



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSTGRADOS

MAESTRÍA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE MAGÍSTER EN: SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

TEMA: DETERMINACIÓN DE NIVELES FONDO Y REFERENCIA DE
METALES PESADOS EN SUELOS, PARROQUIA SAN CARLOS,
ORELLANA

AUTORA: GONZÁLEZ GAVILÁNEZ, LUCÍA ISABELA

DIRECTOR: ING. BOLAÑOS GUERRÓN, DARÍO ROBERTO, PhD.

SANGOLQUÍ

2018



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSTGRADOS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DETERMINACIÓN DE NIVELES FONDO Y REFERENCIA DE METALES PESADOS EN SUELOS, PARROQUIA SAN CARLOS, ORELLANA”*** realizado por la Ing. ***González Gavilánez, Lucía Isabela*** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 17 de agosto del 2018



Ing. Darío Roberto Bolaños Guerrón, PhD.

C.C.: 1715206593



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSTGRADOS

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **González Gavilánez, Lucía Isabela**, con cédula de ciudadanía N° 1712375383, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Determinación de Niveles Fondo y Referencia de Metales Pesados en Suelos, Parroquia San Carlos, Orellana”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 17 de agosto del 2018

Lucía Isabela González Gavilánez

C.C.:1712375383



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSTGRADOS

AUTORIZACIÓN

Yo, **González Gavilánez, Lucía Isabela**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación ***Determinación de Niveles Fondo y Referencia de Metales Pesados en Suelos, Parroquia San Carlos, Orellana*** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 17 de agosto del 2018



Lucía Isabela González Gavilánez

C.C.:1712375383

DEDICATORIA

Dedico mi esfuerzo depositado en la culminación de este proyecto de Tesis a:

Mis padres, por ser el soporte y motivo de superación en mi vida, a más de todo el sacrificio y apoyo recibido quiero retribuir ese inmenso apoyo con la culminación de este logro y compartir mi alegría con ellos.

Mi hermana, Anita María y Tía María hermosas mujeres por ser mis amigas y confidentes, quienes siempre me brindaron palabras de aliento y motivación en situaciones difíciles además de compartir momentos únicos conmigo.

Lucía Isabela González G.

AGRADECIMIENTO

“El agradecimiento es la memoria del corazón.”

(Lao-tsé)

Agradezco:

Infinitamente a Dios por la vida, salud y la virtuosa generosidad de la fortaleza espiritual concedida para lograr todas las metas propuestas en mi vida.

A mis queridos padres Raúl y Ana por el apoyo incondicional y la confianza depositada en mí para la realización de este trabajo de investigación.

Al Ing. Darío Bolaños, por contribuir en la revisión y dar las directrices para este proyecto de Tesis.

Al equipo técnico de la Jefatura de Prevención y Control de la Contaminación de la Coordinación de Gestión Ambiental del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Orellana, por brindarme el apoyo técnico y las facilidades para el desarrollo de este proyecto de investigación.

Lucía Isabela González G.

ÍNDICE GENERAL

CARÁTULA

CERTIFICADO DEL DIRECTOR	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ABREVIATURAS.....	xii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Principales conceptos.....	6
1.2.1	Metales pesados y sus características.....	6
1.2.2	Niveles Fondo (NF).....	13
1.2.3	Niveles de Referencia o Niveles Genéricos de Referencia (NGR)	14
1.3	Planteamiento del problema.....	15
1.4	Justificación.....	17
1.5	Objetivos	18
1.5.1	Objetivo General	18
1.5.2	Objetivos Específicos.....	19

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA DE TRABAJO

2.1	Fase 1: Recopilación y generación de información del área de estudio.....	20
2.1.1	Método.....	20

2.1.2	Materiales	20
2.1.3	Descripción del área de estudio	21
2.1.4	Ubicación Geográfica de la Parroquia San Carlos	22
2.1.5	Condiciones climatológicas.....	23
2.1.6	Geología de la Parroquia San Carlos.....	29
2.1.7	Clasificación Taxonómica de Suelos.....	31
2.2	Fase 2: Diseño de muestreo y análisis fisicoquímicos de muestras	34
2.2.1	Diseño de Muestreo y toma de muestras.....	34
2.2.2	Preparación y Análisis fisicoquímico de las muestras de suelo.....	43
2.2.3	Textura	44
2.2.4	Color	46
2.2.5	Potencial Hidrógeno.....	47
2.2.6	Conductividad Eléctrica	49
2.2.7	Materia Orgánica y Nitrógeno	50
2.2.8	Microelementos	52
2.2.9	Macroelementos y Capacidad de Intercambio Catiónico.....	53
2.2.10	Fósforo disponible	55
2.2.11	Metales pesados totales (Cd, Ni, Pb, Cr, Ba, V, Cu, Fe, Mn, Zn)	56
2.3	Fase 3: Análisis estadístico y formulación de niveles fondo y de referencia	58
2.4	Fase 4: Distribución espacial de metales pesados en suelos	60

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1	Propiedades Fisicoquímicas del Suelo	63
3.1.1	Textura	63
3.1.2	Color	64
3.1.3	Potencial Hidrógeno (pH).....	66
3.1.4	Conductividad Eléctrica (CE)	67
3.1.5	Materia Orgánica y Nitrógeno	69
3.1.6	Microelementos (Cu, Fe, Mn, Zn).....	70
3.1.7	Macroelementos (Ca, Na, K, Mg).....	72

3.1.8	Capacidad de Intercambio Catiónico	74
3.1.9	Fósforo disponible	75
3.2	Niveles fondo, de referencia y distribución espacial de metales pesados	76
3.2.1	Hierro.....	76
3.2.2	Cobre.....	78
3.2.3	Manganeso.....	81
3.2.4	Zinc.....	83
3.2.5	Níquel	85
3.2.6	Cromo.....	87
3.2.7	Plomo	89
3.2.8	Cadmio	91
3.2.9	Bario	93
3.2.10	Vanadio	95

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES

4.1	Conclusiones.....	98
-----	-------------------	----

BIBLIOGRAFÍA	102
---------------------------	------------

ANEXOS.....	105
--------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Concentración en (mg/Kg) de metales en la CC y CO (Wedepohl, 1990) ...</i>	10
Tabla 2	<i>Concentración (mg/Kg) de MP según el tipo de roca (Wedepohl, 1990)</i>	10
Tabla 3	<i>Emisiones globales (Kt/año) de MP a la atmósfera por procesos naturales y antrópicos (Nriagu, 1990)</i>	11
Tabla 4	<i>Clasificación de metales traza como esenciales o tóxicos (Adriano, 1986).</i>	13
Tabla 5	<i>Niveles de referencia de metales pesados en diferentes regiones (mg/kg).</i>	15
Tabla 6	<i>Centros Poblados de la Parroquia San Carlos</i>	21
Tabla 7	<i>Datos de Temperatura registrados por la Estación M-293 Palmar del Río ..</i>	23
Tabla 8	<i>Datos de Precipitación de la Estación M-293 Palmar del Río.....</i>	24
Tabla 9	<i>Datos de Humedad relativa de la Estación M-293 Palmar del Río</i>	25
Tabla 10	<i>Datos de Heliofanía de la Estación M-293 Palmar del Río</i>	25
Tabla 11	<i>Datos de Velocidad de viento de la Estación M-293 Palmar del Río</i>	26
Tabla 12	<i>Datos para el cálculo de evaporación por el Método de Wilson</i>	27
Tabla 13	<i>Cálculo de evapotranspiración por el Método de Thornthwaite</i>	28
Tabla 14	<i>Formaciones Geológicas y su ocupación de la superficie parroquial</i>	30
Tabla 15	<i>Taxonomía de suelos y su ocupación de la superficie parroquial.....</i>	33
Tabla 16	<i>Descripción taxonómica de suelos de la Parroquia San Carlos.....</i>	33
Tabla 17	<i>Georreferenciación de puntos de muestreo de suelos</i>	39
Tabla 18	<i>Clase textural de suelos de la Parroquia San Carlos</i>	63
Tabla 19	<i>Porcentaje de color en suelos de la Parroquia San Carlos.....</i>	65
Tabla 20	<i>Estadística descriptiva de resultados de pH en muestras de suelo</i>	66
Tabla 21	<i>Estadística descriptiva de resultados de CE(μS/cm).....</i>	68
Tabla 22	<i>Estadística descriptiva de resultados de MO(%)</i>	69
Tabla 23	<i>Estadística descriptiva de resultados de microelementos (mg/Kg).....</i>	70
Tabla 24	<i>Estadística descriptiva de resultados de macroelementos (mg/Kg).....</i>	73
Tabla 25	<i>Estadística descriptiva de resultados de CIC(cmol/Kg)</i>	75
Tabla 26	<i>Estadística descriptiva de resultados de P(mg/Kg)</i>	76
Tabla 27	<i>Principales variables estadísticas para Fe (mg/Kg).....</i>	77

Tabla 28	<i>Principales variables estadísticas para Cu (mg/Kg)</i>	79
Tabla 29	<i>Principales variables estadísticas para Mn (mg/Kg)</i>	81
Tabla 30	<i>Principales variables estadísticas para Zn (mg/Kg)</i>	83
Tabla 31	<i>Principales variables estadísticas para Ni (mg/Kg)</i>	85
Tabla 32	<i>Principales variables estadísticas para Cr (mg/Kg)</i>	87
Tabla 33	<i>Principales variables estadísticas para Pb (mg/Kg)</i>	89
Tabla 34	<i>Principales variables estadísticas para Cd (mg/Kg)</i>	91
Tabla 35	<i>Principales variables estadísticas para Ba (mg/Kg)</i>	94
Tabla 36	<i>Principales variables estadísticas para V (mg/Kg)</i>	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Elementos mayoritarios, minoritarios y elementos traza.	9
Figura 2	Localización del área de estudio.....	22
Figura 3	Comportamiento climatológico-Estación Palmar del Río.....	28
Figura 4	Formaciones Geológicas de la Pquia. San Carlos	30
Figura 5	Clasificación Taxonómica de Suelos de la Pquia. San Carlos	32
Figura 6	Ortofoto de la parroquia San Carlos	36
Figura 7	Toma de muestra del perfil superficial	42
Figura 8	Porcentaje de Color de suelos en la parroquia San Carlos.....	65
Figura 9	Distribución de datos de pH de suelos.....	67
Figura 10	Distribución de datos de CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de suelo.....	68
Figura 11	Distribución Espacial y Anomalías Geoquímicas de Fe	78
Figura 12	Distribución Espacial y Anomalías Geoquímicas de Cu.....	80
Figura 13	Distribución Espacial y Anomalías Geoquímicas de Mn	82
Figura 14	Distribución Espacial y Anomalías Geoquímicas de Zn	84
Figura 15	Distribución Espacial y Anomalías Geoquímicas de Ni.....	86
Figura 16	Distribución Espacial y Anomalías Geoquímicas de Cr	88
Figura 17	Distribución Espacial y Anomalías Geoquímicas de Pb.....	90
Figura 18	Distribución Espacial y Anomalías Geoquímicas de Cd.....	92
Figura 19	Distribución Espacial y Anomalías Geoquímicas de Ba.....	95
Figura 20	Distribución Espacial y Anomalías Geoquímicas de V.....	97

ABREVIATURAS

μS/cm:	Micro Siemens por centímetro
a./d.:	Agua destilada
AA:	Absorción Atómica
Ag:	Plata
As:	Arsénico
Au:	Oro
B:	Boro
Ba:	Bario
Be:	Berilio
C:	Carbono
Ca:	Calcio
CC:	Corteza Continental
Cd:	Cadmio
CE:	Conductividad Eléctrica
Chroma:	Intensidad cromática
CIC:	Capacidad de Intercambio Catiónico
cmol/Kg:	Centimol por kilogramos
Co:	Cobalto
CO:	Corteza Oceánica
Cr:	Cromo
CRE:	Constitución de la República del Ecuador
Cu:	Cobre
EDA:	Análisis Exploratorio de Datos
EPT:	Elementos Potencialmente Tóxicos
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación
Fe:	Hierro
g/cm³	Gramos por centímetro cúbico
Ga:	Galio

GAD:	Gobierno Autónomo Descentralizado
Ge:	Germanio
H⁺:	Iones hidrógeno
Hg:	Mercurio
Hue:	Matiz
IGM:	Instituto Geográfico Militar
INAMHI:	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador
INEC:	Instituto Nacional de Estadística y Censos
JPCC:	Jefatura de Prevención y Control de la Contaminación
K:	Potasio
λ:	Longitud de onda
LGA:	Ley de Gestión Ambiental
Li:	Litio
LMP:	Límites Máximos Permisibles
LPCCA:	Ley de Prevención y Control de la Contaminación
m/s:	Metros por segundo
M:	Molar (concentración de soluciones mol/L)
MAE:	Ministerio del Ambiente del Ecuador
mEq/100g:	Miliequivalente por cada 100 gramos
mg/Kg:	Miligramos por kilogramo, equivalente a ppm
Mg:	Magnesio
mL:	Mililitros (unidad de volumen)
mm:	Milímetros, equivalente a litros por m ² (unidades de precipitación)
Mn:	Manganeso
Mo:	Molibdeno
MO:	Materia Orgánica
MP:	Metales Pesados
MPIC:	Formación Chambira
N:	Nitrógeno
N:	Normal (concentración de soluciones mEq/L)

n:	Tamaño de muestra en estadística
Na:	Sodio
NF:	Nivel Fondo
NGR:	Niveles Genéricos de Referencia o niveles de referencia
Ni:	Níquel
nm:	Nanómetros (unidad de longitud de onda)
°C:	Grados Celsius
P:	Fósforo
Pb:	Plomo
PDOT:	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
pH:	Potencial de Hidrógeno
ppm:	Partes por millón
p-value:	Nivel de significancia
QA:	Depósitos Aluviales
RAOHE:	Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador
RIC:	Rango intercuartílico
Sb:	Antimonio
Se:	Selenio
Si:	Silicio
SP:	Superficie Parroquial
Sr:	Estroncio
Tl:	Talio
TULSMA:	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente
U:	Uranio
USDA:	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
USEPA:	United States Environmental Protection Agency
UTM:	Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator
UV-Vis:	Ultra Violeta-Visible
V:	Vanadio

Value: Claridad

WGS1984: World Geodetic System 1984

Zn: Zinc

RESUMEN

La contaminación del suelo por metales pesados (MP), es un tema de preocupación ambiental, puesto que su concentración depende del material original pero es influenciado por aportes antrópicos, por lo que su estudio debe efectuarse según la realidad de cada zona geográfica. Para éste trabajo se evaluaron los siguientes metales: Cd, Ni, Pb, Cu, Fe, Mn, Zn, Cr, Ba y V en suelos residuales de la parroquia San Carlos, provincia de Orellana, realizándose un muestreo georreferenciado, análisis fisicoquímico del perfil superior y determinación de los niveles fondo (NF) y niveles de referencia (NGR) mediante análisis estadístico. Los NF, fueron similares a los criterios de calidad del TULSMA, excepto Cr, Cu, Ni, Pb y Ba. La distribución espacial de las concentraciones de cada metal, permitió detectar zonas con anomalías geoquímicas y otras que superan los criterios de remediación como Cu, Cd y V. Por otro lado, para Ni y Pb se obtuvo NGR inferiores a los valores permisibles del RAOHE para ecosistemas sensibles, recomendando actualizarlos. Así, los NF y NGR permitirán evaluar el grado de afectación frente a posibles impactos o sean considerados en una normativa ambiental local para el control y conservación de éste recurso.

PALABRAS CLAVE:

- **SUELO**
- **METALES PESADOS**
- **NIVELES FONDO**
- **NIVELES DE REFERENCIA**

ABSTRACT

Soil pollution by heavy metals (HM) is a topic of environmental concern, because its concentration depends on the original material but is influenced by anthropic contributions, so its study must be carried out according to the reality of each geographical area. For this work the following metals were evaluated: Cd, Ni, Pb, Cu, Fe, Mn, Zn, Cr, Ba and V in residual soils of the San Carlos parish, Orellana province, carrying out a georeferenced sampling, physicochemical analysis of the superior profile and determination of the background levels (BL) and reference levels (GRL) through statistical analysis. The BL were similar to the TULSMA quality criteria, except for Cr, Cu, Ni, Pb and Ba. The spatial distribution of the concentrations of each metal, allowed to detect areas with geochemical anomalies and others that exceed the remediation criteria such as Cu, Cd and V. On the other hand, for Ni and Pb NGR was obtained lower than the allowable values of RAOHE for sensitive ecosystems, recommending to update them. Thus, the BL and GRL will allow to evaluate the impact degree in front to possible impacts or they are considered in a local environmental regulation for the control and conservation of this resource.

KEY WORDS:

- **SOIL**
- **HEAVY METALS**
- **BACKGROUND LEVELS**
- **REFERENCE LEVELS**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El suelo es un recurso natural, necesario para el desarrollo sostenible de los seres vivos, está compuesto por una fase sólida, líquida y gaseosa, siendo el producto de la influencia del tiempo y combinado con el clima, topografía, organismos como: flora, fauna y ser humano, materiales parentales como: rocas y minerales originarios, constituyéndose como un componente esencial del ecosistema (FAO, 2018).

La problemática de su contaminación de acuerdo a Berg (2013), se debe a la actividad agrícola, industrial, minera, la generación de residuos sólidos y líquidos urbanos, al mal uso y ocupación desordenada del mismo, en definitiva la fuente principal de contaminación de éste recurso es de origen antropogénico (Díaz, 2016).

Por otro lado, la mayoría de metales pesados denominados también elementos potencialmente tóxicos (EPT), por los efectos adversos que ocasionan al ambiente, se encuentran en cantidades fijadas por consideraciones de orden geológico y en formas químicas insolubles, por lo que en condiciones normales no representan un peligro para la biota (Bautista, 1999).

Sin embargo, la acumulación inadvertida de los metales pesados en el suelo y su interacción con sus propiedades, determinan su movilidad, biodisponibilidad y toxicidad. Puesto que al ser absorbidos por las raíces de las plantas o lixiviados hasta los acuíferos,

implica un riesgo de toxicidad para la vegetación, los animales y los humanos, a través de la cadena alimentaria (Sánchez, 2003).

Autores como Alloway (1995), Mapanda y colaboradores (2005), Peris (2006) y Borges y colaboradores (2008) coinciden en que la persistencia de metales pesados en el suelo puede llegar a cientos y miles de años, aún después de que su incorporación se haya detenido. Metales como el Cd, Cu y Pb pueden llegar a tener una vida media en el suelo de 15 a 1100, 310 a 1.500 y 740 a 5.900 años, respectivamente, y sus concentraciones están en función de las características fisicoquímicas del suelo. (Rueda, Rodríguez, & Madriñán, 2011)

La determinación de niveles fondo de metales pesados y elementos traza, es fundamental no solo para determinar el estado actual del ambiente, sino también para desarrollar una norma de calidad coherente a la realidad geográfica, permitiendo a la Autoridad Ambiental Responsable tomar las medidas para la gestión de suelos contaminados.

Es así que Fergusson (1989), menciona que el estudio de la calidad del suelo, normalmente se focaliza en relación a su posible contaminación. Concretamente sobre la determinación de la concentración natural base de los contaminantes y sus potenciales efectos adversos. La evaluación y control de los suelos contaminados requiere disponer de datos, a fin de salvaguardar la calidad ambiental. En este sentido, las concentraciones de elementos traza en suelos deben ser incluidas en cualquier evaluación del estado ambiental del suelo, ya que un déficit o exceso de los mismos puede afectar el crecimiento vegetal, animal y la salud humana (Jiménez, 2010).

La preocupación de los efectos adversos de la contaminación del suelo es relativamente reciente en comparación al estudio de las consecuencias medioambientales de la contaminación del agua y aire. Así, en cuanto al estudio de niveles de fondo y de referencia de metales pesados en suelos de diferentes regiones, se menciona que existe metodologías desarrolladas en países como Polonia, Holanda, España y Estados Unidos, mediante las cuales se decretaron normas de calidad para cada uno de ellos (Sánchez, 2003).

El interés por determinar la concentración base o natural de los metales pesados en suelos y su evolución en el marco normativo, se inició en los años setenta en Europa, a raíz del creciente desarrollo agrícola. En 1972, el Consejo de Europa promulgó las directrices básicas sobre la protección de suelos que se basan en la Carta Europea de Suelos, mismas que fueron reafirmadas en la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro en 1992, por los estados participantes. Luego en el 2002, la Comisión de las Comunidades Europeas promulgó el documento “Hacia una estrategia temática para la protección del suelo en la Unión Europea”, que incluyó entre sus objetivos prioritarios la evaluación de los contaminantes en el suelo a partir del análisis de las concentraciones, su comportamiento ambiental y los mecanismos de exposición (Rueda, Rodríguez, & Madriñán, 2011).

Por su parte, Holanda a través del Ministerio de Planificación de Vivienda y Medio Ambiente (NMHSPE) elaboró estándares de calidad de suelos y aguas en 1991 y estableció valores de referencia y de intervención para la calidad de suelos en 1994. Los valores de referencia propuestos para suelos (Cuadro A-B-C, o “lista holandesa” del Ministerio de Salud Pública Holandés, publicadas en 1987 y revisadas en 1991 y 1994)

corresponden al valor del percentil 95 de las concentraciones que se encuentran en diferentes reservas naturales de este país (Sánchez, 2003).

De igual manera, España mediante el Real Decreto Español 9/2005, estableció los criterios para declarar un suelo contaminado, que incluyen los niveles genéricos de referencia para la protección de ecosistemas y la salud humana en función de los usos del suelo, así como los criterios para su estimación, el desarrollo de pruebas de toxicidad y el análisis de riesgos (BOE, 2005).

Así también, en Polonia los criterios para evaluar la calidad del suelo fueron desarrollados por el Instituto de Ciencias del Suelo en Pulawy; donde se incluyeron seis metales pesados (Cd, Cu, Cr, Ni, Pb y Zn), estableciéndose categorías de contaminación: 1) ligera, 2) moderada, 3) considerable, 4) muy contaminados y 5) extremadamente contaminados (Sánchez, 2003).

En el mismo sentido, en USA la USEPA elaboró en 1996 el documento Soil Screening Guidance, desarrollado para facilitar la evaluación y limpieza de los suelos. En donde se incluyó la metodología para determinar el riesgo y los niveles de exploración para contaminantes en suelos, que permite identificar las áreas de interés ambiental. Estas normas se basan en las políticas de determinación de valoración del riesgo y establecen los niveles de fondo y el estudio de toxicidad de las personas y el ambiente (Sánchez, 2003).

En tanto que, el Estado ecuatoriano, establece en el artículo 14 de la Constitución de la República del Ecuador (CRE), el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de

los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (CRE, 2008).

Siguiendo el orden jerárquico, se han expedido, la Ley de Gestión Ambiental (LGA) y Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental (LPCCA), de tal forma que para cumplimentar las políticas en materia ambiental, se codifica el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), incluyendo en el Libro VI, el Anexo 2: Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados, cuyo objetivo es preservar la calidad del suelo, determinando normas generales para suelos de distintos usos; criterios de calidad y remediación para suelos contaminados (TULSMA, 2015).

De acuerdo a lo descrito en dicho Anexo, es de aplicación obligatoria por parte de toda persona natural o jurídica, pública o privada que desarrolle actividades que tengan potencial de afectación a la calidad ambiental del suelo en todo el territorio nacional (TULSMA, 2015).

En este contexto, para el objeto de estudio se tomará como referencia lo estipulado en el Anexo 2, Libro VI del TULSMA, correspondiente al Acuerdo Ministerial N° 097-A, expedido el 30 de Julio del 2015, teniendo como guía referencial lo especificado en la Tabla 1: Criterios de Calidad de Suelo o también denominados niveles fondo, así también se establecen en la Tabla 2, los criterios de remediación o valores máximos permisibles.

Por otra parte, considerando la potencial actividad petrolera de la parroquia San Carlos, es necesario considerar lo estipulado en el Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador, expedido mediante Decreto Ejecutivo

1215, destacando lo concerniente al recurso suelo en las fases de la actividad hidrocarburífera y específicamente, lo establecido en el Capítulo XII: Límites Permisibles, Anexo 2, que mediante la tabla 6, se establecen los límites permisibles para los metales pesados Cd, Ni y Pb (RAOHE, 2010).

De esta forma, es necesario explicar que la determinación de los niveles fondo y niveles de referencia de los metales pesados en suelo de la parroquia San Carlos, servirá como herramienta de información ambiental para evaluar la calidad del suelo en caso de impactos negativos a éste recurso o formular a futuro una normativa ambiental a nivel local en suelos con similares características.

1.2 Principales conceptos

Para el objeto de estudio, se exponen conceptos básicos, respecto a los metales pesados, generalizados como EPT, así también haremos referencia a los elementos traza necesarios para el desarrollo de la vida de los seres vivos. Además, se presenta las definiciones de niveles fondo y de referencia de dichos elementos.

1.2.1 Metales pesados y sus características

El término metales pesados suele ser interpretado como EPT, no obstante esto es incorrecto puesto que no todos los metales son tóxicos, ni todos los elementos tóxicos son metales pesados (Bautista, 1999).

Autores como Barceló y Poschenrieder (1992) utilizan el término de *metales pesados* para aquellos elementos con un valor de densidad mayor a 5g/cm^3 , por otro lado, Fergusson (1990) emplea el término *elementos pesados* (Pb, As, Se, Cd, Hg, Sb, Tl, In, Bi, Te), definiéndolos como tóxicos para los humanos, ampliamente utilizados en la industria y que ocasionan graves perturbaciones a los ciclos biogeoquímicos, mientras que el término *elementos potencialmente tóxicos* abarca tanto a metales pesados como elementos traza esenciales que debido a sus características y cantidades impliquen toxicidad para la biota, siendo éste último el concepto base empleado para el desarrollo de esta investigación.

A continuación, exponemos los aspectos que caracterizan a los metales pesados según Macías & Calvo (2009).

1.2.1.1 Densidad

Los elementos tóxicos poseen una alta densidad y un carácter metálico de ahí su denominación como “metales pesados”. Así, Alloway (1990) incluye como metales pesados a: Co, Ni, Au, Mo, Pb, As, Cu, Ag, Zn, Cd, Hg, Sb, Se, Tl, Mo, V, Cr, Mn y U, sin embargo, no todos ellos tienen carácter metálico.

Por lo tanto, se considera únicamente como **metales pesados** a los elementos que, a más de presentar carácter metálico en todas sus combinaciones en los sistemas superficiales, tienen una densidad superior a la de la media terrestre, es decir una densidad superior a $5,0$, $5,5$ ó $6,0\text{g/cm}^3$, lo que introduce o elimina a elementos como el

Ge con densidad de $5,32 \text{ g/cm}^3$ o el Ga de $5,91 \text{ g/cm}^3$ y dejaría fuera a elementos como el As de $5,72 \text{ g/cm}^3$, Te de $6,24 \text{ g/cm}^3$ y Sb de $6,62 \text{ g/cm}^3$ que no tienen siempre carácter metálico.

1.2.1.2 Abundancia

Éste aspecto nos ayuda a comprender el término **elemento traza**, puesto que la mayoría de estos elementos son poco abundantes o escasos. Si atendemos al criterio de abundancia los elementos pueden clasificarse en tres grandes grupos geoquímicos:

- **Mayoritarios:** Se expresan normalmente en porcentaje $>1\%$ ó $>10.000 \text{ ppm}$. Son: Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K y P. Alguno de estos elementos, como el Al o el Mn pueden presentar toxicidad para algunos seres vivos en determinadas condiciones.

- **Traza:** Se expresan normalmente en ppm, equivalente a mg/Kg cuyas concentraciones son $<1000 \text{ ppm}$. Son la mayoría de los metales pesados, pero también algunos otros de baja densidad como Li, Be, B, etc. que, en determinadas combinaciones, pueden ser tóxicos.

- **Minoritarios:** Tienen una abundancia intermedia de $1000-10.000 \text{ ppm}$. Se incluyen elementos que pueden presentar toxicidad en determinadas situaciones como Ba, Sr, etc.

En la Figura 1, se presenta la distribución de los elementos por su abundancia, resaltando en rojo los considerados tóxicos en la tabla periódica.

1H																	2He																														
3Li	4Be											5B	6C	7N	8O	9F	10Ne																														
11Na	12Mg											13Al	14Si	15P	16S	17Cl	18Ar																														
19K	20Ca	21Sc	22Ti	23V	24Cr	25Mn	26Fe	27Co	28Ni	29Cu	30Zn	31Ga	32Ge	33As	34Se	35Br	36Kr																														
37Rb	38Sr	39Y	40Zr	41Nb	42Mo	43Tc	44Ru	45Rh	46Pd	47Ag	48Cd	49In	50Sn	51Sb	52Te	53I	54Xe																														
55Cs	56Ba	57-71	72Hf	73Ta	74W	75Re	76Os	77Ir	78Pt	79Au	80Hg	81Tl	82Pb	83Bi	84Po	85At	86Rn																														
87Fr	88Ra	89-103	104Db	105Jl	106Rf	107Bh	108Hn	109Mt	110	111																																					
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>57La</td><td>58Ce</td><td>59Pr</td><td>60Nd</td><td>61Pm</td><td>62Sm</td><td>63Eu</td><td>64Gd</td><td>65Tb</td><td>66Dy</td><td>67Ho</td><td>68Er</td><td>69Tm</td><td>70Yb</td><td>71Lu</td> </tr> <tr> <td>89Ac</td><td>90Th</td><td>91Pa</td><td>92U</td><td>93Np</td><td>94Pu</td><td>95Am</td><td>96Cm</td><td>97Bk</td><td>98Cf</td><td>99Es</td><td>100Fm</td><td>101Md</td><td>102No</td><td>103Lr</td> </tr> </tbody> </table>																		57La	58Ce	59Pr	60Nd	61Pm	62Sm	63Eu	64Gd	65Tb	66Dy	67Ho	68Er	69Tm	70Yb	71Lu	89Ac	90Th	91Pa	92U	93Np	94Pu	95Am	96Cm	97Bk	98Cf	99Es	100Fm	101Md	102No	103Lr
57La	58Ce	59Pr	60Nd	61Pm	62Sm	63Eu	64Gd	65Tb	66Dy	67Ho	68Er	69Tm	70Yb	71Lu																																	
89Ac	90Th	91Pa	92U	93Np	94Pu	95Am	96Cm	97Bk	98Cf	99Es	100Fm	101Md	102No	103Lr																																	
Elementos mayoritarios			Elementos minoritarios			elementos traza			elementos traza esenciales			gases nobles																																			

Figura 1 Elementos mayoritarios, minoritarios y elementos traza.

Fuente: (Selinus, y otros, 2005)

La abundancia de los elementos en condiciones naturales depende de los procesos de diferenciación geoquímica tales como: 1) nuclear, 2) fuerza de la gravedad y 3) la afinidad por el elemento reactivo mayoritario en cada capa estructural, mismos que han actuado a lo largo del tiempo hasta configurar la distribución actual.

Es importante mencionar, además los procesos de sustitución isomórfica que pueden darse en espacios de tipo octaédrico, que, en combinaciones oxigenadas, puede dar lugar a sustituciones de elementos abundantes como Al, Mg, Fe (II) o Ca por otros elementos traza de carácter metálico y de toxicidad potencial como Cd, Zn o Ni. Este tipo de procesos es gobernado por la carga iónica, radio iónico y las electronegatividades del elemento mayoritario y del que lo reemplaza. La sustitución puede producirse cuando los radios de ambos elementos se diferencian en menos de un 15% y la diferencia de carga es, como máximo, de una unidad.

De ésta forma la distribución y concentración de los metales se encuentra en relación a su posición geográfica procedentes por la tectónica de placas y la influencia en la

composición de rocas profundas formadoras de corteza oceánica, como los gabros o los basaltos, y en la de rocas de corteza continental, como los granitos, mientras que en las rocas metamórficas de alto grado como las granulitas presentan valores intermedios. En las tablas 1 y 2 se presenta la concentración en función a su distribución en la corteza oceánica (CO), corteza continental (CC) y tipos de rocas.

Tabla 1

Concentración (mg/Kg) de metales en la CC y CO. (Wedepohl, 1990)

	Fe	Mn	Cr	Ni	Cu	Co	Zn	Cd	Hg	Pb
CC	42000	800	88	45	35	19	69	0,10	0,02	15
CO	70000	1200	317	144	81	45	78	0,13	0,02	0,9

Fuente: (Macías & Calvo, 2009)

Tabla 2

Concentración (mg/Kg) de MP según el tipo de roca. (Wedepohl, 1990)

	Fe	Mn	Cr	Ni	Cu	Co	Zn	Cd	Hg	Pb
Gabro/basalto	86000	1390	168	134	90	48	100	0,10	0,02	0,04
Granulitas	38000	895	88	33	27	15	65	0,10	0,02	9,8
Granitos	20000	325	12	7	13	4	50	0,09	0,03	32
Pizarras	48000	850	90	68	45	19	95	0,13	0,45	22
Calizas	15000	700	11	15	4	2	23	0,16	0,03	5

Fuente: (Macías & Calvo, 2009)

El aporte exógeno de materiales a través de la atmósfera, es también relevante. En la atmósfera, a causa de diferentes procesos naturales o antrópicos, se produce una acumulación temporal de MP que, posteriormente, entran en los suelos por medio de la deposición seca o húmeda. Las fuentes antrópicas más importantes son las actividades

industriales y la producción de energía, teniendo importancia también el transporte, especialmente en el caso del Pb, la minería y la incineración de residuos.

Según Nriagu (1990), la combustión de carbón y petróleo es la fuente más importante, considerando que produce más del 95% de las emisiones antrópicas de V, un 80% de las de Ni y 60% de las de Hg, Se y Sn y, en emisiones globales, representa el 38% de las emisiones de Hg, el 52% de las de Ni y el 74% de las de V. Así en la tabla 3 se exponen los aportes de metales pesados por emisiones naturales y antrópicas.

Tabla 3

Emisiones globales (Kt/año) de MP a la atmósfera por procesos naturales y antrópicos (Nriagu, 1990)

PROCESOS NATURALES						
MP	Aportes eólicos	Pulverizados Marinos	Volcanes	Incendios	Procesos biogénicos	Total
As	2,6	1,7	3,8	0,2	3,9	12,2
Cd	0,2	0,1	0,8	0,1	0,2	1,4
Cr	27,00	0,1	15,0	0,1	1,1	43,3
Cu	8,0	3,6	9,4	3,8	3,3	28,1
Hg	0,1	--	1,0	--	1,4	2,5
Mn	221	0,9	42,0	23,0	30,0	316,9
Ni	11,0	1,3	14,0	2,3	0,7	29,3
Pb	3,9	1,4	3,3	1,9	1,7	12,2
Se	0,2	0,6	1,0	0,3	8,4	10,3
V	16,0	3,1	5,6	1,8	1,2	27,7
Zn	19,0	0,4	9,6	7,6	8,1	44,7
PROCESOS ANTRÓPICOS						
MP	Producción energética	Minería	Industria	Comercio	Incineración de residuos	Total
As	2,2	0,1	14,3	2,0	0,3	18,9
Cd	0,8	--	6,0	--	0,8	7,6
Cr	12,7	--	17,0	--	0,8	30,5
Cu	8,0	0,4	25,2	--	1,6	35,3
Hg	2,3	--	0,1	--	1,2	3,5
Mn	12,1	0,6	17,3	--	8,3	38,2
Ni	42,0	0,8	8,5	--	0,4	51,6
Pb	12,7	2,6	62,2	252,5	2,4	332,3
Se	3,9	0,2	2,2	--	0,1	6,3
V	84,0	--	0,8	--	1,2	86,0
Zn	16,8	0,5	105,4	3,3	5,9	131,8

Fuente: (Macías & Calvo, 2009)

En definitiva, los procesos naturales y antrópicos originan una distribución muy heterogénea de metales en el material de partida de los suelos que, a su vez, son modificados por los procesos de alteración y edafogénesis que producen cambios de composición con pérdidas, ganancias y translocaciones de elementos por procesos inorgánicos o biocatalizados, siendo especialmente importante la acción de las bacterias, los hongos y la vegetación superior (rizosfera).

Dentro del suelo, elementos como Ag, As, Cd, Cu, Hg, Pb, Sn y Zn se concentran en los horizontes superiores como resultado del reciclado realizado por la vegetación, la deposición atmosférica y la adsorción por la materia orgánica. Otros elementos: Al, Fe, Ga, Mg, Ni, Sc, T, V y Zr, tienden a concentrarse en los horizontes subsuperficiales siendo retenidos o translocados sobre arcillas y oxi-hidróxidos de Fe.

Los diferentes procesos edáficos: podsolización, salinización, calcificación, ferralitización, gleificación, sulfurización, sulfatación, etc., dan origen a una gran diversidad de condiciones que afectan a la distribución de los metales pesados, y estos elementos suelen experimentar procesos de acumulación residual en el suelo y sólo son perdidos en cantidades significativas en los procesos erosivos.

1.2.1.3 Toxicidad

Es importante aclarar que los elementos traza, en condiciones naturales se encuentran en concentraciones muy bajas, siendo esenciales para algunos seres vivos en sus procesos metabólicos y no representan toxicidad, no obstante, cuando dichos elementos

se combinan con otros por aportes exógenos, pueden superar ciertos niveles de concentración convirtiéndose en potencialmente tóxicos. En la tabla 4 se diferencia la esencialidad y toxicidad tanto para plantas y animales.

Tabla 4

Clasificación de metales traza como esenciales o tóxicos (Adriano, 1986).

Metal traza	Esencial para plantas	Tóxico para plantas	Esencial para animales	Tóxico para animales
Arsénico (As)	No	Sí	Sí	Sí
Cadmio (Cd)	No	No	Sí	Sí
Cobre (Cu)	Sí	Sí	Sí	Sí
Plomo (Pb)	No	No	Sí	Sí
Manganeso (Mn)	Sí	Sí	Sí	Bajo
Mercurio (Hg)	No	No	No	Sí
Zinc (Zn)	Sí	Sí	Sí	Sí

Fuente: (Macías & Calvo, 2009)

1.2.2 Niveles Fondo (NF)

Los niveles fondo o background, se definen como la concentración de una sustancia, presente de forma sistemática en el medio natural, que no ha sido influenciada por actividades humanas localizadas. Estos valores permiten detectar la presencia de concentraciones no naturales en el suelo (Instituto Geológico y Minero de España, 2018).

Para su obtención se utilizan variables estadísticas, como la media, la desviación estándar, el mínimo y el máximo. En algunas investigaciones se ha utilizado la media aritmética para determinar las concentraciones de metales pesados con distribución normal, la media geométrica para distribución log-normal y la mediana si la distribución no es normal. Otros autores utilizan los percentiles para el análisis de resultados en la distribución no normal (Esser, 1996; Díez, 2006; Peris, 2006).

1.2.3 Niveles de Referencia o Niveles Genéricos de Referencia (NGR)

De acuerdo al Real Decreto de España 9/2005, la definición de NGR corresponde a la concentración de una sustancia contaminante en el suelo que no conlleva un riesgo superior al máximo aceptable para la salud humana o los ecosistemas (BOE, 2005).

En la normativa ambiental nacional, Anexo 2 del TULSMA, se denominan límites máximos permisibles (LMP), considerándolos como valores límites de contaminación de suelos, determinados para cada parámetro. En dicho anexo, se especifican los LMP para 17 metales pesados de acuerdo al uso del suelo y estableciendo como criterios de remediación en caso de superar el valor máximo permisible, sin embargo no se establece la metodología empleada para su determinación (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015).

El método estadístico comúnmente usado para determinar los valores de referencia es la ecuación $X+nDE$, donde X es el promedio de los niveles de fondo y DE es la desviación estándar típica de las concentraciones del metal pesado. Así si existe una distribución normal de los datos, el 95% de ellos se incluyen en el intervalo $X+2DE$, que es el valor adoptado en España por el Real Decreto 9/2005, mientras que el 99,7% estaría en el intervalo $X+3DE$. En general se ha utilizado la media aritmética para el valor de X cuando los datos siguen una distribución normal. Para el caso de datos que no siguen una distribución normal se utilizan los cuartiles o los percentiles 90, 95 o 99 para proponer los valores de referencia (Rueda, Rodríguez, & Madriñán, 2011).

De ésta forma y según la revisión bibliográfica de los diferentes niveles de referencia de metales pesados de normativas internacionales en la tabla 5, se presenta dichos valores adoptadas en diferentes regiones del mundo.

Tabla 5

Niveles de referencia de metales pesados en diferentes regiones (mg/kg)

Región/País	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Ni	Referencia
Holanda	85	0,80	36	140	100	35	Lista Holandesa de Valores, 1994 (25% arcilla, 10% materia orgánica) citado por (Brus et al., 2009)
Málaga-España	69	0,50	65	132	132	58	(Castillo et al., 2002)
Granada-España	36	--	26	76	66	20	(Díez et al., 2009)
Brasil	17	0,50	35,1	59,9	40,20	13,20	(Fadigas et al., 2006)
Almería-España	--	--	25	394	--	--	(Gil et al., 2006)
Alicante-España	28	0,70	28	83	36	31	(Micó et al., 2007)
Comunidad de Madrid-España	88	0,84	34	109	--	--	(Pérez et al., 2002)
Medina del Campo Valladolid-España	13,78	0,44	9,41	33,44	16,14	9,81	(Sánchez, 2003)
Tirana-Albania	85,5	0,70	36,3	151	113,7	41,9	(Gjoka et al., 2010)
China	37,5	0,43	31,7	117,7	58,9	27,5	(Wei y Yang, 2010)
South Hyderabad-India	20	--	35	71	35	20	(Dantu, 2009)
Promedios mundiales en suelos	10-84	0,06-1,1	6-80	17-125	7-221	4-55	(McBride, 1994)

Fuente: (Rueda, Rodríguez, & Madriñán, 2011)

1.3 Planteamiento del problema

La parroquia San Carlos, perteneciente al cantón Joya de los Sachas, provincia de Orellana, presenta altos índices de contaminación de sus recursos naturales, latentes hasta la actualidad, debido a la explotación inadecuada de los recursos minerales del

subsuelo principalmente, además de la intensiva actividad agrícola y pecuaria evidenciado en los últimos años. (GADPO, 2015)

Es así que, según datos estadísticos del MAE, San Carlos presenta pasivos ambientales ocasionados por derrames, fosas y piscinas, producto de la mala práctica de la actividad hidrocarburífera, destacando que existen tres campos petroleros: MPC, PBH y SACHA, que cubren en su totalidad el área de estudio, ubicándola como la tercera parroquia con índices de contaminación en la provincia, con 61 derrames, 18 fosas y 83 piscinas de rios de perforación. Siendo un potencial foco de contaminación, por su impacto negativo a los recursos naturales y salud humana (PRAS-MAE, 2015).

Por otro lado, de acuerdo al PDOT del GAD parroquial, la agricultura y la ganadería se han intensificado en los últimos años, constituyéndose en actividades que implican fuentes de contaminación ambiental, además de los asentamientos humanos nucleados y dispersos, que en conjunto repercuten, no solo en la pérdida de cobertura vegetal nativa, representando el 57,98% del área total de la parroquia, sino también por el uso de agroquímicos para el manejo de monocultivos como palma africana, palmito, arroz, maíz, cacao, café y plátano principalmente (GADPRSC, 2015).

En esta perspectiva, es evidente que el sistema ambiental de la parroquia, debe ser evaluado con objetivos de preservación y mitigación de la contaminación ambiental, siendo las causas antes mencionadas, focos de contaminación difusa de diversos contaminantes y entre ellos encontramos los metales pesados, que al no existir un estudio específico de los niveles fondo de los mismos según la tipología del suelo de esta parroquia, no se valora con eficacia el grado significativo de contaminación, debido a que

ciertos metales pesados, no se encuentran especificados como criterios de calidad o niveles fondo dentro de la normativa ambiental vigente.

Por lo que urge la necesidad de determinar las concentraciones de metales pesados en suelos, que no tengan influencias de alteración de sus características naturales, para verificar si la actual normativa se acoge a la realidad local y que el mencionado estudio, sirva en un futuro inmediato para implementación de políticas ambientales, enfocadas a la prevención y control de la contaminación del recurso suelo, así como también tomar las posibles medidas de gestión para su uso o restauración.

1.4 Justificación

La finalidad de obtener los niveles fondo y niveles genéricos de referencia de metales pesados como el Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Cromo (Cr), Bario (Ba), Vanadio (V), Níquel (Ni), Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) en el suelo de la parroquia San Carlos, es proporcionar información base, para reconocer a futuro el grado de afectación de éste recurso.

En este contexto, el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Orellana, apoyará el desarrollo de este proyecto, en función y uso de su competencia en el área ambiental, respecto al monitoreo y control de la calidad ambiental, a través de la Jefatura de Prevención y Control de la Contaminación (JPCC). Con el afán de obtener un estudio específico para la determinación de la calidad del suelo de la provincia, enfocándose en las zonas de mayor riesgo ambiental, como es el caso de la parroquia San Carlos.

La metodología de trabajo, se enfoca en cuatro fases: 1) recopilación y generación de información respecto al área de estudio y el tipo del suelo de la parroquia de interés, 2) diseño cartográfico del muestreo y análisis de laboratorio de las muestras de suelo recolectadas, 3) análisis estadístico de los resultados, determinando así los niveles fondo y de referencia de los parámetros estudiados y finalmente 4) la distribución espacial de la concentración fondo de los metales pesados analizados.

La importancia de determinar las concentraciones fondo de metales pesados en suelos, permite valorar la contaminación y los efectos negativos que se puedan derivar, aplicable en la formulación de una normativa ambiental de control local. De tal modo que los niveles de referencia, se pueden utilizar para diferenciar suelos, cuya calidad se ha visto afectada por actividades humanas, asumiéndose que donde no se superan los respectivos umbrales, la probabilidad de afectación sea menor o despreciable.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Determinar los niveles fondo de metales pesados en suelos de la parroquia San Carlos, para obtener los niveles genéricos de referencia, acorde a la realidad local que favorezcan a su prevención y control de la contaminación.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas del perfil superior del suelo en función de sus condiciones geológicas del área de estudio.
- Establecer los condicionantes, diseño de muestreo y el método de análisis analítico-instrumental idóneo para la determinación de las concentraciones de metales pesados en las muestras de suelo.
- Efectuar el adecuado tratamiento de los datos obtenidos de cada metal pesado para la obtención de los niveles fondo y de referencia de metales pesados.
- Obtener un modelamiento espacial como producto informativo de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA DE TRABAJO

2.1 Fase 1: Recopilación y generación de información del área de estudio

2.1.1 Método

El método empleado para esta primera fase es descriptiva, fundamentada en la recopilación y revisión de información validada como datos espaciales estandarizados de la Provincia de Orellana y específicamente de la parroquia San Carlos. Así también se empleó referencias bibliográficas relacionadas a estudios específicos de climatología, geología y de taxonomía de suelos.

2.1.2 Materiales

- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Rural de San Carlos 2015-2019
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Orellana 2015-2019
- Cartografía base del cantón Joya de los Sachas, formato shp, escala 1:50000 - IGM

- Mapa Geológico y Tipos de suelo de la Provincia de Orellana, formato shp, en el sistema de referencia espacial WGS84 UTM 18S, escala 1:50000 - GADPO
- Software ArcGIS 10.3.1
- Anuarios meteorológicos de los años comprendidos entre 1991 hasta 2011- INAMHI
- Claves para la Taxonomía de Suelos de la USDA.

2.1.3 Descripción del área de estudio

El área de estudio corresponde a la parroquia de San Carlos, ubicada al suroeste del cantón La Joya de los Sachas, perteneciente a la provincia de Orellana. Ésta parroquia se creó bajo Registro Oficial N° 996 el 9 de Agosto de 1988, posee una superficie de 134,37 Km², con una altitud entre 240-320msnm (GADPRSC, 2015).

Según el censo INEC (2010), cuenta con 2846 habitantes distribuidos en sus 25 centros poblados, los cuales se especifican en la tabla 6 tanto las comunidades y comunas que conforman la parroquia San Carlos.

Tabla 6

Centros Poblados de la Parroquia San Carlos

Ítem	Comunidad	Ítem	Comunidad
1	San Carlos (cabecera parroquial)	14	Nueva Esperanza
2	22 de Junio	15	Unión Manabita 1
3	24 de Noviembre	16	12 de Octubre
4	Bella Unión del Napo	17	Abdón Calderón
5	Los Ángeles	18	Arenillas (no legalizada)
6	23 de Julio	19	Flor de Pantano
7	Río Napo	20	Morán Valverde
8	Unión Cañar	21	Nueva Tungurahua
9	12 de Febrero	22	Unión Manabita 2
10	24 de Mayo	Ítem	Comunas
11	Agrupación Manabita	23	San Cristóbal de Huamayacu

CONTINÚA

12	Eugenio Espejo	24	Los Fundadores (no legalizada)
13	Luz de América	25	San Carlos

Fuente: (GADPRSC, 2015)

2.1.4 Ubicación Geográfica de la Parroquia San Carlos

La Parroquia de San Carlos limita al norte con la parroquia La Joya de los Sachas; al sur con el Río Napo y las parroquias Taracoa y El Dorado; al este con las parroquias Unión Milagreña y La Joya de los Sachas; al Oeste con las parroquias Pto. Fco de Orellana y San Sebastián del Coca. La localización de la Parroquia San Carlos se presenta en el Mapa 1 (Ver Anexo 1).

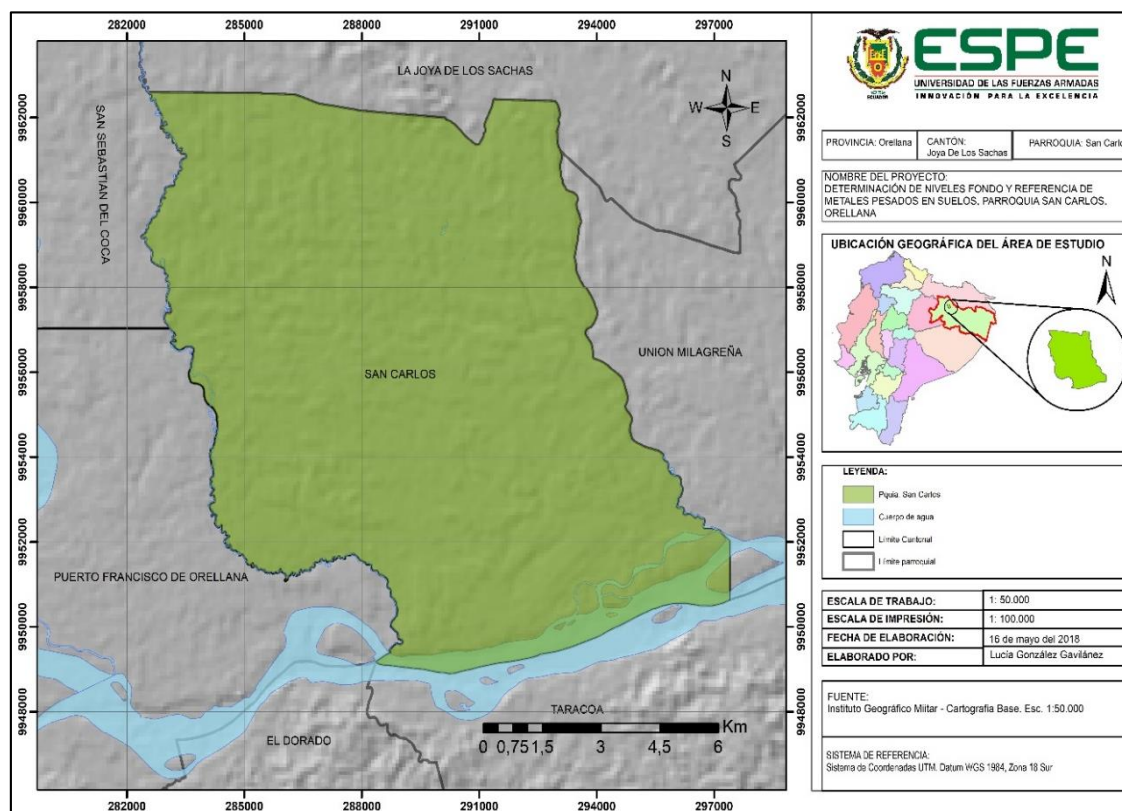


Figura 2 Localización del área de estudio
Fuente: (IGM, 2016)

2.1.5 Condiciones climatológicas

Para este análisis se utilizó los datos proporcionados por la estación automática meteorológica de la Hacienda Palmar de Río (Estación Huashito M293), registrados en un periodo de 21 años en el intervalo comprendido desde 1991 al 2011. Siendo analizados los siguientes parámetros: temperatura, precipitación, humedad relativa, heliofanía, y velocidad del viento.

2.1.5.1 Temperatura

Los datos temperatura registrada se presentan en la tabla 7, evidenciando que la temperatura promedio mensual corresponde a 25,3°C, la temperatura máxima es de 29,5 y la mínima es de 21,6°C.

Tabla 7

Datos de *Temperatura* registrados por la Estación M-293 Palmar del Río

TEMPERATURA DEL AIRE (°C)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MEDIA	25,9	25,5	25,2	25,2	24,9	24,6	24,1	24,7	25,4	25,5	25,6	25,5
MÍNIMA	22,1	21,6	24,4	23,0	23,1	23,7	23,5	22,2	24,6	23,9	24,0	22,4
MÁXIMA	29,5	27,6	27,1	27,4	26,0	26,5	26,3	26,5	26,5	27,8	27,5	26,6

Fuente: (INAMHI, 2012)

2.1.5.2 Precipitación

El comportamiento temporal de la precipitación nos indica una curva bianual con dos períodos lluviosos y dos períodos de menor intensidad de lluvias.

De esta forma, los periodos de mayor copiosidad de lluvias, corresponden en primer lugar a un ciclo más alto de precipitación que se desarrolla entre los meses de marzo a junio y el segundo período contempla los meses de noviembre y diciembre. Por otro lado, los dos periodos de menor intensidad registrada corresponden de enero a febrero y julio a octubre. El mes mayo fue el de mayor precipitación con 373,1 mm y el de menor registro es agosto con 182,3 mm (Ver Figura 3).

En la tabla 8 se exponen los registros de precipitación captados por la estación M-293.

Tabla 8

Datos de Precipitación de la Estación M-293 Palmar del Río

Precipitación Total Mensual (mm)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MEDIA	222,5	247,0	354,5	368,0	373,1	350,9	242,9	182,3	244,8	262,9	325,3	310,6
MÍNIMA	44,3	59,2	149,4	180,4	152,0	191,9	106,2	43,9	76,4	113,2	232,5	157,5
MÁXIMA	388,5	500,1	538,2	446,2	707,5	643,2	397,1	392,6	376,4	440,4	413,5	492,5
PROMEDIO ANUAL	3484,8											

Fuente: (INAMHI, 2012)

2.1.5.3 Humedad Relativa

Ésta zona de la Amazonía, presenta una elevada humedad ambiental gracias a la alta evaporación potencial. Así en función al comportamiento de la humedad relativa, se identifica que el mes más húmedo es marzo con 88,9% y el de menor humedad, es octubre con 86,03%. Se observa, además en función a la distribución de los valores, que ésta variable oscila entre el 71% al 98% a lo largo del año, relacionando directamente su comportamiento estadístico al de la precipitación.

En la tabla 9, se presentan los datos de humedad registrados en la estación meteorológica Palmar del Río.

Tabla 9

Datos de Humedad relativa de la Estación M-293 Palmar del Río

Humedad Relativa (%)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MEDIA	86,72	87,05	88,90	88,50	88,71	88,87	88,20	87,25	86,75	86,03	87,22	87,70
MÁXIMA	97,0	98,0	97,0	96,0	97,0	97,0	96,0	96,0	95,0	96,0	95,0	96,0
MÍNIMA	69,6	71,5	78,8	75,4	77,7	77,3	76,2	73,5	75,3	63,1	73,6	74,3

Fuente: (INAMHI, 2012)

2.1.5.4 Heliofanía

El brillo solar medido en horas de sol, no tiene mucha variación de acuerdo a los datos registrados por la estación M-293, evidenciado en la tabla 10, en la cual se presentan las horas sol mensual, en un rango de 21 años, obviando los vacíos de información.

La mayor presencia de horas sol, fue en el mes de octubre con 145,40 horas y la menor incidencia solar, fue en el mes de marzo con 86,25 horas. en la distribución anual se aprecia que el más alto registro fue en el 2000 sin embargo no fue muy significativo con respecto al resto de años analizados la variación se encuentra aproximadamente entre las 1500 horas anuales.

Tabla 10

Datos de Heliofanía de la Estación M-293 Palmar del Río

HELIOFANIA(Horas)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MEDIA	130,74	104,22	86,25	104,90	109,07	94,40	112,43	135,76	129,57	145,40	139,79	124,48
MÁXIMA	182,00	144,50	123,10	151,10	164,00	136,60	171,00	185,60	184,00	194,70	182,00	201,30
MÍNIMA	92,80	75,30	53,60	62,80	79,60	62,40	47,60	83,40	64,30	101,10	59,90	97,60

Fuente: (INAMHI, 2012)

2.1.5.5 Velocidad del viento

Los datos registrados en la estación Palmar del Río durante un periodo de 10 años comprendido entre 1991-2000, indican que la dirección de viento predominante, es hacia el suroeste manteniendo velocidades bajas en los datos tomados, confirmándose como la velocidad mayor de 2,75 m/s en el mes de septiembre y el menor se registró en el mes de enero con un valor de 1,23 m/s (Ver tabla 11).

Tabla 11

Datos de Velocidad de viento de la Estación M-293 Palmar del Río

VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MEDIA	1,23	1,66	2,58	2,09	2,32	2,23	2,35	2,39	2,75	2,56	2,15	2,53
MÁXIMA	1,70	4,20	9,70	6,20	5,40	5,40	5,20	6,40	7,10	7,20	6,70	9,80
MÍNIMA	0,50	0,50	0,60	0,80	0,90	1,00	0,90	0,90	1,00	1,00	0,70	0,70

Fuente: (INAMHI, 2012)

2.1.5.6 Evaporación Potencial

La evaporación potencial media anual es de 1071,9 mm con un promedio mensual de 89,33 mm en el período 1991-2011 y cuyos datos se exponen en la tabla 12.

En consecuencia, según la evaporación y la precipitación se puede indicar que siempre hay un exceso de agua en el ambiente característico del clima del Cantón Joya de los Sachas, por lo tanto, el tipo de vegetación predominante en la zona es de hojas anchas siempre verdes.

Tabla 12*Datos para el cálculo de evaporación por el Método de Wilson*

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T°	25,86	25,49	25,24	25,17	24,93	24,60	24,10	24,68	25,41	25,48	25,60	25,53
V.V.	1,23	1,66	2,58	2,09	2,32	2,23	2,35	2,39	2,75	2,56	2,15	2,53
%H	86,72	87,05	88,90	88,50	88,71	88,87	88,20	87,25	86,75	86,03	87,22	87,70
Heliof.	130,7	104,2	86,3	104,9	109,07	94,40	112,43	135,76	129,57	145,40	139,79	124,48
D	12,10	12,00	12,00	12,10	12,00	12,10	12,10	12,20	12,10	12,10	12,10	12,00
n	4,22	3,72	2,78	3,50	3,52	3,15	3,63	4,38	4,32	4,69	4,66	4,02
n/D	0,35	0,31	0,23	0,29	0,29	0,26	0,30	0,36	0,36	0,39	0,39	0,33
Ra	885,0	915,0	925,0	900,0	850,0	820,0	830,0	870,0	905,0	910,0	890,0	875,0
E1	-2,70	-2,40	-2,10	-2,30	-2,30	-2,20	-2,30	-2,65	-2,70	-2,80	-2,80	-2,60
E2	4,20	4,00	3,50	3,70	3,40	3,10	3,30	3,90	4,10	4,20	4,20	3,80
E3	0,99	0,98	0,96	0,98	0,98	0,97	0,98	1,00	1,00	1,20	1,50	0,99
E4	0,42	0,48	0,70	0,50	0,51	0,52	0,60	0,70	0,70	0,70	0,70	0,65
mm/ día	2,91	3,06	3,06	2,88	2,59	2,39	2,58	2,95	3,10	3,30	3,60	2,84
días	31,00	28,00	31,00	30,00	31,00	30,00	31,00	31,00	30,00	31,00	30,00	31,00
mm/ mes	90,21	85,68	94,86	86,40	80,29	71,70	79,98	91,45	93,00	102,30	108,00	88,04
Media mensual	89,33											
Evaporación anual (mm)	1071,91											

2.1.5.7 Evapotranspiración

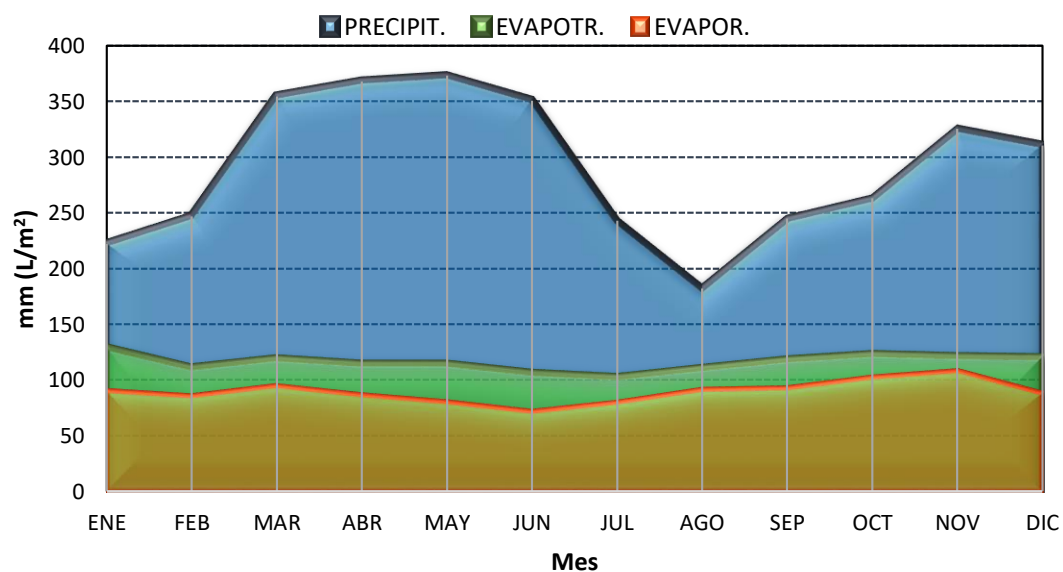
Para determinar la evapotranspiración de esta zona se empleó el método de Thornthwaite, en función de la variación de las temperaturas registradas (ver tabla 13). De esta forma, se determinó que, el promedio anual registrado por la estación Palmar del Río corresponde a 1394,29 mm, valor que supera a la evaporación pero que es inferior al de precipitación.

Tabla 13

Cálculo de evapotranspiración por el Método de Thornthwaite

EVAPOTRANSPIRACION M293							
Mes	T°(media)	ka	ij	I	a	Uj (cm)	Uj (mm)
ENERO	25,864	1,040	12,039	138,694	3,292	12,948	129,48
FEBRERO	25,489	0,940	11,775			11,153	111,53
MARZO	25,240	1,040	11,602			11,947	119,47
ABRIL	25,170	1,010	11,553			11,497	114,97
MAYO	24,930	1,040	11,387			11,471	114,71
JUNIO	24,600	1,010	11,159			10,662	106,62
JULIO	24,100	1,040	10,818			10,261	102,61
AGOSTO	24,680	1,040	11,214			11,097	110,97
SEPTIEMBRE	25,410	1,010	11,720			11,862	118,62
OCTUBRE	25,480	1,040	11,769			12,326	123,26
NOVIEMBRE	25,600	1,010	11,853			12,157	121,57
DICIEMBRE	25,530	1,010	11,804			12,048	120,48
Promedio mensual de evapotranspiración (mm)							116,19

Al analizar los datos obtenidos, se puede concluir que ésta zona del país, se encuentra en una región Húmeda Tropical, caracterizada por mantener un régimen climatológico de temperatura superior a 24°C, el rango promedio de precipitación anual oscila entre 3000 y 6000 mm, en donde la precipitación supera a la evaporación y evapotranspiración.

**Figura 3** Comportamiento climatológico-Estación Palmar del Río

2.1.6 Geología de la Parroquia San Carlos

La cuenca oriente es una gran unidad geológica desarrollada principalmente durante el cretácico, se ubica entre la Cordillera de los Andes y el escudo Brasileiro-Guyana, extendiéndose desde el arco de Vaupés en la región del Putumayo al sur de Colombia, hasta el arco de Fitzcarraldo en el centro del Perú, constituyendo el segmento Putumayo-Oriente-Marañón mismo que posee un número considerable de reservas petroleras (Baby & Rivadeneira, 2004).

La mayor parte del territorio de la provincia de Orellana y enfocándonos en el de la parroquia de interés, describe características de la llanura amazónica, dando lugar a relieves de origen acumulativo que por la cantidad de drenajes y ríos dobles forman valles, terrazas y llanuras aluviales que se muestran a lo largo de toda la región en sectores planos con pendientes menores al 5% (GADPO, 2015).

Geológicamente la parroquia San Carlos se encuentra dentro de la Formación Chambira, correspondiente a la edad del Mioceno superior y Plioceno de acuerdo al orden estratigráfico de la Cuenca del Oriente, ésta formación se compone por suelos cuya litología se caracteriza por poseer areniscas, lutitas y tobas, que cubren el 85,63% del territorio de la parroquia.

En la zona sur de San Carlos, producto de la erosión intensificada y sedimentación, afloran los Depósitos Aluviales que representan el 12,90% de la superficie parroquial, misma que se encuentra compuesta por suelos de matriz arcillo-arenosa (GADPRSC, 2015). De ésta forma, tanto en la figura 4, como en la tabla 14, se expone las formaciones geológicas presentes en el área de estudio.

Tabla 14

Formaciones Geológicas y su ocupación de la superficie parroquial

FORMACIÓN/ ESTATIGRAFÍA	LITOLOGIA	SÍMBOLO	UBICACIÓN	ÁREA (km ²)	Superficie (%)
Formación Chambira	Areniscas, lutitas, tobas (1000-1500m)	MPIC	Oriente	115,06	85,63
Depósito Aluvial	Arcillas, arenas	QA	Oriente	17,33	12,90
Cuerpo de Agua				1,98	1,47
TOTAL				134,37	100,00

Fuente: (GADPO, 2015)

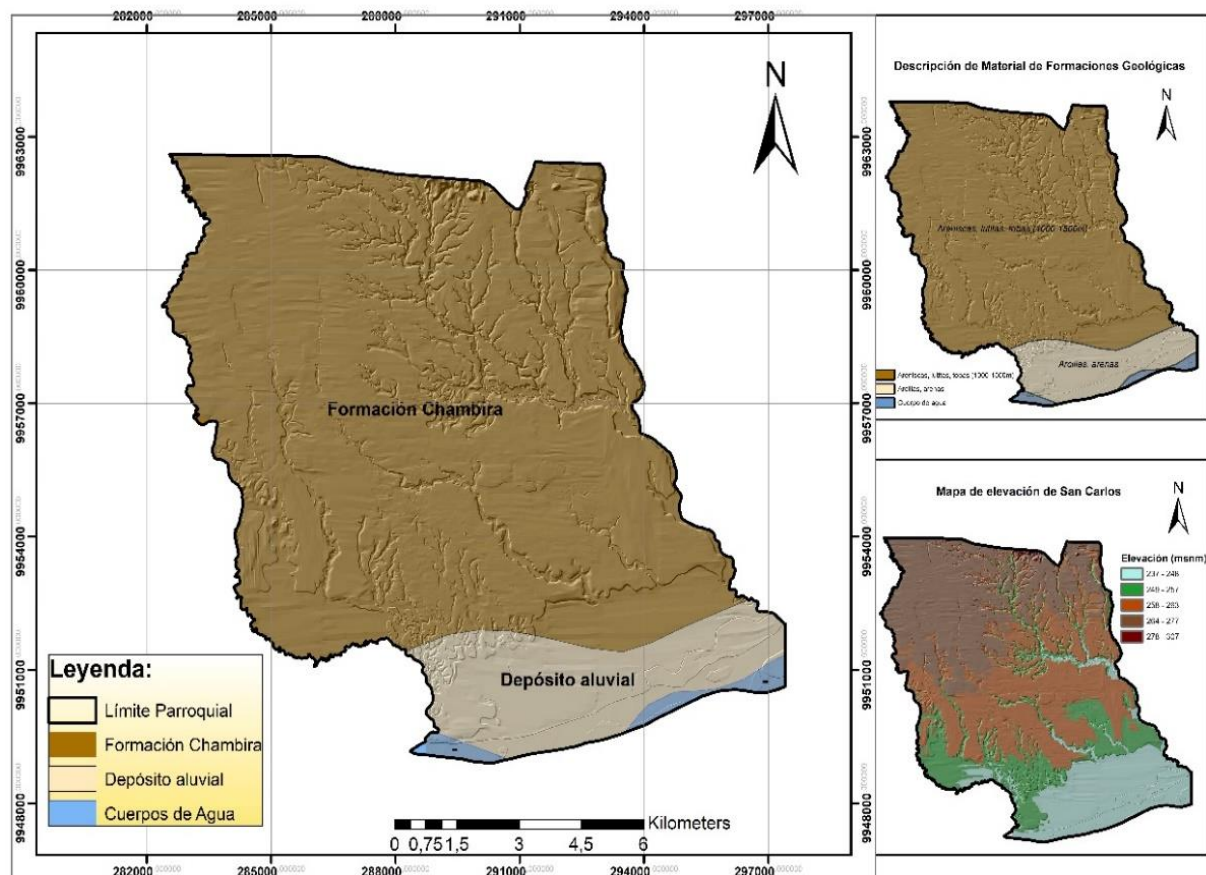


Figura 4 Formaciones Geológicas de la Pquia. San Carlos

Fuente: (GADPO, 2015)

2.1.7 Clasificación Taxonómica de Suelos

En función a estudios anteriores a nivel nacional por instituciones especializadas, se recopiló y empleó información de análisis espacial empleada en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Orellana, en donde se especifica que la metodología de clasificación de tipos de suelos a nivel provincial se realizó de acuerdo a las directrices del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos representado por sus siglas en inglés (USDA), empleando la publicación “Claves para la Taxonomía de Suelos” (GADPO, 2015).

Así de acuerdo a ésta clasificación se determinan a nivel provincial la existencia de dos tipos de suelos: entisoles e inceptisoles que según la denominación de la USDA, los suelos de orden:

- **Inceptisol** corresponden a suelos característicos de regiones húmedas y subhúmedas que tienen horizontes alterados que han perdido bases o hierro y aluminio pero que retienen algunos minerales resistentes a la intemperie. Generalmente exhiben horizontes moderado grado de meteorización y desarrollo (USDA, 2018).

- **Entisol** son aquellos que tienen poca o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes pedogénicos. Se encuentran en formas de origen fluvial bajo condiciones que no permiten la evolución edáfica, sea porque la acumulación de materiales es continua o porque son aportes recientes y el tiempo de desarrollo ha sido muy corto. Muchos son arenosos o muy poco profundos (USDA, 2018).

De ésta forma, en correspondencia a las definiciones anteriormente mencionadas, en la figura 5, notamos que los suelos Inceptisoles abarcan la mayor parte del territorio,

constituyéndose como una etapa subsiguiente de evolución en relación a los Entisoles, debido a una mayor meteorización y alteración de los materiales primarios. Mientras que los Entisoles ocupan una menor proporción del territorio parroquial ubicándose en zonas inundables por las constantes crecientes del río Napo.

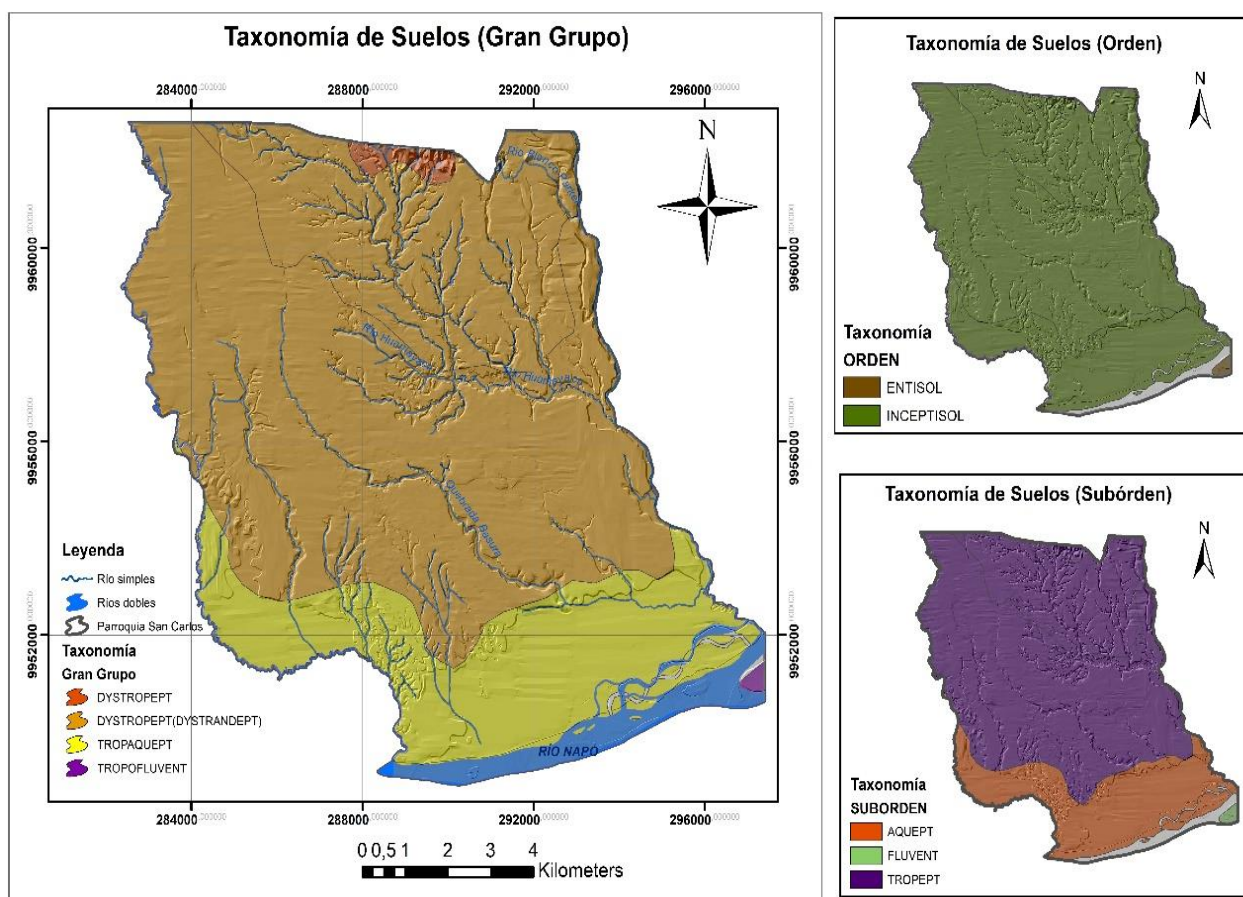


Figura 5 Clasificación Taxonómica de Suelos de la Pquia. San Carlos
Fuente: (GADPO, 2015)

En la tabla 15, se especifica la clasificación de los dos tipos de suelos especificando el orden, suborden y grangrupo, así como también la superficie ocupada de la Parroquia

San Carlos, mientras que en la tabla 16 se describe la taxonomía específica de los suelos en función al gran grupo para una mejor comprensión de sus características.

Tabla 15

Taxonomía de suelos y su ocupación de la superficie parroquial

ORDEN	SUBORDEN	GRANGRUPO	Área (Km ²)	Superficie (%)
INCEPTISOL	TROPEPT	DYSTROPEPT(DYSTRANDEPT)	98,99	73,67
INCEPTISOL	TROPEPT	DYSTROPEPT	1,29	0,96
INCEPTISOL	AQUEPT	TROPAQUEPT	30,47	22,71
ENTISOL	FLUVENT	TROPOFLUVENT	0,50	0,37
CUERPOS DE AGUA			3,08	2,29
TOTAL			134,37	100,00

Fuente: (GADPO, 2015)

Tabla 16

Descripción taxonómica de suelos de la Parroquia San Carlos

	Taxonomía (Grangrupo)	Descripción
INCEPTISOL	DYSTROPEPT	Suelos rojos, a pardo amarillentos con alteración muy profunda. Arcilla, tipo caolinita. Saturación de bases <35%. Suelos con epípedon muy negro en áreas húmedas.
	DYSTROPEPT(DYSTRANDEPT)	Suelos caracterizados por tener un horizonte A moderadamente oscuro con moderada cantidad de materia orgánica, este tipo de suelo es apto para actividades agrícolas. Indica la presencia de suelos con epipedón muy negro en áreas húmedas.
	TROPAQUEPT	Suelos que se encuentra especialmente en las cuencas bajas de los ríos, en zonas que se inundan en épocas de creciente, son suelos relativamente jóvenes, que se desarrollaron de aluviones fluviales y son caracterizados por una alta capa freática, generalmente fértiles, pero por falta de drenaje y las inundaciones es limitado su uso agrícola.
ENTISOL	TROPOFLUVENT	Suelos normalmente húmedos con un régimen de temperatura casi uniforme casi todo el año, el cual oscila alrededor de los 25°C con una diferencia térmica entre la media de verano y la de invierno menor de 5°C.

Fuente: (GADPRSC, 2015)

2.2 Fase 2: Diseño de muestreo y análisis fisicoquímicos de muestras

2.2.1 Diseño de Muestreo y toma de muestras

El objetivo del muestreo de niveles fondo de contaminantes, es determinar la concentración de dichos elementos en sitios contiguos a áreas contaminadas, los mismos que pueden encontrarse en el suelo de manera natural o fueron generados por alguna fuente antropogénica ajena a la considerada, siendo aplicable a metales y metaloides. Así, cuando se trate de sitios con antecedentes de presencia natural de sustancias potencialmente tóxicas, se deberá tomar muestras fuera del área de influencia del contaminante, pero de características geográficas similares, que sirvan para establecer los niveles de fondo de dichos contaminantes (MINAM, 2014).

Según la Guía para el muestreo de Suelos del Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM, 2014), la localización del área de muestreo de niveles fondo ha de considerar lo siguiente:

- a) El sitio de muestreo deberá estar fuera del sitio o predio en estudio y no debe estar demasiado alejado del mismo.
- b) El sitio de muestreo deberá presentar una orografía y geología similar al sitio en estudio; y debe de estar en la misma área climática y de vegetación.
- c) Las muestras para el nivel de fondo deben ser compuestas, recolectadas en un mínimo de tres áreas diferentes pero con características similares al área de estudio.

2.2.1.1 Georreferenciación y establecimiento de puntos de muestreo

- **Materiales**

- Cartografía base de Joya de los Sachas, formato shp, escala 1:50000 - IGM
- Ortofoto del cantón Joya de los Sachas
- Mapa Geológico y Tipos de suelo de la Parroquia San Carlos, formato shp, WGS84 UTM 18S, escala 1:25000
- Software ArcGIS 10.3.1

Método

Para el propósito de estudio, se emplea una investigación exploratoria mediante el apoyo del software de ArcGIS 10.3.1, para el análisis espacial del terreno y establecimiento de los puntos de muestreo, de tal forma que éstos queden georreferenciados y se facilite su acceso en la práctica.

El patrón de muestreo es una malla regular, que mediante el apoyo de una ortofoto del área de estudio y herramientas SIG, nos permite colocar de forma aleatoria simple los puntos de muestreo en cada cuadrante (2km x 2km). En la figura 6, encontramos la ortofoto donde se diferencia las posibles áreas de sondeo.

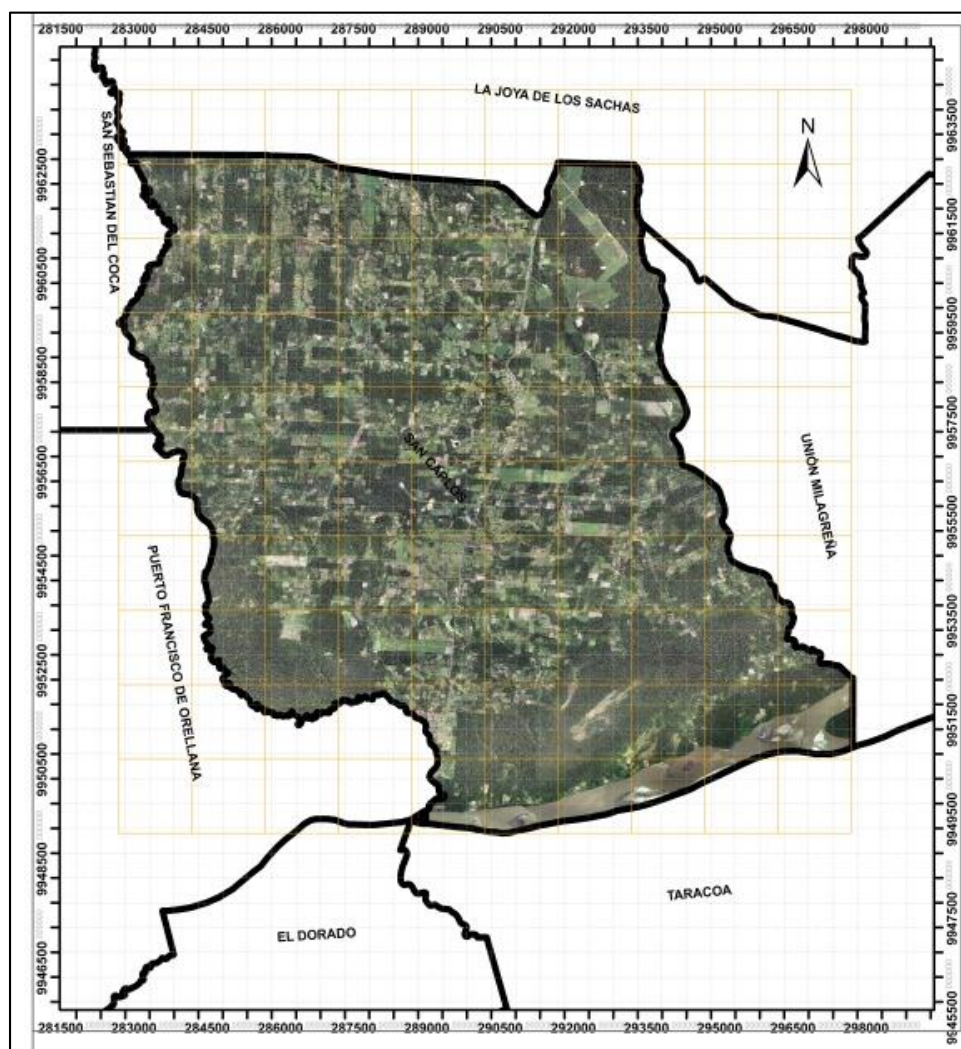


Figura 6 Ortofoto de la parroquia San Carlos
Fuente: (GADPO, 2015)

- ***Criterios para la toma de muestras***

Tomando en cuenta las condiciones climáticas, geológicas, tipos de suelo y de acuerdo al propósito de estudio, se ha considerado los siguientes criterios para el muestreo:

- **Uso de suelo:** las muestras fueron tomadas en suelos residuales (matorrales, bosque nativo, bosque secundario), es decir en suelos que no hayan sido

intervenidos por el hombre en un intervalo de tiempo de 5 años, con el objetivo de que la muestra proyecte las propiedades naturales del suelo.

- **Taxonomía y Geología:** debido a que la mayor parte del territorio lo conforman suelos del orden Inceptisol, se considera una sola unidad tipo para el muestreo, no obstante, debido a que geológicamente la parroquia presenta, tanto la formación Chambira como los Depósitos Aluviales, que a su vez se superponen con dos tipos de suelos dentro del orden Inceptisol, correspondiente al suborden Tropept y Aquept, se considerará el análisis espacial de los resultados para las dos formaciones geológicas.
- **Disponibilidad de recursos:** para ello previamente se coordinó y planificó con el jefe y equipo técnico de la JPCC, considerando la disponibilidad de tiempo, personal, materiales y movilización, destinando para ésta actividad 4 técnicos, un vehículo y llevando a cabo el muestreo por 3 días a la semana durante un mes, obteniendo de 5-6 muestras por día (con un mínimo de 50 muestras).
- **Clima:** la toma de muestras se realizó tomando en cuenta uno de los períodos de menor intensidad de lluvias (julio-octubre) para evitar dilución de los analitos en la solución del suelo. Además de acuerdo a la disponibilidad del recurso humano y movilización aportado por la JPCC se estableció el mes de octubre el idóneo, para llevar a cabo esta actividad.
- **Tipo de muestreo:** se aplica un muestreo sistemático, siguiendo una distribución aleatoria sobre una malla regular de acuerdo a las zonas de interés, cubriendo de forma uniforme toda la superficie, conforme a las condiciones de planicie del territorio, cuya pendiente es menor al 5%. Cabe mencionar que en

la parte sur este de la parroquia, por dificultades de accesibilidad no se establecieron puntos de muestreo.

- **Accesibilidad:** se considera que los puntos establecidos, sean de fácil acceso considerando el sistema vial de la parroquia, para facilitar el muestreo y evitando pasar zonas pantanosas o tierras poco compactas.
- **Protección y seguridad personal:** se toma en cuenta los siguientes implementos para protección del personal: botas, gorra, guantes, vestimenta cómoda (camisa manga larga y pantalón jean) y botiquín de primeros auxilios, para de esta forma prevenir riesgos en las zonas de muestreo, que prácticamente son lugares de frondosa vegetación.
- **Número de muestras:** según el anexo 2 (TULSMA, 2015), se menciona que se tomará una muestra compuesta de 15-20 submuestras georreferenciadas por cada 100has o aplicar la fórmula $Y = (X)^{0,3} * (11, 71)$, donde Y es el número de muestras y X es la superficie expresada en ha. De esta forma tomando en cuenta que el área de la parroquia es de 13.437ha, se debieron establecer 134 a 203 puntos de muestreo, pero considerando que el 81% de la cobertura y uso actual del suelo está intervenido (GADPRSC, 2015), además de la inaccesibilidad y mayor inversión de recursos económicos, sería imposible cubrir con todos los puntos. No obstante, se establecieron 68 muestras, cada una con 3 submuestras, cubriendo todo el territorio, considerando un muestreo representativo.
- **Restricciones:** Los puntos de muestreo deben estar alejados de zonas pobladas (a 500m de radio), pozos petroleros (a 500m de radio), carreteras (a

30m de cada extremo), senderos lastrados (a 15m de cada extremo), ríos dobles (a 30m de sus riveras) y ríos simples (a 15m de sus orillas) para evitar sesgo en los resultados.

De esta forma en el Anexo 2, se presenta los 68 puntos de muestreo validados en campo y en la tabla 17 se especifica su georreferenciación, en coordenadas proyectadas en el sistema de referencia WGS1984, UTM, zona 18 Sur.

Tabla 17
Georreferenciación de puntos de muestreo de suelos

Centro Poblado	PUNTO	COD. LAB	x	y
Precoop. Unión Manabita 1	P1	s16-123	284778	9957345
Precoop. Unión Manabita 2	P2	s16-124	284231	9956675
Precoop. Unión Manabita	P3	s16-131	284785	9954840
Precoop. Agrupación Manabita	P4	s16-132	285017	9955301
Entre Agrupación Manabita y Abdón Calderón	P5	s16-133	285925	9956114
Comunidad Nueva Esperanza	P6	s16-134	288455	9958498
Entre Unión Manabita y Unión Cañar	P7	s16-143	283456	9958560
Entre Eugenio Espejo y Unión Cañar	P8	s16-144	285432	9959420
Precoop. Unión Cañar	P9	s16-145	283024	9959275
Antes de Comunidad Eugenio Espejo	P10	s16-146	284470	9960460
Entre Coop. Unión Cañar y Eugenio Espejo	P11	s16-147	283819	9960269
Coop. Eugenio Espejo	P12	s16-148	283965	9961661
Coop. Eugenio Espejo	P13	s16-149	283584	9962340
Comuna San Carlos	P14	s16-151	290416	9949576
Comuna San Carlos	P15	s16-152	289336	9949967
Comunidad Río Napo	P16	s16-156	290784	9952496
Comunidad Río Napo	P17	s16-157	290845	9951764
Comunidad Río Napo	P18	s16-158	291041	9951293
Comunidad Río Napo	P19	s16-159	291951	9952979
Comunidad Nueva Tungurahua	P20	s16-160	293579	9953183
Comunidad San Cristóbal de Huamayacu	P21	s16-161	295751	9953089
Comunidad San Cristóbal de Huamayacu	P22	s16-162	295398	9953494
Comunidad Bella Unión del Napo	P23	s16-163	291462	9951610
Comunidad Bella Unión del Napo	P24	s16-164	289225	9951438

CONTINÚA

Centro Poblado	PUNTO	COD. LAB	x	y
Comunidad Bella Unión del Napo	P25	s16-165	289755	9952194
Comunidad Bella Unión del Napo	P26	s16-166	287186	9952818
Comunidad 22 de Junio	P27	s16-167	286020	9952408
Comunidad 22 de Junio	P28	s16-168	286584	9954414
Comunidad 22 de Junio	P29	s16-169	287307	9954507
Comunidad 22 de Junio	P30	s16-170	287069	9955022
Comunidad 22 de Junio	P31	s16-171	286498	9955352
Comunidad Nueva Tungurahua	P32	s16-179	291811	9953973
Comunidad Nueva Tungurahua	P33	s16-180	291893	9954102
Nueva Tungurahua y San Cristóbal de Huamayacu	P34	s16-181	294554	9954173
Comunidad Nueva Tungurahua	P35	s16-182	294070	9953733
Comunidad Nueva Tungurahua	P36	s16-183	293446	9954087
Cooperativa Moran Valverde y 23 de Julio	P37	s16-184	290967	9955803
Precooperativa Morán Valverde y 23 de Julio	P38	s16-189	293865	9955623
Precooperativa Moran Valverde y 23 de Julio	P39	s16-190	293288	9955317
Precooperativa Morán Valverde y 23 de Julio	P40	s16-191	292721	9955482
Precooperativa Morán Valverde y 23 de Julio	P41	s16-192	291183	9954797
Pre-Cooperativa Morán Valverde y 23 de Julio	P42	s16-193	291838	9956581
Pre-Cooperativa Morán Valverde y 23 de Julio	P43	s16-194	292144	9956812
Pre-Cooperativa Morán Valverde y 23 de Julio	P44	s16-195	293604	9957711
Pre-Cooperativa Moran Valverde 1 Sacha Sur	P45	s16-196	292153	9958025
San Carlos Cabecera Parroquial	P46	s16-197	291347	9957684
Comunidad Bella Unión del Napo	P47	s16-198	290322	9954270
Comunidad 24 de Noviembre	P48	s16-199	289239	9955103
Cabecera Pquia. San Carlos y Com. 24 de Noviembre	P49	s16-200	290792	9956859
Comunidad 12 de Octubre	P50	s16-201	293002	9959302
Comunidad 12 de Octubre	P51	s16-202	290081	9959827
Comunidad 12 de Febrero	P52	s16-207	290043	9957130
Entre la Comunidad Manabita y 12 de Febrero	P53	s16-208	286728	9957299
Entre la Comunidad Manabita 1 y 12 de Febrero	P54	s16-209	287056	9957091
Comunidad Eugenio Espejo	P55	s16-210	286077	9961016
Pre-Cooperativa 24 de Mayo	P56	s16-211	285208	9961428
Pre-Cooperativa 24 de Mayo	P57	s16-212	285215	9962021
Comunidad Nueva Esperanza	P58	s16-229	287481	9958016
Comunidad 12 de Octubre	P59	s16-230	292786	9960004
Comunidad Luz de América	P60	s16-231	291446	9962349
Comunidad Nueva Esperanza	P61	s16-232	287095	9958601
Comunidad Nueva Esperanza	P62	s16-233	286569	9958644

CONTINÚA

Centro Poblado	PUNTO	COD. LAB	x	y
Comunidad Nueva Esperanza	P63	s16-234	285886	9958489
Comunidad Nueva Esperanza	P64	s16-235	286522	9959157
Comunidad 24 De Mayo	P65	s16-236	286136	9962359
Comunidad 24 de Mayo	P66	s16-237	288955	9961984
Comunidad Flor del Pantano	P67	s16-244	291980	9949873
Comunidad Flor Del Pantano	P68	s16-245	292970	9950794

2.2.1.2 Toma de muestras de suelo

La toma de muestras de los 68 puntos georreferenciados, fue realizada en el mes de octubre del año 2016. Ésta actividad se llevó a cabo, con el apoyo técnico y logístico de la Jefatura de Prevención y Control de la Contaminación de la Coordinación de Gestión Ambiental del GADPO. A continuación, se especifica los materiales utilizados, así como también se describe de forma general la técnica de toma de muestra empleada.

- **Materiales**

- GPS Garmin GPSMAP® 62s
- Barreno
- Pala
- Machete
- Fundas de basura
- Varilla metálica
- Guantes de nitrilo

- Fundas plásticas con cierre hermético
- Cooler
- Flexómetro
- Cadena de custodia
- Marcador permanente

- **Método**

La técnica de muestreo aplicada, correspondió a un sondeo manual con el uso de barreno o pala, limpiando los residuos orgánicos en un radio de 15 cm por cada punto de muestreo, y a una profundidad de 25 a 30cm dependiendo la compactación del suelo, de ésta forma se evaluará las propiedades fisicoquímicas del perfil superficial del suelo (Ver figura 7).



Figura 7 Toma de muestra del perfil superficial

El tipo de muestra obtenida es compuesta, formada por 3 submuestras, tomadas de forma aleatoria a 20m de distancia del punto de muestreo georreferenciado, tomando como patrón una cruz. Es importante mencionar, que, en el caso de la muestra tomada con pala, se toma la parte central de la submuestra, descartando los extremos con ayuda de un machete limpio. El acopio de cada submuestra se realiza en una funda de basura.

Para que dicha muestra sea representativa, se homogeneizó las submuestras, se retiró piedras, material vegetativo, lombrices u otro componente extraño en el suelo. Luego se extiende la muestra sobre una bolsa plástica y se realiza el cuarteo de la misma, extrayendo al azar dos cuadrantes, los cuales se vuelven a homogeneizar, tomando aproximadamente 1Kg de suelo.

Las muestras fueron guardadas en fundas con cierre hermético, previamente codificadas y conservadas de forma segura en el interior de un cooler. La identificación, características y condiciones de muestreo, se anotaron en la cadena de custodia, para asegurar la integridad de la muestra hasta su ingreso al Laboratorio de Análisis Ambiental del GADPO.

2.2.2 Preparación y Análisis fisicoquímico de las muestras de suelo

Previo al análisis instrumental, las muestras fueron homogeneizadas y secadas en una estufa a una temperatura de $40^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$, durante 1-2 días, posterior a ello, se trituraron y tamizaron quedando las partículas menores a $<2\text{mm}$. De esta forma, de cada muestra debidamente codificada, se tomó aproximadamente 10g y se sometieron a una

temperatura de 105°C durante 24 horas, para eliminar el agua aún presente y luego, mediante el método gravimétrico, se determinó el porcentaje de sustancia seca, valor necesario para la corrección del peso de cada muestra en todos los cálculos de resultados de otros parámetros. A continuación, se describirá de forma breve los procedimientos analíticos, especificando los reactivos y materiales empleados, así como también el método de referencia.

2.2.3 Textura

La textura es una medida aproximada de la distribución de tamaño de las partículas del suelo y se describe como una clase textural de suelo. Los términos de arena con un tamaño de partícula de 2,00 mm – 0,05 mm, limo de 0,05 mm – 0,002 mm y arcilla < 0,002 mm, son los términos comúnmente aceptados para clasificar las partículas del suelo según su tamaño. A través de la textura se puede predecir el comportamiento físico del suelo, haciendo inferencias acerca del movimiento del agua en el perfil, la facilidad de manejo y la cantidad de nutrientes (SENA, 2013).

Método de referencia:

Método del Hidrómetro según Bouyoucos, citado en (McKean, 1993).

Materiales y Reactivos

- Mezclador eléctrico o batidor.
- Probetas para sedimentación de 1000ml
- Termómetro 0-50°C
- Varilla provista de un disco perforado en un extremo.
- Cronómetro
- Hidrómetro estándar (ASTM N° 1, 152 H) con escala en g/L
- Vaso de precipitación de 600 ml.
- Balanza de precisión con una exactitud de 0,01 g.
- Solución dispersante: Disolver 40 g de hexametáfosfato de sodio, diluir y aforar a 1 L.

Descripción del método:

La determinación de la textura por el método de Bouyoucos, se basa en la medición de la velocidad de sedimentación de las partículas dispersas en el agua. La ley de Stokes estipula que la resistencia ofrecida por el líquido a la caída de la partícula varía con el radio de la esfera y no con la superficie (SENA, 2013).

Para efectuar éste ensayo físico, se pesa 50g de la muestra de suelo seca a $40 \pm 2^\circ\text{C}$ de diámetro < 2 mm y se dispersa con hexametáfosfato de sodio. Luego, se mide la densidad de la suspensión resultante con el hidrómetro después de 40 segundos y de 2

horas de sedimentación. Con las lecturas obtenidas se calcula la distribución de las partículas, expresado en porcentaje de arcilla, limo y arena. Además, mediante el uso del triángulo de textura de la USDA e interpolación de los porcentajes de arena y limo se obtiene la clase textural.

2.2.4 Color

El color del suelo es una propiedad física relacionada con la longitud de onda del espectro visible que el suelo refleja al recibir los rayos de luz. Ésta propiedad del suelo, está determinada por la presencia de óxidos de hierro denotados por el color rojo, anaranjado y marrón bajo condiciones oxidantes; gris, azul, verde bajo condiciones reductoras - falta de oxígeno y óxidos de manganeso de color negro, así también puede interpretarse la presencia o ausencia de materia orgánica mediante los colores negro, café y gris (Flores & Alcalá, 2010).

Método de referencia

Método de Munsell citado en (SENA, 2013)

Materiales y Reactivos

- Munsell Soil Colour Charts

- Hoja de papel blanca
- Cuchara metálica

Descripción del método:

Para determinar el color, se toma una porción pequeña de suelo secada al aire, triturada y alisada. Luego se coloca la muestra sobre la hoja de fondo blanco y se compara su color con el de las tablas estándar, hasta obtener las tres propiedades del color del suelo: 1) el matiz (Hue), ubicado en la parte superior derecha de la página, 2) la claridad (Value) que se presenta en sentido vertical y 3) la intensidad cromática (Chroma) en sentido horizontal. Se reporta el código y la descripción verbal del color según los Soil Colour Charts.

2.2.5 Potencial Hidrógeno

El pH del suelo determina la disponibilidad de elementos necesarios para el crecimiento de las plantas (McKean, 1993). Así también, la mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido porque son menos fuertemente adsorbidos, excepto As, Mo, Se y Cr, que son más móviles a pH alcalino (Galán & Romero, 2008).

Método de referencia:

Método Potenciométrico citado en (SENA, 2013)

Materiales y Reactivos

- pHmetro
- Agua destilada
- Balanza de precisión
- Vasos de plástico
- Soluciones buffer pH 4, pH 7 y pH 10
- Papel absorbente

Descripción del método:

La determinación del pH está basada en la medida de la actividad de hidrógeno ionizado (H^+) en la solución del suelo (McKean, 1993).

El procedimiento consiste en la preparación de una suspensión de suelo: agua destilada, en proporción (1:2). La determinación instrumental se realiza mediante la estandarización del pHmetro con las muestras buffer de pH conocido, para luego proceder a la medición de las muestras de suelo, lavando y retirando el exceso de agua del electrodo de vidrio. El resultado se expresa en unidades de pH.

2.2.6 Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica del extracto es una función de su concentración de sales disueltos en forma sumaria. Así mediante su determinación se puede estimar la salinidad de suelos (Landon, 1991).

Método de referencia:

Método de Conductimetría citado en (Landon, 1991).

Materiales y Reactivos

- Conductivímetro
- Vasos desechables
- Agua destilada (a./d.)
- Papel absorbente
- Balanza de precisión
- Varilla de agitación
- Estándares de conductividad eléctrica de 10 y 1000 μ S/cm

Descripción del método:

Para la determinación de éste parámetro, se debe mezclar la muestra de suelo y agua destilada en proporción 1:2,5 y una vez sedimentado el suelo, tomamos la lectura con el conductiviméetro, previamente estandarizado en el sobrenadante. El resultado de conductividad se expresa en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

2.2.7 Materia Orgánica y Nitrógeno

La MO es una de las fuentes más importantes para la calidad y fertilidad del suelo. Un alto contenido de MO, favorece la infiltración y el almacenamiento de agua, aumenta la resistencia contra la erosión, incrementa la capacidad de intercambio catiónico, aniónico y también el contenido de nitrógeno, sirve de reserva de nutrientes que se liberan paulatinamente por actividades micro-biológicas (mineralización) y disminuye la toxicidad de elementos desfavorables (por ejemplo aluminio intercambiable) funcionando como un tampón (Landon, 1991).

Método de referencia:

Método de espectrofotometría UV-Vis según Walkley-Black citado en (Anderson & Ingram, 1993).

Materiales y Reactivos

- Potasio dicromato al 5% ($K_2Cr_2O_7$)
- Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)
- Cloruro de bario dihidratado al 0,4% ($BaCl_2 \cdot 2H_2O$)
- Soluciones de glucosa (0,5%; 1,00%; 2,00%; 3,00% y 4,00%C)
- Tubos de digestión
- Espectrofotómetro UV-Vis
- Digestor

Descripción del método:

Este método se fundamenta en la oxidación química de la materia orgánica con dicromato y reducción del cromo, el cual debido a su tonalidad verdosa puede ser evaluado por espectrofotometría UV-Vis a una longitud de onda de $\lambda = 586$ nm (Landon, 1991).

Para el desarrollo de éste análisis, se pesa aproximadamente 1 gramo de muestra, se añade 10ml de $K_2Cr_2O_7$ y 5ml de H_2SO_4 . Se somete a digestión por 30min, tanto las muestras como los estándares y una vez frío se afora con $BaCl_2 \cdot 2H_2O$. Luego de 12 horas se lee fotométricamente el porcentaje de carbono y mediante cálculos estequiométricos, se obtiene tanto el porcentaje de materia orgánica como el de nitrógeno.

2.2.8 Microelementos

Los microelementos, son esenciales para la planta, pero son requeridos en cantidades pequeñas. Los micronutrientes más disponibles para la planta existen en forma libre o en complejos en la solución del suelo. También pueden estar fijados por la materia orgánica, los sesquióxidos o carbonatos. En suelos ácidos los micronutrientes son más disponibles y en algunas circunstancias pueden llegar a ser tóxicos (McKean, 1993).

Método de referencia:

Espectrometría de absorción atómica citado en (Landon, 1991).

Materiales y Reactivos

- Espectrómetro de AA Thermo Scientific
- Lámpara de cátodo hueco multielementos (Cu, Fe, Mn, Zn)
- Compresor de Aire
- Acetileno
- Solución de ácido nítrico (HNO₃) 0,5 M
- Agua destilada
- Estándares certificados de Cu, Fe, Mn y Zn para AAs
- Balanza Analítica

- Material Volumétrico
- Vasos desechables
- Papel filtro N° 40

Descripción del método:

Para el desarrollo del método, tomamos 5 g de suelo en 25 ml de HNO₃ 0,5 M, se mezcla y deja reposar por una hora para luego ser filtrado. Se realizan diluciones 1:100 para el caso Fe y Mn. De ésta forma el extracto está listo para su lectura instrumental, previo a la de la curva de calibración y control de calidad. El resultado se expresa en mg/Kg de cada elemento.

2.2.9 Macroelementos y Capacidad de Intercambio Catiónico

Método de referencia:

Espectrometría de absorción atómica citado en (Landon, 1991)

Materiales y Reactivos

- Espectrómetro de Absorción Atómica Thermo Scientific
- Lámparas de cátodo hueco (Ca/Mg y Na/K)

- Compresor de Aire
- Acetileno
- Ácido nítrico al 65% (HNO₃)
- Agua destilada
- Amonio acetato 1N
- Lantano nitrato al 0,1% (La(NO₃)₃.6H₂O)
- Estándares certificados de Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺ para AAs
- Material Volumétrico (pipetas y balones de 100ml)
- Vasos desechables
- Papel filtro N° 40
- Balanza analítica

Descripción del método:

Para la ejecución de éste ensayo, tomamos 5 g de suelo en 50 ml de acetato de amonio 1N, se mezcla y deja reposar por 24 horas para luego ser filtrado. Se realizan diluciones 1:100 en caso de que los extractos superen el límite superior de concentración de la curva de calibración. Se procede al análisis en el espectrómetro de AAs, no sin antes encerar el equipo con lantano nitrato, leer la curva de calibración y el control de calidad. El resultado se expresa en mg/Kg de cada elemento. Para la determinación de la CIC se convierte la concentración de cada macroelemento de mg/Kg a cmol/Kg (mEq/100g), de ésta forma la sumatoria total corresponde a la CIC del suelo.

2.2.10 Fósforo disponible

El P se encuentra en el suelo en forma orgánica e inorgánica. Se asocia con la materia orgánica, las arcillas y los compuestos de Al, Fe y Ca. Para ser aprovechable para la planta, el P tiene que estar en la solución del suelo. Los iones de P presentes, dependen del pH del suelo pero los dos más comunes son H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} (McKean, 1993).

Método de referencia:

Método de extracción y determinación por espectrofotometría según Olsen citado en (Landon, 1991)

Materiales y Reactivos

- Solución de Sodio bicarbonato - 0,5N - pH 8,5 (extractante)
- Solución de Ácido ascórbico 0,4%
- Solución sulfomolibdica (Molibdato de Amonio + Ácido Sulfúrico)
- Solución de potasio dihidrogenofosfato 1000ppm P (Estándar madre)
- Material volumétrico
- Balanza analítica
- Espectrofotómetro UV-Vis
- Baño maría

Descripción del método:

El método según Olsen es el más común para analizar fósforo disponible en suelos tropicales. La extracción del fósforo con bicarbonato trata de simular el proceso que usan las plantas para recoger el P de suelo (Landon, 1991).

Para la determinación de fósforo en suelos, se pesa 2,45 de muestra y se añade 50 ml de sodio bicarbonato 0,5N, se mezcla la suspensión, se deja reposar por 30 min y se filtra. Añadimos al extracto, blanco o estándar, 10 ml de ácido ascórbico, 2 ml de solución sulfomolibdica y sometemos a baño maría. Finalmente se procede a determinar la intensidad del color azul de molibdeno en el fotómetro a la longitud de onda de $\lambda=826$ nm.

2.2.11 Metales pesados totales (Cd, Ni, Pb, Cr, Ba, V, Cu, Fe, Mn, Zn)

Los metales pesados (MP), se presentan en el suelo como móviles, fácilmente solubles y movibles con la solución del suelo o como metales pesados disponibles, que se encuentran en formas fácilmente intercambiables y disponibles para las plantas. Así, los metales pesados totales, corresponden a la suma de los MP móviles, disponibles y aquellos que forman parte de los minerales del suelo (Landon, 1991).

Método de referencia:

Espectrometría de absorción atómica citado en (Landon, 1991)

Materiales y Reactivos

- Espectrómetro de Absorción Atómica Thermo Scientific (Ver Anexo 3: Límites de Detección de ICE 3000 Series AA)
- Lámparas de cátodo hueco (Cu/Fe/Mn/Zn; Cr; Pb; Ni; Cd; Ba; V)
- Compresor de Aire
- Acetileno
- Óxido Nitroso (sólo para Ba y V)
- Ácido nítrico al 65% (HNO₃)
- Cloruro de Potasio (KCl) al 10% (para Ba y V)
- Agua destilada
- Estándares certificados de metales de concentración de 1000µg/ml para AAs
- Material Volumétrico (pipetas y balones de 100ml)
- Vasos desechables
- Papel filtro N° 40
- Balanza analítica
- Digestor y tubos de digestión

Descripción del método:

Para la ejecución de éste ensayo, se pesa 2 g de suelo, se añade 10ml de agua y 10ml de HNO₃ conc. y se somete a digestión por 2 horas. Se deja enfriar y se afora a 50ml. Se realizan diluciones 1:100 en caso de que los extractos superen el límite superior de concentración de la curva de calibración. Se procede al análisis en el espectrómetro de AAs tipo llama (Aire-Acetileno y añadiendo Óxido Nitroso para la determinación de Ba, V). Se optimiza el equipo, lectura de curva de calibración y del control de calidad. El resultado se expresa en mg/Kg de cada metal.

2.3 Fase 3: Análisis estadístico y formulación de niveles fondo y de referencia***Método de Referencia***

Análisis Descriptivo y Exploratorio de Datos citado en (Rojo, 2006).

Materiales

- R version 3.4.3 (Copyright 2017)
- Resultados de análisis fisicoquímico de muestras de suelo
- Microsoft Excel (2016)

Descripción del Método

Para efectuar el análisis estadístico de los resultados, tabulamos los datos en una matriz general en formato Excel, en otro archivo los resultados de las muestras de suelos procedentes de la Formación Chambira y en otro los de los suelos aluviales. Estos tres archivos, facilitan el análisis estadístico de forma rápida en el programa estadístico de software libre R y RStudio utilizando diferentes comandos para obtener el análisis exploratorio de datos y su representación gráfica.

Para el caso específico del análisis estadístico de los metales pesados objeto de estudio, se realizó la eliminación secuencial de datos atípicos mediante la función `{boxplot}` y `{boxplot.stats}` o diagrama de cajas.

De esta forma, las variables de estadística descriptiva, obtenidas mediante la función `{EDA}` o Análisis Exploratorio de Datos, fueron las siguientes: media, mediana, desviación estándar, valor mínimo, valor máximo, primer cuartil, tercer cuartil, rango intercuartílico, curtosis, sesgo o coeficiente de asimetría, prueba de normalidad o test de Shapiro Wilk.

Para determinar si los datos tienen un comportamiento normal para un tamaño de muestras $n > 30$, empleamos la función `{nortest::lillie.test}` o test de Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov), el cual considera que los datos poseen comportamiento normal si el nivel de significancia o p-value es $> 0,05$. Mientras que para un tamaño de muestras $n < 30$, analizamos el p-value del Test de Shapiro Wilk, aceptando una distribución normal cuando éste valor es mayor a 0,05 (Universidad de Alicante, 2018).

Finalmente, para la representación gráfica de la distribución de los datos empleamos las funciones `{hist}`, `{plot(density)}`, `{qqnorm; qqline}`, para obtener las gráficas de

histograma, densidad y curva de normalidad respectivamente, que nos permite comprender mejor los resultados cuantitativos obtenidos.

Para comparar y obtener además el valor del error típico, se empleó la función {Estadística Descriptiva} de la herramienta de Análisis de Datos de Excel, obteniendo en resumen algunas de las variables estadísticas logradas con RStudio.

El cálculo y obtención de los niveles fondo (NF) para un comportamiento normal de los datos, corresponde al valor de la media y en el caso que la distribución no sea normal, se tomó como valor fondo a la mediana. Para la determinación de los niveles de referencia (NGR), según el Real Decreto de España 9/2005, se determina mediante la fórmula $M+2DS$ donde M es la media y DS es la desviación estándar. Mientras que para datos que poseen una distribución no normal, se consideró el percentil 95%, idóneo para representar el NGR (Rueda, Rodríguez, & Madriñán, 2011).

2.4 Fase 4: Distribución espacial de metales pesados en suelos

Método de Referencia

Método Geoestadístico de interpolación según Kriging citado en (Hernández, 2015)

Materiales

- Cartografía base de Joya de los Sachas, formato shp, escala 1:50000 - IGM
- Mapa Geológico y Tipos de suelo de la Parroquia San Carlos, formato shp, WGS84 UTM 18S, escala 1:25000
- Software ArcGIS 10.3.1 (Licencia GADPO)
- Bases de datos en archivo Excel

Descripción del Método

Kriging es un procedimiento geoestadístico avanzado, que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores z. Está basado en modelos estadísticos, que incluyen la autocorrelación, es decir, las relaciones estadísticas entre los puntos medidos. Se utiliza a menudo en la ciencia del suelo y la geología (Esri, 2018).

La aplicación y desarrollo de la distribución espacial, se realizó mediante el uso del software ArcGis, empleando la herramienta de *Geoestatiscal Wizard* de la extensión *Geoestatistical Analyst*. El paso 1, corresponde a la elección de la capa del metal a analizar y del método de interpolación, en éste caso Kriging. El paso 2, consiste en la selección de tipo de Kriging (Ordinario), adicionalmente y mediante el análisis exploratorio previo, se elige el tipo de transformación (si el comportamiento de datos es normal no aplicamos ninguna, pero si es no normal, elegimos una transformación logarítmica). El tercer paso en función del semivariograma de los datos, elegimos el tipo de modelo

estadístico que mejor se ajuste a la tendencia de datos y la existencia o no de anisotropía. En los dos últimos pasos ofrecen una visualización previa de la distribución espacial y un resumen de las variables y gráficas estadísticas. Obteniendo así los mapas con la distribución espacial de la concentración expresada en cuatro categorías de rangos de concentración.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Propiedades Fisicoquímicas del Suelo

3.1.1 Textura

Las clases texturales evidenciadas en la parroquia San Carlos, se expone en la tabla 18, notando que predominan los suelos franco arenosos en la superficie total con un 39,71%, seguido de los francoarcillosos que representan el 30,88% y finalmente se encuentran los suelos francos en un 29,41%. Al analizar la textura, tanto de suelos de la Formación Chambira y de los Depositos Aluviales, se observa que en los primeros prevalecen los francoarenosos, mientras que en los suelos aluviales tienen en igual proporción suelos francos y franco arcillosos. De esta forma, a pesar de encontrar esta diferencia, se considera conveniente tomar los resultados del total de la superficie, puesto que los datos de suelos aluviales solo representan el 11,76% del total de los datos analizados.

Tabla 18
Clase textural de suelos de la Parroquia San Carlos

CLASE TEXTURAL	COMPOSICIÓN (%)			PORCENTAJE DE CLASES TEXTURALES (%)		
	ARENA	ARCILLA	LIMO	SP	FCH	DA
Franco	36-44	17-27	29-45	29,41	25,00	4,41
Franco arcilloso	24-31	27-36	35-44	30,88	26,47	4,41
Franco arenoso	53-73	11-16	13-31	39,71	36,76	2,94
	TOTAL			100,00	88,24	11,76

De acuerdo a la clasificación textural de la FAO, y en función a la composición de arena, arcilla y limo en cada una de las clases texturales de las muestras analizadas, se determina que los suelos franco arenosos, tienen una textura moderadamente gruesa, muy permeables. Los suelos francos, presentan una textura mediana, de permeabilidad moderada, mientras que los franco arcillosos, se consideran de textura fina de menor permeabilidad que los anteriores (FAO, 2009).

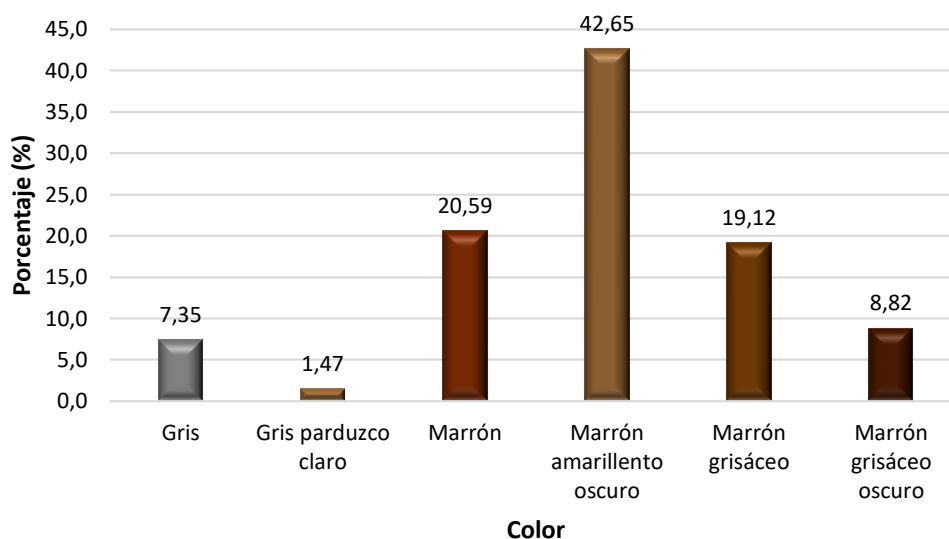
Estos suelos en general, tienen una composición de arcilla entre el 11-36%, porcentaje considerable en el estudio de metales pesados. Mencionando que la superficie de las arcillas, están compuestas principalmente por átomos de oxígeno y algunos iones oxidrilo, con cargas eléctricas negativas, capaces de atraer y retener cationes, como los metales pesados por efectos de adsorción, evitando que dichos metales pasen a la solución del suelo y sean biodisponibles (Kabata, 2000).

3.1.2 Color

Los resultados de color se presentan en la tabla 19 exponiéndose el resultado porcentual total de la superficie parroquial, diferenciando los resultados obtenidos tanto en los suelos procedentes de la Formación Chambira como los de los Depósitos Aluviales. La Formación Chambira presenta mayor gama de colores de suelo, mientras que en los suelos aluviales solo presentan dos colores, de ésta forma se considera representativo considerar el análisis evaluado en la superficie total de la parroquia y que se expone Figura 8.

Tabla 19*Porcentaje de color en suelos de la Parroquia San Carlos*

COLOR	SUPERFICIE PARROQUIAL (%)	FORMACIÓN CHAMBIRA (%)	DEPÓSITOS ALUVIALES (%)
Gris	7,35	2,94	4,41
Gris parduzco claro	1,47	1,47	--
Marrón	20,59	20,59	--
Marrón amarillento oscuro	42,65	35,29	7,35
Marrón grisáceo	19,12	19,12	--
Marrón grisáceo oscuro	8,82	8,82	--
TOTAL	100,00	88,24	11,76

**Figura 8** Porcentaje de Color de suelos en la parroquia San Carlos

De ésta forma se evidencia que el color predominante es el marrón amarillento oscuro, seguido por el tono marrón y por el marrón grisáceo. De esta forma se interpreta la tonalidad marrón como indicador cualitativo de la presencia de óxidos de hierro que aporta una tonalidad rojiza al suelo atenuado por los complejos ferroorgánicos de tonalidad negro y los de hierro-arcilla de tonalidad variable amarillo o pardo, además de la presencia de los complejos ferrosilícicos de tonalidad grisácea (Rucks, García, Kaplán,

Ponce de León, & Hill, 2004). En el anexo 4, se puede apreciar fotografías de las muestras de suelo analizadas y los resultados obtenidos de acuerdo a la carta de Munsell.

3.1.3 Potencial Hidrógeno (pH)

Las variables estadísticas de los resultados de pH de las muestras de suelos analizadas, se presentan en la tabla 20, en donde se diferencia los resultados de forma general, los que corresponden a suelos de la formación Chambira y los provenientes de depósitos aluviales. En la Figura 9, observamos la distribución de los resultados evaluados en la superficie parroquial, observando un comportamiento normal.

Tabla 20

Estadística descriptiva de resultados de pH en muestras de suelo

VARIABLES ESTADÍSTICAS	RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO		
	SUPERFICIE PARROQUIAL	FORMACIÓN CHAMBIRA	DEPÓSITOS ALUVIALES
Media	6,00	6,01	5,93
Error típico	0,05	0,05	0,11
Mediana	6,04	6,06	6,01
Desviación estándar	0,38	0,39	0,31
Curtosis	0,64	0,44	6,55
Coficiente de asimetría	-0,31	-0,26	-2,47
Mínimo	4,87	4,87	5,19
Máximo	6,85	6,85	6,16
Primer Cuartil	5,80	5,72	5,93
Tercer Cuartil	6,18	6,21	6,09
n	68	60	8

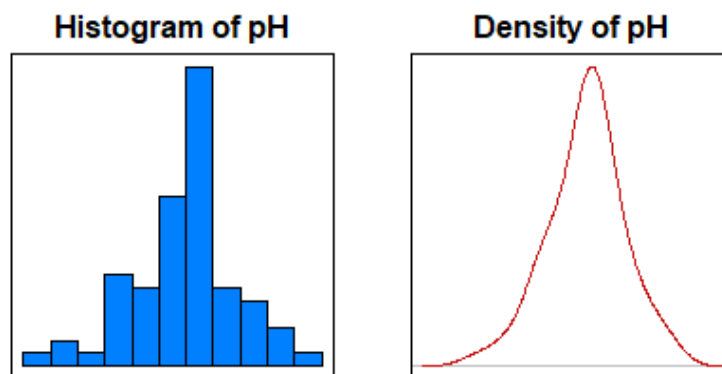


Figura 9 Distribución de datos de pH de suelos

El valor medio de pH o media, corresponde a 6, mencionando que los valores característicos de pH se establecen entre 5,80-6,2, considerados según SENA (2013), como suelos medianamente ácidos, donde los nutrientes que se encuentran mayormente disponibles corresponden a: hierro, manganeso, boro, cobre y zinc.

Para el estudio de la influencia del pH en la adsorción de metales pesados y en conformidad al contenido de arcilla de 11-36%, y el contenido de arena del 53-73%, explica que estos suelos adsorben una cierta parte de metales en caso de contaminación, evitando que éstos queden disponibles, sin embargo debido a la permeabilidad de estos suelos por el contenido considerable de arena, los metales pueden movilizarse a través de los horizontes pudiendo llegar hasta los acuíferos.

3.1.4 Conductividad Eléctrica (CE)

El análisis estadístico presentado en la tabla 21 y figura 10, demuestran que los datos generales no poseen una distribución normal, notando que presenta una asimetría con

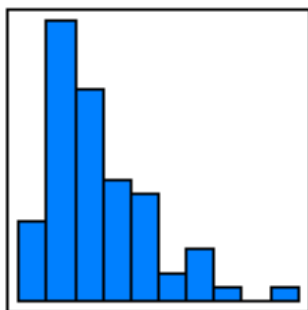
sesgo a la derecha, por lo que en este caso, tomaremos como valor fondo la mediana de los datos de la superficie parroquial que corresponde a $48\mu\text{S}/\text{cm}$, considerando valores característicos de CE entre $33\text{-}78\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabla 21

Estadística descriptiva de resultados de CE($\mu\text{S}/\text{cm}$)

VARIABLES ESTADÍSTICAS	RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO		
	SUPERFICIE PARROQUIAL	FORMACION CHAMBIRA	DEPOSITOS ALUVIALES
Media	57,96	55,49	76,51
Error típico	4,43	4,25	19,86
Mediana	48,17	45,05	63,24
Desviación estándar	36,50	32,94	56,18
Curtosis	1,88	0,74	1,43
Coefficiente de asimetría	1,35	1,10	1,30
Mínimo	8,34	8,34	19,77
Máximo	188,70	157,50	188,70
Primer Cuartil	32,70	31,93	32,52
Tercer Cuartil	77,90	76,76	113,05
RIC	45,20	44,84	80,53
n	68	60	8

Histogram of CE



Density of CE

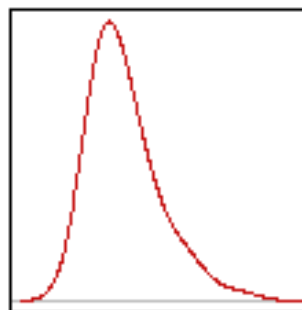


Figura 10 Distribución de datos de CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de suelo

Estos valores de conductividad según Landon (1991) indican que los suelos inceptisoles no son salinos, puesto que los valores obtenidos caen dentro del rango entre

0-550 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que se debe al alto nivel de precipitación a los que están expuestos al año superior a 3000mm.

3.1.5 Materia Orgánica y Nitrógeno

El resumen estadístico respecto a estos dos parámetros evaluados tanto en la superficie parroquial, así como también en suelos provenientes de la formación Chambira y Depósitos aluviales se presentan en la tabla 22.

Tabla 22

Estadística descriptiva de resultados de MO(%)

VARIABLES ESTADÍSTICAS	ANÁLISIS ESTADÍSTICO MO(%)			ANÁLISIS ESTADÍSTICO N (%)		
	SP	FCH	DA	SP	FCH	DA
Media	2,46	2,51	2,12	0,12	0,13	0,11
Error típico	0,14	0,16	0,25	0,007	0,008	0,012
Mediana	2,17	2,24	2,00	0,11	0,11	0,10
Desviación estándar	1,17	1,21	0,69	0,06	0,06	0,03
Curtosis	0,40	0,17	1,94	0,33	0,10	1,86
Coficiente de asimetría	0,74	0,65	0,91	0,70	0,62	0,97
Mínimo	0,47	0,47	1,13	0,02	0,02	0,06
Máximo	5,46	5,46	3,50	0,27	0,27	0,17
Primer Cuartil	1,67	1,66	1,73	0,08	0,08	0,09
Tercer Cuartil	3,30	3,36	2,48	0,16	0,17	0,12
RIC	1,63	1,70	0,75	0,08	0,09	0,04
n	68	60	8	68	60	8

SP= Superficie Parroquial; **FCH=** Formación Chambira; **DA=** Depósitos Aluviales

Los datos presentan una distribución no normal, por lo que su valor medio corresponde a la mediana con un valor de 2,17%MO, y el rango característico es de 1,70 a 3,30%MO, lo que indica que son suelos con un contenido bajo a medio de materia orgánica según

Anderson & Ingram (1993), con aptitud agrícola media, pero idónea para cultivos de ciclo corto, teniendo en cuenta que la capacidad buffer de éstos suelos no es alta pero puede disminuir la toxicidad sirviendo como barrera en caso de contaminación.

En cuanto al contenido de nitrógeno del suelo, corresponde a 0,11% N y el rango característico es de 0,08-0,16%N, lo que indica que son suelos de baja fertilidad puesto que su contenido está por debajo del 0,20%N según Landon (1991).

3.1.6 Microelementos (Cu, Fe, Mn, Zn)

Las variables estadísticas de los microelementos analizados tanto en la superficie parroquial, así como en suelos provenientes de la Formación Chambira y Depósitos aluviales se presentan en la tabla 23. En función de la representatividad por mayor número de muestras, tomamos los datos estadísticos de la Superficie Parroquial (SP).

Tabla 23

Estadística descriptiva de resultados de microelementos (mg/Kg)

VARIABLES	RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO					
	Fe (mg/Kg)			Mn (mg/Kg)		
	SP	FCH	DA	SP	FCH	DA
Media	4094,27	3590,46	9776,90	694,10	605,06	1361,91
Error típico	512,15	504,33	975,49	98,60	96,56	359,78
Mediana	1986,15	1260,49	10391,72	265,74	260,29	1653,63
Desv. Estándar	4223,31	3906,52	2759,10	813,10	747,92	1017,62
Curtosis	-0,34	0,51	1,08	1,55	3,60	-1,66
Coef.de asimetría	0,97	1,23	-0,95	1,55	1,98	-0,19
Mínimo	59,90	59,90	4424,83	31,18	31,18	68,92
Máximo	14985,07	14985,07	13251,25	3162,52	3162,52	2710,96
Cuartil 1	756,26	738,18	8071,53	149,78	138,62	221,72

CONTINÚA

Cuartil 3	7197,38	6368,05	11806,12	1153,73	698,24	2244,24
RIC	6441,11	5629,87	3734,60	1003,95	559,62	2022,52
n	68	60	8	68	60	8
VARIABLES	Cu (mg/Kg)			Zn (mg/Kg)		
	SP	FCH	DA	SP	FCH	DA
Media	13,73	12,97	19,43	21,15	16,25	57,86
Error típico	0,84	0,90	1,34	3,50	1,67	24,56
Mediana	14,63	13,28	18,31	13,56	10,47	34,92
Desv. Estándar	6,95	6,94	3,78	28,89	12,96	69,47
Curtosis	-0,91	-0,98	2,77	41,05	-0,12	7,90
Coef.de asimetría	-0,07	0,07	1,69	5,76	1,01	2,80
Mínimo	1,36	1,36	16,21	2,61	2,61	28,08
Máximo	28,98	28,98	27,54	229,42	52,46	229,42
Cuartil 1	7,55	5,85	16,73	6,47	6,04	28,51
Cuartil 3	18,46	18,32	21,48	31,70	24,70	39,31
RIC	10,91	12,47	4,75	25,23	18,66	10,80
n	68	60	8	68	60	8

SP= Superficie Parroquial; **FCH=** Formación Chambira; **DA=** Depósitos Aluviales

El Fe disponible, debido al comportamiento no normal de los datos, el valor central es 1986,20 mg/Kg y el rango característico es 756,30-7197,40mg/Kg.

Mientras que, para Mn disponible, conforme al comportamiento no normal de los datos, la medida de tendencia central es 265,74 mg/Kg y el rango característico es 149,80-1153,73 mg/Kg.

El valor central de Cu disponible, debido al comportamiento normal de los datos, corresponde a 13,73 mg/Kg y el rango característico es 7,55-18,46 mg/Kg.

La tendencia central, para Zn disponible, recae en la mediana por no poseer una distribución normal de los datos, siendo 13,56 mg/Kg y el rango característico es 6,50-31,70 mg/Kg.

Por lo tanto, se nota un alto contenido Fe disponible y Mn disponible (>200ppm), por lo que requieren un estudio más a fondo para verificar si constituye una anomalía

geoquímica y que no cause riesgo de toxicidad (Espinoza, Slaton, & Mozaffari, 2012). Teniendo en cuenta, que en suelos de pH menor a 6, debido a arcillas de carga variable, pueden dar lugar a intercambios isomórficos con metales pesados, quedando éstos biodisponibles para las plantas y posiblemente generen problemas de bioacumulación.

En el caso de Cu, las concentraciones características no suponen riesgo de toxicidad, no obstante, para el caso de Zn disponible los valores obtenidos indican una concentración arriba de lo óptimo (>8ppm), superando también los valores medios obtenidos en suelos de países como Brasil y Perú (>3,81 y >3,66) reportados por la FAO (1982), sin embargo se debe considerar el efecto de toxicidad en función de la disminución del pH (Espinoza, Slaton, & Mozaffari, 2012).

3.1.7 Macroelementos (Ca, Na, K, Mg)

El análisis estadístico de los macroelementos analizados en suelos superficiales de la parroquia San Carlos, se presentan en la tabla 24. Se consideran los estadísticos provenientes de la Superficie Parroquial (SP) por presentar el menor error y abarcar todos los 68 puntos muestreados.

Tabla 24

Estadística descriptiva de resultados de macroelementos (mg/Kg)

VARIABLES	RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO					
	Ca (mg/Kg)			Na (mg/Kg)		
	SP	FCH	DA	SP	FCH	DA
Media	1161,94	1111,90	1537,25	99,38	103,02	72,05
Error típico	116,68	125,47	299,57	8,21	8,84	20,39
Mediana	865,43	842,05	1818,42	117,80	122,95	59,13
Desv. Estándar	962,20	971,87	847,31	67,66	68,48	57,68
Curtosis	1,92	2,59	-1,69	-0,56	-0,54	-1,34
Coef.de asimetría	1,36	1,57	-0,27	0,32	0,26	0,62
Mínimo	86,89	86,89	442,76	9,39	9,39	15,58
Máximo	4667,88	4667,88	2672,60	293,83	293,83	160,89
Cuartil 1	465,63	461,96	583,42	24,19	24,19	20,47
Cuartil 3	1816,22	1526,00	2172,93	145,14	145,88	145,14
RIC	1350,59	1064,05	1589,51	120,95	121,69	124,67
n	68	60	8	68	60	8
VARIABLES	K (mg/Kg)			Mg (mg/Kg)		
	SP	FCH	DA	SP	FCH	DA
	Media	136,51	142,54	91,30	146,56	146,07
Error típico	17,15	18,94	30,22	12,29	13,44	29,38
Mediana	72,87	72,87	68,78	149,20	140,57	155,90
Desv. Estándar	141,40	146,71	85,47	101,36	104,14	83,09
Curtosis	1,92	1,57	2,08	0,75	0,77	-0,48
Coef. de asimetría	1,50	1,42	1,41	0,83	0,86	0,34
Mínimo	3,71	3,71	11,75	6,21	6,21	45,07
Máximo	649,65	649,65	269,24	467,60	467,60	289,88
Cuartil 1	34,60	35,37	24,90	58,86	58,86	67,26
Cuartil 3	201,52	229,36	131,66	197,42	197,42	212,32
RIC	166,92	193,99	106,76	138,56	138,56	145,06
n	68	60	8	68	60	8

SP= Superficie Parroquial; FCH= Formación Chambira; DA= Depósitos Aluviales

El valor central de Ca, debido al comportamiento no normal de los datos, corresponde a la mediana de 865,43 mg/Kg (5,80 meq/100g) y el rango característico es 465,63-1816,22 mg/Kg (2,32-9,06meq/100g). Lo que según Landon (1991) indica que su nivel de fertilidad es bajo a medio.

Para el caso de Na, debido al comportamiento no normal de los datos, el valor central es 117,80 mg/Kg (0,43 meq/100g) y el rango característico es 24,19-145,14mg/Kg (0,11-0,63meq/100g). Su contenido según Landon (1991) es bajo a medio.

Mientras que, para K conforme al comportamiento no normal de los datos, la medida de tendencia central es 72,87 mg/Kg (0,35meq/100g) y el rango característico es 34,60-201,52 mg/Kg (0,09-0,52meq/100g), siendo el nivel de concentración de éste nutriente según Landon (1991) muy bajo a medio.

La tendencia central para Mg, recae en la media 146,56 mg/Kg (1,21meq/100g) por poseer una distribución normal de los datos y el rango característico es 58,86-197,42 mg/Kg (0,48-1,62meq/100g). Estos niveles de concentración de acuerdo a Landon (1991), especifica un contenido muy bajo a medio de este macroelemento.

En resumen, podemos decir que los suelos analizados, requieren enmiendas de encalado para mejorar la aptitud agrícola del suelo, mejorando el pH de la solución del suelo y evitando que existan mayor disponibilidad de metales pesados en caso de que exista contaminación con cationes metálicos.

3.1.8 Capacidad de Intercambio Catiónico

El análisis estadístico de la CIC de los suelos de la parroquia San Carlos, se presentan en la tabla 25. Se consideran los datos provenientes de la Superficie Parroquial (SP) por presentar el menor error.

Tabla 25*Estadística descriptiva de resultados de CIC(cmol/Kg)*

VARIABLES ESTADÍSTICAS	ANÁLISIS ESTADÍSTICO CIC(cmol/Kg)		
	SUPERFICIE PARROQUIAL	FORMACIÓN CHAMBIRA	DEPÓSITOS ALUVIALES
Media	7,78	7,56	9,45
Error típico	0,66	0,71	1,69
Mediana	6,40	6,30	10,37
Desviación estándar	5,43	5,50	4,79
Curtosis	2,10	2,65	-1,62
Coefficiente de asimetría	1,32	1,50	-0,27
Mínimo	1,06	1,06	3,00
Máximo	26,93	26,93	15,60
Primer Cuartil	3,59	3,50	4,15
Tercer Cuartil	11,02	10,17	13,53
RIC	7,42	6,67	9,39
n	68	60	8

El valor central de CIC, debido al comportamiento no normal de los datos, corresponde a la mediana de 6,40 cmol/kg ó meq/100g y el rango característico es 3,59-11,02 cmol/kg ó meq/100g. Lo que según Landon (1991) indica que éstos suelos presentan una capacidad de intercambio catiónico bajo.

3.1.9 Fósforo disponible

El análisis estadístico de P de los suelos de la parroquia San Carlos, se presentan en la tabla 26. Se consideran los datos provenientes de la Superficie Parroquial (SP) por presentar el menor error típico.

Tabla 26*Estadística descriptiva de resultados de P(mg/Kg)*

VARIABLES ESTADÍSTICAS	ANÁLISIS ESTADÍSTICO P(mg/Kg)		
	SUPERFICIE PARROQUIAL	FORMACIÓN CHAMBIRA	DEPÓSITOS ALUVIALES
Media	9,59	9,96	6,78
Error típico	0,71	0,77	1,36
Mediana	8,19	8,48	5,26
Desviación estándar	5,86	6,00	3,86
Curtosis	6,74	6,52	-0,15
Coefficiente de asimetría	2,11	2,10	1,22
Mínimo	3,10	3,10	3,61
Máximo	37,40	37,40	13,48
Primer Cuartil	5,64	5,92	3,84
Tercer Cuartil	12,05	12,57	10,72
RIC	6,41	6,65	6,88
n	68	60	8

El valor central de P disponible, debido al comportamiento no normal de los datos, corresponde a la mediana de 8,19mg/Kg y el rango característico es 5,64-12,05 mg/Kg. Lo que según Landon (1991) revela un estado nutricional medio de éstos suelos.

3.2 Niveles fondo, de referencia y distribución espacial de metales pesados

3.2.1 Hierro

En la tabla 27, se presentan los principales estadísticos obtenidas a partir del análisis estadístico presentado en el anexo 5.

Tabla 27*Principales variables estadísticas para Fe (mg/Kg)*

VARIABLES ESTADÍSTICAS	ANALISIS ESTADISTICO Fe(mg/Kg)		
	SUPERFICIE PARROQUIAL	FORMACION CHAMBIRA	DEPOSITOS ALUVIALES
Media (NF)	25867,39	25798,85	26381,42
Mediana	25067,15	24380,30	30069,12
Desviación estándar	11481,09	11769,16	9687,69
Distribución normal	Sí	Sí	Sí
M+2DS (NGR)	48029,32	47918,62	49444,49

De ésta forma el NF para Fe total corresponde a 25867,39mg/Kg (25,87g/kg) y el NGR es 48029,32mg/Kg (48,03g/Kg) valores a ser considerados en caso de producirse un impacto ambiental negativo.

Al ser el hierro un elemento mayoritario, su toxicidad no está relacionado con el contenido total en el suelo, sino más bien con el disponible para las plantas, que en este caso corresponde 19,86g/Kg y que como se explicó en el apartado 3.1.6, en suelos ácidos debe realizarse un estudio de análisis foliar en hojas sanas y en hojas que presenten necrosis caracterizadas por manchas de color castaño, para determinar el contenido de éste metal aprovechado de forma óptima y los niveles que representan toxicidad para las plantas.

En la figura 11, se presenta la distribución espacial del contenido total de hierro en suelos de la parroquia San Carlos, denotando que existen 6 zonas cuyas concentraciones se encuentran entre 33,06-57,07g/Kg y que deben ser consideradas como anomalías geoquímicas debido a la presencia natural de éste metal, pero en caso de ser aprovechado el suelo para la agricultura, debe recibir adiciones de cal para aumentar el pH del suelo y disminuir su disponibilidad a las plantas.

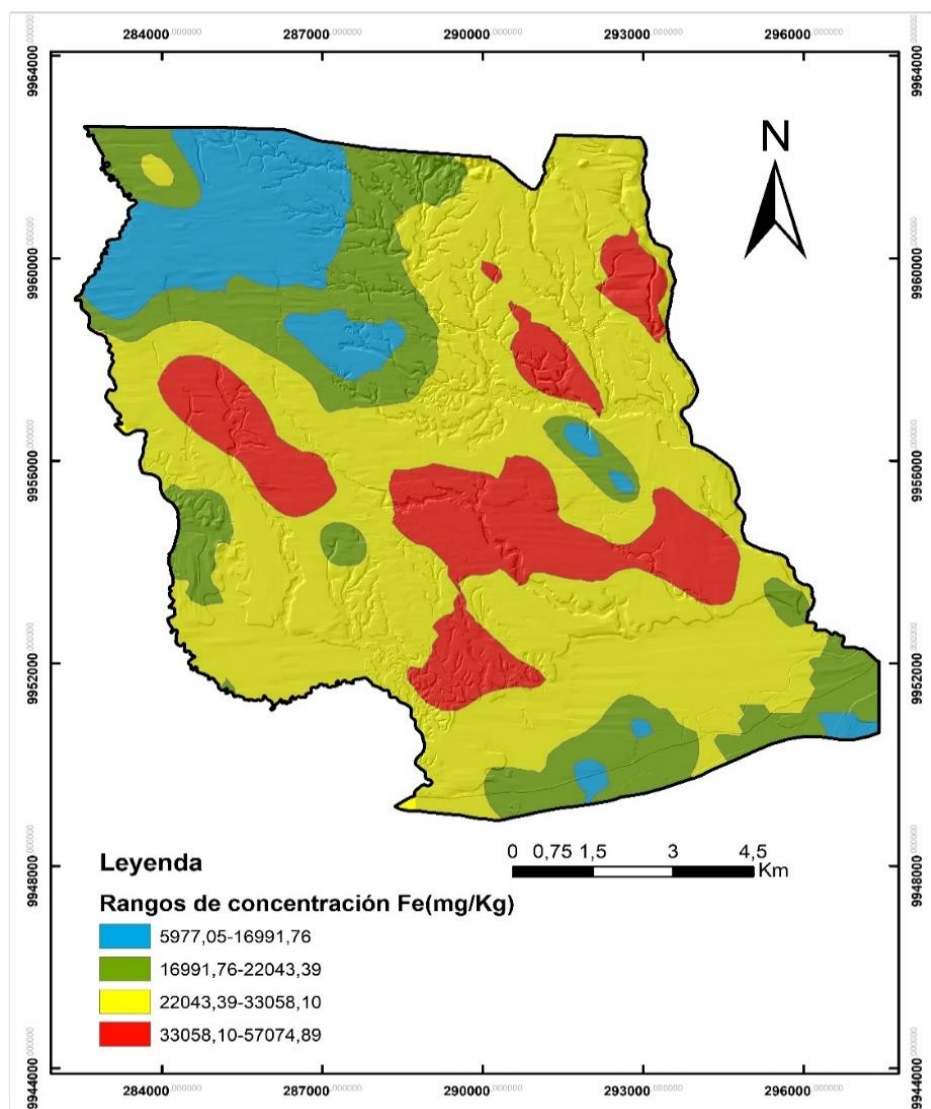


Figura 11 Distribución Espacial y Anomalías Geoquímicas de Fe

3.2.2 Cobre

En la tabla 28 se presentan los principales estadísticos obtenidos a partir del análisis estadístico presentado en el anexo 6.

De ésta forma el NF para Cu total corresponde a 32,08mg/Kg y el NGR es 46,97 mg/Kg, valores a ser considerados en caso de producirse un impacto ambiental negativo.

Tabla 28

Principales variables estadísticas para Cu (mg/Kg)

VARIABLES ESTADÍSTICAS	ANÁLISIS ESTADÍSTICO Cu (mg/Kg)		
	SUPERFICIE PARROQUIAL	FORMACIÓN CHAMBIRA	DEPÓSITOS ALUVIALES
Media (NF)	32,08	30,18	34,30
Mediana	32,55	31,77	34,31
Desviación estándar	7,44	9,15	4,67
Distribución Normal	Sí	Sí	Sí
M+2DS (NGR)	46,97	48,48	43,63

El cobre es un micronutriente o elemento traza esencial para los seres vivos, que se considera no tóxico de acuerdo a Bowie & Thornton (1985) a concentraciones inferiores a 60mg/Kg (Galán & Romero, 2008).

En la tabla 1 del anexo 2 del TULSMA (2015), se especifica la concentración de este metal como criterio de calidad o nivel fondo de 25mg/Kg menor al valor obtenido. De la misma forma, el valor de NGR obtenido supera el valor de referencia de países como Brasil, India y China pero que se encuentra dentro del rango de los promedios mundiales en suelos (Rueda, Rodríguez, & Madriñán, 2011).

Por otra parte, el criterio de remediación para Cu especificado en la tabla 2, anexo 2 del TULSMA (2015) se especifica en función al uso del suelo, así el LMP para suelos: residenciales y agrícolas corresponde a 63mg/Kg, comerciales e industriales es 91mg/Kg.

En la figura 12 se presenta la distribución espacial del contenido total de cobre en suelos del área de estudio, revelando que existen 2 zonas cuyas concentraciones se encuentran entre 47,00-69,85mg/Kg, pero debido a que éste rango contiene

concentraciones que superan los 60 y 63mg/Kg, deberían ser estudiadas con mayor profundidad antes de decidir si corresponden a lugares con anomalías geoquímicas o si se trata de aportes contaminantes de actividades antropogénicas.

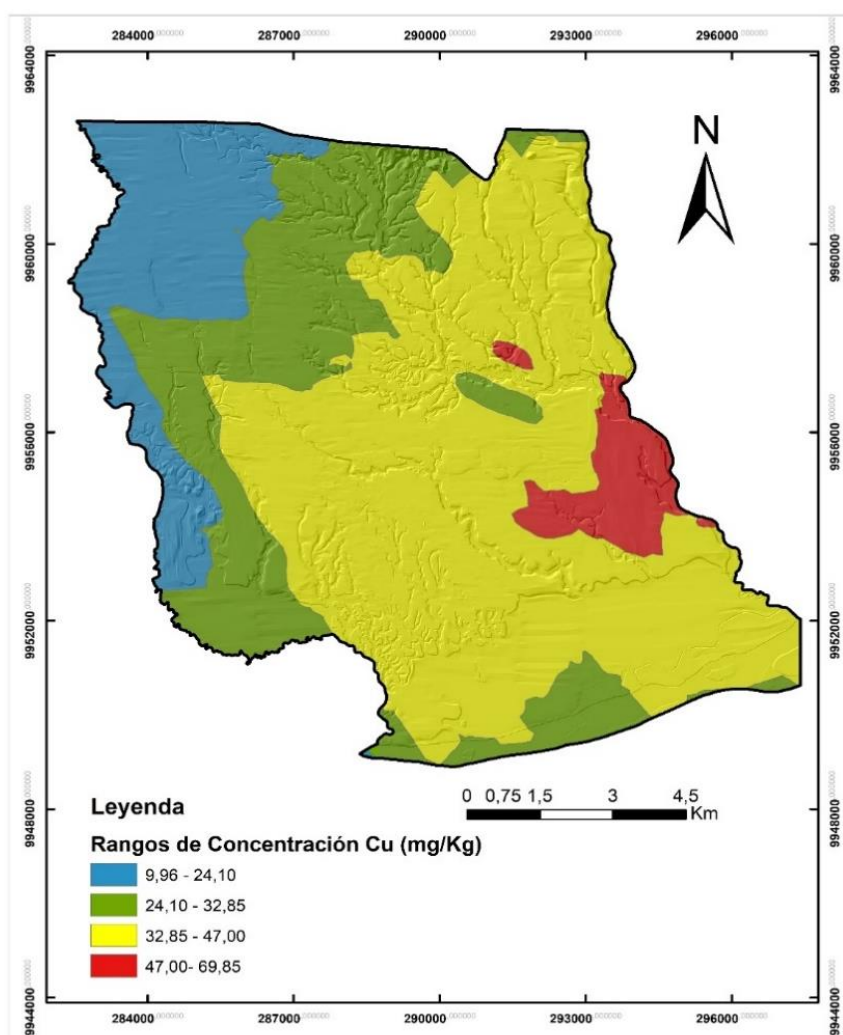


Figura 12 Distribución Espacial y Anomalías Geoquímicas de Cu

3.2.3 Manganeso

En la tabla 29 se presentan los principales estadísticos obtenidas a partir del análisis exploratorio presentado en el anexo 7.

Tabla 29

Principales variables estadísticas para Mn (mg/Kg)

VARIABLES ESTADÍSTICAS	ANÁLISIS ESTADÍSTICO Mn (mg/Kg)		
	SUPERFICIE PARROQUIAL	FORMACIÓN CHAMBIRA	DEPÓSITOS ALUVIALES
Media (NF)	903,24	859,36	1221,35
Mediana	925,48	880,10	1444,24
Desviación estándar	548,34	481,25	880,05
Coefficiente de asimetría	0,46	0,30	-0,12
Distribución Normal	Sí	Sí	Sí
M+2DS (NGR)	1999,92	1821,86	2981,45

De ésta forma el NF para Mn total corresponde a 903,24mg/Kg y el NGR es 1999,92 mg/Kg, valores guía para determinar el grado de contaminación del suelo.

La legislación ambiental nacional no especifica el criterio de calidad o NF ni tampoco se indica el criterio de remediación para éste metal. De todas formas, debido a las condiciones ácidas de los suelos inceptisoles analizados y de acuerdo a lo mencionado por Espinoza, Slaton, & Mozaffari (2012), que afirma que su toxicidad puede afectar a las plantas o al rendimiento de cultivos, si su concentración disponible es mayor a 200ppm y a un pH < 5,2, por lo que sería adecuado efectuar un análisis foliar, para evaluar si existe afectación a la vegetación de la zona, puesto que el valor mínimo de pH de las muestras suelo analizadas correspondió a 4,87 unidades de pH.

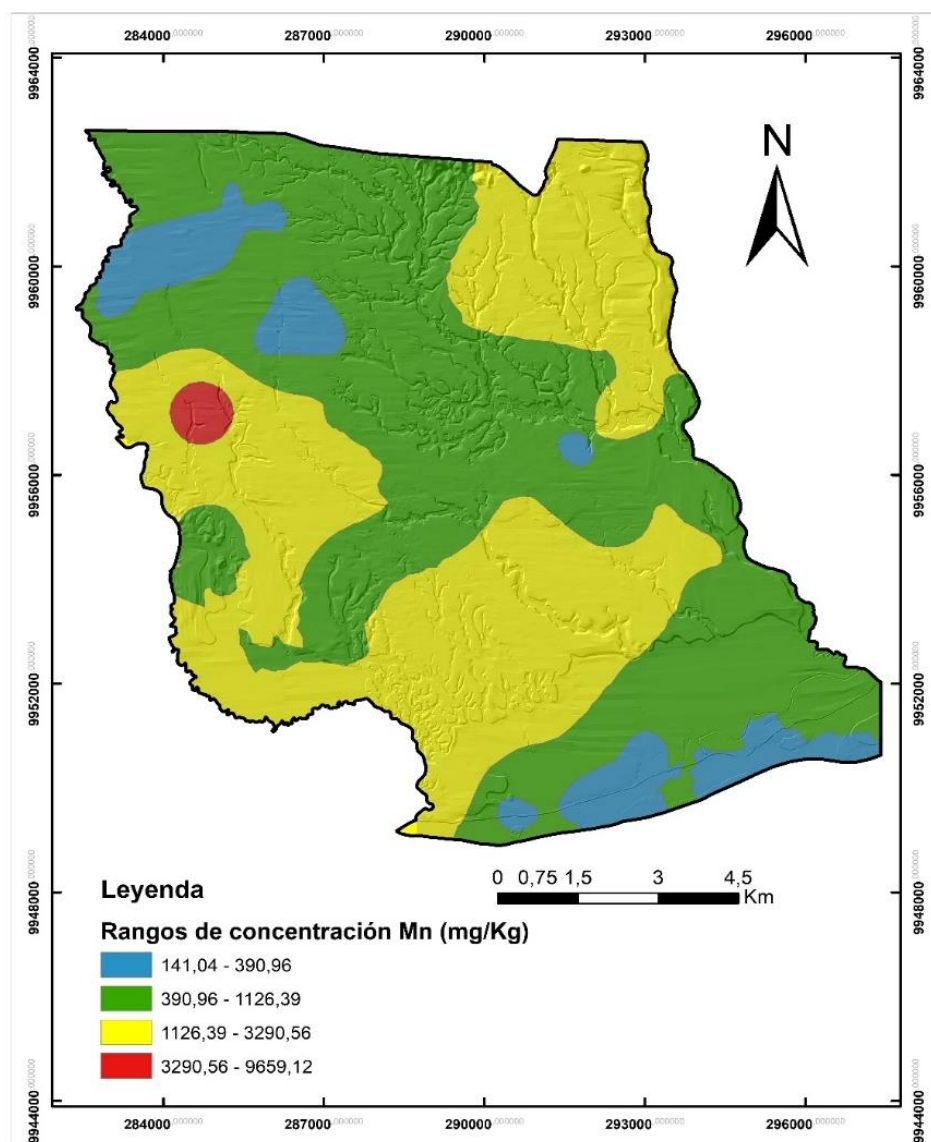


Figura 13 Distribución Espacial y Anomalías Geoquímicas de Mn

En la figura 13 se presenta la distribución espacial del contenido total de manganeso en suelos de San Carlos, señalando 2 zonas resaltadas por el color amarillo y rojo que superan el NGR determinado (2000mg/Kg), considerándolas como anomalías geoquímicas, considerando además que éstos suelos para su aprovechamiento agrícola requieren encalamiento para aumentar el pH y disminuir su disponibilidad a las plantas.

3.2.4 Zinc

En la tabla 30 se presentan los principales estadísticos obtenidas a partir del análisis exploratorio presentado en el anexo 8. El NF para Zn total corresponde a 61,56 mg/Kg y el NGR es 104,46 mg/Kg, valores a ser considerados en caso de afectación ambiental a éste recurso.

Tabla 30

Principales variables estadísticas para Zn (mg/Kg)

VARIABLES ESTADÍSTICAS	ANÁLISIS ESTADÍSTICO Zn (mg/Kg)		
	SUPERFICIE PARROQUIAL	FORMACIÓN CHAMBIRA	DEPÓSITOS ALUVIALES
Media (NF)	61,56	61,04	66,55
Mediana	60,62	57,82	68,86
Desviación estándar	21,45	24,42	9,17
Coeficiente de asimetría	0,17	0,28	-0,47
Distribución Normal	Sí	Sí	Sí
M+2DS (NGR)	104,46	109,88	84,89

En la tabla 1 del anexo 2 del TULSMA (2015), se especifica la concentración de este metal como criterio de calidad de 60mg/Kg, que se aproxima al NF obtenido.

El Zn es esencial para los seres vivos y no representa toxicidad de acuerdo a Bowie & Thornton (1985) a concentraciones inferiores a 200 mg/Kg (Galán & Romero, 2008). Este valor concuerda con el criterio de remediación especificado en la tabla 2, anexo 2 del TULSMA (2015) en suelos dispuestos para uso residencial y agrícola, mientras que para suelos comerciales e industriales el LMP se establece en 380mg/kg y 360mg/Kg respectivamente, niveles que superan al NGR obtenido para éste metal y así también superan los promedios mundiales de niveles de referencia para Zn.

En la figura 14 se presenta la distribución espacial del contenido total de zinc en suelos del área de estudio, revelando que existen 4 zonas cuyas concentraciones superan el NGR y deben ser catalogadas como anomalías geoquímicas debido a que no superan el valor de 200mg/Kg.

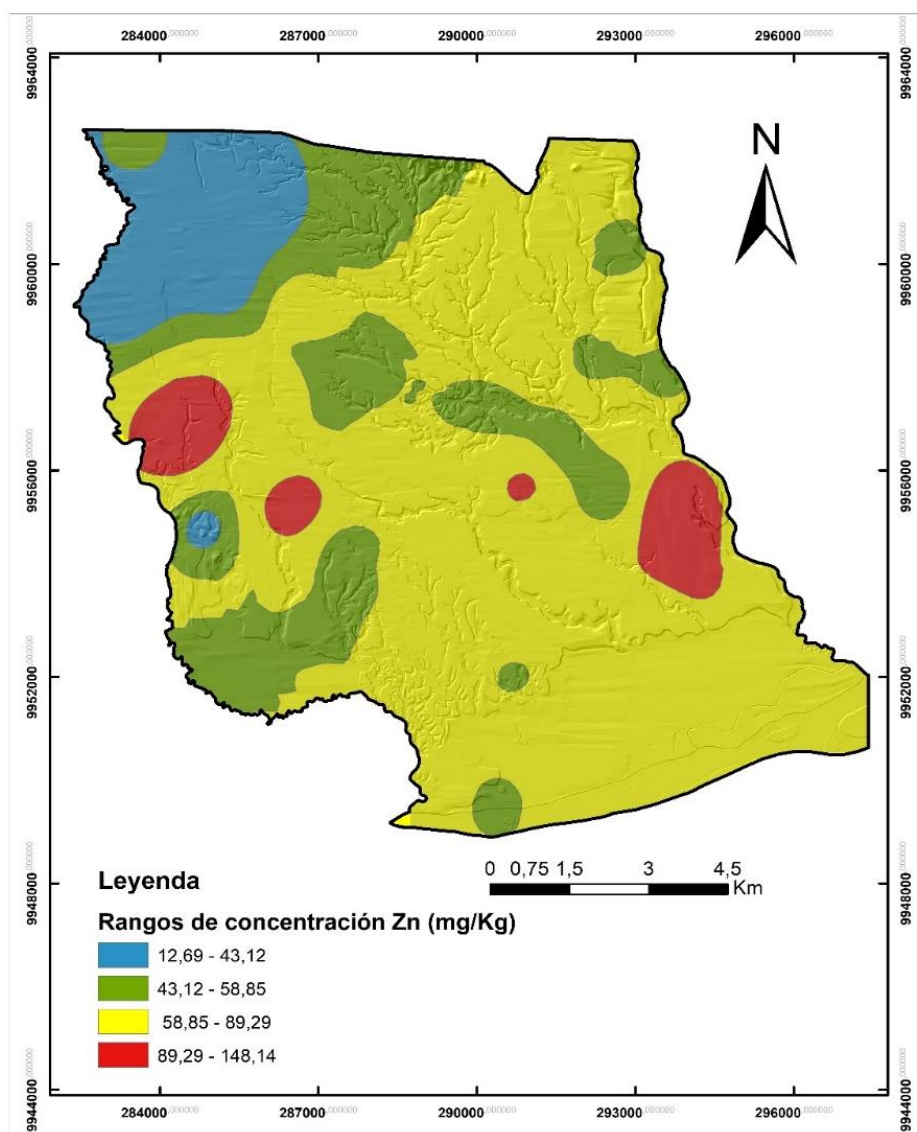


Figura 14 Distribución Espacial y Anomalías Geoquímicas de Zn

3.2.5 Níquel

En la tabla 31 se presentan los principales estadísticos obtenidos a partir del análisis exploratorio presentado en el anexo 9. El NF para Ni total corresponde a 11,61 mg/Kg y el NGR es 20,98 mg/Kg, valores guía para determinar el grado de contaminación del suelo en ésta zona del país.

Tabla 31

Principales variables estadísticas para Ni (mg/Kg)

VARIABLES ESTADÍSTICAS	ANÁLISIS ESTADÍSTICO Ni (mg/Kg)		
	SUPERFICIE PARROQUIAL	FORMACIÓN CHAMBIRA	DEPÓSITOS ALUVIALES
Media (NF)	12,37	12,51	11,33
Mediana	11,61	12,11	11,31
Desviación estándar	4,42	4,63	2,23
Coefficiente de asimetría	0,64	0,56	-0,001
Distribución Normal	No	No	Sí
P95% (NGR)	20,98	21,40	--

En la tabla 1 del anexo 2 del TULSMA (2015), se especifica la concentración de este metal como criterio de calidad de 19mg/Kg, superior al NF obtenido de 11,61mg/Kg.

Éste metal no es esencial para los seres vivos y no representa toxicidad de acuerdo a Bowie & Thornton (1985) a concentraciones inferiores a 100 mg/Kg (Galán & Romero, 2008). Este valor concuerda con el criterio de remediación especificado en la tabla 2, anexo 2 del TULSMA (2015) en suelos dispuestos para uso residencial y comercial, mientras que para suelos agrícolas e industriales el LMP corresponde a 50mg/Kg, niveles que superan al NGR obtenido para éste metal.

Por otro lado, según la tabla 6 del RAOHE (2010) el límite permisible para uso agrícola es $< 50\text{mg/Kg}$, uso industrial debe ser $< 100\text{mg/Kg}$ y en suelos de ecosistemas sensibles es $< 40\text{ mg/Kg}$. Estos niveles superan el NGR obtenido, por lo que se sugiere actualizar el valor permisible para ecosistemas sensibles.

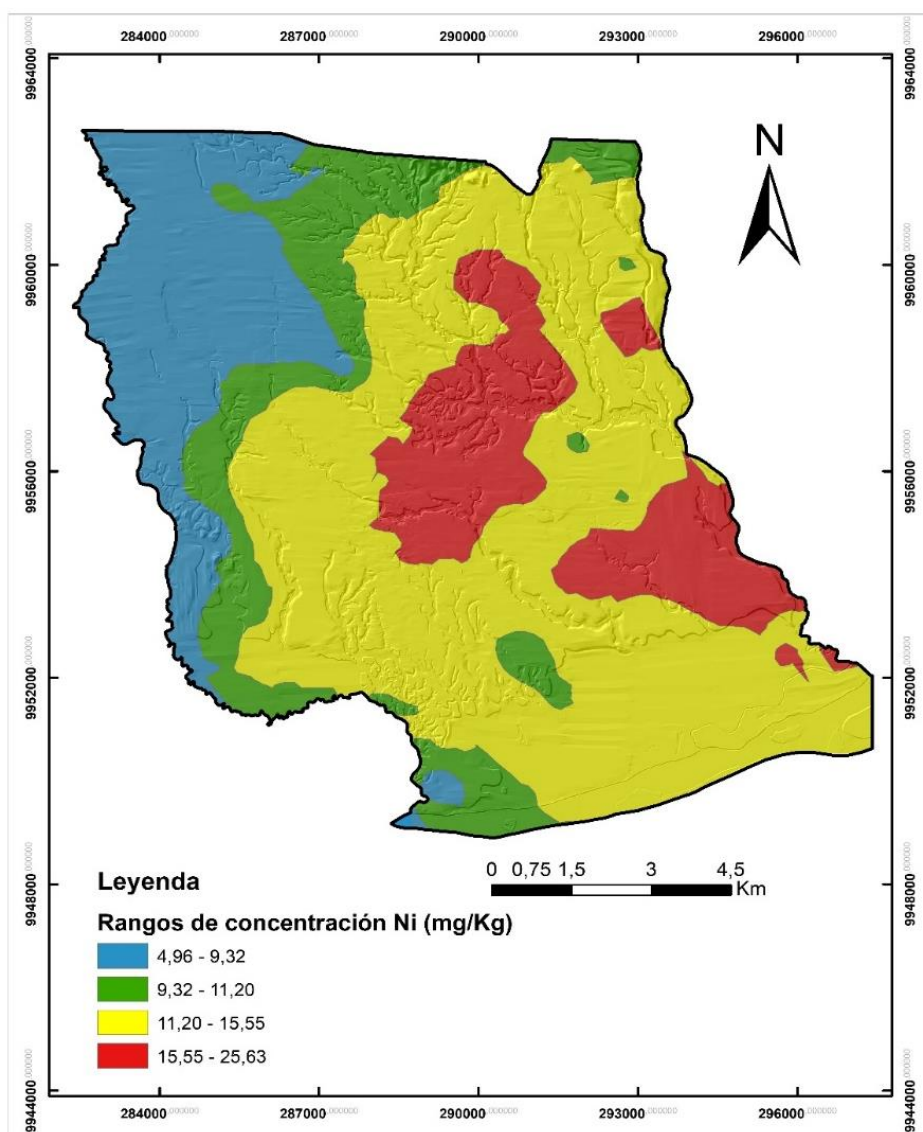


Figura 15 Distribución Espacial y Anomalías Geoquímicas de Ni

En la figura 15 se presenta la distribución espacial del contenido total de Ni en suelos superficiales de la parroquia San Carlos, revelando que existen 5 zonas cuyas concentraciones superan el NGR, sin embargo, debido a la actividad hidrocarburífera que se presenta en la parroquia es importante analizar con mayor exactitud antes de considerarlas como suelos con anomalías geoquímicas.

3.2.6 Cromo

En la tabla 32 se presentan los principales estadísticos obtenidas a partir del análisis exploratorio presentado en el anexo 10. El NF para Cr total corresponde a 4,59 mg/Kg y el NGR es 8,64 mg/Kg, valores a ser considerados para evaluar si existe o no contaminación del suelo en caso de producirse un impacto ambiental negativo.

Tabla 32

Principales variables estadísticas para Cr (mg/Kg)

VARIABLES ESTADÍSTICAS	ANÁLISIS ESTADÍSTICO Cr (mg/Kg)		
	SUPERFICIE PARROQUIAL	FORMACIÓN CHAMBIRA	DEPÓSITOS ALUVIALES
Media (NF)	4,59	4,42	4,75
Mediana	4,47	4,26	4,80
Desviación estándar	2,02	2,18	0,4
Coefficiente de asimetría	0,05	0,07	-0,17
Distribución Normal	Sí	Sí	Sí
M+2DS (NGR)	8,64	8,78	5,55

En la tabla 1 del anexo 2 del TULSMA (2015), se especifica la concentración de este metal como criterio de calidad de 54 mg/Kg, superior al NF obtenido de 4,59mg/Kg.

El criterio de remediación para Cr total especificado en la tabla 2, anexo 2 del TULSMA (2015) se especifica en función al uso del suelo, así el LMP para suelos: residenciales es 64mg/L, agrícolas es de 65mg/Kg, comerciales e industriales corresponde a 87mg/Kg, niveles que superan al NGR obtenido para éste metal.

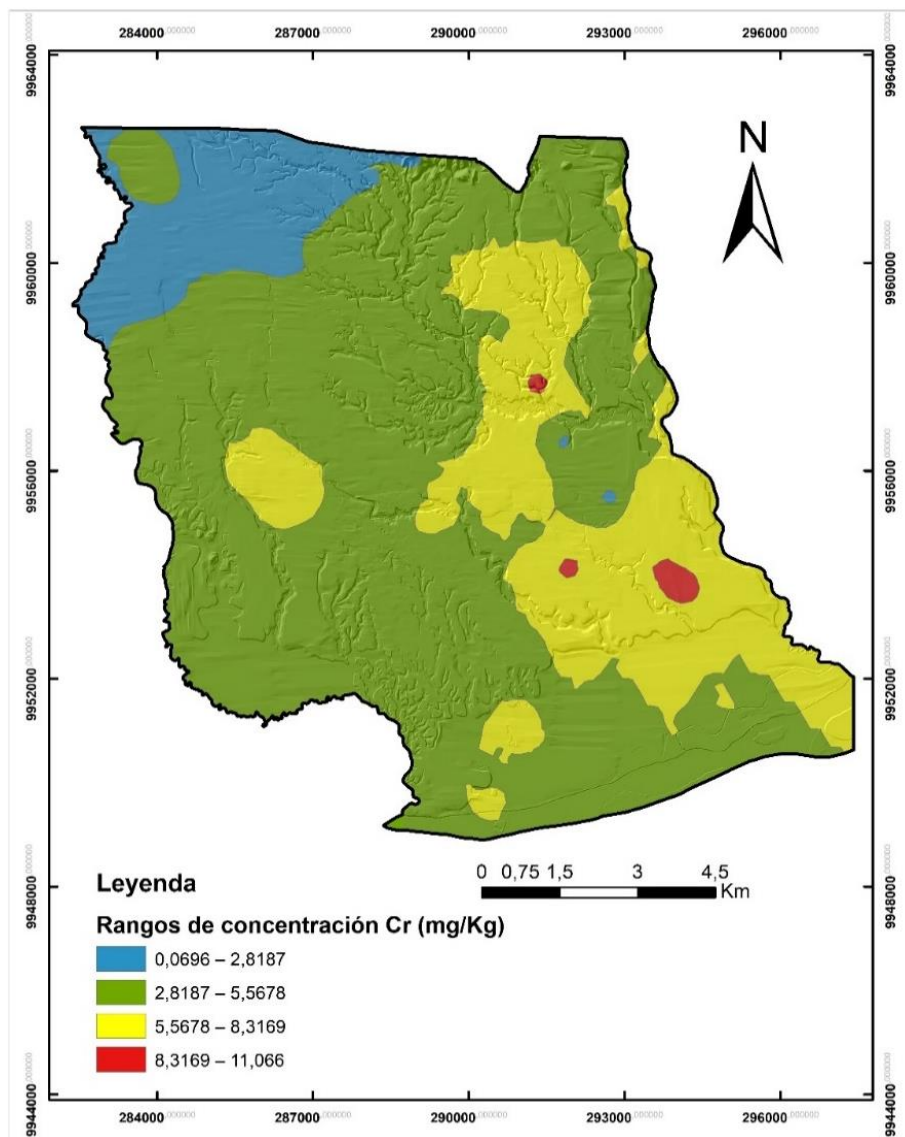


Figura 16 Distribución Espacial y Anomalías Geoquímicas de Cr

En la figura 16 se presenta la distribución espacial del contenido total de Cr total, en suelos superficiales de la parroquia San Carlos, mostrando que hay 3 zonas cuyas concentraciones superan el NGR, considerándolas como suelos con anomalías geoquímicas por no superar el criterio de calidad y de remediación que establece la legislación ambiental vigente.

3.2.7 Plomo

En la tabla 33 se presentan los principales estadísticos obtenidas a partir del análisis exploratorio presentado en el anexo 11. El NF para Pb total corresponde a 14,82 mg/Kg y el NGR es 23,88 mg/Kg, valores referenciales para evaluar la existencia de contaminación en suelos de ésta zona del país.

Tabla 33

Principales variables estadísticas para Pb (mg/Kg)

VARIABLES ESTADÍSTICAS	ANÁLISIS ESTADÍSTICO Pb (mg/Kg)		
	SUPERFICIE PARROQUIAL	FORMACIÓN CHAMBIRA	DEPÓSITOS ALUVIALES
Media (NF)	14,82	14,73	15,48
Mediana	15,28	15,23	15,66
Desviación estándar	4,53	4,72	2,95
Coefficiente de asimetría	-0,20	-0,16	-0,26
Distribución Normal	Sí	Sí	Sí
M+2DS (NGR)	23,88	24,17	21,38

En la tabla 1 del anexo 2 del TULSMA (2015), se especifica la concentración de este metal como criterio de calidad de 19 mg/Kg, superior al NF obtenido de 14,82mg/Kg.

El criterio de remediación para Pb especificado en la tabla 2, anexo 2 del TULSMA (2015) se especifica en función al uso del suelo, así el LMP para suelos: residenciales es 140mg/L, agrícolas es de 60mg/Kg, comerciales e industriales corresponde a 150mg/Kg.

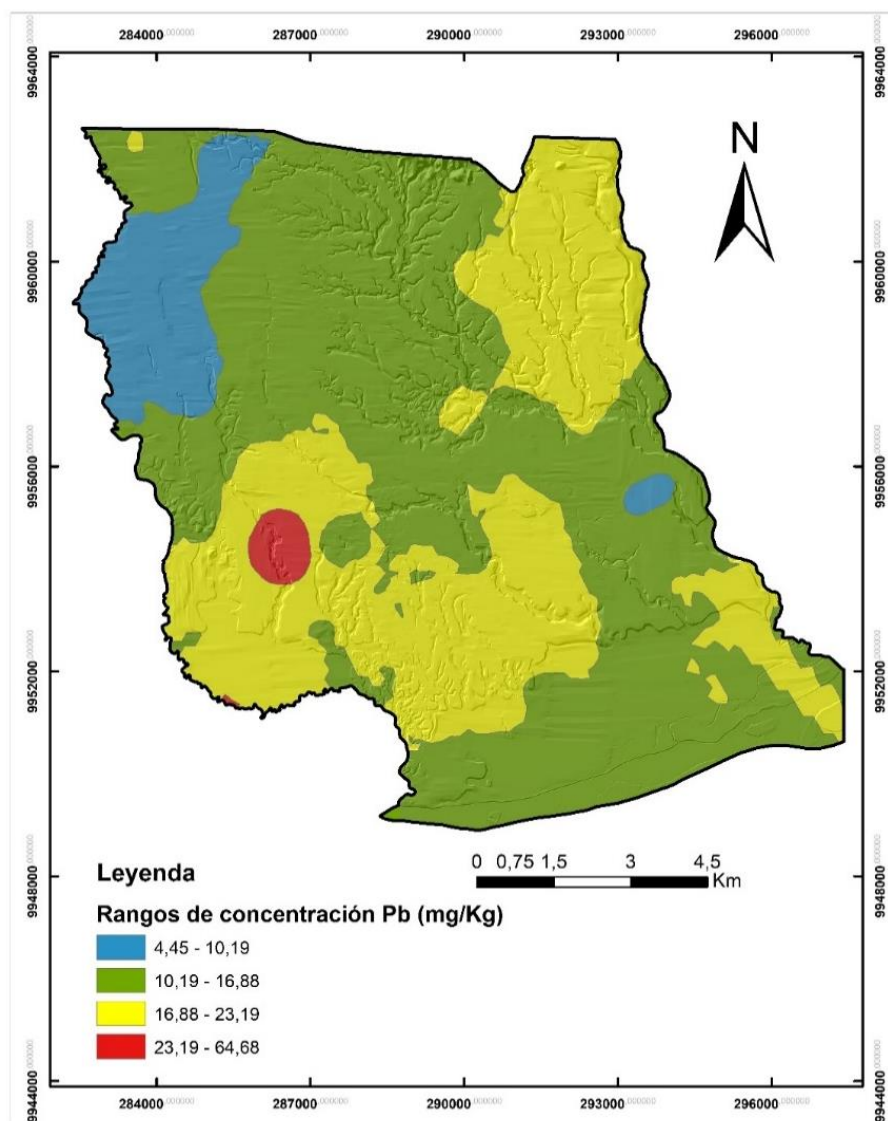


Figura 17 Distribución Espacial y Anomalías Geoquímicas de Pb

Además, según la tabla 6 del RAOHE (2010) el límite permisible para uso agrícola es $< 100\text{mg/Kg}$, uso industrial debe ser $< 500\text{mg/Kg}$ y en suelos de ecosistemas sensibles es $< 80\text{ mg/Kg}$. Estos niveles superan el NGR obtenido, por lo que se sugiere actualizar el valor permisible para ecosistemas sensibles.

Por otro lado, en la figura 17 se presenta la distribución espacial del contenido total de Pb total, en suelos superficiales de la parroquia San Carlos, señalando que una sola zona que supera el NGR, por lo tanto, se considera como una anomalía geoquímica.

3.2.8 Cadmio

En la tabla 34 se presentan los principales estadísticos obtenidas a partir del análisis exploratorio presentado en el anexo 12. El NF para Cd total corresponde a $0,58\text{ mg/Kg}$ y el NGR es $0,96\text{ mg/Kg}$, valores de importancia en caso de producirse un suceso que comprometa la salud ambiental de éste recurso.

Tabla 34

Principales variables estadísticas para Cd (mg/Kg)

VARIABLES ESTADÍSTICAS	ANÁLISIS ESTADÍSTICO Cd (mg/Kg)		
	SUPERFICIE PARROQUIAL	FORMACIÓN CHAMBIRA	DEPÓSITOS ALUVIALES
Media (NF)	0,58	0,54	0,68
Mediana	0,58	0,53	0,68
Desviación estándar	0,19	0,17	0,11
Coficiente de asimetría	0,60	0,29	0,20
Distribución Normal	Sí	Sí	Sí
M+2DS (NGR)	0,96	0,88	0,90

En la tabla 1 del anexo 2 del TULSMA (2015), se especifica la concentración de este metal como criterio de calidad de 0,50 mg/Kg, menor pero aproximado al NF obtenido de 0,58 mg/Kg.

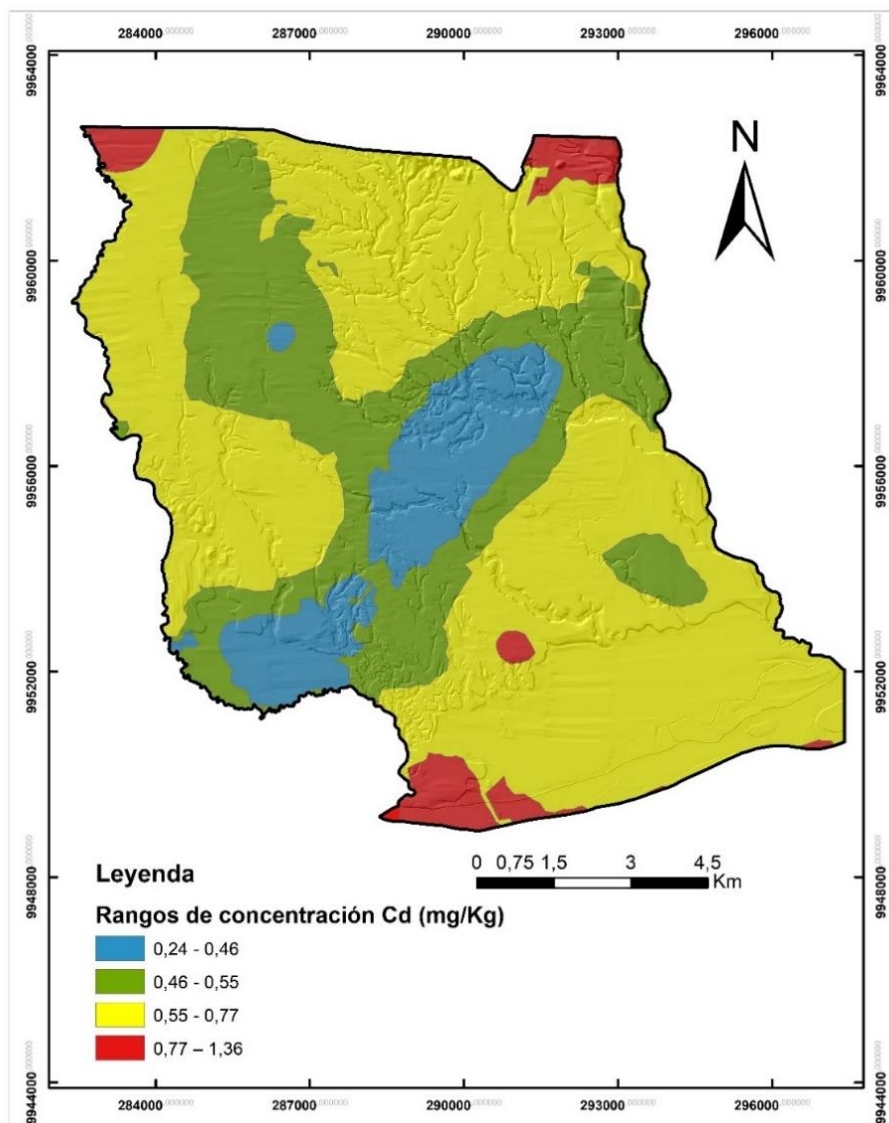


Figura 18 Distribución Espacial y Anomalías Geoquímicas de Cd

El criterio de remediación para Cd especificado en la tabla 2, anexo 2 del TULSMA (2015) se especifica en función al uso del suelo, así el LMP para suelos: residenciales es 4 mg/L, agrícolas es de 2 mg/Kg, comerciales e industriales corresponde a 10 mg/Kg. Estos niveles superan el NGR obtenido, mientras que según la tabla 6 del RAOHE (2010) el límite permisible para uso agrícola es $< 2\text{mg/kg}$, uso industrial debe ser $< 10\text{mg/Kg}$ y en suelos de ecosistemas sensibles es $< 1\text{ mg/Kg}$.

En la figura 18 se presenta la distribución espacial del contenido total de Cd, en suelos superficiales de la parroquia San Carlos, mostrando que existen 4 zonas que abarcan el NGR de $0,96\text{mg/kg}$, superando nivel permisible de 1mg/Kg , por lo se debe estudiar si dichas zonas no han sido perturbadas con agentes contaminantes antes de catalogarlas como anomalías geoquímicas.

3.2.9 Bario

En la tabla 35 se presentan los principales estadísticos obtenidos a partir del análisis exploratorio efectuado con Rstudio y Microsoft Excel, el cual se adjunta en el anexo 13.

El NF para Ba total corresponde a $175,23\text{ mg/Kg}$ y el NGR es $332,86\text{ mg/Kg}$, suponiendo éstos últimos un estudio más a fondo para evidenciar la existencia o no de contaminación ambiental en caso de ser superado.

En la tabla 1 del anexo 2 del TULSMA (2015), se especifica la concentración de este metal como criterio de calidad de 200 mg/Kg , superando al NF obtenido de $175,23\text{ mg/Kg}$.

Tabla 35*Principales variables estadísticas para Ba (mg/Kg)*

VARIABLES ESTADÍSTICAS	ANÁLISIS ESTADÍSTICO Ba (mg/Kg)		
	SUPERFICIE PARROQUIAL	FORMACIÓN CHAMBIRA	DEPÓSITOS ALUVIALES
Media (NF)	175,23	175,2	175,47
Mediana	190,75	187,64	210,89
Desviación estándar	78,81	78,51	86,49
Coeficiente de asimetría	-0,33	-0,36	-0,14
Distribución Normal	Sí	Sí	Sí
M+2DS (NGR)	332,86	332,22	348,45

El límite máximo permisible o criterio de remediación para Bario, especificado en la tabla 2, anexo 2 del TULSMA (2015) se especifica en función al uso del suelo, siendo los siguientes: para uso residencial corresponde a 500 mg/L, para agrícola es de 750 mg/Kg, para uso comercial e industrial corresponde a 2000 mg/Kg, valores que superan el NGR obtenido.

En la figura 19 se presenta la distribución espacial de las concentraciones de Ba en suelos superficiales de la parroquia San Carlos, notando que existen 4 zonas resaltadas de color rojo, las cuales contienen el NGR de 332,86 mg/kg, considerándolas como anomalías geoquímicas, debido a que no superan ninguno de los criterios de remediación especificados por el TULSMA que implica afectación de éste recurso natural.

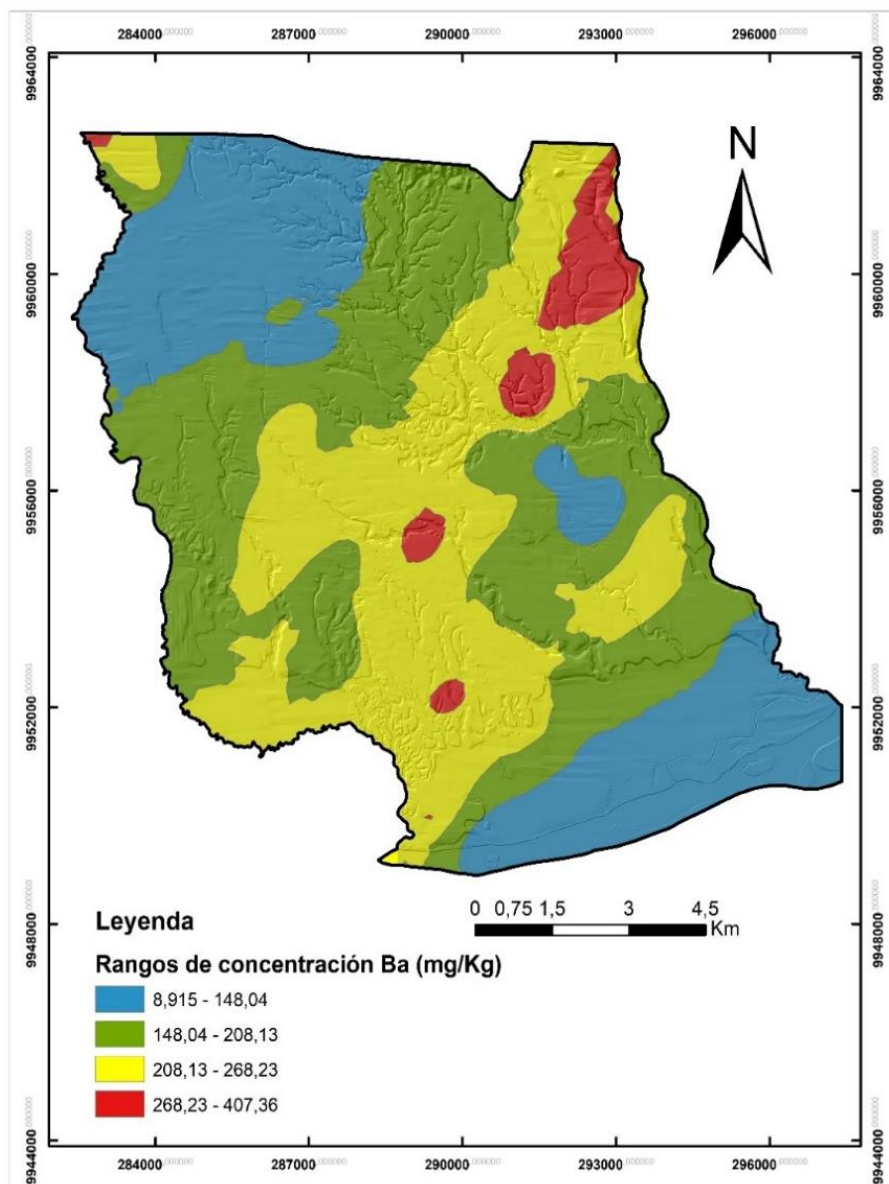


Figura 19 Distribución Espacial y Anomalías Geoquímicas de Ba

3.2.10 Vanadio

En la tabla 36 se presentan los principales datos obtenidos a partir del análisis exploratorio presentado en el anexo 14. El NF para V total corresponde a 74,53 mg/Kg

mientras que el NGR corresponde a 138,59 mg/Kg, valores necesarios para evaluar el grado o nivel de contaminación.

Tabla 36

Principales variables estadísticas para V (mg/Kg)

VARIABLES ESTADÍSTICAS	ANÁLISIS ESTADÍSTICO V (mg/Kg)		
	SUPERFICIE PARROQUIAL	FORMACIÓN CHAMBIRA	DEPÓSITOS ALUVIALES
Media (NF)	74,53	73,23	72,64
Mediana	68,62	67,18	88,08
Desviación estándar	32,03	30,47	30,88
Coefficiente de asimetría	0,60	0,59	-0,44
Distribución Normal	Sí	Sí	Sí
M+2DS (NGR)	138,59	134,17	134,40

En la tabla 1 del anexo 2 del TULSMA (2015), se especifica la concentración de este metal como criterio de calidad de 76 mg/Kg, que se aproxima, pero a la vez supera al NF obtenido de 74,53 mg/Kg.

El criterio de remediación para Ba especificado en la tabla 2, anexo 2 del TULSMA (2015) se especifica en función al uso del suelo, así el LMP para suelos residenciales, agrícolas, comerciales e industriales corresponde a 130 mg/Kg, valor que es inferior al NGR obtenido por lo que se debe mantener el establecido en el TULSMA.

En la figura 20, se presenta la distribución espacial del contenido total de V en suelos superficiales de la parroquia San Carlos, exponiendo 3 zonas resaltadas en rojo que contienen el NGR de 138,59 mg/kg y que supera el LMP para el criterio de remediación, debiendo estudiar con mayor profundidad si los suelos de éstas zonas corresponden a anomalías geoquímicas o si los suelos han sido perturbados por agentes contaminantes provenientes de la actividad hidrocarburífera u otra actividad industrial.

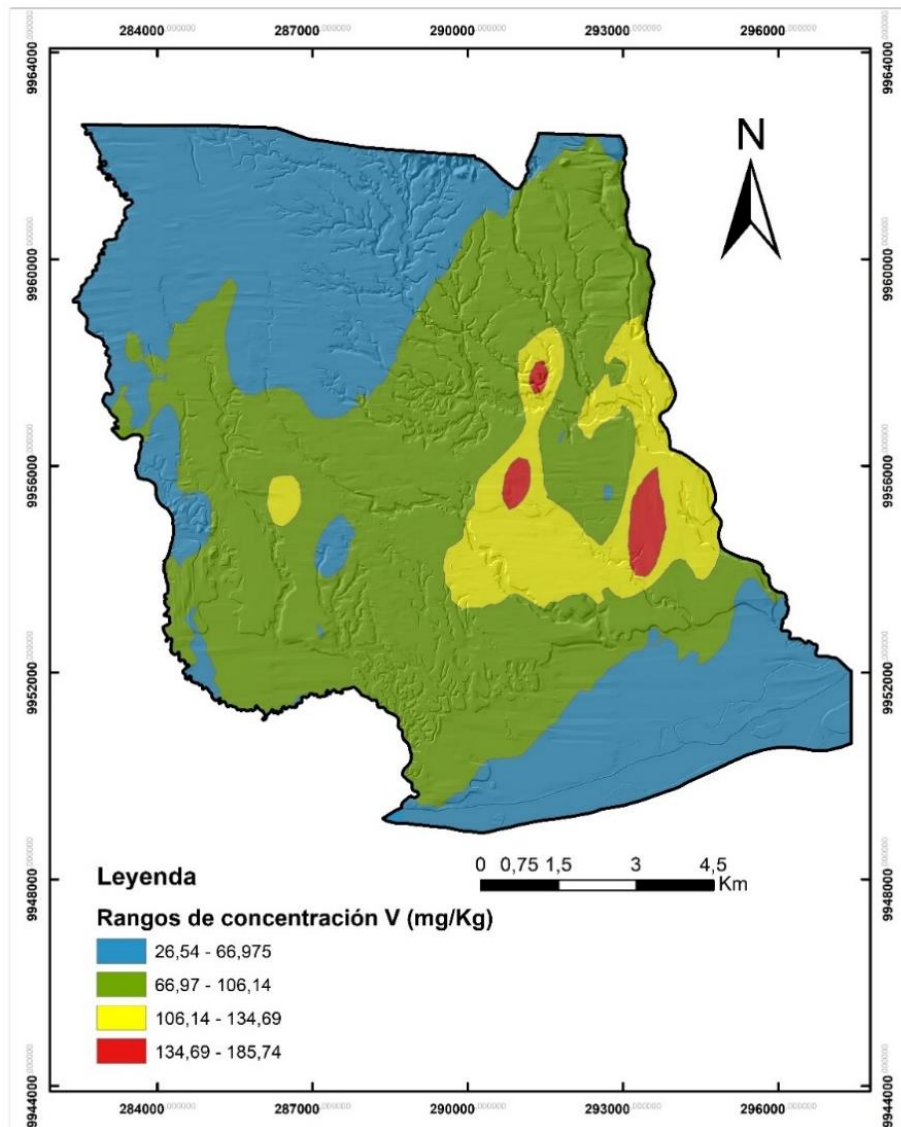


Figura 20 Distribución Espacial y Anomalías Geoquímicas de V

CAPÍTULO IV:

CONCLUSIONES

4.1 Conclusiones

- 1) Los valores de niveles fondo y niveles genéricos de referencia de los metales pesados evaluados en suelos superficiales de la parroquia San Carlos, fundamentado en la realidad geológica y climática de ésta zona de la amazonía, expresados en mg/Kg fueron los siguientes: para **Fe** (NF=25867,39; NGR=48029,32), **Cu** (NF=32,08; NGR=46,97), **Mn** (NF=903,24; NGR=1999,92), **Zn** (NF=61,56; NGR=104,46), **Ni** (NF=11,61;NGR=20,98), **Cr** (NF=4,59; NGR=8,64), **Pb** (NF=14,82;NGR=23,88), **Cd** (NF=0,58;NGR=0,96), **Ba** (NF=175,23; NGR=332,86) y **V** (NF=74,53; NGR=138,59). Los cuales sirven como valores guía para este tipo de suelo (inceptisoles) en la provincia de Orellana, en caso de producirse sucesos que impliquen un riesgo al estado natural del suelo, para determinar el grado de impacto producido o puedan ser considerados para el desarrollo de una normativa ambiental local.
- 2) Las propiedades fisicoquímicas evaluadas determinaron que el suelo del perfil superior, posee un contenido de arcilla del 11-36% y arena de 53-73%, medianamente ácidos, no salinos. Destacando que debido a la presencia de arcillas de carga variable favorecen a sustituciones isomórficas, permitiendo la adsorción de metales pesados e impidiendo que éstos queden disponibles para

las plantas. Además, debido al contenido moderado de materia orgánica contribuye a la adsorción de metales pesados, sirviendo como una barrera protectora en caso de contaminación. Sin embargo, debido a la presencia significativa de arena, es importante considerar que los metales que no sean adsorbidos, serán movilizados e infiltrados a través de los horizontes del suelo pudiendo alcanzar las aguas subterráneas.

- 3) Los microelementos de mayor contenido corresponden al Fe y Mn característicos de éste tipo de suelos, sin embargo, debido a que los promedios obtenidos superan los 200mg/kg, se recomienda realizar análisis foliares para evaluar si las concentraciones disponibles no representan toxicidad para el desarrollo de las plantas.
- 4) El contenido de macroelementos, indica que son suelos con un nivel bajo a medio de aptitud agrícola, que requieren enmiendas para su aprovechamiento, en concordancia con el valor de CIC lo que demuestra que dichos suelos presentan una baja capacidad de intercambio catiónico entre los cationes coloidales presentes en la materia orgánica o arcillas y cationes metálicos como Cd, Ni y Zn, lo que supondría, en caso de producirse una contaminación con metales pesados, éstos serán poco adsorbidos por el suelo, pasando en mayor proporción, a horizontes inferiores o acuíferos.
- 5) El diseño de muestreo consistió en un análisis espacial del territorio mediante herramientas SIG, detectando zonas de matorrales, bosque nativo o bosque secundario para la evaluación de suelos residuales, estableciéndose 68 puntos de muestreo georreferenciados y validados en campo, considerando como

criterios de muestreo, la taxonomía y geología, disponibilidad de recursos, clima, accesibilidad y márgenes de distanciamiento a zonas pobladas, pozos petroleros, carreteras y ríos para evitar obtener datos atípicos que impliquen interpretaciones erróneas de los resultados.

- 6) Los niveles fondo y de referencia de los metales pesados se obtuvieron mediante un análisis estadístico descriptivo y análisis exploratorio, empleando Microsoft Excel y el software RStudio, fundamentado en un nivel de confianza del 95%, para lo cual se excluyó los datos atípicos fundamentando en el método de diagrama de cajas, se consideró la existencia o no de distribución normal de los datos aplicando tests de normalidad como el de Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov), Shapiro Wilk y gráfica de probabilidad normal y distribución gráfica de los datos mediante histogramas y curva de densidad que facilitaron la interpretación de los resultados.
- 7) La distribución espacial de la concentración de cada metal permitió visualizar las zonas con niveles de bajo, medio, alto y muy alto contenido de cada elemento evaluado, resaltando en rojo las zonas que contienen o superan el NGR, que se catalogan como anomalías geoquímicas, sin embargo en algunos casos como Cu, Cd y V se recomienda realizar un estudio más específico de las zonas que superan el LMP de la legislación ambiental vigente, para verificar que su alteración no se deba a fuentes de contaminación aledañas o actividades relacionadas con la emisión de metales pesados.
- 8) En función a los niveles fondo y de referencia obtenidos de metales como Ni y Pb, se comprobó que los valores permisibles de ecosistemas sensibles

establecidos en la tabla 6 del RAOHE, son superiores a los NGR obtenidos, por lo que se recomienda actualizar éstos valores, restringiendo el nivel de permisibilidad, en caso de producirse eventos de contaminación. También es factible sugerir que, en el TULSMA, se incluya los criterios de remediación para suelos de ecosistemas sensibles.

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, J., & Ingram, J. (1993). *Tropical Soil Biology and Fertility-A Handbook of Methods*. Oxon: C.A.B. International, Wallingford.
- Baby, P., & Rivadeneira, M. (2004). *La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo*. Quito: Instituto Francés de Estudios Andinos.
- Bautista, F. (1999). Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. En F. Bautista. Yucatán: Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán.
- BOE. (18 de Enero de 2005). *Ministerio de la Presidencia, Boletín Oficial del Estado, Real Decreto Español 9/2005 de 14 de Enero*. Obtenido de Relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados: <https://www.boe.es/boe/dias/2005/01/18/pdfs/A01833-01843.pdf>
- Bowie, S., & Thornton. (1985). *Environmental Geochemistry and Health*. Hingham, MA, USA: Kluwer Academic Pub.
- CRE. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Montecristi: Asamblea Nacional.
- Díaz, W. (2016). Estrategia de gestión integrada de suelos contaminados. *Revista del Instituto de Investigación, FIGMMG-UNMSM*, 104.
- Espinoza, L., Slaton, N., & Mozaffari, M. (2012). Cómo Interpretar los Resultados de los Análisis de Suelos. *División de Agricultura de la Universidad de Arkansas*, 1-8.
- Esri. (1 de Mayo de 2018). *¿Cómo Funciona Kriging?* Recuperado el 18 de Mayo de 2018, de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm>
- FAO. (1982). *Micronutrients and the nutrients status of soils a global study*. (W. S. Osakeyhtiö, Ed.) Roma, Italia: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2009). *Textura del Suelo*. Recuperado el 9 de Mayo de 2018, de http://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm

- FAO. (2018). *Definiciones Clave ¿Qué es el Suelo?* Obtenido de <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- Flores, L., & Alcalá, J. (2010). *Manual de procedimientos analíticos*. Mexico D.F., México: UNAM. Obtenido de www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf
- GADPO. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Orellana 2015-2019*. Fco. de Orellana: GADPO.
- GADPRSC. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de San Carlos*. Obtenido de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/2260002320001_PD_OT_SAN%20CARLOS_diagnostico_30-10-2015_18-08-47.pdf
- Galán, E., & Romero, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *Revista de sociedad española de mineralogía*, 51-54. Obtenido de http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf
- Hernández, A. (2015). *Aplicación de Técnicas de Análisis Geoespacial Para el Estudio de Suelos Contaminados*. Oviedo, España: Universidad de Oviedo.
- IGM. (2016). *Cartas Topográficas Escala 1:50000, formato shp*. Obtenido de <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/cartografia-de-libre-acceso-escala-50k/>
- INAMHI. (2012). *Anuarios Meteorológicos desde 1991 hasta 2011*. Quito: SIGIHM.
- Instituto Geológico y Minero de España. (30 de Marzo de 2018). *Determinación de Niveles de Fondo y Niveles Genéricos de Referencia para Metales en Suelos de la Comunidad Autónoma de Aragón*. Obtenido de http://info.igme.es/SIDIMAGENES/130000/253/130253_0000003.PDF
- Jiménez, R. e. (2010). Niveles de fondo geoquímico e influencia del marco geológico en las concentraciones edafogeoquímicas de base de suelos seleccionados de Castilla-La Mancha. *Estudios Geológicos*, 124. Obtenido de file:///C:/Users/Admin/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/800-821-2-PB.pdf

- Kabata. (2000). Trace elements in soils and plants. En Kabata-Pendians. Boca Raton-USA: CRC Press.
- Landon, J. (1991). *Booker Tropical Soil Manual: A Handbook for Soil Survey and Agricultural Land Evaluation in the Tropics and Subtropics*. Essex, New York, USA: Longman Scientific and Technical.
- Macías, F., & Calvo, R. (2009). *Niveles Genéricos de Referencia y otros elementos traza en suelos de Galicia*. Galicia: Junta de Galicia.
- McKean, S. (1993). *Manual de análisis de suelo y tejido vegetal* (Vol. Documento de Trabajo N° 129). Palmira, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- MINAM. (2014). *Guía para Muestreo de Suelos*. Lima: Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo .
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (30 de Julio de 2015). *Acuerdo 097-A: Reforma a los anexos del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente*. Obtenido de http://gis.uazuay.edu.ec/ierse/links_doc_contaminantes/REGISTRO%20OFICIAL%20387%20-%20AM%20140.pdf
- PRAS-MAE. (1 de Diciembre de 2015). *Programa de Reparación Ambiental y Social del Ministerio del Ambiente del Ecuador*. Obtenido de Fuentes de contaminación por división político administrativo: <http://pras.ambiente.gob.ec/web/siesap/fuentes-de-contaminacion-por-dpa>
- RAOHE. (2010). *Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador*. Quito: Registro Oficial 265, Decreto Ejecutivo 1215.
- Rojo, J. (2006). *Análisis Descriptivo y Exploratorio de Datos*. Madrid, España: Laboratorio de Estadística del Instituto de Economía y Geografía.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*. Montevideo: Universidad de la República.
- Rueda, G., Rodríguez, J., & Madriñán, R. (2011). Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 204-208.

- Sánchez, M. (2003). *Determinación de metales pesados en suelos de Medina del Campo (Valladolid). Contenidos extraíbles, Niveles Fondo y de Rereferencia*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Selinus, O., Alloway, B., Centeno, J., Finkelman, R., Fuge, R., Lindh, U., & Smedley, P. (2005). *Essentials of Medical Geology. Impacts of the natural environment on public health*. Burlington, Massachusetts, USA: Elsevier Academic Press.
- SENA. (2013). *Manual de prácticas de campo y del laboratorio de suelos*. Espinal, Tolima, Colombia: Servicio Nacional de Aprendizaje Regional. Recuperado el 21 de Junio de 2018, de https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/2785/1/practicas_campo_laboratorio_suelos.pdf
- TULSMA. (2015). *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente, Libro VI, Anexo 2*. Quito: Ministerio del Ambiente.
- Universidad de Alicante. (2018). *Grupo de Petrología Aplicada*. Recuperado el 21 de Marzo de 2018, de Estadística Descriptiva y Test de Normalidad: <https://web.ua.es/es/lpa/docencia/analisis-estadistico-de-datos-geoquimicos-conr/estadistica-descriptiva-y-test-de-normalidad.html>
- USDA. (2018). *United States Department of Agriculture* . Obtenido de The Twelve Orders of Soil Taxonomy: https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/class/data/?cid=nrcs142p2_053588