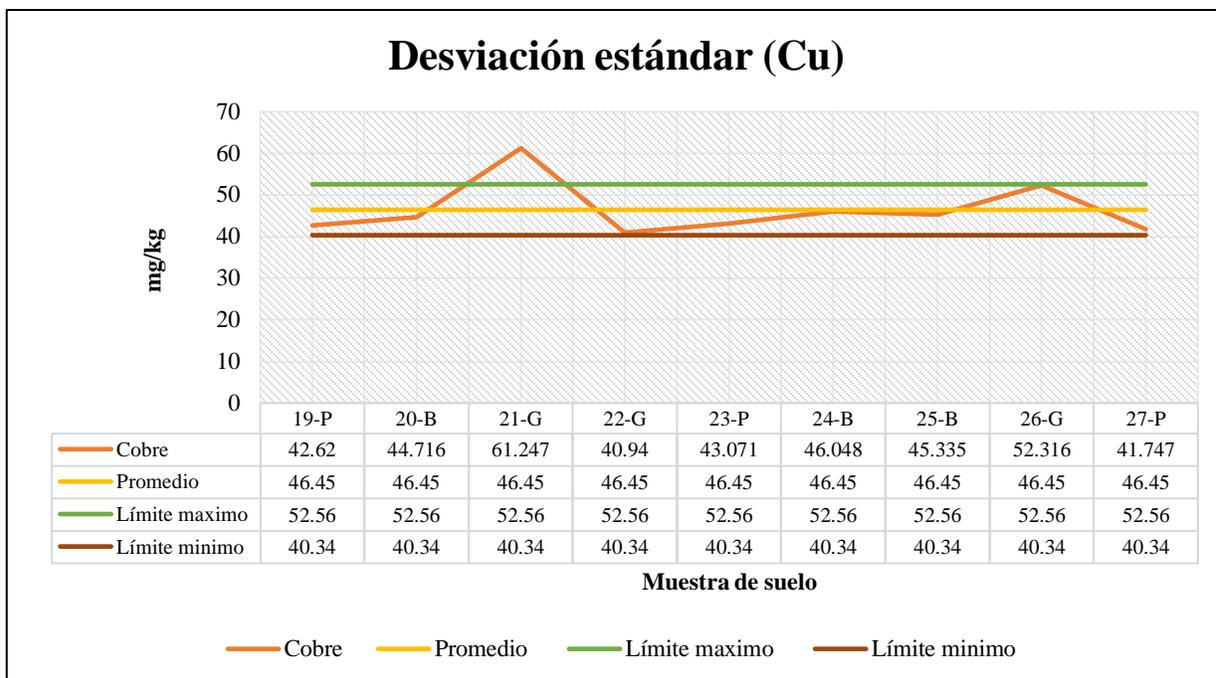


Figura 19 En esta gráfica se muestran valores de dispersión desde un resultado de alto contenido de la muestra 21-G (ganadería), y una más baja 27-P (piña).

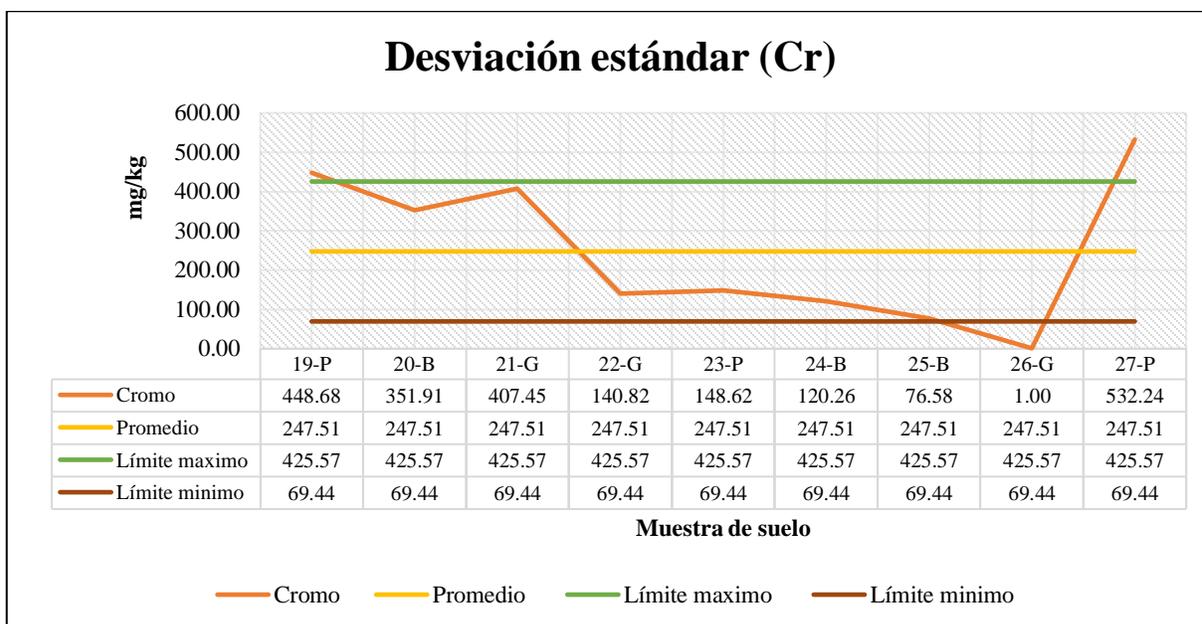


Figura 20 Análisis de dispersión del Cromo, en la sección baja de la subcuenca.

6. Conclusiones

- Los resultados de los sitios muestreados en la estación seca de las secciones de la parte alta, media y baja de la subcuenca del Río Caño Quebrado, no mostraron altas concentraciones.
- En la parte media de la subcuenca, el elemento cromo dio como resultado el metal pesado con mayor presencia, pero sin sobrepasar los límites permisibles del mismo.
- En cuanto a los resultados obtenidos de la materia orgánica, presentaron bajo contenido de materia orgánica y los análisis de pH, estuvieron dentro del rango de para los suelos ácidos de la zona.
- Se utilizó la variable cobré, por su alta concentración, ya sea por origen natural y más por la utilización de fertilizantes que aplican los productores (se hizo una encuesta a los productores en donde los agroquímicos utilizados en las parcelas de piña, están compuestos en su mayoría por este elemento).
- Las investigaciones de metales pesados en suelos para Panamá, son escasos, lo que se comparó los límites permisibles con la norma internacional, en cuanto este estudio pueda servir de marco de referencia para investigaciones futuras en los suelos panameños, ya que por el momento; Panamá no cuenta con una norma que rija lo mencionado anteriormente.

7. Recomendaciones

- En Panamá, todavía no existen estudios que regulen la concentración de metales pesados, cabe resaltar que se deben crear leyes que regulen los límites permisibles de estos elementos.
- Se debe continuar con las investigaciones en suelos panameños, sobre la concentración de estos elementos, tanto en suelo, agua y sedimentos, y poder aplicar técnicas de conservación y evitar la movilización de los mismos ya mencionados, por las actividades agrícolas y pecuarias.
- Se recomienda la regulación de la utilización de fertilizantes ricos en metales pesados.
- Para los productores, recomiendo los análisis de suelos, para conocer la deficiencia y toxicidad de nutrientes, dentro de este orden de ideas, realizar la correcta aplicación de fertilizantes y evitar su elevada concentración si estos poseen algún contaminante.

8. Referencias bibliográficas

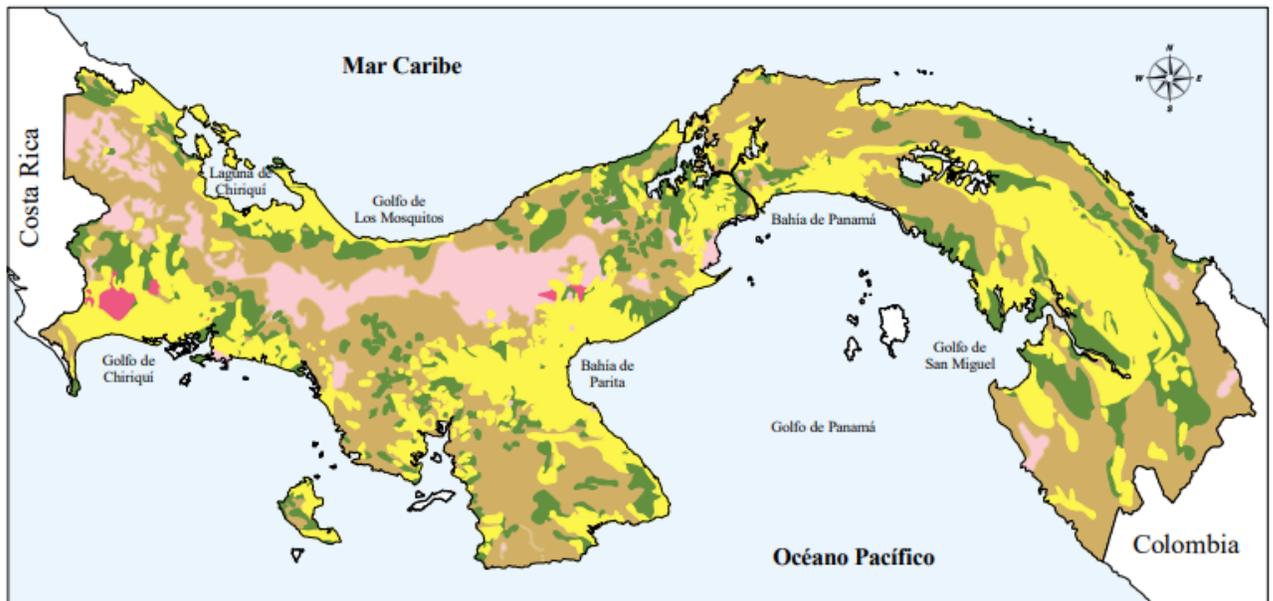
- ADRIANO, D.C. (1986). Trace Elements in the Terrestrial Environment. Springer Verlag, New York.
- AED (Academy for Educational Development, US). 2004a. Planificación de uso y conservación de suelo en áreas piñeras de las subcuencas de Los Hules, Tinajones y Caño Quebrado. Panamá, PA.
- ANAM (Autoridad Nacional del Medio Ambiente, PA). 2010. Atlas Ambiental de la República de Panamá. Panamá, PA. Novo Art, S.A.
<https://www.sinia.gob.pa/index.php/atlas-ambientales>
- BAVER, LD; GARDNER, WH; y GARDNER, WR. 1973. Física de Suelos. Editorial Hispano Americana. México DF, MX.
- Bautista, Zúñiga, Francisco. Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados, c1999 Universidad autónoma de Yucatán. Documento disponible en página web.
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=yE2Jq3z7ex4C&oi=fnd&pg=PA17&dq=que+son+los+metales+pesados+del+suelo&ots=me69rxzfkN&sig=FMIR14VO9ZhXg9zpKSXWBEp73cY#v=onepage&q=que%20son%20los%20metales%20pesados%20del%20suelo&f=false>
- BRADY, CN; and WEIL RR. 2013. Elementos da natureza e propriedades dos solos. Trad. IF Lepsch. 3 ed. São Paulo, BR. Bookman Editora.

- BROADBENT, FE. 1965. In BLACK CA; EVANS DD; ENSMINGER LE; WHITE JL; CLARK FE; DINAVER RC. 1965b. Methods of soil analysis. Part 2. 123 Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy. Inc. Publisher. Madison Wisconsin, USA.
- CASTAÑEDA DE PRETELT, P. 2003. Manual Técnico: Seminario Sobre Producción y Manejo Post Cosecha de La Piña para la Exportación. Proyecto Regional de fortalecimiento de la vigilancia fitosanitaria en Cultivos de Exportación No tradicional. El Salvador, SV. VIFINEX.
- CATAPAN (Catastro Rural de Tierras y Aguas de Panamá, PA). 1970. Final Report on the Catastro Rural de Tierras y Aguas de Panamá. Panamá, PA. Comisión de Reforma Agraria/AID.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical, CO). 1983. Oxisoles y Ultisoles en América Tropical. I Distribución, importancia y propiedades físicas.
- CICH (Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, PA). 2007. Informe del Estado Ambiental de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. Panamá.
- GUTIÉRREZ, J. I. (2018). Evaluación de la pérdida de suelo y nutrientes por erosión hídrica en el cultivo de piña en la chorrera, panamá oeste. Ciudad de Panamá, Panamá.
- JARAMILLO, SE; BRYANT, R; y KIMBLE, J. 1991. Pedones de campo y estaciones experimentales del IDIAP. Panamá.

- Luis Fernando Londoño-Franco, P. T.-M. (s.f.). Luis Fernando Londoño-Franco, P. T.-M.-G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. Dellín, Colombia.
- MUNSELL, AH. 2013. Munsell Soil Color Charts: With Genuine Munsell* Color Chips. Munsell Color. New York, US.
- NAME, B; y VILLAREAL, J. 2004. Compendio de los resultados de investigación del programa de suelos del IDIAP: Estudio de suelos Ultisoles y Alfisoles realizados en las estaciones experimentales de Calabacito, Guarumal y Río Hato. Panamá, PA, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.
- NARRO, E. 2004. Física de suelos con enfoque agrícola. México, MX. Trillas. 195p.
- Oses, E., Navarro, X., Villarreal., J., & Ramos., I. (2023). Evaluación de la concentración de metales pesados en la cuenca del río santa maría.
- Plan de acción inmediata para el desarrollo humano, apoyo a la producción y manejo ambiental de áreas rurales en la cuenca hidrográfica del canal de panamá 2005-2010. (Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, cich). 5 p: <http://www.cich.org/publicaciones/05/pai-lh-t-cq.pdf>
- PERIS MENDOZA, M. 2006. Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón, España. Tesis doctoral, Universidad de Valencia, España.
- PORTA, J; LÓPEZ-ACEVEDO, M; y ROQUERO, C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3 ed. Madrid, ES. Mundi-Prensa. 960 p.

- PULIDO, M; FLORES, B; RONDÓN, T; HERNÁNDEZ, R; y LOZANO, Z. 2010. Cambios en fracciones dinámicas de la materia orgánica de dos suelos, Inceptisol y Ultisol, por el uso con cultivo de cítricas.
- SÁNCHEZ, PA. 1981. Suelos del trópico. Características y manejo. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura. Serie de libros y materiales educativos.
- TUREKIAN, K., WEDEPOHL, K. (1961) Distribution of the Elements in Some Mayor Units of the Earth's Crust. Geological Society of America Bulletin.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2010. Soil Survey Staff. Claves para la taxonomía de suelos. Trad. CA Ortiz, MC Gutiérrez, EV Gutiérrez. 11 ed. Washington DC, US. Natural Resources Conservation Services.
- USEPA 2007. Method 3051A, Microwave assisted acid digestion of sediments, slugs, soils and soil.
- VALENCIA, I. E. Y B. A. HERNÁNDEZ. 2002. Muestreo de suelos, preparación de muestras y guía de campo.
- Villarreal-Núñez, J., Santo-Pineda, A., Villalaz-Pérez, J., Ballesteros, N., & Ramos-Zachrisson, I. (2018). Metales pesados en suelos y sedimentos en la cuenca del río la villa-panamá.
- Yeimy Nieves, N. P. (2018). Biorremediación, enemigo del cadmio. Venezuela: Universidad de Carabobo.

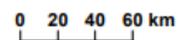
CAPACIDAD AGROLÓGICA DE LOS SUELOS EN LA REPÚBLICA



Leyenda

- TIPO IV (Arable, con pocas o muy severas limitaciones, requieren conservación y/o manejo)
- TIPO V (No arables, con poco riesgo de erosión, pero con otras limitaciones, apto para bosques y pastos)
- TIPO VI (No arables, con limitaciones severas, aptas para pastos, bosques y tierras de reserva)
- TIPO VII (No arables, con limitaciones muy severas, aptos para pastos, bosques y tierras de reservas)
- TIPO VIII (No arables, con limitaciones que impiden su uso en la producción de plantas comerciales)

Escala Gráfica



Fuente: Autoridad Nacional del Ambiente
Atlas Nacional de Panamá 1985.
Mapa base digitalizado de las Cartas Topográficas del Instituto Geográfico Nacional "Tommy Guardia" a escala 1:250,000.

Anexo 2 Mapa de la capacidad agrológica de la República de Panamá.

Anexo 3 Valores extremos y promedios del caudal líquido del Río Caño Quebrado en la estación de Caño Quebrado.

Elevación máxima instantánea			Caudal máximo instantáneo		Elevación mínima diaria			Caudal mínimo diario		Caudal promedio anual	
día/mes	pie	m	pie ³ /s	m ³ /s	día/mes	pie	m	pie ³ /s	m ³ /s	pie ³ /s	m ³ /s
16-Sep	138.25	42.14	1615	46	26-Mar	121.24	36.95	9.59	0.27	77.3	2.19

Resultado de análisis de laboratorio

Anexo 4 Caracterización química de los suelos muestreados por secciones de la subcuenca del Río Caño Quebrado, 2022.

N°. Perfil	Sección de la cuenca	Elemento					
		Fósforo	Potasio	Manganeso	Hierro	Zinc	Cobre
		mg/kg			mg/kg		
1-MP-BS1-ES	Alta	0.10	75.906	1693.1	35223	123.82	89.741
2-MP-GS1-ES		1	98.425	1124.9	30667	56.34	44.767
3-MP-PS1-ES		10	177.2	510.03	25603	65.529	51.888
4-MP-PS2-ES		7	112.48	810.04	27274	49.432	35.509
5-MP-GS2-ES		1	153.64	394.52	22151	50.975	31.892
6-MP-BS2-ES		2	94.935	1321.6	29575	63.084	47.788
7-MP-BS3-ES		30	77.017	3283	29851	82.175	50.522
8-MP-GS3-ES		0.10	105.55	1238.9	24374	64.915	41.776
9-MP-PS3-ES		4	133.39	385.72	25979	60.148	54.471
10-MP-BS1-ES	Media	2	98.842	724.88	34965	83.911	42.201
11-MP-GS1-ES		1	94.88	331.88	26096	44.671	57.296
12-MP-PS1-ES		5	86.507	530.51	27232	47.703	49.639
13-MP-BS2-ES		1	88.766	7615.5	37399	162.98	75.916
14-MP-GS2-ES		4	51.235	5668.7	39408	174.7	82.29
15-MP-PS2-ES		2	73.088	892.34	34445	102.09	50.013
16-MP-GS3-ES		8	72.302	3341.7	34292	85.897	56.537
17-MP-PS3-ES		4	83.753	191.15	29704	54.745	42.829
18-MP-BS3-ES		3	89.039	714.46	29606	51.835	45.157
19-MP-PS1-ES	Baja	0.10	58.267	1511.3	34231	89.18	42.62
20-MP-BS1-ES		1	61.663	6374	32081	153.65	44.716
21-MP-GS1-ES		1	388.42	2806.9	30732	116.27	61.247
22-MP-GS2-ES		3	122.04	519.31	32458	56.632	40.94
23-MP-PS2-ES		12	153.65	594.98	30613	64.089	43.071
24-MP-BS2-ES		1	96.738	3256.4	31972	159.59	46.048
25-MP-BS3-ES		6	93.377	1538.3	28918	80.172	45.335
26-MP-GS3-ES		13	80.446	1984.5	21633	61.998	52.316
27-MP-PS3-ES		7	84.137	84.137	1426.3	33514	95.675
		4.79	107.62	1880.92	30370.22	85.27	50.68
		Promedios					

Anexo 5 Caracterización química de los suelos muestreados por secciones de la subcuenca del Río Caño Quebrado, 2022.

Sección de la cuenca	Temporada	Tipo de muestra	Estadística descriptiva	pH	Conductividad eléctrica	M.O	Elemento						
							μS/cm	%	Cu	Fe	Mn	Zn	Cd
					mg/kg								
Alta	Seca	Suelo	Promedio	4.39	141.02	2.62	49.82	27855.2	1195.76	68.49	0.05	91.78	6.41
			Desviación estándar	0.28	79.92	0.99	16.74	3916.61	904.42	22.88	0.05	87.60	13.91
			Intervalo de confianza al 95%	0.18	52.21	0.65	10.93	2558.80	590.88	14.95	0.03	57.23	9.09

Anexo 6 Resumen de la concentración total de metales pesados en suelos durante la temporada seca en la sección media de la Subcuenca del Río Caño Quebrado, 2022.

Sección de la cuenca	Temporada	Tipo de muestra	Estadística descriptiva	pH	Conductividad eléctrica	M.O	Elemento						
							μS/cm	%	Cu	Fe	Mn	Zn	Cd
					mg/kg								
Media	Seca	Suelo	Promedio	4.73	114.80	2.58	55.76	32571.9	2223.46	89.84	0.01	307.32	46.59
			Desviación estándar	0.60	39.56	0.31	14.35	4605.71	2717.15	49.04	0.01	358.94	76.10
			Intervalo de confianza al 95%	0.39	25.84	0.20	9.37	3009.01	1775.17	32.04	0.00	234.50	49.72

Anexo 7 Resumen de la concentración total de metales pesados en suelos durante la temporada seca en la sección baja de la Subcuenca del Río Caño Quebrado. 2022.

Sección de la cuenca	Temporada	Tipo de muestra	Estadística descriptiva	pH	Conductividad eléctrica	M.O	Elemento						
							μS/cm	%	Cu	Fe	Mn	Zn	Cd
					mg/kg								
Baja	Seca	Suelo	Promedio	4.81	160.64	2.20	46.45	30683.6	2223.55	97.47	0.01	247.51	18.91
			Desviación estándar	0.49	52.71	0.58	6.48	3748.24	1797.90	38.37	0.00	188.86	22.18
			Intervalo de confianza al 95%	0.32	34.43	0.38	4.24	2448.81	1174.61	25.07	0.00	123.39	14.49