

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE PLOMO EN SUELOS DE PANAMÁ
UBICADOS A ORILLA DE CARRETERAS

VÍCTOR S. GONZÁLEZ C.

CÉDULA

8-876-1561

PANAMÁ, PANAMÁ

REPÚBLICA DE PANAMÁ

2017

EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DEL PLOMO EN SUELOS DE
PANAMÁ UBICADOS A ORILLA DE CARRETERAS

TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO PARA OPTAR POR EL
TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO EN CULTIVOS
TROPICALES

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O
PARCIAL, DEBE SER OBTENIDO EN LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

APROBADO

PROF. FRANCISCO MORA	_____
	DIRECTOR
PROFA. ANA RODRÍGUEZ V.	_____
	MIEMBRO
PROF. METODIO RODRÍGUEZ	_____
	MIEMBRO

REPÚBLICA DE PANAMÁ

2017

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a la memoria de mi bisabuela, Josefina Vásquez, quien en vida fuera un pilar para mí, quien me inculcó valores y enseñanzas que perduran aun con el paso de los años y quien me impulsó durante mucho tiempo a superarme en mis estudios.

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme cumplir una meta más en la vida

A mi madre Yetzenia Cedeño y mi hermana Yesenia González, por el apoyo prestado a lo largo de mi carrera universitaria.

Al Dr. Francisco Mora, quien me facilitó tanto el tema para que pudiese realizar este trabajo

A la Lic. Berta Carrera, que compartió sus conocimientos y experiencia de los análisis y me alentó para la culminación de la misma.

A la Profa. Ana Rodríguez, por las enseñanzas, los consejos y por haber sido como una segunda madre en la facultad

Al Prof. Metodio Rodríguez, por su apoyo en la labor social y los conocimientos compartidos.

A mis amigos y colegas, Gabriel Torres, Silvia Chavarría y Liborio Martínez, por su apoyo y contribuciones, las cosas no siempre fueron fáciles pero estuvieron ahí cuando los necesitaba.

RESUMEN

Panamá cuenta con escasa información referente a la contaminación por plomo en suelos, los pocos estudios realizados se centran en el contenido de este elemento en fertilizantes y en el aire producto de los escapes de automóviles, Langerwerff, citado por Kirby y Mengel (1982) estableció la combustión de la gasolina como la principal fuente de contaminación. Carrasquero-Durán (2006) estudió los niveles de contaminación por plomo en calles de la ciudad de Maracay, concluyendo que los valores más elevados se debían a la cercanía a vías con alto tráfico vehicular. En esta investigación se evaluó la presencia y niveles de plomo en muestras de suelos a orillas de carretera. Se realizaron muestreos en 10 localidades a nivel nacional y las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá, secadas en bandejas al aire y almacenadas en bolsas plásticas cerradas. Se les realizaron los análisis rutinarios de pH, materia orgánica, textura, fertilidad y acidez, para la extracción de Pb se utilizó la propuesta de Llosa *et al.* (1990). Se realizó la extracción con ácido nítrico en baño maría y posterior lectura en el equipo de espectroscopia de absorción atómica con llama aire acetileno. Se obtuvieron resultados en el rango de 1-53 ppm de plomo, siendo las muestras obtenidas en la Sede Universitaria de Transistmica, las de mayor contenido de plomo. En base a los resultados se puede concluir que los valores obtenidos se encuentran dentro del rango de lo que se considera normal para suelos no contaminados.

Palabras clave: contaminación, plomo, niveles, a nivel nacional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

HOJA DE APROBACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA A INVESTIGAR.....	3
1.3. ANTECEDENTES.....	4
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	6
1.5. OBJETIVOS	7
1.5.1. Objetivo General	7
1.5.2. Objetivos específicos.....	7
1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO	8
2. REVISIÓN DE LITERATURA	9
2.1. Metales pesados.....	9

2.2. El plomo en el suelo.....	9
2.3. Efectos de la contaminación por plomo	11
3. MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1. Muestreo y georreferenciación.....	12
3.2. Parámetros químicos y físicos determinados en los suelos.....	13
3.2.1 Preparación de las muestras de suelo para los análisis.....	13
3.2.2. Determinación de pH:.....	14
3.2.3. Determinación de la textura.....	14
3.2.4. Determinación de la materia orgánica	14
3.2.5. Determinación de la fertilidad.....	15
3.2.6. Determinación de plomo	15
3.3. Evaluación del plomo en los suelos	18
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
4.1. Niveles de plomo detectados.....	20
4.2. Puntos de muestreo.....	21
4.2.1. Punto #1 Universidad de Panamá (Campus Central)	21
4.2.2. Punto #2 CEIAT (Centro de Enseñanza e Investigaciones Agropecuarias de Tocumen).....	22
4.2.3. Punto #3 Chepo.....	25
4.2.4. Punto #4 Capira.....	26

4.2.5. Punto #5 Penonomé	28
4.2.6. Punto #6 FCA Chiriquí.....	29
4.2.7. Punto #7 El Ejido.....	32
4.2.8. Punto #8 San Martin	34
4.2.9. Punto #9 Volcán	35
4.2.10. Punto #10 Boquete	36
4.2.11. Comparación de los niveles de plomo obtenidos en los suelos de las diferentes localidades muestreadas	38
5. CONCLUSIONES.....	41
6. RECOMENDACIONES.....	42
7. REFERENCIAS CITADAS.....	43
8. ANEXOS.....	47

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS	
CUADRO I. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE DETERMINACIÓN DE PLOMO EN MUESTRAS DE SUELO A ORILLA DE CARRETERA A NIVEL NACIONAL.....	21
CUADRO II. RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS DATOS POR LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE LA UNIVERSIDAD DE PANAMÁ (CAMPUS CENTRAL).....	21
CUADRO III. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE LA UNIVERSIDAD DE PANAMÁ (CAMPUS CENTRAL).....	22
CUADRO IV. RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS DATOS POR LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DEL CEIAT.....	22
CUADRO V. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DEL CEIAT.....	23
CUADRO VI. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS DE LAS MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO POR EL MÉTODO DE TUKEY DE LAS MUESTRAS DE SUELO DEL CEIAT.....	24
CUADRO VII. PROMEDIO DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS TEXTURAL, pH, MATERIA ORGÁNICA Y PLOMO EXTRAÍDO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DEL CEIAT.....	25
CUADRO VIII. RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS DATOS POR LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE CHEPO.....	25
CUADRO XIX. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE CHEPO.....	26

		Pág.
CUADRO X.	RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS DATOS POR LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE CAPIRA.....	27
CUADRO XI.	ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE CAPIRA.....	27
CUADRO XII.	RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS DATOS POR LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE PENONOMÉ.....	28
CUADRO XIII.	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE PENONOMÉ.....	29
CUADRO XIV.	RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS DATOS POR LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS DEL CONTENIDO DE PLOMO DEL SUELO DE LA FCA CHIRIQUÍ.....	29
CUADRO XV.	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE FCA CHIRIQUÍ.....	30
CUADRO XVI.	PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO POR EL MÉTODO DE TUKEY DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE LA FCA CHIRIQUÍ.....	31
CUADRO XVII.	PROMEDIO DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS TEXTURAL, pH, MATERIA ORGÁNICA Y PLOMO EXTRAÍDO DE LAS MUESTRAS DEL SUELO DE LA FCA CHIRIQUÍ.....	32
CUADRO XVIII.	RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS DATOS POR LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE EL EJIDO.....	32
CUADRO XIX.	ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LS MUESTRAS DE SUELO DE EL EJIDO.....	33

CUADRO XX.	PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO POR EL MÉTODO DE TUKEY DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE EL EJIDO.	34
CUADRO XXI.	RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS DATOS POR LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE SAN MATÍN.....	34
CUADRO XXII.	ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE SAN MARTÍN.....	35
CUADRO XXIII.	RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS DATOS POR LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE VOLCÁN.....	36
CUADRO XXIV.	RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS DATOS POR LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE BOQUETE.....	36
CUADRO XXV.	ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE BOQUETE.....	37
CUADRO XXVI.	PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO POR EL MÉTODO DE TUKEY DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE BOQUETE.....	37
CUADRO XXVIII.	RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS DATOS POR LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO ENTRE PUNTOS DE MUESTREO.....	38
CUADRO XXIX.	ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO ENTRE PUNTOS DE MUESTREO.....	39
CUADRO XXX.	PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO POR EL MÉTODO DE TUKEY ENTRE PUNTOS DE MUESTREO.....	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo.....	12
Figura 2. Distancia horizontal al borde de la carretera de las muestras tomadas.....	13
Figura 3. Filtrado y lavado de las muestras con ácido nítrico al uno por ciento.....	16
Figura 4. Aparato de absorción atómica SHIMADZU AA 7000.....	16

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Punto de muestreo en Chepo.....	48
Anexo 2.	Punto de muestreo FCA Chiriquí.....	48
Anexo 3.	Punto de muestreo en Boquete.....	49
Anexo 4.	Resultados de análisis textural por ubicación y clasificación taxonómica.....	50-51
Anexo 5.	Resultados de análisis de determinación de pH según ubicación y distancia horizontal al borde de la carretera según ubicación y distancia horizontal al borde de la carretera	52
Anexo 6.	Resultados de determinación de materia orgánica según ubicación y distancia horizontal de la orilla de la carretera...	53
Anexo 7.	Resultados de análisis de fertilidad, según ubicación.....	54-55
Anexo 8.	Resultados de análisis de acidez, según ubicación y distancia horizontal a orilla de la carretera.....	56
Anexo 9.	Datos de georreferenciación de las muestras por punto de muestreo.....	57-60

1. INTRODUCCIÓN

Son considerados metales pesados, aquellos elementos con densidad superior a 5 g/cm^3 , en tanto en la tabla periódica lo son aquellos con densidades superiores al hierro, con excepción de los metales alcalinos y alcalino-térreos (Torral, 1996; citado por Acosta. 2007).

El contenido de metales pesados del suelo es uno de los criterios empleados con más frecuencia en la estimación de la calidad del suelo y su estado de degradación (Alarcón *et al* 2005).

El plomo es un contaminante químico del ambiente y altamente tóxico para el hombre. Ningún otro elemento se acumula en el hombre a niveles medios tan cercanos a lo potencialmente venenoso (Kirkby y Mengel. 1982)

El plomo no tiene función en el organismo humano, su toxicidad se conoce desde hace 2000 años. A pesar de ello se utiliza ampliamente en la sociedad y el envenenamiento por plomo constituye una de las mayores preocupaciones ambientales (Raymond, 1992).

El contenido natural de plomo en el suelo se relaciona con la roca que lo originó; sin embargo, producto de la contaminación con compuestos de plomo, gran cantidad de suelos son vulnerables a la adición de este metal, principalmente en el horizonte superior, de donde se extraen los datos en la literatura sobre plomo en el suelo. En ocasiones es difícil separar dichos datos para niveles de fondo

de plomo en los suelos de aquellas cantidades de origen antropogénico influidos en suelos superficiales (Kabata-Pendias. y Pendias, .2001).

Según Mushak *et al*, citado por Moreno *et al* (2006); el plomo puede contaminar los alimentos, las partículas que se encuentran en la atmosfera puede caer en la tierra, ser absorbido a través de las raíces de los cultivos y contaminar a los mismos.

Los metales pesados en la agricultura están principalmente ligados a la aplicación de fertilizantes que presentan trazas de estos elementos, plaguicidas, estiércol, purines, compost e inclusive lodos de aguas residuales (Acevedo, 2005).

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA A INVESTIGAR

En los últimos años se ha dado un paulatino aumento del plomo en el medio ambiente (Cala y Kunimine, 2003). Este elemento no tiene función biológica alguna, por ende genera daños y efectos negativos a la salud de los organismos vivos (González *et al* citado por Pinzón, 2015). En Panamá, es escasa la información referente a contaminación por plomo, es por ello que se establece la necesidad de estudiar la presencia y niveles de plomo que permita tener una referencia del estado de los suelos del país, al igual que permita evaluar si existe o no contaminación por este elemento en suelos agrícolas y urbanos a orilla de carretera en nuestro país.

1.3. ANTECEDENTES

El conocimiento de los metales pesados en Panamá es limitado. La Asamblea Legislativa, mediante la ley N° 36 del 17 de mayo de 1996, faculta al Instituto Especializado de Análisis (IEA) de la Universidad de Panamá, como encargado de evaluar el efecto de la contaminación por metales pesados producto de las emisiones de los gases de escapes de los automóviles, así como también estableció la suspensión del uso del plomo en la gasolina para automóviles a partir del año 2002 (Cedeño y Sanidas, 1996).

El Instituto Especializado de Análisis de la Universidad de Panamá, en el 2011 publicó el informe de la calidad del aire en Panamá para el periodo 1996-2010, en el cual se muestra los resultados del monitoreo de algunos contaminantes (entre ellos plomo) en la ciudad de Panamá, llegando no solo a la conclusión de que el aire en calles y avenidas de la ciudad está contaminado, sino que también agrega que las emisiones de la flota vehicular son causantes de la misma (Universidad de Panamá, 2011).

A nivel mundial son muchas las investigaciones que se han llevado a cabo con el interés de determinar metales pesados, Carrasquero-Durán (2006), determinó los niveles de contaminación de plomo en calles de la ciudad de Maracay, Venezuela para los cuales encontró valores de entre 33 y 11 113 ppm y determino que los suelos sometidos a mayor tráfico vehicular fueron los más contaminados, en tanto Muñoz (2009), estudió la presencia de plomo y cadmio en hierbas medicinales encontrando valores considerables de los mismos en

este tipo de plantas que por ser de consumo humano conllevan un riesgo a la salud humana. Así mismo se han llevado a cabo estudios similares en productos alimenticios como leche en Bogotá, Colombia (Pinzón, 2015) en los que se buscaba la presencia y niveles de plomo y cadmio y concluyeron que los niveles encontrados no representaban un riesgo para la salud de los consumidores.

Olivares (2013), realizó estudios en hortalizas en una zona altamente urbanizada de la ciudad de la Habana, Cuba, encontrando niveles elevados de metales pesados en los suelos, igual que en algunas hortalizas. Así pues, se atribuyó esta contaminación a la influencia de un vertedero, las inundaciones de un río y la alta tasa vehicular que transita en una vía cercana a la zona.

1.4. JUSTIFICACIÓN

En los suelos de Panamá no ha sido reportado la presencia y niveles de plomo en suelos adyacentes a carreteras, bajo cultivo o en áreas urbanas. Se tiene vaga información sobre la contaminación de plomo en áreas industriales sobre todo en donde hay ubicadas fábricas de baterías de automóviles, aunque la mayoría de los estudios que se han realizado corresponden a los niveles de plomo presentes en la sangre de los trabajadores de esas fábricas.

Con este proyecto se busca determinar la presencia del plomo en suelos agrícolas y urbanos, los cuales pueden afectar el desarrollo de las plantas y posteriormente afectar, a través de la cadena alimentaria la salud de animales e incluso el hombre como ha ocurrido en otras regiones del planeta.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

- Evaluar el contenido y los niveles de plomo presentes en los suelos usados para la producción agropecuaria y en zonas urbanas adyacentes a las calles y carreteras.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar la variación de los niveles de plomo a 25, 50, 75 y 100 metros de distancia en los suelos ubicados a orillas de las carreteras de las áreas agropecuarias y urbanas.
- Comparar los niveles de plomo en los diferentes suelos analizados según las características físicas y químicas de los mismos.
- Determinar si existe persistencia residual del plomo en suelos del país ubicados a orillas de las carreteras nacionales cuando se compara con los valores reportados en los suelos de otros países que se encuentran bajo las mismas condiciones.

1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

El estudio tuvo como fin evaluar y conocer la presencia de plomo en muestras de suelos de zonas agrícolas y urbanas adyacentes a carreteras a nivel nacional, a intervalos de 25, 50, 75 y 100 m de la orilla, así mismo cuantificar los niveles que presenta este elemento en los diferentes puntos de muestreo.

La principal limitación frente al estudio, estuvo relacionado con la metodología de extracción del plomo, ya que no se contaba con una metodología validada para la determinación de plomo en suelos que sirviera de referencia al estudio por lo que hubo que elaborar una metodología que se ajustara a lo que se requería analizar.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Metales pesados

Los metales pesados presentes en el suelo presentan dos orígenes, primeramente de naturaleza geogénica (origen natural) es decir que los contenidos de los metales se deben a la composición mineral, o antropogénica cuando la composición de los metales son superiores a su composición geoquímica y son el resultado de las actividades del hombre como la minería, la industria o la agricultura (Acevedo *et al*, 2005).

2.2. El plomo en el suelo

El plomo es un metal gris-azulado, encontrado en pequeñas cantidades en la corteza terrestre, se encuentra distribuido en el ambiente principalmente a causa de las actividades como la minería, manufactura industrial y quema de combustibles (Pinzón, 2015), Kabata-Pendias y Pendias (2001), mencionan que su forma primaria en estado natural es la galena (PbS), a su vez Oriundo y Robles (2009), aportan que el plomo es insoluble en agua, resiste al ácido sulfúrico, es soluble en presencia de ácido nítrico y soluciones de este ácido.

Según Lagerwerff, citado por Kirkby y Mengel (1982), la fuente principal de contaminación de plomo surge por la combustión de la gasolina, cerca del 80% del plomo total de la atmósfera se lo atribuye a este origen, esto debido al uso del tetra etilo de plomo como antidetonante en la gasolina.

Cala y Kunimine (2003), aportan que la distribución química del plomo en el suelo depende del pH del suelo, la mineralogía, textura y contenido de la materia orgánica, igualmente del tipo de compuesto de plomo, Acevedo *et al* (2005) mencionan que el encalado disminuye la disponibilidad del plomo, ya que en condiciones alcalinas este elemento se precipita en forma de hidróxido, fosfato o carbonato; también se promueve la formación de complejos orgánicos estables de plomo, contrario a esto la acidez del suelo aumenta la solubilidad de plomo. De igual forma Kabata-Pendias y Pendias (2001), mencionan que la localización del plomo en las capas superficiales está ligado a la materia orgánica por lo que considera a la materia orgánica un importante sumidero de plomo en el suelo.

Carrasquero-Duran (2006) estudió la función de profundidad vertical de plomo en suelos de Maracay, estableciendo que la mayor acumulación de este elemento se da en los primeros 20 cm, en contraste la U.S. EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), citada por Moreno (2006), agrega que el plomo en el suelo se deposita mayormente a profundidades entre dos y cinco cm de profundidad.

Nriagu (1979) citado por Moreno *et al* (2006) fija valores para suelos no contaminados por plomo, inferiores a 50 ppm, para suelos contaminados en áreas urbanas valores superiores a 200 ppm, en tanto para zonas próximas a minas de plomo, industrias que utilizan el metal y fundiciones, niveles que exceden los 60 000 ppm. Gought *et al* 1988 citado por Kabata-Pendias y Pendias (2001), encontraron valores de 4 a 349 ppm de plomo en suelos de Alaska, teniendo aproximadamente el 90% de las muestras, valores de 20 ppm;

en base a esto y tomando en cuenta lo remoto de la región y los bajos niveles, se sugieren 20 ppm como valor de referencia de este metal para suelos del mundo.

2.3. Efectos de la contaminación por plomo

Rubio *et al* (1996) citado por Acosta 2007, mencionan que existe una contaminación por metales pesados cuando el contenido de estos en el suelo excede considerablemente los valores medios, estos pueden alcanzar valores peligrosos para plantas y animales que habitan el suelo y sus consumidores primarios que inicia en los herbívoros.

Pinzón (2015), explica que comúnmente alimentos cultivados en zonas industriales o cercanas a autopistas con alto tráfico vehicular, contienen niveles mayores de plomo que aquellos cultivados en áreas apartadas.

Hughes *et al*, citados por Kabata-Pendias y Pendias (2001), establecen una posible relación entre la presencia de niveles altos de plomo y la limitación en la actividad enzimática de la microbiota y como resultado un aumento en la materia orgánica en descomposición incompleta, a su vez ILA, citada por Pinzón (2015), aporta que en aguas superficiales, este elemento produce perturbaciones al fitoplancton, que es una fuente de oxígeno en los océanos y de alimentos para muchos organismos acuáticos. Zavala (2012) afirma que los efectos del plomo sobre la salud de los crustáceos pueden tener lugar incluso en niveles bajos de este elemento.

Muñoz (2009) menciona que el plomo en el hombre afecta el sistema reproductor y que la exposición a este elemento por parte de mujeres embarazadas afecta al neonato, produciendo nacimientos prematuros, niños con bajo peso, abortos y problemas del sistema nervioso central.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Muestreo y georreferenciación

Se seleccionaron 10 puntos de muestreo a nivel nacional (Fig.1), considerando para ello su cercanía a la carretera. Para el muestreo se utilizó un barreno tipo holandés; las muestras fueron tomadas a 10 cm de profundidad, con tres repeticiones a 25, 50, 75 y 100 metros de la orilla de la carretera (Fig. 2). Se georreferenciaron los puntos de muestreo con un GPS Garmin Etrex 20.

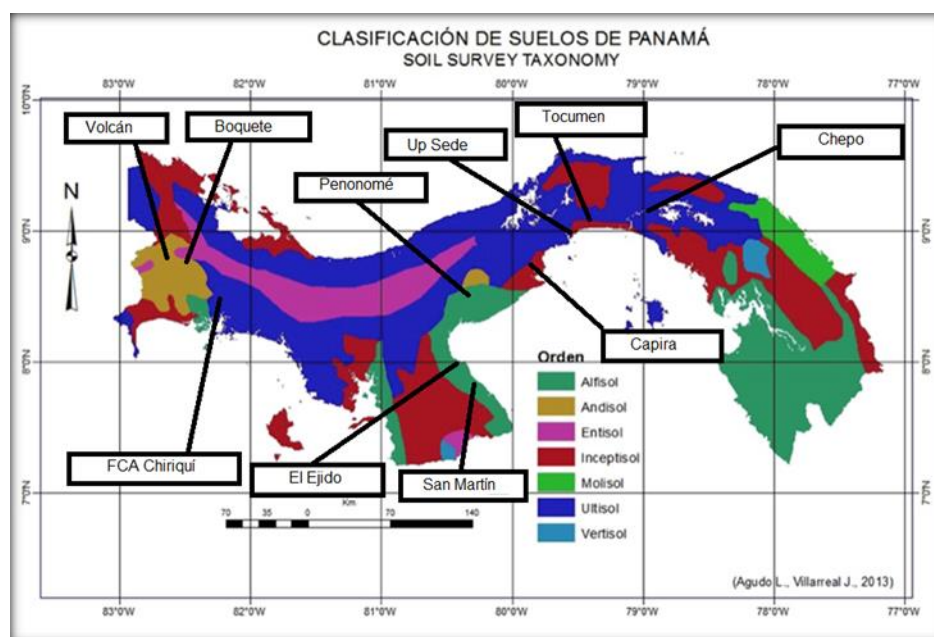


Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo
Fuente: IDIAP, J.E. 2013

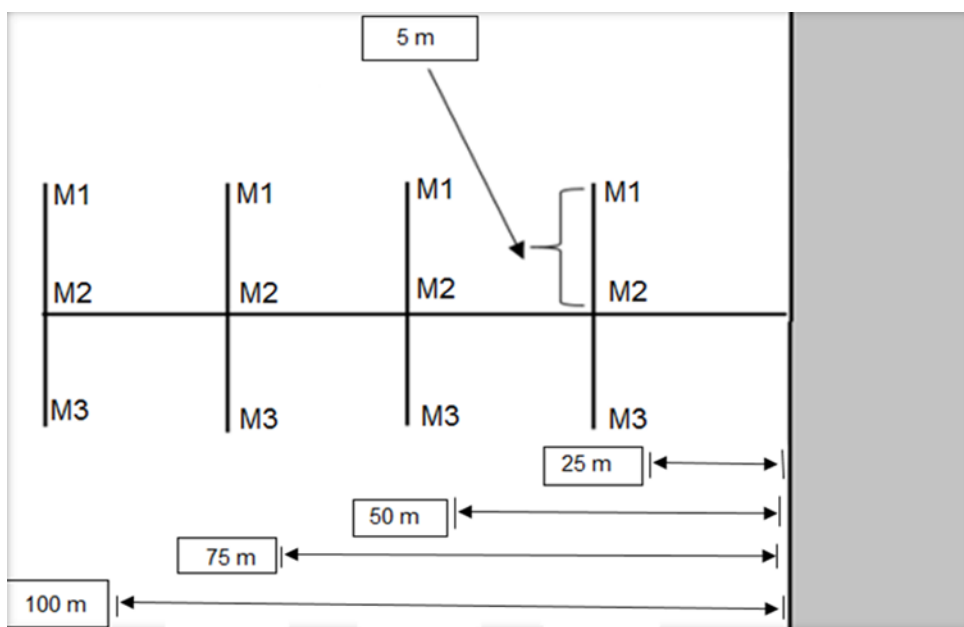


Figura 2. Distancia horizontal al borde de la carretera de las muestras tomadas

3.2. Parámetros químicos y físicos determinados en los suelos

3.2.1 Preparación de las muestras de suelo para los análisis

Las muestras de suelo fueron trasladadas al laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá, secadas al aire en bandejas, molidas, tamizadas y almacenadas en bolsas plásticas cerradas, debidamente rotuladas.

3.2.2. Determinación de pH:

La determinación del pH del suelo se realizó por el método potenciométrico utilizando para el mismo un potenciómetro digital, CRISON GLP22, calibrado con soluciones estándar de pH conocido cuatro y siete. Los pH de las muestras de suelo se obtuvieron en una relación suelo:agua de 1:2.5.

3.2.3. Determinación de la textura

La textura es una de las características físicas más importantes, ya que con ella se puede predecir el comportamiento físico del suelo, haciendo inferencias acerca del movimiento de agua, la facilidad del manejo y la cantidad de nutrientes (Alcalá y Flores, 2010). La textura de las diversas muestras de suelo se obtuvo mediante el método de bouyoucos, el cual se basa en la ley de Stokes en virtud de la cual una partícula esférica sólida cae a una velocidad constante en un medio líquido de densidad menor (Andrades *et al*, 2015).

3.2.4. Determinación de la materia orgánica

La determinación del porcentaje de materia orgánica en los suelos se realizó mediante el método de Walkey & Black; en este la materia orgánica se calcula determinando el carbono orgánico que contiene el suelo mediante vía húmeda (Andrades *et al*, 2015). El método por vía húmeda de Walkey & Black utiliza dicromato de potasio para la oxidación del suelo y se calcula el carbono orgánico valorando el exceso de dicromato con sal de Mohr $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ (Almendros *et al*, 2010).

3.2.5. Determinación de la fertilidad

En la determinación de la fertilidad se analizaron nueve elementos a saber: fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc, cobre, hierro, manganeso y sodio. De estos el fósforo se estudió mediante colorimetría, utilizando para ello un fotómetro SHIMADZU UV-1203, mientras que los demás elementos se analizaron por absorción atómica en llama aire-acetileno.

3.2.6. Determinación de plomo

Para la determinación de plomo se utilizó el método propuesto por Llosa *et al* (1990), modificado en este estudio. Para la extracción se utilizó exactamente un gramo de suelo por muestra; para aquellas muestras con alto contenido de materia orgánica se colocaron en crisoles y se incineraron en una mufla a 550 grados Celsius para eliminar la materia orgánica causante de interferencias y obstrucciones en el equipo durante la medición. Posterior a ello, se pasaron las muestras a tubos de ensayo debidamente rotulados, se les agregó con pipeta volumétrica cuatro ml de ácido nítrico concentrado y se colocaron en baño maría por espacio de cuatro horas. Finalizado el tiempo y reducido el ácido nítrico a entre 0.5 y 1.0 ml, se dejaron reposar por espacio de media hora, se filtraron con papel filtro Whatman número uno. El suelo se lavó con sucesivos pases de ácido nítrico diluido al 1% como se muestra en la figura 3 y se aforó el extracto de suelo en matraz aforado de 10 ml. En el extracto obtenido se determinó el plomo disponible por espectrofotometría de absorción atómica con llama aire-acetileno

(Fig. 4). Para la confección de la gráfica se utilizaron soluciones patrón de 1, 2, 3, 4 y 5 ppm de plomo en ácido nítrico al 1%.



Figura 3. Filtrado y lavado de las muestras con ácido nítrico al 1%



Figura 4. Aparato de absorción atómica SHIMADZU AA 7000

3.3. Evaluación del plomo en los suelos

Se evaluó si existía o no presencia de plomo en muestras de suelo a orilla de carreteras; así mismo, se cuantificó los niveles existentes y tomando en cuenta la revisión de literatura se determinó si los valores obtenidos concordaban con los valores de referencia para suelos contaminados o no contaminados.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos obtenidos de la determinación de plomo fueron analizados con el software estadístico INFOSTAT (Balzarini *et al*, 2017). Cada uno de los puntos de muestreo se analizó como un diseño completamente aleatorizado, tomando las diferentes distancias (25, 50, 75 y 100 m) como los tratamientos, al igual que tres repeticiones por cada tratamiento. Se analizó si existían diferencias significativas en las medias de los tratamientos y en aquellos casos en que se dio dicha diferencia, se realizó una comparación de medias utilizando para ello la metodología utilizada por Tukey. Todos los datos presentados fueron analizados para determinar su normalidad utilizando la prueba de Shapiro-Wilks. Por último, se realizó una comparación entre todos los puntos de muestreo para determinar si existían diferencias significativas en el contenido de plomo entre un punto y otro. Los resultados de los análisis estadísticos se presentan a continuación con su respectiva explicación.

4.1. Niveles de plomo detectados

Con relación a los niveles de plomo presentados en el CUADRO I obtenidos en los suelos analizados, estos se encuentran en el rango entre 1-56 ppm, encontrándose en suelos tomados en la Universidad de Panamá-Campus Central, los niveles más elevados. Tomando como referencia lo establecido por Nriagu (1979), citado por Moreno *et al* (2006), que fija valores superiores a 200 ppm como límite inferior de contaminación por plomo, se puede decir que los valores encontrados no se consideran dentro del rango para suelos contaminados.

CUADRO I. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE DETERMINACIÓN DE PLOMO EN MUESTRAS DE SUELO A ORILLA DE CARRETERA A NIVEL NACIONAL

Suelo	Ubicación	Uso	Distancia Horizontal del borde de la carretera															
			25 m				50 m				75 m				100 m			
			M1	M2	M3	\bar{x}	M1	M2	M3	\bar{x}	M1	M2	M3	\bar{x}	M1	M2	M3	\bar{x}
1	Universidad de Panamá (Campus Central)	Jardín del Campus (área urbana)	15	21	20	18.7	33	25	16	24.7	29	26	6	20.3	22	56	32	36.7
2	CEIAT	Pastos y árboles	3	3	3	3	9	9	7	8.3	7	10	7	8	2	4	3	3
3	Chepo	Cultivo de arroz	*	8	6	7	*	9	2	5.5	3	3	3	3	4	4	4	4
4	Villa Rosario (Capira)	Guayaba Taiwanesea	8	7	6	7	3	10	8	7	7	4	3	4.7	4	4	6	4.7
5	Penonomé	Cultivos varios	5	5	4	4.7	8	10	7	8.3	6	8	7	7	14	5	5	8
6	FCA (Chiriquí)	Pastos	12	17	12	13.7	8	6	6	6.7	7	6	6	6.3	6	6	1	4.3
7	El Ejido (Los Santos)	Cultivos varios	8	10	10	9.3	6	5	4	5	6	4	4	4.7	5	3	4	4
8	San Martín (Las Tablas)	Área urbana	2	2	2	2	2	3	3	2.7	5	3	1	3	2	5	4	3.7
9	Volcán (Chiriquí)	Área urbana	1	1	1	1	1	2	2	1.7	2	2	2	2	1	6	1	2.7
10	Boquete (Chiriquí)	Cafetal	7	7	7	7	4	4	6	4.7	17	9	10	12	6	6	6	6

4.2. Puntos de muestreo

4.2.1. Punto 1. Universidad de Panamá (Campus Central)

En el CUADRO II se muestra los resultados de la prueba de normalidad de datos; debido a que el valor $p=0.8086 > \alpha=0.05$ (α =significancia), se corrobora el supuesto de normalidad de los datos y se concluye que los datos estudiados siguen una distribución normal.

CUADRO II. RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS DATOS POR LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE LA UNIVERSIDAD DE PANAMÁ (CAMPUS CENTRAL)

Variable	n	Media	D.E.	W*	P(Unilateral D)	α
RDUO Pb extraído	12	0.00	9.95	0.96	0.8086	0.05

InfoStat (Balzarini *et al* 2017)

El CUADRO III tiene los datos correspondiente al análisis de varianza (ANOVA), tomando en cuenta el P-valor= $0.2977 > \alpha=0.05$ se concluye que no existen diferencias significativas entre las medias del contenido de plomo a distintas distancias

CUADRO III. ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE LA UNIVERSIDAD DE PANAMÁ (CAMPUS CENTRAL)

CV=46.51 N=12

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Distancia	594.25	3	198.08	1.46	0.2977
Error	1088.67	8	136.08		
Total	1682.92	11			

InfoStat (Balzarini *et al* 2017)

4.2.2 Punto 2. CEIAT (Centro de Enseñanza e Investigaciones Agropecuarias de Tocumen)

En el CUADRO IV se muestran los resultados del análisis de normalidad. Para un valor $p=0.4115 > \alpha=0.05$ (α =significancia) se concluye que los datos evaluados siguen una distribución normal.

CUADRO IV. RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS DATOS POR LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DEL CEIAT

Variable	n	Media	D.E.	W*	P(Unilateral D)	α
RDUO Pb extraído	12	0.00	0.98	0.92	0.4115	0.05

InfoStat (Balzarini *et al* 2017)

En el CUADRO V se presentan los resultados del análisis de varianza, en el que para un $p\text{-valor} = 0.0004 < \alpha = 0.05$, se concluye que existen diferencias significativas en las medias del contenido de plomo a distintas distancias.

CUADRO V. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DEL CEIAT

CV=20.68 N=12

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Distancia	80.25	3	26.75	20.06	0.0004
Error	10.67	8	1.33		
Total	90.92	11			

InfoStat (Balzarini *et al* 2017)

En el CUADRO VI se muestran los resultados de la prueba de comparación de medias por el método de Tukey, los resultados demuestran diferencias significativas entre las medias del contenido de plomo a 25 y 100 m (letras iguales A), con respecto a las medias del contenido de plomo a 50 y 75 m (letras iguales B).

CUADRO VI. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS POR EL MÉTODO DE TUKEY DEL SUELO DEL CEIAT

Alfa=0.05 DMS= 3.01921 Error: 1.3333 gl: 8

Distancia	Medias	n	E.E.		
100	3.00	3	0.67	A	
25	3.00	3	0.67	A	
75	8.00	3	0.67		B
50	8.00	3	0.67		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$)
InfoStat (Balzarini et al 2017)

En el CUADRO VII se presentan las medias de los resultados de textura, pH, materia orgánica y plomo obtenidos en el análisis de laboratorio de las muestras. Comparando estos parámetros con el contenido de plomo en las muestras a distintas distancias, concuerdan con lo expuesto por Kabata-Pendias y Pendias (2001), en donde se estima que los parámetros de pH y materia orgánica están directamente relacionados con el contenido de plomo en muestras de suelo. Se observa el cambio en la textura del suelo entre las distancias de 25 y 100 metros, con respecto a la de 50 y 75 m. A mayor contenido de materia orgánica, mayor es la concentración de plomo, de igual manera a mayor acidez, mayor contenido de plomo disponible en el suelo. Los resultados muestran cómo el lavado ha causado una reducción del contenido de plomo en las muestras a 25 y 100 m.

CUADRO VII. PROMEDIO DE LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS TEXTURAL, PH, MATERIA ORGÁNICA Y PLOMO EXTRAÍDO EN EL SUELO DEL CEIAT

Distancia	Textura	pH	% de MO	Pb extraído
25	Franco arcillosa	7.8	2.8	3
50	Franco arcilla limosa	5.7	6	8.3
75	Franco arcilla limosa	5.5	6	8.0
100	Franco arcilla	6.9	2.4	3

InfoStat (Balzarini *et al* 2017)

4.2.3. Punto 3. Chepo

En el cuadro VIII se muestran los resultados de la prueba de normalidad; en base a ello, para un valor de $p = 0.1611 > \alpha = 0.05$ ($\alpha =$ significancia) se concluye que los datos del contenido de plomo siguen una distribución normal.

CUADRO VIII. RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS DATOS POR LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE CHEPO

Variable	n	Media	D.E.	W*	P(Unilateral D)	α
RDUO Pb extraído	10	0.00	1.72	0.87	0.1611	0.05

InfoStat (Balzarini *et al* 2017)

El cuadro IX presenta los resultados del análisis de varianza, para lo cual con un $P\text{-valor}=0.2746 > \alpha=0.05$, podemos concluir que no existen diferencias significativas en las medias del contenido de plomo a distintas distancias.

CUADRO IX. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE CHEPO

CV=45.69 N=10

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Distancia	21.90	3	7.30	1.65	0.2746
Error	26.50	6	4.42		
Total	48.40	9			

InfoStat (Balzarini *et al* 2017)

4.2.4. Punto 4. Capira

En el CUADRO X se presentan los resultados de la prueba de normalidad de las muestras, con lo cual para un $p=0.8760 > \alpha=0.05$ (α =significancia), se acepta el supuesto de normalidad de los datos.

CUADRO X. RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS DATOS POR LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE CAPIRA

Variable	n	Media	D.E.	W*	P(Unilateral D)	α
RDUO Pb extraído	12	0.00	1.89	0.96	0.8760	0.05

InfoStat (Balzarini *et al* 2017)

En el CUADRO XI se presentan los resultados del análisis de varianza; en donde para un $P\text{-valor}=0.4012 > \alpha=0.05$, se concluye que no existen diferencias significativas en las medias de los contenidos de plomo a distintas distancias.

CUADRO XI. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE CAPIRA

CV= 38.01 N=12

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Distancia	16.33	3	5.44	1.11	0.4012
Error	39.33	8	4.92		
Total	55.67	11			

InfoStat (Balzarini *et al* 2017)

4.2.5. Punto 5. Penonomé

En el CUADRO XII se presentan los resultados del análisis de normalidad de los datos, en el que para un valor $p = 0.2296 > \alpha = 0.05$ (α =significancia), se acepta el supuesto de normalidad de los datos.

CUADRO XII. RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS DATOS POR LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE PENONOMÉ

Variable	n	Media	D.E.	W*	P(Unilateral D)	α
RDUO Pb extraído	12	0.00	2.36	0.89	0.2296	0.05

InfoStat (Balzarini *et al* 2017)

El CUADRO XIII presenta los resultados del análisis de varianza, en el que para un $P\text{-valor} = 0.4137 > \alpha = 0.05$, se concluye que no existen diferencias significativas en las medias del contenido de Pb a distintas distancias del borde de la carretera.

CUADRO XIII. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE PENONOMÉ

CV=39.56 N=12

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Distancia	24.67	3	8.22	1.07	0.4137
Error	61.33	8	7.67		
Total	86.00	11			

InfoStat (Balzarini *et al* 2017).

4.2.6. Punto 6. FCA Chiriquí

En el CUADRO XIV se presentan los resultados del análisis de normalidad, en el que para un $p=0.9382 > \alpha=0.05$ (α =significancia) se acepta el supuesto de que los datos siguen una distribución normal.

CUADRO XIV. RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS DATOS POR LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE LA FCA CHIRIQUÍ

Variable	n	Media	D.E.	W*	P(Unilateral D)	α
RDUO Pb extraído	12	0.00	1.83	0.97	0.9382	0.05

InfoStat (Balzarini *et al* 2017)

En el CUADRO XV se muestran los resultados del análisis de varianza; se expresa entonces que para un $P\text{-valor}=0.0034 < \alpha=0.05$, existen diferencias significativas en las medias del contenido de plomo a diferentes distancias del borde de la carretera.

CUADRO XV. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE LA FCA CHIRIQUÍ

CV=27.62 N=12

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Distancia	149.58	3	49.86	10.88	0.0034
Error	36.67	8	4.58		
Total	186.25	11			

InfoStat (Balzarini *et al* 2017)

El cuadro XVI muestra los resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey; los resultados obtenidos demuestran diferencias significativas en las medias del contenido de plomo a 25 m, con respecto al resto de distancias (50, 75 y 100 m). En base a estos resultados se puede inferir que esta diferencia se debe a remanentes en la contaminación de plomo producto de la combustión de la gasolina.

CUADRO XVI. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO POR EL MÉTODO DE TUKEY DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE LA FCA CHIRIQUÍ

Alfa=0.05 DMS= 5.59776 Error: 4.5833 gl: 8

Distancia	Medias	n	E.E.		
100	4.33	3	1.24	A	
75	6.33	3	1.24	A	
50	6.67	3	1.24	A	
25	13.67	3	1.24		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)
InfoStat (Balzarini et al 2017)

En base a los resultados presentados en el CUADRO XVII, se puede comparar el contenido de plomo de las muestras con los parámetros de textura, pH y materia orgánica. En general, el contenido de plomo en las muestras aparenta estar ligado al pH (suelos ácidos) y al remanente de la contaminación de plomo de los escapes de los automóviles. Por las diferencias observadas entre los 25 m con respecto a las demás muestras, aun cuando las diferencias entre las distancias de 50, 75 y 100 m no se consideran significativas, se puede observar un leve descenso a medida que aumenta la distancia con respecto a la carretera. Otro aspecto a considerar sería el tipo de arcilla presente, ya que este elemento puede encontrarse sustituyendo a otros elementos en la CIC (capacidad de intercambio catiónico) del suelo.

CUADRO XVII. PROMEDIO DE LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS TEXTURAL, pH, MATERIA ORGÁNICA Y PLOMO EXTRAÍDO EN EL SUELO DE LA FCA CHIRIQUÍ

Distancia	Textura	pH	% de MO	Pb extraído
25	Franca	4.92	5.37	13.7
50	Franca	4.93	7.13	6.7
75	Franca	4.94	7.82	6.3
100	Franca	5.00	7.43	4.3

InfoStat (Balzarini *et al* 2017)

4.2.7. Punto 7. El Ejido

En el CUADRO XVIII se muestran los resultados del análisis de normalidad, en base a ellos para un valor de $p=0.1834 > \alpha=0.05$ (α =significancia), se acepta el supuesto de normalidad, y se concluye que los datos siguen una distribución normal.

CUADRO XVIII. RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS DATOS POR LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE EL EJIDO

Variable	n	Media	D.E.	W*	P(Unilateral D)	α
RDUO Pb extraído	12	0.00	0.92	0.89	0.1834	0.05

InfoStat (Balzarini *et al* 2017)

El CUADRO XIX muestra los resultados del análisis de varianza, con lo que para un $p\text{-valor}=0.0014 < \alpha=0.05$, podemos concluir que existen diferencias significativas en las medias del contenido de plomo a distintas distancias.

CUADRO XIX. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE EL EJIDO

CV=18.78 N=12

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Distancia	52.92	3	17.64	15.12	0.0014
Error	9.33	8	1.17		
Total	62.25	11			

InfoStat (Balzarini *et al* 2017)

El CUADRO XX muestra los resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey; los resultados muestran diferencias significativas en las medias del contenido de plomo a 25 m con respecto a las distancias de 50, 75 y 100 m. Podemos decir que esta diferencia se debe a los remanentes de contaminación de plomo producto de los escapes de automóviles.

CUADRO XX. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO POR EL MÉTODO DE TUKEY EN MUESTRAS DE SUELO DE EL EJIDO

Alfa=0.05 DMS= 2.82421 Error: 1.1667 gl: 8

Distancia	Medias	n	E.E.		
100	4.00	3	0.62	A	
75	4.67	3	0.62	A	
50	5.00	3	0.62	A	
25	9.33	3	0.62		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)
InfoStat (Balzarini *et al* 2017)

4.2.8. Punto 8. San Martin

En el CUADRO XXI se muestran los resultados de la prueba de normalidad; para un valor $p = 0.4856 > \alpha = 0.05$ (α =significancia), se acepta el supuesto de normalidad de los datos, es decir los datos siguen una distribución normal.

CUADRO XXI. RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS DATOS POR LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE SAN MATÍN

Variable	n	Media	D.E.	W*	P(Unilateral D)	α
RDUO Pb extraído	12	0.00	1.10	0.92	0.4856	0.05

InfoStat (Balzarini *et al* 2017)

En el CUADRO XXII se muestran los resultados del análisis de varianza; para el cual con un $P\text{-Valor}=0.4970 > \alpha=0.05$, se concluye que no hay diferencias significativas en las medias del contenido de plomo a distintas distancias del borde de la carretera.

CUADRO XXII. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DEL SAN MARTÍN

(CV=45.46 N=12)

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Distancia	4.33	3	1.44	0.87	0.4970
Error	13.33	8	1.67		
Total	17.67	11			

InfoStat (Balzarini, M.G; *et al.* 2017)

4.2.9. Punto 9. Volcán

El CUADRO XXIII muestra los resultados de la determinación de la normalidad, por lo cual para un valor $P=0.0086 < \alpha=0.05$, se rechaza el supuesto de normalidad; por ende, se concluye que los datos no siguen una distribución normal. En base a esto y a los valores reducidos de plomo encontrados se tomó la decisión de no realizar más pruebas estadísticas

CUADRO XXIII. RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS DATOS POR LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE VOLCÁN

Variable	n	Media	D.E.	W*	P(Unilateral D)	α
RDUO Pb extraído	12	0.00	1.26	0.80	0.0086	0.05

InfoStat (Balzarini, M.G; *et al.* 2017)

.4.2.10. Punto 10. Boquete

En el CUADRO XXIV se presentan los resultados del análisis de normalidad para lo cual a un valor de $P=0.0640 > \alpha=0.05$ (α =significancia), se acepta el supuesto de que los datos siguen una distribución normal.

CUADRO XXIV. RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS DATOS POR LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DE BOQUETE

Variable	n	Media	D.E.	W*	P(Unilateral D)	α
RDUO Pb extraído	12	0.00	1.92	0.85	0.0640	0.05

InfoStat (Balzarini *et al* 2017)

En el CUADRO XXV se presenta el análisis de varianza en el cual para un P-valor= $0.0187 < \alpha=0.05$, se concluye que existen diferencias significativas en las medias del contenido de plomo a distintas distancias.

CUADRO XXV. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO DEL SUELO DE BOQUETE

CV=30.40 N=12

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Distancia	92.25	3	30.75	6.05	0.0187
Error	40.67	8	5.08		
Total	132.92	11			

InfoStat (Balzarini *et al* 2017)

El CUADRO XXVI presenta los resultados de la comparación de medias de Tukey; los resultados expresan que no existen diferencias entre las medias del contenido de plomo a 25, 50 y 100 m de la orilla de la carretera y existen diferencias entre el contenido de plomo a 50 y 100 m de con respecto a la de 75 m.

CUADRO XXVI. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS POR EL MÉTODO DE TUKEY DEL SUELO DE BOQUETE

Alfa=0.05 DMS= 5.89519 Error: 5.0833 gl: 8

Distancia	Medias	n	E.E.		
50	4.67	3	1.30	A	
100	6.00	3	1.30	A	
25	7.00	3	1.30	A	B
75	12.00	3	1.30		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)
 InfoStat (Balzarini *et al* 2017)

4.2.11. Comparación de los niveles de plomo obtenidos en los suelos de las diferentes localidades muestreadas

En el CUADRO XXVII se muestran los resultados de la prueba de normalidad de datos; se tiene de esta manera que para un $P = 0.1037 > \alpha = 0.05$ (α = significancia), se acepta el supuesto de normalidad y se concluye que los datos siguen una distribución normal.

CUADRO XXVII. RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS DATOS POR LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO ENTRE PUNTOS MUESTREADOS

Variable	n	Media	D.E.	W*	P(Unilateral D)	α
RDUO Pb extraído	36	0.00	3.14	0.93	0.1037	0.05

InfoStat (Balzarini *et al* 2017)

En el CUADRO XXVIII se muestra el análisis de varianza de los datos y se tiene que para un $P\text{-Valor} = 0.0001 < \alpha = 0.05$, se concluye que existen diferencias significativas en las medias del contenido de plomo entre puntos de muestreo. Debido a esto se realizó una prueba posterior para determinar en cuáles de los puntos hubo diferencias.

CUADRO XXVIII. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS MEDIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO DE LAS MUESTRAS DE SUELO ENTRE PUNTOS MUESTREADOS

CV=47.36 N=36

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Puntos De Muestreo	1381.19	8	172.65	11.99	<0.0001
Distancia	1.69	3	0.56	0.04	0.9894
Error	345.69	24	14.40		
Total	1728.58	35			

InfoStat (Balzarini *et al* 2017)

En el CUADRO XXIX se muestran los resultados de la comparación de medias por el método de Tukey; tomando en cuenta que a letras iguales, no hay diferencias y a letras diferentes, se presenta diferencias significativas, se puede observar que existe una marcada diferencia entre el contenido de plomo en las muestras colectadas en el Punto 1 (Universidad de Panamá-Campus Central), con respecto al resto de los puntos de muestreo, debiéndose esta diferencia en los valores de plomo encontrados en este punto de muestreo a una mayor circulación vehicular en el Punto 1.

CUADRO XXIX. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS POR EL MÉTODO DE TUKEY ENTRE PUNTOS MUESTREADOS

Alfa=0.05 DMS= 9.12169 Error: 14.4039 gl: 24

Puntos de muestreo	Medias	n	E.E.		
San Martín	2.83	4	1.90	A	
Chepo	4.88	4	1.90	A	
CEIAT	5.58	4	1.90	A	
El Ejido	5.75	4	1.90	A	
Capira	5.83	4	1.90	A	
Penonomé	7.00	4	1.90	A	
Boquete	7.42	4	1.90	A	
FCA Chiriquí	7.75	4	1.90	A	
Up Sede	25.08	4	1.90		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

InfoStat (Balzarini et al 2017)

5. CONCLUSIONES

Una vez finalizado este trabajo se puede concluir que

- Los contenidos de plomo presentes en al menos tres puntos de muestreo (Universidad de Panamá-Campus Central, FCA Chiriquí y El Ejido), corresponden a remanentes de la contaminación de plomo producto de la combustión de la gasolina y se pudo constatar por los niveles presentes y su reducción con respecto a mayor distancia del borde de la carretera.
- Los niveles encontrados de plomo no corresponden a suelos contaminados al ser comparados con los encontrados en la literatura existente.
- Los niveles más elevados de plomo encontrados corresponden a la Universidad de Panamá-Campus Central; se estima que tales niveles están relacionados con la influencia de dos vías de circulación de vehículos contiguos al punto de muestreo, y al mayor aforo vehicular de la ciudad con respecto a los otros puntos de muestreo.
- Se estima que debido a factores como el tiempo de análisis a quince años desde que se eliminó el tetra etilo de plomo en la gasolina, y al lavado de los suelos debido a la precipitación pluvial, se han reducido los niveles de contaminación en los suelos a orilla de las carreteras.

6. RECOMENDACIONES

- A pesar de que en general se encontraron niveles de plomo en suelos a orilla de carretera en cantidades que no se consideran como suelos contaminados, sería de utilidad realizar un segundo estudio a nivel de la capital en las vías de mayor aforo vehicular, ya que aunque los valores encontrados en la Universidad de Panamá-Campus Central, no se consideran como suelos contaminados, son por mucho mayores en comparación a los encontrados a nivel nacional.
- Se recomienda hacer análisis del metal pesado plomo en suelos adyacentes o próximos a industrias que utilizan el plomo como una de las materias primas en la fabricación de baterías para autos y otros productos afines.

7. REFERENCIAS CITADAS

- Acevedo, E; Borie, G; Ahumada, I; Carrasco, M; Castillo, G; González, S; León, O; Martínez, E. 2005. Criterios de calidad de suelos agrícolas (en línea). Consultado 13 jul. 2017. Disponible en: http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_suelos/1_portada_indice.pdf
- Acosta, M. 2007. Determinación de metales pesados en suelos agrícolas del Valle de Mezquital, HGO (en línea). Consultado 12 jul. 2017. Disponible en: <http://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/10993/Determinacion%20de%20metales%20pesados%20suelos%20agricolas.pdf?sequence=1>
- Alarcón, M.A; Fernández, M.T; Hernández, J.A. 2005. Valores de fondo y valores genéricos de referencia para Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn en Suelos del Campo de Cartagena, Murcia (en línea). EDAFOLOGÍA, 12. (2): 105-114. Consultado 10 jul. 2017. Disponible en: <http://edafologia.ugr.es/Revista/tomo12b/articulo105.pdf>
- Alcalá, J; Flores, L. 2010. Manual de procedimientos analíticos (en línea). Consultado 26 jul. 2017. Disponible en: <http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/lfs/manualLFS.pdf>
- Almendros, G; De la Rosa, J.M; González, F.J; González, J.A; Knicker, H; 2010. Protocolos y técnicas analíticas e instrumentales para evaluar el impacto del fuego sobre la materia orgánica del suelo (en línea). Consultado 26 jul. 2017. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10261/42957>
- Andrades, M; Masaguer, A; Moliner, A. 2015. Prácticas de edafología: métodos didácticos de análisis de suelos (en línea). Universidad de la Rioja. Consultado 26 jul. 2017. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/download/libro/580696.pdf>
- Balzarini, M.G; Casanoves, F; Di Rienzo J.A; Gonzalez L; Robledo C.W; Tablada M. 2017. InfoStat. Grupo InfoStat, (en línea). FCA, Universidad Nacional de Córdoba, AR.; Consultado 27 oct. 2017. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
- Cala, V; Kunimine, Y. 2003. Distribución de plomo en suelos contaminados en el entorno de una planta de reciclaje de baterías ácidas (en línea). Rev. Int. Contam. Ambient. 19 (3) 109-115. Consultado 16 jul. 2017. Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/370/37019301/>

- Carrasquero-Durán, A. 2006. Determinación de los niveles de contaminación con plomo en los suelos y polvo de las calles de la ciudad de Maracay (en línea). Consultado 22 jul. 2017. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2006000200006
- Cedeño, M; Sanidas, J. 1996. Decreto de ley por la cual se establecen controles para evitar la contaminación ambiental ocasionada por combustibles y plomo.(en línea). Consultado 12 jul. 2017. Disponible en: <http://www.cnpml.org.pa/images/nosotros/aire/cont-atm-por-combustible-y-plomo.pdf>
- Kabata-Pendias, A.; Pendias, H. 2001. Trace elements in soil and plants (en línea). Consultado 8 jul. 2017. Disponible en: <http://base.dnsgb.com.ua/files/book/Agriculture/Soil/Trace-Elements-in-Soils-and-Plants.pdf>
- Kirkby, E. A; Mengel, K. 1982. Principles of plant nutrition, 3ed, Worblaufen-Bern, CH. International Potash Institute, s.p.
- Llosa, R; Negro de Aguirre, E; Noriega, G. 1990. Niveles de plomo, cadmio, zinc y cobre en suelos del área metropolitana y suburbana de buenos aires (en línea). Consultado 21 jul. 2017. Disponible en: https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_8n1/llosa.pdf
- Moreno, M; Puga, S; Quintana, M; Reyes, B; Sosa, M. *et al* 2006. Evaluación del impacto ambiental por plomo en suelo provocado por una empresa minera en la ciudad de Chihuahua (en línea). Consultado 14 jul. 2017. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Rey_Quintana/publication/228697049_EVALUACION_DEL_IMPACTO_AMBIENTAL_POR_PLOMO_EN_SUELO_PROVOCADO_POR_UNA_EMPRESA_MINERA_EN_LA_CIUADAD_DE_CHIHUAHUA/links/00b495154bc5819517000000/EVALUACION-DEL-IMPACTO-AMBIENTAL-POR-PLOMO-EN-SUELO-PROVOCADO-POR-UNA-EMPRESA-MINERA-EN-LA-CIUADAD-DE-CHIHUAHUA.pdf
- Muñoz, N. 2009. Determinación de plomo y cadmio en hierbas medicinales, consultado 12 jul. 2017. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/304013351_Determinacion_de_plomo_y_cadmio_en_hierbas_medicinales
- Olivares, S. 2013. Niveles de cadmio, plomo, cobre y zinc en hortalizas cultivadas en una zona altamente urbanizada de la ciudad de la habana cuba. Consultado 20 jul. 2017. Disponible en: <http://148.215.2.10/articulo.oa?id=37028959006>
- Oriundo F.C. 2009. Determinación de plomo en suelos debido a la contaminación por fábricas aledañas al asentamiento Humano, cultural y progreso del distrito de Ñaña-Charclacayo (en línea). Consultado 2 oct. 2017. Disponible en: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/1636/1/Oriundo_gc.pdf

- Pinzón, C. 2015. Determinación de los niveles de plomo y cadmio en leche procesada en la ciudad de Bogotá D.C. (en línea). Consultado 19 jul. 2017. Disponible en: [http://www.bdigital.unal.edu.co/47779/1/599661.2015 .pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/47779/1/599661.2015.pdf)
- Raymond, Ch. 1992. Química, Trads. S. Bello Garcés, G. Acosta Álvarez, *et al.* 4ta ed. S.L. MX, McGraw-Hill, 1064 p
- Villareal, J.E. 2013. Estado, prioridades y necesidades para el manejo sostenible del suelo en Panamá (en línea). Consultado 31 oct. 2017. Disponible en: <https://es.slideshare.net/FAOoftheUN/estado-prioridades-y-necesidades-para-el-manejo-sostenible-del-suelo-en-panam-dr-jos-ezequiel-villarreal>
- Zavala, M.E. 2012. Contaminación por plomo en suelos de Torreón COAH (en línea). Consultado 2 oct. 2017. Disponible en: [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2637/MARIA %20EUGENIA %20ZAVALA%20MARTINEZ.pdf?sequence=1](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2637/MARIA%20EUGENIA%20ZAVALA%20MARTINEZ.pdf?sequence=1)

Anexos

8. ANEXOS



Anexo 1. Punto de muestreo en Chepo



Anexo 2. Punto de muestreo FCA Chiriquí



Anexo 3. Punto de muestreo en Boquete

Anexo 4. RESULTADOS DE ANÁLISIS TEXTURAL POR UBICACIÓN Y CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Suelo	Ubicación	Clasificación Taxonómica	Rep.	Textura			
				%Arena	%Arcilla	%limo	Textura
1	Universidad de Panamá Campus-Central	Ultisol	M1	29,70	46,86	23,44	Franco arcillo arenosa
		Ultisol	M2	24,48	46,86	28,65	Franca
		Ultisol	M3	24,49	46,86	28,65	Franca
		Ultisol	M4	38,70	29,75	32,25	Franco arcillosa
2	CEIAT	Inceptisol	M1	22,35	32,43	45,22	Franco arcillosa
		Inceptisol	M2	32,30	15,60	52,10	Franco, arcilla, limosa
		Inceptisol	M3	34,90	13	52,10	Franco, arcilla, limosa
		Inceptisol	M4	27,35	33,19	39,45	Franco arcilla
3	Chepo	Ultisol	M1	22,17	35,09	42,56	Franca
		Ultisol	M2	19,89	47,86	32,25	Franca
		Ultisol	M3	27,67	32,43	39,90	Franco arcilla
		Ultisol	M4	27,67	32,43	39,90	Franco arcilla
4	Villa Rosario (Capira)	Inceptisol	M1	37,65	28,63	33,72	Franco arcilla
		Inceptisol	M2	54,51	23	22,48	Arcilla
		Inceptisol	M3	59,44	21,11	19,44	Arcilla
		Inceptisol	M4	36,85	30,14	33	Arcilla
5	Penonomé	Alfisol	M1	29,70	20,81	49,49	Franco arcilla
		Alfisol	M2	29,07	25,05	45,91	Franco arcilla
		Alfisol	M3	37,51	20,81	41,68	Franco arcilla
		Alfisol	M4	27,35	30,56	47,08	Franco arcilla

Suelo	Ubicación	Clasificación Taxonómica	Rep.	Textura			
				%Arena	%Arcilla	%limo	Textura
6	FCA (Chiriquí)	Ultisol	M1	27,09	36,44	36,47	Franca
		Ultisol	M2	19,27	44,26	36,47	Franca
		Ultisol	M3	21,88	49,47	28,65	Franca
		Ultisol	M4	22,19	30,27	47,54	Franca
7	El Ejido (Los Santos)	Alfisol	M1	49,52	23,99	26,48	Arcillosa
		Alfisol	M2	43,76	31,16	25,08	Arcillosa
		Alfisol	M3	58,71	16,96	24,50	Arcillosa
		Alfisol	M4	66,97	16,76	16,27	Arcillosa
8	San Martín (Las Tablas)	Alfisol	M1	49,33	20,01	30,66	Arcilla
		Alfisol	M2	45,38	27,45	27,17	Arcilla
		Alfisol	M3	40,16	27,05	32,79	Arcilla
		Alfisol	M4	43,32	26,32	30,35	Arcilla
9	Volcán (Chiriquí)	Andisol	M1	13,77	60,73	25,50	Franco arenosa
		Andisol	M2	8,67	65,83	25,50	Franco arenosa
		Andisol	M3	8,95	67,36	23,69	Franco arenosa
		Andisol	M4	11,34	62,89	25,77	Franco arenosa
10	Boquete (Chiriquí)	Andisol	M1	1,1	65,90	33	Franco arenosa
		Andisol	M2	1,1	71,40	27,50	Arena franca
		Andisol	M3	3,85	76,90	19,25	Arena franca
		Andisol	M4	1,1	71,40	27,50	Arena franca

Anexo 5. RESULTADO DE ANÁLISIS DE DETERMINACIÓN DE pH SEGÚN UBICACIÓN Y DISTANCIA HORIZONTAL AL BORDE DE LA CARRETERA

pH en agua (1:2.5)													
Suelo	Ubicación	Distancia Horizontal del borde de la carretera pH en agua (1:2.5)											
		25 m			50 m			75 m			100 m		
		M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
1	Universidad de Panamá Campus Central	6.67	7.31	7.17	6.74	6.77	6.85	7.50	7.21	6.90	7.68	7.71	7.59
2	CEIAT	7.68	7.84	8.02	5.69	5.80	5.78	5.65	5.35	5.47	6.87	6.82	6.95
3	Chepo	6.88	7.09	6.97	7.04	7.33	6.98	7.09	7.47	5.87	6.18	7.10	5.96
4	Villa Rosario (Capira)	6.54	6.37	6.12	6.70	6.78	6.56	6.76	6.56	6.72	6.82	6.80	6.92
5	Penonomé	6.15	6.38	6.79	7.39	7.73	7.83	5.80	5.67	5.48	5.48	5.94	6.02
6	FCA (Chiriquí)	4.72	4.98	5.06	4.93	4.93	4.93	4.96	4.82	5.05	5.05	5.14	4.80
7	El Ejido (Los Santos)	7.83	7.67	7.41	6.64	7.57	7.20	5.19	5.42	5.47	5.61	5.64	5.41
8	San Martín (Las Tablas)	6.65	6.57	6.79	6.63	6.46	6.70	6.59	6.62	6.54	6.64	6.70	6.74
9	Volcán (Chiriquí)	6.02	6.10	5.98	5.90	5.82	5.99	5.96	5.92	6	6.46	6.42	6.38
10	Boquete (Chiriquí)	5.18	5.41	5.28	5.90	5.54	4.93	4.85	4.95	4.73	5.57	5.37	5.40

Anexo 6. RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA SEGÚN UBICACIÓN Y DISTANCIA HORIZONTAL DE LA ORILLA DE LA CARRETERA

Suelo	Ubicación	Distancia Horizontal del borde de la carretera											
		25 m			50 m			75 m			100 m		
		M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
1	Universidad de Panamá Campus Central	2.71	3.09	4.77	5.54	3.86	3.74	6.44	8.76	11.08	4.51	3.86	5.02
2	CEIAT	3.86	2.45	2.19	6.57	6.83	4.64	6.31	6.06	5.41	2.19	2.58	2.45
3	Chepo	5.67	12.11	7.99	9.15	4.77	6.83	6.18	5.54	2.96	4.90	2.71	6.96
4	Villa Rosario (Capira)	5.28	6.06	4.12	6.31	5.02	5.80	6.44	7.60	2.45	3.35	4.90	4.64
5	Penonomé	4.51	4.24	2.32	2.45	2.19	2.19	2.71	2.32	1.55	1.67	1.67	2.19
6	FCA (Chiriquí)	6.44	5.54	4.12	6.57	7.73	7.09	6.70	6.70	10.05	7.47	7.73	7.09
7	El Ejido (Los Santos)	2.16	2.36	1.97	4.60	5.25	7.62	0.52	2.76	2.50	1.05	1.44	1.84
8	San Martín (Las Tablas)	4.20	5.39	4.47	4.33	4.20	4.73	5.78	4.33	3.55	4.20	4.73	3.15
9	Volcán (Chiriquí)	7.30	4.78	7.81	3.53	7.81	4.79	15.87	9.57	12.81	7.05	6.55	8.56
10	Boquete (Chiriquí)	14.10	12.34	16.62	15.36	16.37	15.62	17.13	17.88	16.62	16.62	17.63	13.60

Anexo 7. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE FERTILIDAD, SEGÚN UBICACIÓN

		ppm	ppm	meq/100g de suelo	meq/ 100g de suelo	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
		P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	Na
El Ejido	M1	91	477	23	15	15	8	90	72	45
	M2	55	621	32	20	15	6	92	82	29
	M3	2	184	14	15	9	7	32	38	28
	M4	3	125	14	20	5	6	31	38	41
San Martín	M1	5	92	46	25	5	6	83	138	42
	M2	9	78	11	25	9	6	81	99	40
	M3	31	122	50	24	6	7	68	87	40
	M4	43	330	13	21	8	5	58	113	32
FCA Chiriquí	M1	4	75	1.9	3.9	10	15	77	60	52
	M2	2	103	0.9	3.1	5	15	133	65	33
	M3	2	86	2.2	4.4	7	15	141	58	33
	M4	2	86	5.2	4.2	5	12	64	52	40
Universidad de Panamá Campus Central	M1	38	100	52	12	21	11	200	84	51
	M2	36	188	27	11	14	7	154	58	37
	M3	97	170	34	16	13	9	178	84	58
	M4	27	163	90	12	20	7	73	89	78
CEIAT (Tocumen)	M1	26	433	74	17	8	7	139	148	293
	M2	40	59	21	14	10	13	422	85	62
	M3	8		16	14	4	3	379	72	52
	M4	9	63	22	16	5	9	336	63	205
Chepo	M1	18	127	284	28	15	7	164	102	82
	M2	55	174	41	14	28	5	131	87	103
	M3	78	122	42	9.4	6	10	272	119	56
	M4	55	152	35	12	8	9	302	113	73
Capira	M1	1196	827	46	24	38	3	60	87	69
	M2	317	131	20	12	14	4	13	82	32
	M3	208	630	44	23	16	3	32	81	44
	M4	105	184	53	21	21	2	28	70	89

	ppm	ppm	meq/100 g de suelo	meq/100g de suelo	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Volcán	M1	156	56	5.3	1.2	4	15	15	0	29
	M2	353	53	7.1	0.5	3	12	36	0	39
	M3	483	101	21	3.4	20	11	17	26	36
	M4	352	76	17	4.7	12	10	21	14	30
Penonomé	M1	327	198	20	13	11	6	56	71	49
	M2	215	380	27	9.4	20	5	318	84	53
	M3	52	168	18	12	10	5	233	72	53
	M4	70	202	17	13	7	4	192	83	110
Boquete	M1	5	131	14	8.6	13	4	9	34	28
	M2	8	127	11	9.2	11	3	15	32	23
	M3	27	118	10	4.6	15	6	30	40	38
	M4	5	517	38	23	17	4	31	77	53

Anexo 8. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ACIDEZ, SEGÚN UBICACIÓN Y DISTANCIA HORIZONTAL A ORILLA DE LA CARRETERA

Acidez intercambiable (meq/100g de tierra)																	
Suelo	Ubicación	Distancia Horizontal del borde de la carretera															
		25 m				50 m				75 m				100 m			
		(H ⁺ +Al ³⁺)	Aci.	(Al ³⁺)	Al.	(H ⁺ +Al ³⁺)	Aci.	(Al ³⁺)	Al.	(H ⁺ +Al ³⁺)	Eva.	(Al ³⁺)	Eva.	(H ⁺ +Al ³⁺)	Eva.	(Al ³⁺)	Eva.
1	Universidad de Panamá Campus Central	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
2	CEIAT (Tocumen)	0.1	Baja	0	-	0.1	Baja	0	-	0.2	Baja	0	-	0.1	Baja	0	-
3	Chepo	0.2	Baja	0	-	0.2	Baja	0	-	0.2	Baja	0	-	0.2	Baja	0	-
4	Villa Rosario (Capira)	0.3	Baja	0	-	0.2	Baja	0	-	0.2	Baja	0	-	0.2	Baja	0	-
5	Penonomé	0.1	Baja	0	-	0.1	Baja	0	-	0.2	Baja	0	-	0.1	Baja	0	-
6	FCA (Chiriquí)	0.4	Baja	0	-	1.1	Medio	0.6	Medio	0.6	Medio	0.2	Baja	0.4	Baja	0	-
7	El Ejido (Los Santos)	0	-	0	-	0	-	0	-	0.1	Baja	0	-	0.1	Baja	0	-
8	San Martín (Las Tablas)	0.1	Baja	0	-	0.1	Baja	0	-	0.1	Baja	0	-	0.1	Baja	0	-
9	Volcán (Chiriquí)	0.4	Baja	0	-	0.2	Baja	0	-	0.1	Baja	0	-	0.1	Baja	0	-
10	Boquete (Chiriquí)	0.3	Baja	0	-	0.5	Baja	0	-	0.2	Baja	0	-	0.2	Baja	0	-

Anexo 9. Datos de georreferenciación de las muestras por punto de muestreo

		FCA Chiriquí	Volcán	Boquete
Tratamiento #1	Rep. 1	N 08°23'55.6" W 082°19'51.6"	N 08°46'56.2" W 082°38'14.9"	N 08°44'27.0" W 082°27'00.1"
	Rep. 2	N 08°23'55.6" W 082°19'51.4"	N 08°46'56.1" W 082°38'15.0"	N 08°44'27.1" W 082°27'00.2"
	Rep. 3	N 08°23'55.5" W 082°19'51.4"	N 08°46'56.1" W 082°38'15.0"	N 08°44'27.3" W 082°27'00.2"
Tratamiento #2	Rep. 1	N 08°23'54.9" W 082°19'51.9"	N 08°46'56.9" W 082°38'15.4"	N 08°44'26.9" W 082°26'59.4"
	Rep. 2	N 08°23'54.8" W 082°19'51.8"	N 08°46'56.7" W 082°38'15.5"	N 08°44'27.0" W 082°26'59.3"
	Rep.3	N 08°23'54.8" W 082°19'51.6"	N 08°46'56.6" W 082°38'15.6"	N 08°44'27.1" W 082°26'59.3"
Tratamiento #3	Rep.1	N 08°23'54.2" W 082°19'52.3"	N 08°46'57.5" W 082°38'16.0"	N 08°44'26.5" W 082°26'58.5"
	Rep.2	N 08°23'54.1" W 082°19'52.1"	N 08°46'57.4" W 082°38'16.1"	N 08°44'26.7" W 082°26'58.6"
	Rep.3	N 08°23'54.1" W 082°19'52.0"	N 08°46'57.2" W 082°38'16.2"	N 08°44'26.8" W 082°26'58.6"
Testigo	Rep. 1	N 08°23'51.7" W 082°19'53.0"	N 08°46'58.6" W 082°38'17.1"	N 08°44'26.6" W 082°26'57.9"
	Rep. 2	N 08°23'51.8" W 082°19'52.9"	N 08°46'58.6" W 082°38'17.2"	N 08°44'26.7" W 082°26'58.0"
	Rep. 3	N 08°23'51.7" W 082°19'52.7"	N 08°46'58.4" W 082°38'17.4"	N 08°44'26.9" W 082°26'58.1"

		Universidad de Panamá-Campus Central	CEIAT-Tocumen	Penonomé
Tratamiento #1	Rep. 1	N 08 59´14.8" W 079°31´58.5"	N09°04'09.1" W079°23'33.4"	N 08°27'16.9" W080°26'12.0"
	Rep. 2	N08°59'15.0" W079°31'58.6"	N09°04'09.2" W079°23'33.3"	N 08°27'17.0" W080°26'11.8"
	Rep. 3	N08°59'15.0" W079°31'58.4"	N09°04'09.22 W079°23'33.1"	N 08°27'17.0" W080°26'11.6"
Tratamiento #2	Rep. 1	N08°59'14.3" W079°31'58.2"	N09°04'08.3" W079°23'33.2"	N 08°27'16.1" W080°26'11.6"
	Rep. 2	N08°59'14.4" W079°31'58.2"	N09°04'08.3" W079°23'33.02	N 08°27'16.1" W080°26'11.4"
	Rep.3	N08°59'14.5" W079°31'58.0"	N09°04'08.42 w079°23'32.7"	N 08°27'16.2" W080°26'11.3"
Tratamiento #3	Rep.1	N08°59'13.8" W079°31'57.6"	N09°04'07.5" W079°23'32.8"	N 08°27'15.4" W080°26'11.2"
	Rep.2	N08°59'13.9" W079°31'57.4"	N09°04'07.5" W079°23'32.6"	N 08°27'15.4" W080°26'11.8"
	Rep.3	N08°59'14.0" W079°31'57.3"	N09°04'07.6" W079°23'32.5"	N 08°27'15.5" W080°26'11.0"
Testigo	Rep. 1	N08°59'13.4" W079°31'57.0"	N09°04'06.8" W079°23'32.6"	N08°27'14.5" W080°26'11.0"
	Rep. 2	N08°59'13.5" W079°31'56.9"	N09°04'06.8" W079°23'32.5"	N08°27'14.6" W080°26'10.8"
	Rep. 3	N08°59'13.6" W079°31'56.8"	N09°04'06.9" W079°23'32.4"	N08°27'14.6" W080°26'10.7"

		Chepo	Villa Rosario (Capira)	San Martín
Tratamiento #1	Rep. 1	N09°09'08.5" W079°08'52.7"	N08°47'26.3" W079°52'21.8"	N07°45'43.8" W80°16'53.4"
	Rep. 2	N09°09'08.6" W079°08'52.6"	N08°47'26.4" W079°52'21.8"	N07°45'43.8" W80°16'53.3"
	Rep. 3	N09°09'08.6" W079°08'52.5"	N08°47'26.5" W079°52'21.7"	N07°45'43.9" W80°16'53.2"
Tratamiento #2	Rep. 1	N09°09'07.9" W079°08'52.8"	N08°47'26.0" W079°52'21.0"	N07°16'43.0" W80°16'53.1"
	Rep. 2	N09°09'07.9" W079°08'52.7"	N08°47'26.2" W079°52'21.0"	N 07°45'43.0" W 80°16'52.9"
	Rep.3	N09°09'07.9" W079°08'52.4"	N08°47'26.3" W079°52'20.9"	N07°45'43.2" W80°16'52.8"
Tratamiento #3	Rep.1	N09°09'07.0" W079°08'52.6"	N08°47'25.8" W079°52'20.2"	N07°45'42.2" W80°16'52.7"
	Rep.2	N09°09'07.0" W079°08'52.5"	N08°47'26.0" W079°52'20.1"	N07°45'42.2" W80°16'52.6"
	Rep.3	N09°09'07.0" W079°08'52.3"	N08°47'26.1" W079°52'20.1"	N07°45'42.3" W80°16'52.4"
Testigo	Rep. 1	N09°09'06.2" W079°08'52.6"	N08°47'25.8" W079°52'19.4"	N07°45'42.3" W80°16'52.4"
	Rep. 2	N09°09'06.2" W079°08'52.5"	08°47'25.9" W079°52'19.3"	N07°45'41.4" W80°16'52.3"
	Rep. 3	N09°09'06.3" W079°08'52.3"	N08°47'26.1" W079°52'19.4"	N07°45'41.5" W80°16'52.1"

		El Ejido
Tratamiento #1	Rep. 1	N 07°54'42.5" W80°22'5.8"
	Rep. 2	N07°54'42.3" W80°22'5.6"
	Rep. 3	N07°54'42.3" W80°22'5.52"
Tratamiento #2	Rep. 1	N07°54'41.8" W80°22'6.2"
	Rep. 2	N07°54'41.6" W80°22'6.0"
	Rep.3	N07°54'41.6" W80°22'5.9"
Tratamiento #3	Rep.1	N07°54'40.9" W80°22'6,4"
	Rep.2	N07°54'40.8" W80°22'6.3"
	Rep.3	N07°54'40.8" W80°22'6.1"
Testigo	Rep. 1	N07°54'40.0" W80°22'6.7"
	Rep. 2	N07°54'40.0" W80°22'6.5"
	Rep. 3	N07°54'40.0" W80°22'6.4"