UNIVERSIDAD DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL PIRHUA

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS DE LOS SEDIMENTOS EN LA ZONA DEL VALLE DEL CHIRA

Karen Inga-Albañil

Piura, agosto de 2016

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil

Inga, K. (2016). *Interpretación de los resultados de análisis químicos de los sedimentos en la zona del Valle del Chira* (Tesis de pregrado en Ingeniería Civil). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.

Esta obra está bajo una licencia
Creative Commons Atribución-
NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

U N I V E R S I D A D D E P I U R A
FACULTAD DE INGENIERÍA

“Interpretación de los resultados de análisis químicos de los sedimentos en la zona del Valle del Chira”

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

Karen Mercedes Inga Albañil

Asesor: Ing. Ana María Paulini Palacios de Silva

Piura, Agosto 2016

A Dios por la sabiduría brindada día a día y por la paciencia cuando todo parecía interminable.

A mis padres porque sin ellos no hubiera podido realizar este sueño de ser ingeniera.

A Johana y Willy por soportar mis cambios de humor cuando sentía angustia y desesperación en los días abrumadores.

PRÓLOGO

El crecimiento productivo en la rama de la agroexportación en la región noroeste del país, ha llegado a considerarse como el más alto en ese rubro en el Perú. La actividad agroindustrial y agroexportadora sigue captando el interés de los inversionistas, sobre todo en productos como la vid, el banano orgánico, mango, limón y el palto, principalmente en la costa peruana, debido a la diversidad de los suelos existentes dentro de los cuales está el Valle del Chira.

Ya que la economía del Perú, incluyendo la región Piura, se ve fuertemente influenciada por la agroindustria, es necesario mantener la calidad de sus productos y para esto es importante evaluar el suelo donde se cultivan. Por lo tanto la investigación estudia los suelos en su mayoría, de tipo sedimentario, generados por un vulcanismo submarino, enriqueciéndolos de minerales. Estos podrían ser aprovechados y tratados de una forma adecuada para su desarrollo, basándose en un estudio químico que permita analizar los elementos que lo conforman.

Para ayudar al incremento de las futuras inversiones de los principales productos, que tomen como referencia este estudio, se ha hecho necesario crear una base de datos con los resultados químicos de las diferentes calicatas muestreadas en algunas zonas dentro del valle. Estos puntos de muestreo fueron inicialmente elegidos teniendo en cuenta aspectos de carácter geológico, de viabilidad, etc.; que motiven y sirvan para evaluar las condiciones en las que se encuentra el suelo y los componentes químicos que se pueden aprovechar, así posteriormente se pueda hacer un tratamiento y un cultivo adecuado de los productos de interés.

Para concluir quisiera hacer mi agradecimiento especial a la Ing. Ana María Paulini Palacios de Silva, por su calidad de asesora de tesis; al Ing. Wilfredo Castillo por brindarme su experiencia en el tema geológico y químico; a mi gran amigo Rafael Sono, por empezar conmigo esta gran tarea y formar parte de la investigación, a mi familia y amigos por su ayuda incondicional. Así mismo agradezco a Innóvate Perú, por haber financiado mi investigación que forma parte del proyecto con código 395- PNICP-PIAP-2014.

RESUMEN

Generalmente cuando se piensa en invertir en terrenos para productos agroexportables, se toma en cuenta aspectos de espacio, rentabilidad, producción, seguridad de productos, y la calidad del suelo para desarrollar los cultivos con niveles de productividad óptimos. Este último aspecto es muy importante conocerlo, pues será el que principalmente definirá el aporte económico de ganancias y pérdidas.

Es por esta razón que se plantea como propósito del presente trabajo: interpretar resultados de análisis químicos de puntos de estudio en el valle del Chira, generando en un primer plano una base de datos, que a pesar de ser corta por el reducido número de datos, genera una idea acerca de la química del suelo existente en esta zona del país. Por otro lado, se plantea una metodología que abarca estudio de los suelos y su relación con el agua que pueda quedar como antecedentes de exploraciones futuras.

La presentación de los análisis se detallan en diversas tablas, cuya interpretación se ha realizado con ayuda del programa Excel, evaluando variables estadísticas y químicas, propias de los resultados obtenidos. En lo que se refiere a distribución espacial, se han elaborado algunos mapas en Arc View utilizando herramientas de Arc GIS que ayudan a visualizar las variaciones entre los puntos de estudio; así mismo, se puede ver el contraste con la geología y litología. Con toda esta información obtenida, se llegan finalmente a unas conclusiones generales y recomendaciones.

INDICE

INTRODUCCIÓN **1**
CAPITULO 1 ..... **3**
Aspectos Generales **3**
1.1 Importancia del estudio del suelo 3
1.1.1 Definición del Suelo 4
1.1.2 Propiedades y parámetros del Suelo 7
1.1.2.1 Clasificación textural de suelos 7
1.1.2.2 Porosidad 9
1.1.2.3 Consistencia 10
1.1.2.4 Color 10
1.2 Concepto de cuenca y sub-cuenca 11
1.2.1 Definición 11
1.2.1.1 Cuenca Hidrográfica 11
1.2.1.2 Cuenca hidrológica 11
1.2.2 Partes de una cuenca 11
1.2.3 Funciones de una cuenca 12
1.2.3.1 Función Hidrológica 12
1.2.3.2 Función Ecológica 12
1.2.3.3 Función Ambiental 12
1.2.3.4 Función Socioeconómica 12
1.2.4 Efectos del clima 12
1.3 Uso más comunes referidos a la interacción agua-suelo 14
1.3.1 Casos de Interacción agua-suelo 16
CAPITULO 2 ..... **17**
Marco Teórico **17**
2.1 Aspectos Geológicos e hidrológicos generales 17

2.2 Parámetros geomorfológicos 19
2.1.1 Área de la cuenca (A) 19
2.1.2 Longitud del cauce principal (L) y perímetro (P) 21
2.1.3 Desnivel Altitudinal (DA) 22
2.1.4 Pendiente de la cuenca 22
2.3 Red de drenaje 22
2.3.1 Tipo de drenajes presentes en la cuenca 23
2.3.2 Tipos de sedimentos presentes 25
2.4 Introducción de Sistemas de Información Geográfica 27
2.4.1 Generalidades 27
2.4.2 Concepto de Sistemas de Información Geográfica 27
2.4.3 Aplicaciones y usos del suelo 30
2.4.3.1 Aplicaciones al Medio Ambiente 31
2.4.3.2 Usos del suelo 32
2.4.3.3 Gestión de recursos naturales 33
2.4.3.4 Gestión de recursos hídricos 34
2.5 Parámetros Químicos 36
2.5.1 Textura 37
2.5.2 Carbonato de Calcio 38
2.5.3 Materia Orgánica 38
2.5.4 Fósforo disponible 39
2.5.5 Potasio Disponible 39
2.5.6 pH 40
2.5.7 Conductividad eléctrica 40
2.5.8 Cationes Intercambiables 41
CAPITULO 3 ..... **43**
Metodología del Proyecto **43**
3.1 Antecedentes 43
3.2 Selección de puntos de control 44
3.2.1 Zona de Estudio 44
3.3 Trabajo de Campo 46
3.3.1 Fase Exploratoria 1 46
3.3.1.1 Recolección de muestras 47
3.3.1.2 Elaboración de base de datos en GIS 52
3.3.1.3 Resultados de análisis químico del suelo 544

3.3.1.4 Análisis de agua 66
3.3.2 Fase Exploratoria 2 66
3.3.2.1 Recolección de muestras 66
3.3.2.2 Elaboración de base de datos en GIS 73
3.3.2.3 Resultados de análisis químico del suelo 75
3.3.2.4 Análisis de agua 87
CAPITULO 4 ..... **99**
Interpretación de Resultados **99**
4.1 Interpretación de Resultados de la fase exploratoria 1 99
4.1.1 Conclusiones de fase 1 107
4.2 Interpretación de Resultados de la fase exploratoria 2 108
4.2.1 Conclusiones de fase2 112
4.3 Comparaciones de las dos fases exploratorias 113
4.4 Recomendaciones 118
CONCLUSIONES **119**
RECOMENDACIONES **121**
BIBLIOGRAFÍA **123**
Anexo A **127**
Mapas con parámetros geomorfológicos estudiados 1278
Anexo B **129**
Tablas del MINAM – Categoría 3 1290

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curvas distributivas 6
Figura 2. Curva acumulativa 6
Figura 3. Clasificación de granulometría según USDA y ISSS (Haverkamp et al, 1999). Arcilla (Clay, C), Limo (Silt, Si), Arena (Sand, S), Grava (Gravel, G). 8
Figura 4. Clasificación de suelos según granulometría (Haverkamp et al, 1999). Arcilla (Clay, C), Arcilloso Limoso (Silty Clay, SiC), Arcilloso Arenoso (Sandy Clay, SC), Franco Arcilloso (Clay Loam, CL), Franco Arcilloso Limoso (Silty Clay Loam, SiCL), Franco Ar 9
Figura 5. Divisoria de aguas superficiales y de aguas subterráneas. 20
Figura 6. Longitud y perímetro de una cuenca 21
Figura 7. Drenaje Subdentrítico en el Valle del Chira 23
Figura 8. Drenaje Paralelo en el Valle del Chira 24
Figura 9. Drenaje desordenado en el Valle del Chira 24
Figura 10. Mapa con los 8 puntos de estudio en la cuenca 25
Figura 11. Relación de capas para diferentes datos en un SIG 28
Figura 12. Componentes de un SIG 29
Figura 13. Funciones de los componentes de un SIG 29
Figura 14. Variabilidad climática y dinámica forestal en ecosistemas de ecotono. 31
Figura 15. Clasificación del uso del Suelo 32
Figura 16. Definición por colores con áreas naturales comunes – Cantidad de sales. .. 34
Figura 17. Presentación de ríos principales y secundarios – Cuenca del Chira 35
Figura 18. Abastecimiento hídrico del Río Chira 36
Figura 19. Clasificación de suelos según granulometría (Haverkamp et al, 1999). Arcilla (Clay, C), Arcilloso Limoso (Silty Clay, SiC), Arcilloso Arenoso (Sandy Clay, SC), Franco Arcilloso (Clay Loam, CL), Franco Arcilloso Limoso (Silty Clay Loam, SiCL), Franco Ar 37
Figura 20. Calicata del Punto A 47
Figura 21. Calicata del Punto C 48
Figura 22. Calicata del Punto D 48
Figura 23. Calicata del Punto E 49
Figura 24. Calicata del Punto F 50
Figura 25. Calicata del Punto G 50
Figura 26. Calicata del Punto H 51
Figura 27. Calicata del punto I 52
Figura 28. Mapa de ubicación de los puntos de estudio en la cuenca Chira- Fase exploratoria 1 43
Figura 29. Distribución geográfica de los puntos analizando textura. 56
Figura 30. Distribución geográfica de los puntos analizando carbonatos de calcio 57
Figura 31. Muestra analizada in-situ sufriendo un efecto efervescente. 58
Figura 32. Distribución geográfica de los puntos analizando el % de MO 59
Figura 33. Distribución geográfica de los puntos considerando el fósforo disponible . 60
Figura 34. Distribución geográfica de los puntos considerando el potasio disponible . 62
Figura 35. Distribución geográfica de los puntos considerando pH 63

Figura 36. Distribución geográfica de los puntos considerando Conductividad Eléctrica. 64
Figura 37. Distribución geográfica de los puntos teniendo en cuenta con cationes intercambiables. 65
Figura 38. Calicata del punto FU-1 67
Figura 39. Calicata del punto A 68
Figura 40. Calicata del Punto DX2 68
Figura 41. Calicata del punto E 69
Figura 42. Calicata del punto F 70
Figura 43. Calicata del Punto GX2 70
Figura 44. Calicata del punto HX2 71
Figura 45. Abastecimiento de agua punto HX2 71
Figura 46. Calicata del punto IX2 72
Figura 47. Pozo punto IX2 72
Figura 48. Mapa de ubicación de los puntos de estudio en la cuenca Chira – Fase Exploratoria 2 74
Figura 49. Mapa de distribución de texturas 77
Figura 50. Distribución de carbonatos de calcio 78
Figura 51. Lombriz de tierra dentro de calicata en el punto DX2 79
Figura 52. Distribución de MO dentro de la zona de estudio 80
Figura 53. Distribución de fósforo disponible en la zona de estudio 81
Figura 54. Distribución de potasio disponible en los puntos con contraste de litología 83
Figura 55. Distribución de pH en los puntos 84
Figura 56. Exceso de Sales en el punto A 84
Figura 57. Distribución de conductividad eléctrica en los puntos 86
Figura 58. Distribución de cationes intercambiables en los puntos de estudio. 87
Figura 59. Ubicación de puntos donde se realizaron las muestras. 89
Figura 60. Distribución de conductividad en la zona de estudio 92
Figura 61. Distribución del pH en la zona de estudio 93
Figura 62. Cantidades de dureza cálcica y magnésica en los puntos de estudio. 95
Figura 63. Cantidades de cloruros en los puntos de estudio 96
Figura 64. Cantidades de sulfatos en los puntos de estudio. 97
Figura 65. Suma de Nitritos más Nitratos en los puntos muestreados. 98
Figura 66. Clases texturales presentes en la zona de estudio. 99
Figura 67. Distribución de arena, limo y arcilla en los puntos. 100
Figura 68. Porcentaje de Carbonatos de Calcio 101
Figura 69. Distribución de cationes principales. 101
Figura 70. Porcentaje de Materia orgánica 102
Figura 71. Terreno del punto A 103
Figura 72. Terreno del punto E 103
Figura 73. Valores de pH en distribución de barras. 104
Figura 74. Valores de Conductividad eléctrica en distribución de barras. 105
Figura 75. Valores de fósforo disponible en distribución de barras. 106
Figura 76. Valores de potasio disponible en distribución de barras. 106
Figura 77. Clases texturales obtenidas en la zona de estudio 108
Figura 78. Porcentaje de Carbonatos de Calcio-Fase Exploratoria 2 109
Figura 79. Valores de pH en distribución de barras. 109

Figura 80. Relación entre pH y CaCO3 110
Figura 81. Cantidad de Materia Orgánica 111
Figura 82. Cantidad de fósforo disponible 111
Figura 83. Cantidad de potasio disponible 112
Figura 84. Comparación de pH 113
Figura 85. Comparación de $CaCO_3$ 114
Figura 86. Comparación de MO 115
Figura 87. Comparación de CE 116
Figura 88. Comparación de fósforo disponible 116
Figura 89. Comparación de potasio disponible 117
Figura 90. Comparación de potasio disponible 118

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores Estándares de Carbonatos 38
Tabla 2. Rangos Estándares de MO..... 39
Tabla 3. Rangos Estándares de Fósforo Disponible 39
Tabla 4. Rangos Estándares de Potasio Disponible..... 40
Tabla 5. Rangos Estándares del pH 40
Tabla 6. Valores de C. E según respuesta de los cultivos..... 41
Tabla 7. Ubicación de Puntos de estudio-Jornada 1 47
Tabla 8. Coordenada de puntos - Segunda Jornada..... 49
Tabla 9. Coordenadas de puntos de estudio - Tercera Jornada..... 51
Tabla 10. Resultados químicos de los puntos de estudio – Fase Exploratoria 1 44
Tabla 11. Resultados de Textura 55
Tabla 12. Resultados obtenidos de Carbonato de Calcio 57
Tabla 13. Cantidad de Materia Orgánica..... 58
Tabla 14. Fósforo disponible 60
Tabla 15. Potasio disponible..... 61
Tabla 16. Cantidad de pH 62
Tabla 17. Valores obtenidos de Conductividad Eléctrica..... 64
Tabla 18. Cantidad de Cationes Intercambiables 65
Tabla 19. Coordenadas de la primera jornada 66
Tabla 20. Coordenadas de la segunda jornada..... 67
Tabla 21. Coordenadas de la tercera jornada..... 69
Tabla 22. Coordenadas de los puntos de la cuarta Jornada 71
Tabla 23. Resultados de caracterización química de los puntos de estudio 75
Tabla 24. Análisis de textura 76
Tabla 25. Cantidad de Carbonatos de calcio 77
Tabla 26. Cantidad de Materia orgánica..... 79
Tabla 27. Cantidad de fósforo disponible..... 81
Tabla 28. Distribución de potasio disponible 82
Tabla 29. Contenido de pH..... 83
Tabla 30. Cantidad de conductividad eléctrica..... 85
Tabla 31. Capacidad de intercambio catiónico..... 86
Tabla 32. Resultados obtenidos en las muestras de agua 90
Tabla 33. Resultados obtenidos de conductividad en las muestras de agua..... 91
Tabla 34. Cantidad de pH en las muestras de agua 92
Tabla 35. Cantidad de bicarbonatos, carbonatos y pH en los puntos muestreados. 94
Tabla 36. Cantidad de dureza Cálcica y magnésica en los puntos. 94
Tabla 37. Cantidad de cloruros obtenidos en las muestras. 95
Tabla 39. Cantidad de Sulfatos obtenidos en las muestras. 96

INTRODUCCIÓN

El interés de las personas por el crecimiento de las plantas y la producción de alimentos ha fomentado el estudio de la química de suelos por lo que la capacidad para producir alimentos ha sido un factor fundamental para la evolución de la sociedad. Antiguamente las sociedades primitivas entendían ya la importancia de mantener la fertilidad del suelo, para lo cual variaban los cultivos, lo abonaban, devolvían los desperdicios al suelo y mantenían la rotación de los cultivos. Así, en la actualidad saber la calidad de los suelos, significa saber cuáles son sus fortalezas y carencias para sembrar tal o cual cultivo y de esta forma aprovechar debidamente las bondades que brindan.

Actualmente en la región noroeste del país han crecido las inversiones de tipo agroindustrial, significando un aumento en la economía de Piura, especialmente por la gran cantidad de empresas que han entrado a invertir en este rubro. La actividad económica más importante en la región Piura, a la cual pertenece el Valle de Chira, es la agricultura (34.8% PEA)[1], gracias al desarrollo económico en el comercio de sus principales productos agrícolas, integrando costa y sierra por la demanda de mano de obra en la agricultura de exportación. La agricultura representa el 7% del PBI regional y aporta 5% al PBI agrícola nacional. Piura tiene un área potencialmente agrícola de 277 372 Has de las cuales 157 798 Has son irrigadas y están ubicadas en los valles de Alto, Medio y Bajo Piura, Chira y San Lorenzo.

Un factor importante que se debe tener en cuenta para hacer los análisis e interpretación química del suelo es la geología de la zona, pues la gran variedad de formaciones geológicas y litológicas existentes han sido las causantes de los sedimentos de vulcanismo submarino en el Valle del Chira. Estas son las que dan un gran aporte a la mineralogía y química del suelo, caracterizándolas desde la génesis del suelo hasta la actualidad, siendo la edad geológica la que define muchos rasgos. De este modo, el intemperismo y metamorfismo del suelo se observa de manera real en la zona estudiada, dando como resultados interpretaciones reales a los valores obtenidos. Así mismo se sabe que las plantas extraen normalmente sus componentes del suelo, motivo por el cual, es de vital importancia saber qué tipos de nutrientes le hace falta a la planta según el producto que se desea cosechar.

[1] Abramonte M (2006) "APORTES PARA EL GOBIERNO REGIONAL 2007 – 2010 Región Piura" – Gobierno Regional de Piura – CIPCA - CIES

Evaluando el crecimiento económico, social e industrial se puede concluir que la investigación del quimismo de los suelos es importante, pues la generación de una base de datos y la interpretación de los mismos genera un impacto positivo que contribuye al desarrollo de nuevas inversiones. Hasta el momento no existe una data que contenga información relevante en la que los productores puedan tener una visión de la calidad de los suelos, que les permita tomar una mejor decisión

Es por esta razón que se plantea como propósito del presente trabajo interpretar resultados de parámetros químicos, identificando su situación actual y evaluando los diversos factores que influyen en dichas características.

El **primer capítulo** de este estudio presenta antecedentes que servirán para tener una idea general del suelo y aspectos básicos para la interpretación; así como definiciones básicas que se deben tener acerca del suelo junto con sus propiedades y los usos que tiene de manera general.

El **segundo capítulo** presenta el marco teórico, que contiene los parámetros químicos que se han estudiado, definiéndolos y presentando los valores estándares que servirán como patrones para medir los valores obtenidos. Además se explica también el uso de la herramienta GIS, que ha sido importante para la ubicación, visualización e interpretación de los resultados.

En el **tercer capítulo** se describe la metodología del proyecto, presentándose de manera detallada la toma de muestra de los puntos en estudio, las mismas que fueron tomadas en dos fases exploratorias (Mayo y Diciembre); así como los detalles de los suelos que fueron vistos en las salidas de campo, algunas características propias de los lugares en estudio, etc. Por otro lado, se presenta en este capítulo un breve análisis de las variables que se han estudiado en el proceso químico.

En el **cuarto capítulo** se hace la interpretación de las dos fases exploratorias en evaluación, se generan conclusiones de ambas fases exploratorias y por último se comparan las dos fases generando unas recomendaciones totales.

Al final de la tesis se presentan conclusiones y recomendaciones de todo el tema investigado, las mismas que se esperan puedan servir para posteriores investigaciones que se interesen en temas similares.

Capítulo 1
Aspectos Generales

1.1 Importancia del estudio del suelo

El suelo es una capa de la corteza terrestre, formada por elementos de origen mineral y orgánico. Esto se debe a la alteración o meteorización de las rocas de la litósfera denominada roca madre y al aporte de los restos de materia orgánica de las plantas y de los animales que nacen, viven y mueren sobre él.

La naturaleza del suelo es dinámica, esto significa que no siempre es igual. Es decir, que su origen se debe al ataque erosivo de las rocas, pero su nacimiento propiamente dicho se produce cuando los restos orgánicos se incorporan a los restos minerales. Comenzando, entonces, a formarse un suelo joven que luego evoluciona hasta contar con varios estratos superpuestos en horizontes.

La importancia de investigar el suelo en este estudio es porque es el medio directo para originar productos de calidad de extensión agroindustrial. Es importante hacer una investigación para evaluar la influencia que tiene la génesis del mismo sobre el producto final (fruto) de las plantas cultivadas. Es cierto que el Perú tiene un potencial agrícola bastante reducido, con solo un 2,7% apto para agricultura anual y otros usos y un 13% apto para agricultura permanente, pastos y forestales, pero esto no le impide desarrollarlo al máximo. Además estas tierras se encuentran sobreexplotadas, por lo que se necesita lograr un manejo adecuado para que permanezcan en buen estado, lo que requiere respetar sus aptitudes junto con sus periodos de barbecho[2] y descanso.

Tomando el texto de Brack (2000) como referencia, hay que considerar también el hecho de aprovechar este poco suelo fértil con el que cuenta el país para explotarlo con productos competitivos que permitan desarrollo. Los productos que se promocionan como orgánicos, sin preservantes, son altamente pedidos en el mundo y es en lo que se debe estudiar, explorar, analizar y concluir, tal como ocurre como el banano orgánico en el Valle del Chira de la Costa del Perú.

---

[2] Según la RAE se define Sistema de cultivo que consiste en dejar la tierra sin sembrar durante periodos de uno o más años para que se regenere.

También, se ha demostrado que cultivar en zonas desérticas es posible, por lo que se debe seguir implementando la investigación en suelos eriazos[3], considerando los estudios y el seguimiento adecuado para que sea un proceso rentable por un largo tiempo. Así mismo se debe tener en cuenta temas como la salinización en la costa para combatirla antes de que ocurra y así lograr un mayor periodo de vida de los proyectos de irrigación, al mismo tiempo se podrían sacar provecho a otros aspectos vinculados.

1.1.1 Definición del Suelo

El contacto del hombre con el suelo es tan universal que cada persona tiene su propio concepto de su naturaleza. Para un ingeniero, puede ser un material de construcción o de fundación donde edificar. Para el agricultor es un medio de cultivo. El niño lo utiliza para hacer muñecos de barro, y para su madre es la suciedad en las manos y vestido que debe lavarse. Para todos nosotros, el suelo es la fuente de donde proviene nuestro alimento, vestido y abrigo.

El origen de la palabra suelo ilustra otro aspecto de su carácter. Proviene del latín *Solum*, que significa **base o fondo.** La voz *sol* en francés y *suelo* en español, se usan todavía indistintamente para designar ambos conceptos. Cualquier definición asignada a un material complejo como el suelo, depende necesariamente del punto de vista de la persona que la formule. El edafólogo, considerando el suelo como medio de cultivo, lo definiría como *una mezcla de minerales y organismos capaz de soportar la viga vegetal.* Para un pedólogo, que estudia el suelo como una entidad distinta, sería el producto natural formado a partir de la roca meteorizada por la acción del clima y de los organismos vivos. El concepto de vida es esencial en ambas definiciones, en la primera, el suelo soporta la vida, en la segunda, la vida interviene en la formación del suelo. Los dos puntos de vista son correctos, el suelo soporta a los organismos vivos y sus características se hallan determinadas parcialmente por la acción de dichos organismos. (Thompson & Troeh, 1980)

En geología comúnmente se denomina suelo al sistema estructurado con características biológicamente activas, que se desarrolla en la capa más superficial de la corteza terrestre. Entre las etapas implicadas en la formación del suelo están la disgregación o meteorización mecánica de rocas; ya sea por frío, calor, lluvia, oxidaciones, hidrataciones, y es de esta manera en que la roca es gradualmente fragmentada. Los fragmentos de roca se van mezclando con restos orgánicos: organismos muertos o en etapa de descomposición, restos vegetales, así como la instalación de seres vivos sobre los sustratos orgánicos, propiciando de esta manera el enriquecimiento del sustrato. Con el paso del tiempo la estratificación de todo este conjunto de materias da lugar a la formación del suelo. (Echarri, 2007)

El suelo es un recurso natural de suma importancia ya que se desempeña en la superficie terrestre como reactor natural, como hábitat de diversos organismos, así mismo como fuente de materiales no renovables y de soporte de infraestructura. (Volke et al, 2005)

[3] Las tierras o suelos eriazas son aquellas de uso agropecuario que no son explotadas por falta o exceso de agua. Según el Estado, existen cerca de 610 000 terrenos en la costa peruana de este tipo. Revista Electrónica de Derecho Registral y Civil.

También se puede decir, que el suelo es el resultado de la alteración física, química y biológica sufrida por las rocas originales o inalteradas, a lo largo del tiempo. La ciencia que estudia el suelo es la edafología (de *edafos* = suelo, y *logos* = estudio o tratado).

Desde el punto de vista hidrológico, el suelo es un medio bifásico donde existen sólidos, líquidos (agua), y gases (aire y vapor de agua), además de los componentes biológicos (flora y fauna a nivel microbiológico y macrobiológico).

Para fines de esta tesis usaremos el siguiente concepto; un suelo es un cuerpo natural tridimensional constituido por cuatro componentes fundamentales: materia mineral, materia orgánica, aire y agua. Estos componentes interaccionan entre ellos determinando la naturaleza de un suelo. Las relativas proporciones de estos componentes influyen en el comportamiento y productividad de los suelos. Un suelo es el producto de dos procesos, uno destructivo y otro de síntesis, y ejemplo de este último es la formación de partículas coloidales (arcilla y humus). En la mayoría de estos coloides predomina la carga electronegativa capaz de atraer iones de carga opuesta. Los cationes adsorbidos pueden ser intercambiados por otros cationes de la solución del suelo (cambio catiónico). (Thompson & Troeh, 1980)

Elementos tóxicos así liberados pueden ser absorbidos por las plantas entrando a formar parte de la cadena alimentaria: suelo→planta→animal→hombre.

COMPONENTES DEL SUELO

Material sólido

El estudio del material sólido en un suelo se centra en su textura y su estructura. La textura del material sólido se refiere al tipo y porcentaje de materiales constitutivos del suelo según el tamaño de sus partículas, mientras que la estructura se refiere a la disposición física in situ de los materiales que lo constituyen.

Para definir la textura de un suelo, se construyen curvas granulométricas, ya sean distributivas o acumulativas. Para representar estas curvas debe realizarse previamente un tamizado del suelo, de manera que se obtenga el porcentaje en peso de cada tamaño (o franja de tamaños) de las partículas del suelo.

- En las curvas distributivas (Figura 1) se presenta en el eje de las abscisas las dimensiones interiores de las mallas del tamiz usado (generalmente, en milímetros), y en eje de las ordenadas el peso en porcentaje del peso de la muestra que pasa por un tamiz y que retiene el tamiz siguiente.

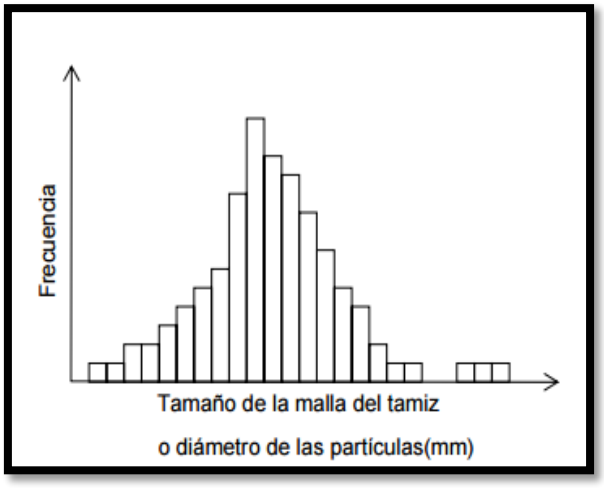


Figura 1. Curvas distributivas
Fuente: Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea, 2009

- En las curvas acumulativas, en el eje de las abscisas se representa (Figura 2), a escala normal o logarítmica los diámetros de las partículas, y en el eje de las ordenadas, el porcentaje de peso de materiales respecto al peso total de la muestra que no superan el diámetro correspondiente. En este tipo de curvas, a mayor gradiente o pendiente, mayor es la uniformidad en el tamaño de las partículas y las curvas de igual forma representan suelos con similar uniformidad de sus partículas constituyentes. El parámetro es el diámetro tal que el x % de peso de la muestra tiene unas partículas con diámetro inferior a él, se suele definir el d_{10} como el diámetro eficaz y la relación d_{60}/d_{10} es el llamado coeficiente de uniformidad; si $d_{60}/d_{10} > 2$, se considera que es variable.

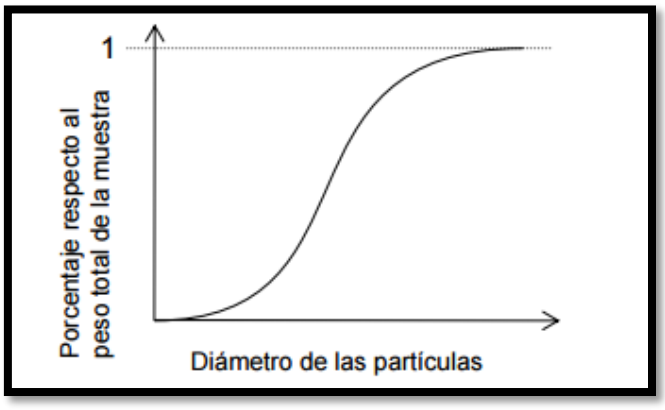


Figura 2. Curva acumulativa
Fuente: Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea, 2009

A un suelo uniforme también se le denomina mal clasificado ya que no contiene variedad de tamaños de partículas, a efectos edafológicos.

Materia líquida

El agua precipitada cuando llega al suelo, puede circular superficialmente, o puede infiltrarse. El agua en el suelo o subsuelo puede clasificarse en varias categorías o tipos en función de su grado de retención al suelo:

- Agua higroscópica: es el agua que forma una película alrededor de las partículas del suelo aislándolas, y queda adherida a ellas por las fuerzas de adsorción. No se mueve por efecto de la gravedad y no es una agua extraíble por las raíces de las plantas, ya que la fuerza de succión de éstas es inferior a la fuerza de retención del agua en el suelo. Varía desde 15 a 18% para arenas finas o medias, hasta 0,2 a 0,5% para arenas gruesas.
- Agua pelicular: es el agua que envuelve al agua higroscópica y a las partículas, y llena los microporos. Esta agua no transmite la presión hidrostática, no puede desplazarse por el efecto de la gravedad y sólo puede extraerse por centrifugación. El porcentaje en los suelos de este tipo de agua varía desde 40 a 45% para arcillas y hasta 3 a 1,5% para las arenas (valores tomados de Heras, 1972).
- Agua capilar: situada en la zona inmediatamente por encima de la superficie piezométrica, transmite la presión hidrostática, llena los poros y está retenida por las fuerzas capilares. Puede elevarse por encima de la superficie piezométrica y mantenerse en equilibrio en los intersticios de las rocas por la tensión superficial. Puede dividirse en 2 subtipos:
  - Agua capilar aislada: ocupa sólo una parte de los huecos en la zona superior de la capa acuífera, la otra parte de los huecos contiene aire y vapor de agua.
  - Agua capilar continua: se sitúa en la zona por debajo de la anterior ocupando la totalidad de los poros e intersticios capilares y está afectada por la gravedad.
- agua gravífica o agua libre: es la parte del agua infiltrada que se desplaza libremente por efecto de la gravedad a través de los huecos del terreno. Cuando desciende y alcanza un límite impermeable, esta agua continua circulando libremente a través de los poros pero por efecto de los gradientes piezométricos, constituyendo así el agua subterránea que puede extraerse mediante la construcción de pozos.

1.1.2 Propiedades y parámetros del Suelo

1.1.2.1 Clasificación textural de suelos

Los suelos son materiales granulares con contenidos variables de materia orgánica. Existen diversos criterios de clasificación. Los más útiles, desde el punto de vista de estimación de las propiedades hidráulicas, son los criterios de clasificación en función de su textura. La textura del suelo viene dada por su composición en términos granulométricos.

Las clasificaciones útiles de suelos se obtienen a partir de los porcentajes granulométricos, añadiendo varias veces el porcentaje de materia orgánica (que afecta mucho la retención de agua) y la plasticidad de la arcilla. (Ver Figura 3)

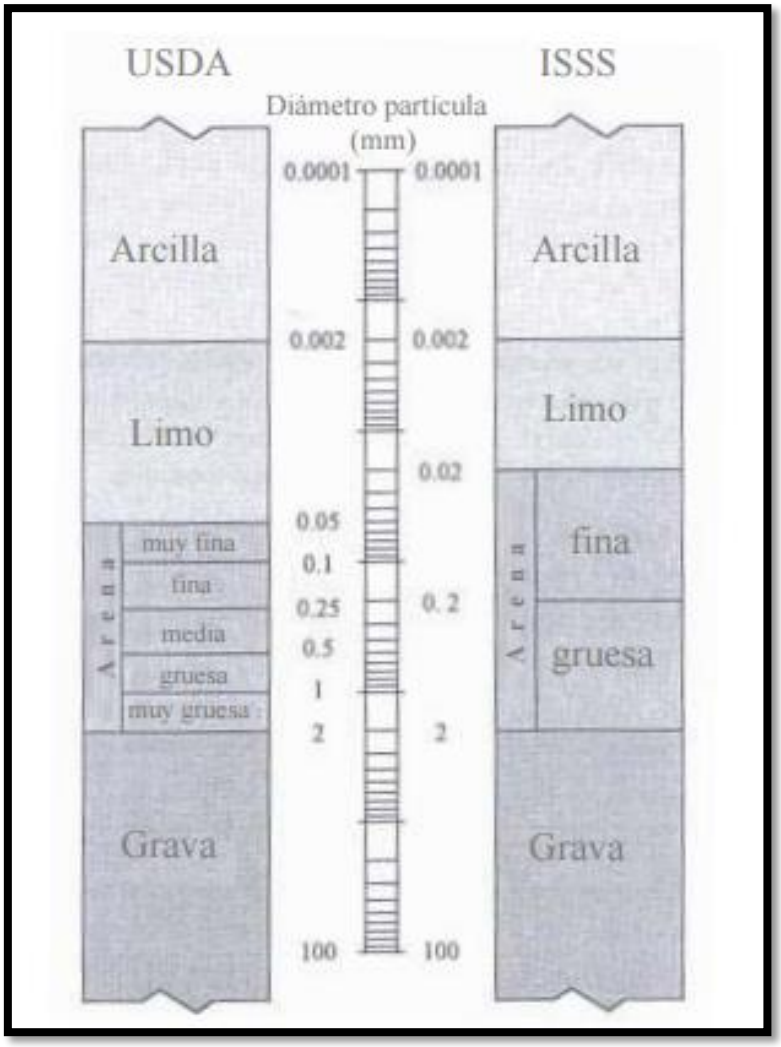


Figura 3. Clasificación de granulometría según USDA y ISSS (Haverkamp et al, 1999). Arcilla (Clay, C), Limo (Silt, Si), Arena (Sand, S), Grava (Gravel, G).
Fuente: Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea, 2009

Otra clasificación del suelo a partir de la plasticidad, es la granulometría del suelo ya que nos permite obtener valores de la capacidad de campo y punto de marchitez necesarios para calcular el balance de agua del suelo.

Dentro de esta clasificación, para la determinación de la textura, se usa un Diagrama Textural de la USDA siendo su traducción en español: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Este diagrama es una herramienta para determinar las clases texturales en función de los porcentajes de arcilla, limo y arena. (Ver Figura 4).

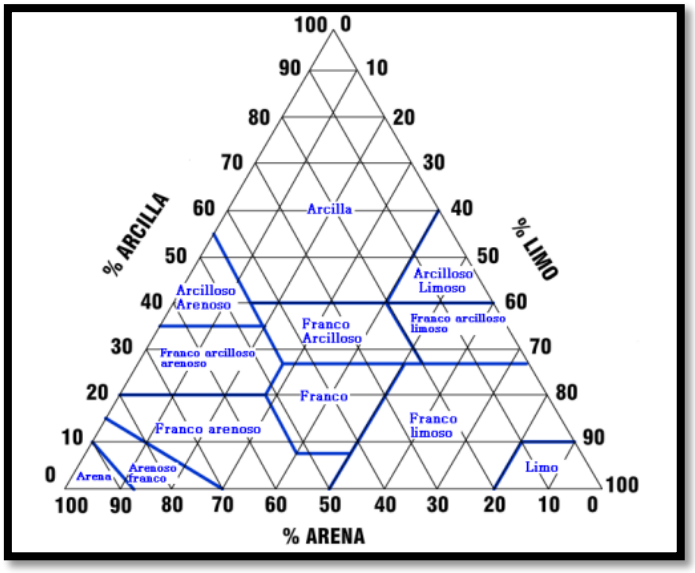


Figura 4. Clasificación de suelos según granulometría (Haverkamp et al, 1999). Arcilla (Clay, C), Arcilloso Limoso (Silty Clay, SiC), Arcilloso Arenoso (Sandy Clay, SC), Franco Arcilloso (Clay Loam, CL), Franco Arcilloso Limoso (Silty Clay Loam, SiCL), Franco Ar

Fuente: Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea, 2009

1.1.2.2 Porosidad

Una parte muy significativa del proceso que transforma la roca en el suelo consiste en el ahuecado y disgregación del material, con lo cual aparecen poros en la masa. Estos reciben a veces el nombre de espacios vacíos, aunque es un error pues contienen agua y aire. En ausencia de poros, el suelo no sería un medio adecuado para la vida vegetal.

El volumen de los poros es compartido por aire y agua en proporciones que varían con las condiciones de humedad o sequedad del suelo. En general los poros mayores contienen aire, a menos que el suelo se encuentre completamente inundado, y los poros pequeños contienen agua, a menos que el suelo sufra una intensa desecación[4]. (Thompson & Troeh, 1980)

Los suelos arenosos suelen tener menor volumen de poros que los de textura fina, pero casi siempre están bien aireados. Esa buena aireación resulta que en tales suelos la mayoría de los poros son lo bastante grandes para permitir el drenaje del agua que penetra en ellos. Tal circunstancia asegura una adecuada circulación del aire, que solo deja alcanzar a un pequeño volumen de poros aislados. Naturalmente, esa facilidad con que los suelos arenosos pierden el agua significa que poseen escasa capacidad de almacenamiento hídrico para las plantas.

Los suelos franco-arcillosos y arcillosos suelen tener un volumen total de poros muy elevado, pero retienen gran cantidad de agua, incluso en ausencia de restricciones subsuperciales a la percolación[5]. Sus poros son numerosos pero diminutos. A menos que

[4] Una desecación en suelos es el proceso de formación de grietas poligonales en el suelo compacto al perder el agua y la humedad en períodos de sequía. Las grietas de desecación afectan mayormente a los terrenos arcillosos. La contracción de estos suelos puede dar lugar a la formación de grietas de hasta 4 cm de anchura y más de 1 m de profundidad.

[5] Es el proceso de filtración del agua a las capas profundas del terreno.

exista una buena estructura, la mayoría de los poros de estos suelos poseen un diámetro menor que el espesor de la película de agua que puede retenerse alrededor de cada partícula de suelo. Incluso los escasos poros grandes presentes pueden permanecer aislados de la circulación de aire, porque sus vías de conexión se hallan constituida por poros pequeños que permanecen llenos de agua durante gran parte del tiempo.

1.1.2.3 Consistencia

La cohesión que mantiene unidas a las partículas formando agregados o tormos, recibe el nombre de *consistencia* de suelos. Según el contenido en agua, la consistencia puede expresarse en términos de dureza, firmeza, plasticidad o pegajosidad. Una descripción completa de la consistencia del suelo requiere comprobaciones en estado, seco, húmedo y mojados, de manera que pueda evaluarse en todas estas escalas. Generalmente, las escalas se utilizan sobre una base cualitativa o semicuantitativa más que totalmente cuantitativa.

Un suelo seco puede ser suelto, flojo, ligeramente duro, duro, muy duro o extremadamente duro. Estos términos no describen únicamente la dificultad de romper un pequeño tormo, sino que también indican la resistencia a la penetración de las raíces y el esfuerzo necesario para cultivar o excavar el suelo. Por lo general la mayor riqueza en arcilla proporciona dureza al suelo porque las partículas de ésta se adhieren entre sí y a las partículas de arena o de limo. Otros factores que influyen en la dureza son el tipo de arcilla, el empaquetamiento de las partículas del suelo, así como diversas relaciones químicas y biológicas. (Thompson & Troeh, 1980)

Tanto la plasticidad como la pegajosidad se evalúan cuando el suelo está prácticamente saturado con agua. Plasticidad es la capacidad de adquirir y mantener una nueva forma cuando se aplica una presión y a continuación se retira. Los suelos plásticos pueden clasificarse en ligeramente plásticos, plásticos o muy plásticos según la presión necesaria para deformarlos en estado húmedo. El aumento de plasticidad se halla correlacionado con el incremento del contenido de arcilla.

La pegajosidad es una medida de la tendencia del suelo húmedo a adherirse a otros objetos. Los suelos muy arenosos no son pegajosos. Un mayor contenido de arcilla hace que el suelo sea ligeramente pegajoso, pegajoso o muy pegajoso. Cuando el contenido hídrico desciende por debajo de la capacidad de campo o supera la saturación, desaparece la pegajosidad. Los suelos ricos en arcilla son pegajosos y plásticos a lo largo de un amplio intervalo de contenidos hídricos y exhiben un grado mayor de ambas cualidades que los suelos arenosos. Ciertos suelos son tan pegajosos y plásticos que impiden el trabajo de las máquinas y vehículos durante los períodos húmedos.

1.1.2.4 Color

El color es una de las características más perceptibles del suelo y es importante porque está relacionado con el contenido de materia orgánica, el clima, el drenaje y la mineralogía del suelo.

El color natural de la mayoría de los minerales es el blanco o gris claro, aunque existen algunos negros, rojos y de otros colores. Los primeros centímetros del suelo exhiben prácticamente el color de los minerales que los integran, pero los demás se hallan influidos por el humus y compuesto de hierro. Estos dos materiales recubren las partículas

del suelo y determinan su color perceptible. Cuando el suelo ha sufrido la acción microbiana y se ha convertido en humus, los materiales orgánicos quedan divididos y es casi de color negro.

1.2 Concepto de cuenca y sub-cuenca

1.2.1 Definición

1.2.1.1 Cuenca Hidrográfica

Una cuenca hidrográfica se define como un área o superficie del territorio en la que el agua de lluvia que se drena por escorrentía superficial, sale por un mismo y único punto de la red fluvial, situado a la cota más baja (Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea, 2009). A pesar que inicialmente esas aguas proceden de las lluvias, esas aguas afluentes son tanto las que discurren superficialmente como aquellas que, después de una trayectoria subterránea, emergen y se incorporan al flujo superficial antes del punto de control. Existen también las llamadas cuencas subterráneas, que se forman cuando el agua queda atrapada en los estratos del suelo. Ambos tipos de cuencas, quedan delimitados por la línea divisoria de aguas.

La línea divisoria de aguas, también conocida como "El parteaguas", es una línea imaginaria que une los puntos de mayor altura relativa entre dos laderas adyacentes, pero de exposición opuesta, desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión en la zona hipsométricamente más baja. Ante la presencia de precipitaciones y de los flujos o caudales base, el parteaguas permite configurar una red de drenaje superficial que canaliza las aguas hacia otro río, al mar o a otros cuerpos de agua, como los lagos y embalses artificiales y naturales.

1.2.1.2 Cuenca hidrológica

La definición de cuenca hidrológica es más integral que la cuenca hidrográfica. Las cuencas hidrológicas son unidades morfológicamente integrales y además de incluir todo el concepto de una cuenca hidrográfica, abarcan en su contenido, toda la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero como un todo.

1.2.2 Partes de una cuenca

Las cuencas pueden dividirse en diferentes tipos. Por su altitud tenemos:

a. Cuenca alta

Es conocida también como "Cabecera de Cuenca" o "Cuenca de recepción del agua" ya que es la zona en donde se produce la mayor precipitación de las lluvias y en donde nace el río. También es la zona en donde se ubican los glaciares que alimentan de agua a la cuenca en los períodos de fusión glaciar.

b. Cuenca media

Se denomina también "Zona de transporte o escurrimiento" del río principal de la cuenca. Esta zona se caracteriza por una pendiente más pronunciada que las cuencas alta y baja.

c. Cuenca baja

Constituye la zona de acumulación o sedimentación del material transportado por el río y se caracteriza por presentar un relieve aplanado, conocido como llanura aluvial. También se le conoce como *cono de deyección.*

1.2.3 Funciones de una cuenca

Una cuenca cumple las siguientes funciones:

1.2.3.1 Función Hidrológica

- Captación del agua en forma de lluvia, nieve, granizo, etc., que llega a la tierra para formar manantiales, ríos y arroyos.
- Almacenamiento del agua en sus diferentes formas y tiempos de duración.
- Descarga del agua como escurrimiento.

1.2.3.2 Función Ecológica

- Provee diversidad de sitios y rutas a lo largo de las cuales se llevan a cabo interacciones entre las características de calidad física y química del agua.
- Provee sitio para vivir o hábitat para la flora y fauna constituida por los elementos biológicos (con vida) del ecosistema y tienen interacciones entre las características físicas y biológicas del agua.

1.2.3.3 Función Ambiental

- Los árboles y otros vegetales absorben CO_2 (Dióxido de carbono), lo cual contribuye a la reducción del efecto invernadero.
- Contiene bancos o conjuntos de germoplasma (material hereditario que los seres vivos transmiten de una generación a otra).
- Regula la recarga de agua y los ciclos biogeoquímicos (intercambios de elementos que hacen los componentes vivientes y no vivientes de la atmósfera).
- Conserva la biodiversidad.
- Mantiene la pureza y la variedad de los suelos.

1.2.3.4 Función Socioeconómica

- Da recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas que sirven de sustento a la población.
- Constituye un espacio para el desarrollo social y cultural de la sociedad.

El análisis de esta última función, será de gran aporte en la investigación realizada, ya que la cuenca estudiada presenta en los últimos años un importante aporte en cuanto crecimiento económico por las actividades antropogénicas que en ella se desarrollan.

1.2.4 Efectos del clima

El origen de las aguas superficiales y subterráneas en una cuenca es la caída e infiltración del agua de lluvia caída sobre la misma. Dado que la lluvia es un fenómeno meteorológico, es evidente que el conocimiento y caracterización del clima de una zona es un aspecto fundamental en cualquier trabajo de investigación realizado que se va a desarrollar en ella.

Se puede definir el clima como el conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados de la atmósfera y la evolución del tiempo, en el curso de un período suficientemente largo y en un dominio espacial determinado. (Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea, 2009)

Existe una interrelación evidente entre la vegetación y el suelo, pero ésta se encuentra condicionada por el tipo de clima. Así por ejemplo, en las zonas de bosque las

temperaturas mínimas no suelen ser tan rigurosas como en las estepas[6], debido a la fuerte transpiración que producen, hacen disminuir la oscilación térmica. Además, esta gran evapotranspiración puede determinar también un aumento de la precipitación.

El Perú es uno de los países que va a ser muy afectado por el Cambio Climático (CC[7]) por su posición geográfica y por ser un país en desarrollo; sin embargo se cuenta con muy poca información al respecto que respalden programas de ayuda y mitigación, por lo que es necesario hacer una investigación al respecto.

El departamento más afectado del país, será Piura debido a su cercanía de la línea ecuatorial. Las temperaturas de estas regiones ya son elevadas aún sin el cambio climático. La actividad agrícola sería insostenible con temperaturas mayores a las actuales, lo que afectaría el umbral térmico de las plantas, creando problemas en los cultivos.

Los principales cultivos de Piura, aparte del arroz y el algodón, son los de exportación: El mango, el limón y el banano orgánico en la costa y en la sierra el café; cultivos que además de demanda de mano de obra, generan ingresos y divisas, y su importancia se reconoce a nivel nacional. La característica de estos cultivos es que son permanentes, y para la primera producción requieren en promedio de 3 a 4 años y su periodo de vida supera los 20 años.

Estos cultivos requieren fuerte inversión, por ello no es fácil sustituirlos por los costos de inversión incurridos.

Si los efectos del CC se intensifican, las pérdidas serán considerables para los agricultores de este tipo de cultivos de exportación, no sólo por la disminución en la producción sino además por la pérdida de años de inversión.

La climatología, es la ciencia encargada de definir todos los parámetros meteorológicos que pueden definir el clima, y de manera análoga a otras ciencias experimentales, los métodos utilizados en ella son, con mucha frecuencia, de naturaleza estadística, al ser el clima un fenómeno complejo y difícilmente previsible.

En general, se considera adecuado un período de 30 años de datos para poder definir las variables climatológicas de una zona determinada con un mínimo de fiabilidad. Pero en realidad, el rango de años necesario variará según el parámetro evaluado. Así, la variabilidad de la presión es inferior a la de la precipitación. Por esta razón, con unos pocos años bastaría para calcular valores medios de la presión atmosférica, pero no para los de la precipitación, que es mucho más variable.

Del clima, lo de mayor interés es fundamentalmente las consecuencias que producen los fenómenos meteorológicos, más que el análisis de sus causas, pertenecientes al dominio de la meteorología.

---

[6] Vegetación compuesta de plantas aisladas y adaptadas a la sequedad, especialmente gramíneas, que se da en zonas de clima subdesértico, como la pampa argentina, la estepa rusa o la meseta española.
[7] Cambio Climático

Los graves problemas ambientales observados a fines del siglo pasado demostraron que es necesario profundizar los conocimientos sobre el cambio climático e iniciar un análisis integrado de las posibles consecuencias del calentamiento global y desarrollar opciones para hacer frente a sus efectos ambientales y socio-económicos. A partir de los estudios, liderados por el IPCC[8], donde se afirma que el cambio climático es un hecho; como consecuencia delas acciones antropogénicas, y sus efectos por lo menos durarán 100 años.

La actividad directamente afectada por el CC es la agricultura, los cultivos son sensibles a las temperaturas y a las precipitaciones, manifestaciones principales del CC. Estos efectos en la agricultura no serán homogéneos en todas las regiones del planeta. Mientras que en las regiones montañosas y del ártico se elevará la cantidad de tierra cultivada, en las regiones tropicales decrecería la productividad agrícola ante una reducción de la humedad del suelo. (CEPA, 2010)

Cambio Climático Global: El Cambio Climático Global (CCG) fue definido por la convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático como "el cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables".

Una de las principales causas subyacentes del CCG es el incremento de forma artificial de las emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, provocando el aumento de la temperatura media, a raíz de lo cual retiene más calor y de esa manera se produce el Calentamiento Global.

1.3 Uso más comunes referidos a la interacción agua-suelo

La investigación de las interacciones roca-agua comprende múltiples facetas. El equilibrio químico, la cinética de las reacciones y los mecanismos que condicionan el transporte en medios porosos a través de superficies reactivas se presentan acoplados. Su estudio debe perseguir determinar soluciones posibles que contribuyan a representar diferentes momentos en la evolución de las rocas y de los fluidos asociados en los ambientes superficiales de la corteza terrestre.

Los impactos inducidos por la actividad humana provocan cambios importantes en los escenarios de la evolución geoquímica, con relevancia especial si pueden ocasionar la degradación de la biosfera. El entierro de residuos de todo tipo y los propios elementos constructivos instalados en los lugares de depósito conllevan la perturbación del sustrato geológico. Es necesario entonces llevar a cabo estudios que permitan predecir la evolución a medio y largo plazo de estos sistemas. Su objetivo es aportar criterios que garanticen la seguridad de los depósitos de residuos y contribuyan a preservar un entorno para generaciones futuras.

Así mismo, los procesos de interacción agua-medio (suelo), determinan su evolución composicional en una serie de procesos dinámicos que se desarrollan a distintas velocidades, tanto en el espacio como en el tiempo, por tanto, la composición del agua subterránea debe ser referida a un lugar y un período determinado.

[8] IPCC: Grupo Gubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, por sus siglas en inglés.

En este apartado, se tomarán los sectores más importantes en los cuales ocurre una interacción directa de ambos medios y de los cuales podrían generarse un mayor impacto entre ambos.

A. Sector Agrícola

La mayoría de las especies vegetales obtienen el agua del suelo. El agua se mueve a través del suelo, penetra al interior de las raíces y pasa al área de la planta desde donde casi la totalidad pasa a la atmósfera por el proceso de transpiración. En su conjunto, el agua del suelo, planta y atmósfera constituye un continuo en el que ésta se desplaza de acuerdo a gradientes de energía. El proceso es de naturaleza física en el sentido de que no utiliza en forma directa la energía metabólica de la planta. (Acevedo, 2000)

El estado hídrico de las plantas, dentro de cierto límite, es el resultado del intercambio de agua entre dos fuentes principales, el agua del suelo y de la atmósfera.
Si la planta pierde más agua a la atmósfera que la que absorbe, se produce un déficit hídrico.

El suministro de agua a las plantas se produce a través de una interacción entre el sistema radicular[9] y el agua del suelo. La tasa de crecimiento radicular, las características del sistema radicular y las propiedades hidráulicas del suelo, constituyen factores importantes que afectan el proceso de absorción. La forma en que intervienen estos factores ha sido objeto de investigación intensa durante los últimos quince años.

Un aspecto importante que se debe tener en cuenta dentro de la interacción de este sector es el crecimiento radicular de la planta, pues está determinado por factores genéticos y del medio. Entre los factores del suelo destacan las propiedades físico - químicas del suelo, además de las variables que afectan el desarrollo aéreo del cultivo. Estas últimas pueden alterar drásticamente el crecimiento de las raíces debido a su dependencia de los productos de fotosíntesis proporcionados por la parte aérea. De la misma manera, se debe mencionar la importancia de analizar la interacción entre un sistema radicular en crecimiento y el agua del suelo que fluye hacia el sistema radicular. En otros términos, el punto en cuestión es si el agua del suelo es fundamentalmente interceptada por las raíces en crecimiento o, por el contrario, ésta esencialmente fluye hacia las raíces. Esta interrogante adquiere máxima relevancia en caso de plantes anuales que crecen bajo condiciones de secano o bien se dé un pre riego y donde el suministro de agua a la planta puede o no llegar a depender de la tasa de crecimiento radicular.

B. Sector construcción

Mayormente cuando se va a construir una estructura en el terreno, este generalmente se encuentra en condiciones naturales, por lo tanto, el ingeniero civil en su mayoría debe prever la interacción entre la estructura, el suelo y el agua, pues dependiendo de lo que vaya a cimentar en dicho terreno, se debe tomar en cuenta las relaciones de las diversas interacciones que existan. Así mismo, porque en este, el suelo cumple muchas veces la función de material de construcción.
Cuando el suelo tiene un contenido de humedad determinado, el agua se encuentre llenando los poros más pequeños, por cuanto los grandes son los primeros que se vacían debido a que estos poros retienen el agua a menor presión.

[9] Conjunto de raíces de una misma planta

Hay presencia de dos tipos de fuerzas que ayudan al suelo a retener el agua. Una de estas lo constituye la atracción que se ejerce desde las superficies de las partículas del suelo para con las moléculas de agua, conocida como Fuerzas de Adhesión, y la otra, es la atracción que existe entre las moléculas de agua denominada Fuerzas de Cohesión. (Murillo, 1990)
Estas fuerzas actúan conjuntamente y hacen posible que las partículas del suelo retengan el agua y a su vez controlen su movimiento y utilización. Usualmente para medir la fuerza con la que el agua es retenida en el suelo, se utilizan las unidades de presión, expresadas en pascales (Pa) o múltiplos del mismo. También se expresa en cm o mm de columna de agua.

1.3.1 Casos de Interacción agua-suelo

A continuación se hace referencia a ejemplos donde se puede apreciar los usos entre el agua y el suelo en las diversas ramas que se presentan.

CASO: Interacción planta-suelo-agua en un bosque mediterráneo

El conocimiento de las interacciones que se establecen entre las plantas y los suelos sobre los que se desarrollan es esencial para comprender el funcionamiento de los ecosistemas y poder prever su respuesta ante el cambio global. En este estudio se abordó el estudio de las interacciones ecológicas entre el suelo y las especies forestales de los bosques mediterráneos con el objetivo de conocer los mecanismos subyacentes a estas interacciones, elucidar posibles procesos de retroalimentación y comprender cómo estos dos componentes gobiernan conjuntamente el funcionamiento del ecosistema. Para ello se realizaron trabajos descriptivos y experimentales en condiciones de campo. Los estudios se desarrollaron en El Parque Natural “Los Alcornocale”, aproximadamente 170 000 ha y su vegetación está dominada por un bosque mixto de alcornoque y quejigo moruno.

CASO: ROCA-AGUA en barreras naturales e ingeniería. Hormigón, bentonita y otras arcillas.

El hormigón y la bentonita (normalmente montmorillonítica) cumplen una función de barreras compuesta en el almacenamiento de residuos radiactivos en rocas arcillosas. En contacto con el agua generan un gradiente de pH impuesto por la reactividad de los dos materiales. Los equilibrios de solubilidad de las fases minerales combinados con el intercambio catiónicos regulan el pH entre 14-12.5 (hormigón) y 9-7 (bentonita). Las reacciones que tienen lugar son función de equilibrios locales en la superficie del hormigón ya que este es el material más reactivo en disolución acuosa. Inicialmente las agua de poro de un hormigón convencional (OPC), contienen hidróxidos de potasio y sodio a pHs mayores a 13. En este ambiente se produce la disolución de la montmorillonita acoplada con la precipitación de zeolitas y la formación, en la interfase con el hormigón de geles C(A)SH (silicato de aluminio, calcio hidratado), brucita y/o arcillas magnésicas. Esta etapa es corta ya que la reserva de hidróxidos alcalinos es limitada. Posteriormente y durante largo tiempo el sistema permanece controlado por la reacción entre la portlandita ($Ca(OH)_2$), los geles CASH y la propia bentonita a pHs menores que 12. La evolución temporal de estas reacciones depende de diversos factores como la velocidad de corrosión del hormigón, la importancia de las reacciones de carbonatación o las variaciones acopladas y la porosidad en los materiales.

Capítulo 2
Marco Teórico

2.1 Aspectos Geológicos e hidrológicos generales

La enorme variabilidad de la naturaleza se manifiesta también en la gran diversidad de medios geológicos existentes. Los distintos tipos de materiales geológicos, generados por procesos de formación muy diversos y sometidos con posterioridad a procesos de modificación exógena[10] o endógena[11], configuran una características del terreno muy variadas tocante al almacenamiento y a las propiedades del flujo de las aguas subterráneas que lo atraviesan, así como de la evolución de su composición química e isotópica por interacción con el terreno.

En forma general la costa está formada por terrazas de origen marino, planicies de relleno aluvial y cerros bajos, y presenta una sucesión de valles más o menos angostos y fértiles, cultivados separados por tierras áridas cubiertas por arena eólica. (Miranda, 1969)

El noroeste del país puede dividirse en las siguientes provincias geológicas:

a. Cordillera Andina: montañas plegadas, elevadas, que exponen rocas paleozoicas, mesozoicas y terciarias.
b. Depresión Para andina: faja de depresiones estructurales y topográficas localizada entre la cordillera andina y la zona de macizo occidental, comprende el Sinclincrium Lancones formado de rocas cretácicas y el Desierto de Sechura.
c. Zona de Macizo Occidental: alternancia de bloques hórsticos grabénicos que exponen rocas metamórficas e ígneas paleozoicas y rellenos sedimentarios del eoceno superior y más reciente. Incluye los cerros de Amotape, La Brea y Pariñas, Cerro de Paita, Illesacas y las islas de Lobos de Tierra y Lobos de Afuera.
d. Repisa Occidental: Parte occidental de la costa emergida en el borde occidental al norte de Paita; consistente en sedimentos del Cretácico Superior y del Terciario suprayacente sobre basamento paleozoico, caracterizada por fallamiento de bloque intenso.

[10] Son producidos por agentes externos, que no ejercen presión interna, pero que afectan y modifican el relieve terrestre a través de procesos como fuerza de gravedad, agua, hielo, etc.

[11] Son manifestaciones de la actividad interna de la Tierra, que al fragmentar las rocas que componen la Litosfera, originan elevaciones, depresiones, sismos, actividad volcánica, entre otros fenómenos. La forma de manifestarse más común es el vulcanismo o magmatismo y el tectonismo.

En el Triásico se establece un patrón de deformación y comparación característico del Geo-Anticlinal peruano.

Al iniciarse el Mesozoico, el sistema montañoso originado en el geoanticlinal paleozoico por la orogenia Herciniana-Apalachana, la parte noroeste del país estuvo emergida hasta el Triásico Superior-Jurásico Inferior en que se hundió formado el Geoanticlinal Peruano occidental, quedando en la parte occidental, quedando en la parte occidental, actual faja costanera, un arco de islas; precisamente en esta zona se produjo el mayor hundimiento, acumulándose grandes espesores de volcánicos, mientras que hacia el Este se depositaron carbonatos. El mismo patrón de subsidencia continuó después de la interrupción de la sedimentación debido a la orogenia Jurásica Superior (Nevadiana), durante el período Cretáceo hasta el Santoniano Campaniano.

A continuación comenzó el plegamiento de la faja eusinclinal, retirándose los mares del geosinclinal, mientras que la zona del arco de islas comenzó a fraccionarse formando hors y brabenes, prolongándose esta situación a las cuencas terciarias.

Así vemos que sobre el complejo basal de la costa y sobre los sedimentos mesozoicos se han producido formaciones cuaternarias aluvionales que constituyen acuíferos muy importantes y de fácil desarrollo.

De esta manera, para efectos hidrogeológicos la costa del norte del país presenta tres tipos de rocas caracterizadas geológicamente en la capacidad de almacenamiento que por su naturaleza poseen. Estos tipos de rocas se distribuyen en:

- Áreas aluvionales.
- Áreas sedimentarias.
- Áreas de rocas cristalinas.

En las áreas aluvionales está localizado el Valle del Chira, junto con otros como lo son los valles de los principales ríos: Zaña, Chancay, La Leche, Alto Piura y Tumbes; los que poseen extensiones relativamente pequeñas, pero almacenadoras de abundante agua en buenas condiciones, pudiendo ser beneficiada por medios de pozos de poca profundidad.

Geológicamente, la cuenca del Chira está constituida por rocas metamórficas e ígneas, paleozoicas y hasta probables Precambriano, sobreponiéndose el Cretáceo. Estructuralmente, conforma bloques tipo horst con graben rellenados por sedimentos terciarios. Así mismo existen evidencias del vulcanismo submarino caracterizados por sedimentos calcáreos que representan un rasgo geoquímico importante tal como se presentará en los siguientes capítulos.

En cuanto a la hidrología de la cuenca, se puede decir que de los 52 ríos existentes en la Costa Peruana, los cuales descargan anualmente una masa de 40 000 millones de m^3 de agua entre los meses de enero y marzo, en la época de estiaje comprendidos entre los meses de junio a diciembre, solo 8 de ellos muestran en esta época una descarga regular, encontrándose dentro de ellos el río Chira. (Corporación, 1986) . Además la cuenca presenta un régimen de precipitaciones bastante específico, que incluso en la zona de la cuenca de clima seco ocurren lluvias de gran intensidad.

Estadísticamente se ha encontrado que las mayores crecientes de caudales coinciden con el Fenómeno El Niño, siendo los más fuertes en 1983 y 1998, ambos considerados "MEGANIÑOS"[12]. La consecuencia directa de las grandes lluvias es la erosión de la cuenca. Así por ejemplo, en la cuenca Catamayo-Chira la relación entre la Erosión Específica máxima y la Erosión Específica media es casi de 9:1 ya la relación entre la Erosión Específica máxima y la mínima es de 360:1. Estos notables contrastes explican muchos aspectos del comportamiento sedimentológico de la cuenca. (Autoridad Autónoma Cuenca Hidrográfica Chira - Piura. Comité Interinstitucional, 2007)

Por otro lado, el Sistema del Río Chira se puede interpretar como un curso mandriforme con baja sinuosidad, el cual con creciente aportación asigna el crecimiento de entrecruzamiento, que se demuestra por el aumento de la latitud del lecho, disminución de sinuosidad y acumulación de sedimentos en forma de bancos interechosos.

2.2 Parámetros geomorfológicos

Para el estudio y determinación de los parámetros geomorfológicos se precisa de la información cartográfica de la topografía, del uso del suelo y de la permeabilidad de la región en estudio. Los planos para estos análisis son usados en escalas desde 1:25.000 hasta 1:100.000, dependiendo de los objetivos del estudio y del tamaño de la cuenca en cuestión. Se podría decir que para cuencas de un tamaño superior a los 100 km^2 un plano topográfico en escala 1:100.000 es suficiente para las metas pretendidas en el análisis general del sistema de una cuenca. Obviamente, los trabajos tendientes a un mismo estudio regional deberán efectuarse sobre planos de una misma escala y preferiblemente que hayan sido elaborados bajo los mismos criterios cartográficos. De esta forma se podría contar con resultados homogéneos que podrían ser comparados en estudios posteriores al estudio mismo de las cuencas.

Toda cuenca en estudio debe estar delimitada en cuanto a su río principal tanto aguas abajo como aguas arriba. Aguas abajo idealmente por la estación de aforo más cercana a los límites de la cuenca en que se está interesado. (Siendo el punto de la estación el punto más bajo en el perfil del río y en el borde de la cuenca de interés). Aguas arriba por otra estación que sea el punto más alto en el perfil del río donde se incluya el área en estudio, o por las cabeceras del río si es el caso del estudio de la cuenca desde el nacimiento.

Las características geomorfológicas que se van a estudiar en este capítulo son las siguientes: Área, perímetro, pendiente promedio de la cuenca, longitud del cauce principal y el desnivel altitudinal.

2.1.1 Área de la cuenca (A)

El área de la cuenca es probablemente la característica geomorfológica más importante para el diseño. Está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural.

Es de mucho interés discutir un poco sobre la determinación de la línea de contorno o divisoria de la cuenca. Realmente la definición de dicha línea no es clara ni única, pues puede existir dos líneas divisorias: una para las aguas superficiales que sería la topográfica

[12] Denominación dada a las elevadas precipitaciones ocurridas en 1983 y 1998.

y otra para las aguas subterráneas, línea que sería determinada en función de los perfiles de la estructura geológica, fundamentalmente por los niveles impermeables (Figura 5.)

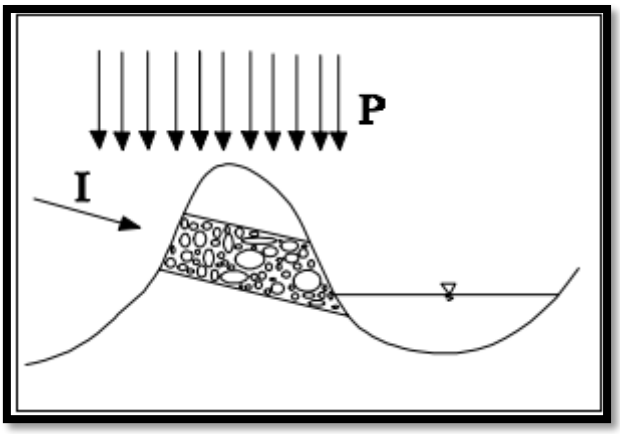


Figura 5. Divisoria de aguas superficiales y de aguas subterráneas.
Fuente: Capítulo 4 del libro Geomorfología de Cuencas

Para su cálculo se puede usar papel milimetrado o un planímetro, pero también es posible determinarla por medio de herramientas informáticas, para lo que es necesario disponer de una base cartográfica digital y de un SIG (ArcView, ArcGIS, etc.) o un programa de dibujo asistido por ordenador (ACAD, etc.). Para fines de esta tesis, se ha trabajado mediante el uso de SIG (Arc View y Arc Map). El área de la cuenca en estudio será presentada en el ANEXO 2-A2 en un plano con su respectivo valor en km^2.

El área es un parámetro geomorfológico muy importante. Su importancia radica en las siguientes razones:

a) Es un valor que se utilizará para muchos cálculos en varios modelos hidrológicos.
b) Para una misma región hidrológica o regiones similares, se puede decir que mayor área, mayor caudal promedio.
c) Bajo las mismas condiciones hidrológicas, cuencas con áreas mayores producen hidrógrafas con variaciones en el tiempo más suaves o más llanas. Sin embargo, en cuencas grandes, se pueden dar hidrógrafas picudas cuando la precipitación fue intensa y en las cercanías, aguas arriba, en la estación de aforo.
d) El área de la cuenca se relaciona inversamente con la relación de caudales extremos.

2.1.2 Longitud del cauce principal (L) y perímetro (P)

La longitud L de la cuenca viene definida por la longitud de su cauce principal, siendo la distancia equivalente que recorre el río entre el punto de desagüe aguas abajo y el punto situado a mayor distancia topográfica aguas arriba.

Al igual que la superficie, este parámetro influye enormemente en la generación de escorrentía y por ello es determinante para el cálculo de la mayoría de los índices morfométricos.

En cuanto al perímetro de la cuenca, P (Figura 6) informa sucintamente sobre la forma de la cuenca; para una misma superficie, los perímetros de mayor valor se corresponden con cuencas alargadas mientras que los de menor lo hacen con cuencas redondeadas.

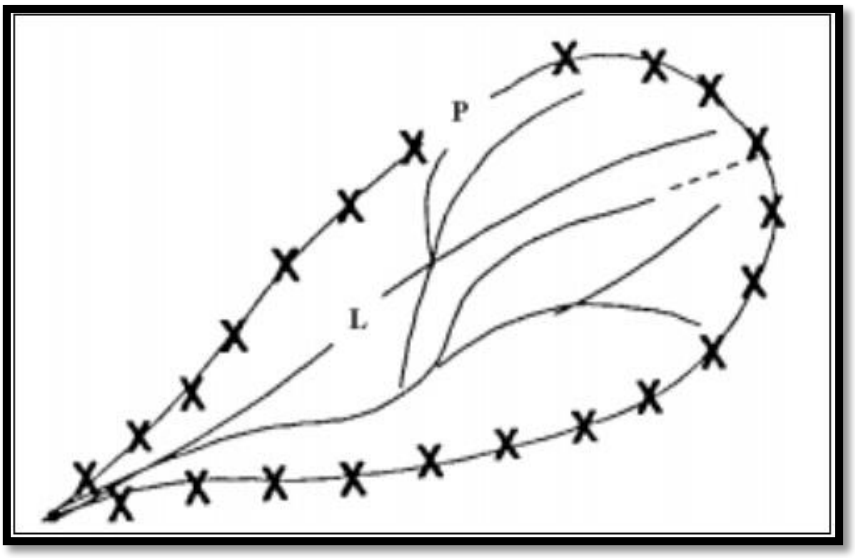


Figura 6. Longitud y perímetro de una cuenca
Fuente: Capítulo 4 del libro Geomorfología de Cuencas

Al igual que el área, si se quiere medir las longitudes de líneas, también resulta sencillo medir con herramientas informáticas, pero usualmente cuando se quiere tener una idea general de estos parámetros se puede hacer en un mapa base con un simple hilo o cordel fino que reproduzca lo más fielmente las sinuosidades del cauce o del perímetro exterior, que normalmente bastará para determinarla con suficiente precisión. La unidad de medida utilizada es el km. En este trabajo de investigación, como se ha calculado el área y la longitud previamente con ayuda de Arc GIS, se tomarán ambos valores para calcular el ancho de la cuenca.

En el anexo A se presentará un mapa con los valores respectivos de los parámetros geomorfológicos.

2.1.3 Desnivel Altitudinal (DA)

Es el valor de la diferencia entre la cota más alta y la más baja de la cuenca. Por lo tanto tenemos:

$$DA = HM - Hm$$

Este parámetro está relacionado con la variabilidad climática y la ecología puesto que una cuenca con mayor cantidad de pisos altitudinales puede albergar más ecosistemas al presente variaciones importantes en su precipitación y temperatura.

2.1.4 Pendiente de la cuenca

La pendiente promedia puede ser encontrada de varias formas. Entre ellas se podrían citar:

- El valor obtenido de dividir la diferencia en elevación entre el punto más alto y el punto más bajo del perfil del río en el cual estamos interesados por la longitud a lo largo del cauce en su proyección horizontal entre los dos puntos antes determinados.
- Con base en el perfil altimétrico a lo largo del río se puede encontrar la pendiente de la recta ajustada a parejas de valores obtenidos en intervalos iguales a lo largo del cauce. Se aplica la técnica de los mínimos cuadrados.
- Por medio de una recta ajustada usando el criterio de la denominada curva de masas. Este método se efectúa ajustando la recta tal que las áreas de corte o positivas y de lleno o negativas sean iguales y mínimas.
- Usando cualquiera de los métodos anteriores pero sin tener en cuenta toda la trayectoria del cauce principal, ignorando por lo tanto de un 10% a un 15% de los tramos extremos (nacimiento y desembocadura).
- Usando herramientas de un Sistema de información geográfica (SIG), tal como se hizo para fines de esta investigación.

2.3 Red de drenaje

El drenaje de una cuenca en síntesis es la forma como es evacuada el agua caída dentro de los límites de esta cuenca.

La rapidez de la evacuación del agua caída sobre una cuenca depende de la conformación de lo que llamaremos Sistema o Red de drenaje, de la pendiente de la cuenca, de la vegetación, de los tipos de suelos así como de su estado de humedad en el momento en que se presenta la lluvia. En lo concerniente a la red está constituida por una serie de cauces naturales por los que el agua discurre en corrientes las mismas que pueden clasificarse en tres tipos. (Castillo, 2012)

Clasificación de las corrientes de una cuenca:

a) Corrientes efímeras, cuando solo llevan agua cuando llueve e inmediatamente después.
b) Corrientes intermitentes, cuando llevan agua la mayor parte del año, sobre todo en épocas de lluvia. La presencia del agua en el cauce es debida al hecho que la napa freática se ubica por encima del fondo del cauce. El aporte de las corrientes intermitentes cesa el nivel freático se ubica debajo del fondo del cauce.

c) Corrientes permanentes, cuando llevan agua todo el año, pues en época que no llueve y aún de cierta sequía conducen agua debido a que el nivel freático se ubica siempre por encima del fondo del cauce.

2.3.1 Tipo de drenajes presentes en la cuenca

El análisis de las redes de drenaje permite estimar la dirección y el buzamiento de las capas rocosas que componen la estructura geológica básica, así como las estructuras de fractura que la afectaron. Además brinda un indicador muy efectivo de la resistencia del suelo y del material rocoso a la erosión.

Dentro de la clasificación de tipos de drenaje, tenemos:

- Forma subdentrítica: Se desarrolla en aquellas áreas donde el curso principal fluye en una zona en la que la pendiente y el control estructural son distintos a los de la zona por la que se desarrollan los tributarios. El área drenada por los tributarios estará cubierta probablemente con sedimentos relativamente resistentes, ofreciendo un control más fuerte que aquel de la zona donde corre el curso principal. (Castillo, 2012). A continuación, se aprecia cómo se desarrolla este tipo de drenaje en una zona del valle. (Ver Figura 7.)

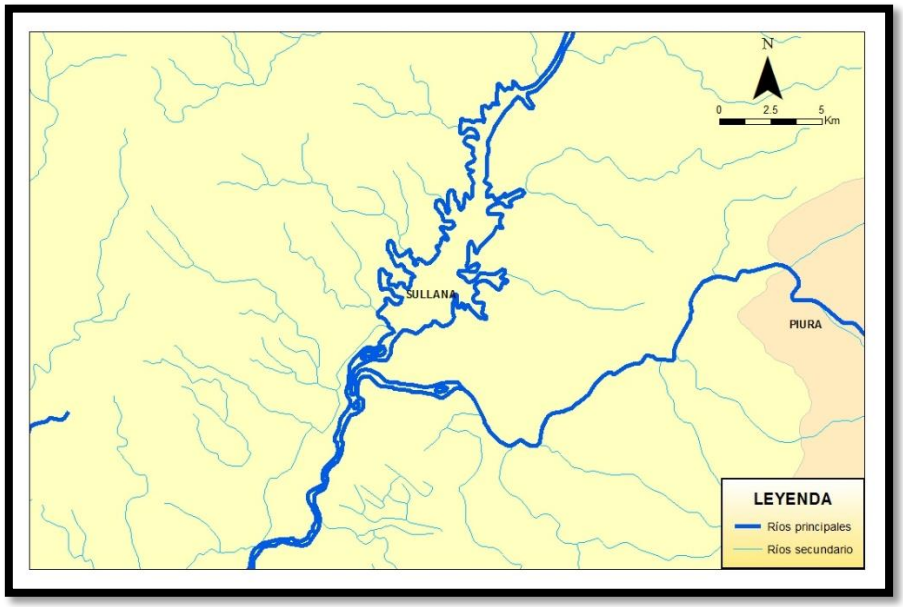


Figura 7. Drenaje Subdentrítico en el Valle del Chira
Fuente: Elaboración Propia

- Forma paralela: En este tipo los tributarios se desarrollan todos paralela o casi paralelamente entre sí, confluyendo con el canal principal formando casi el mismo ángulo, configurando un tipo de drenaje fuertemente controlado, con pendientes importantes. Esta forma indica que una gran falla se extiende a través de una zona fuertemente plegada, formando un cierto ángulo con la dirección de los pliegues. Los tributarios siguen los estratos menos resistentes, mientras el curso principal sigue la

falla. (Castillo, 2012). A continuación se muestra parte de este tipo de drenaje existente en la zona de estudio. (Ver Figura 8.)

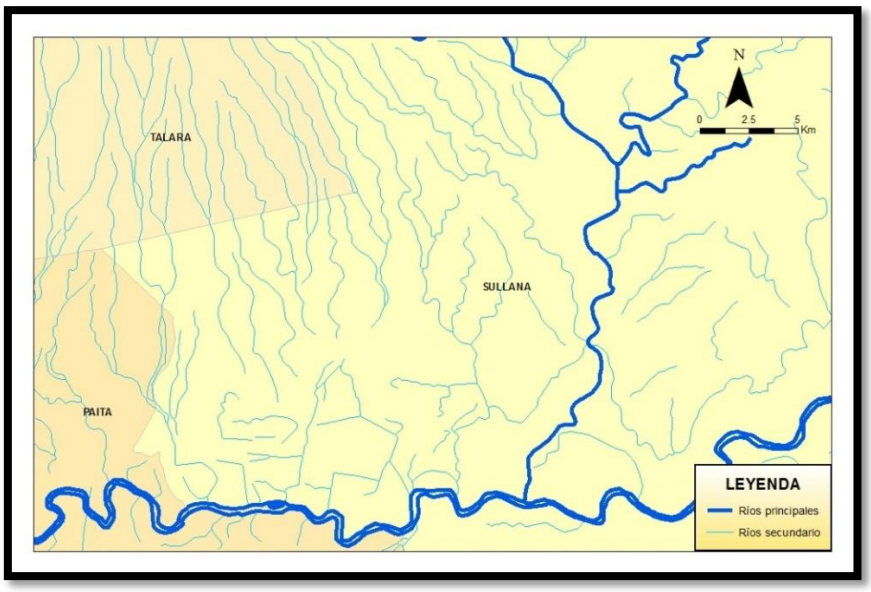


Figura 8. Drenaje Paralelo en el Valle del Chira
Fuente: Elaboración Propia

- Forma desordenada: Esta forma corresponde a drenajes no integrados, inmaduros e irregulares e irregulares. No existe control tectónico. Los valles fluviales son normalmente anchos, con zonas pantanosas o lagunas a lo largo del río. Las cabeceras de la red de drenaje pueden ser de tipo dendrítico. (Castillo, 2012). A continuación se presenta cómo se distribuye este tipo drenaje en el valle. (Ver Figura 9.)

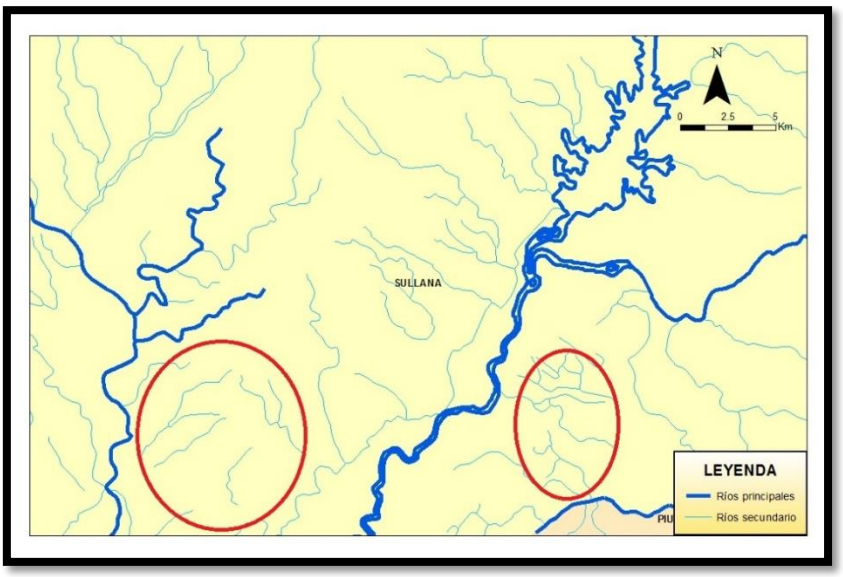


Figura 9. Drenaje desordenado en el Valle del Chira
Fuente: Elaboración Propia

2.3.2 Tipos de sedimentos presentes

Dentro de la cuenca y como se especificará en el siguiente capítulo, se han ubicado 8 puntos distribuidos en las cuencas geológicas Talara y Lancones, de acuerdo a las características: petrográficas, geoquímicas, mineralógicas e hidrológicos, que permitan establecer un conocimiento litológico de las subcuencas y su interacción con el ambiente. (Ver Figura 10).

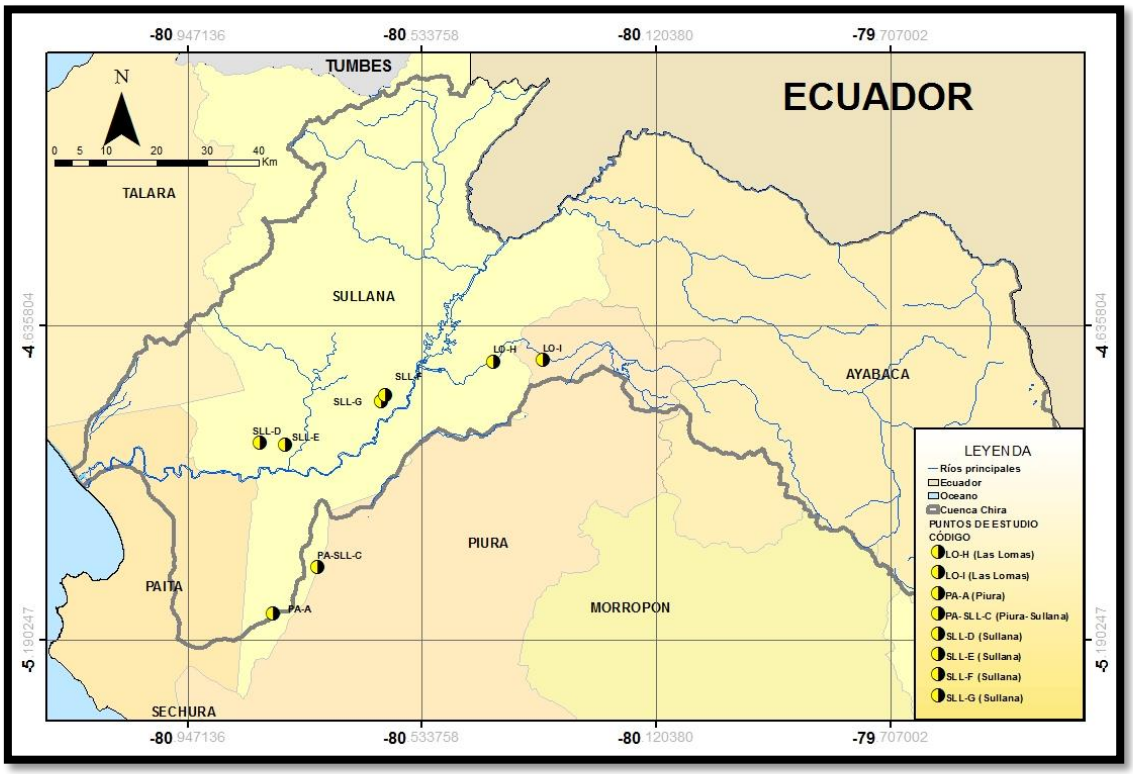


Figura 10. Mapa con los 8 puntos de estudio en la cuenca
Fuente: Elaboración Propia

Las formaciones que comprenden cada uno de las cuencas presentan diferente composición litológica, y dan origen a diferentes tipos de suelo que se ha formado producto de la meteorización física, química y biológica desarrollada en cada zona, los factores de erosión y transporte son también parte del proceso, en la clasificación de sedimentos.

Así el punto de estudio A se ubica en un remanente del Tablazo Talara en estas áreas encontramos gran presencia de Diatomita, el punto C en afloramiento de la formación Miramar, el punto D se ubica en áreas aluviales con desarrollo de un drenaje favorable, el suelo presenta gran cantidad de óxidos y material calcáreo, el punto E se ubica en áreas de cultivo donde aflora la formación Miramar, el punto E se ubica donde aflora la formación Miramar , los puntos F y G comprendidos en depósitos aluviales entre las formaciones Chira y Verdún; las áreas de su entorno presentan depósitos fluviales con desarrollo agrícola, cerca al río Chira , estos puntos forman parte de la cuenca Talara.

Dentro de la cuenca Lancones encontramos el punto H e I ubicados en zona de depósito fluvial, formado por el río Chipillico, presenta afloramientos de Formación La Bocana.

Como parte de la descripción de los tipos de sedimentos presentes en la cuenca, se hace referencia a continuación a cada una de las subcuencas geológicas presentes con los sedimentos que contienen.

A) Cuenca Talara

Esta cuenca es un área geológica muy particular, de origen sedimentario que constituye grandes espesores de sedimentos que se depositaron en ambientes marinos, el área que conforma parte de la investigación se emplaza sobre estratos del eoceno superior, y depósitos cuaternarios con sedimentos provenientes de rocas sedimentarias preexistentes.

Gravas: son sedimentos de provenientes de la erosión de rocas metamórficas que forman arte de la antigua cordillera de la costa de edad paleozoica, estos fragmentos son subangulares, angulares, redondeados y subredondeados, su diámetro varia de 2 a 256 mm aproximadamente.

Arenas: Son producto de la erosión y meteorización de las rocas areniscas de granulometría variada, los sedimentos van desde las partículas más finas a gruesas, están rocas tiene como material cementante sílice en su mayoría, lo que originan sedimentos ricos en sílice.

Limos: Son las partículas más finas, resultado de la meteorización y erosión de rocas sedimentarias. Los depósitos cuaternarios aluviales, fluviales y coluviales se constituyen en su mayoría por limos con menor porcentaje de sílice.

Arcillas: En su mayoría las arcillas se constituyen por minerales ricos en sodio, potasio y aluminio, son las partículas más finas que forman parte de los suelos, están presentes en todos los ambientes sedimentarios. Es la formación Chira donde se observa gran cantidad de arcillas y minerales como el yeso en forma de costras y rellenado venillas entre los estratos.

B) Cuenca Lancones

Gravas: Sedimentos provenientes de la erosión y meteorización de rocas volcánicas y volcanosedimentarias, fragmentos subangulosos de diámetro que varían desde 2 a 256 mm. Se encuentran en los depósitos fluviales y aluviales formando extensas áreas de canteras.

Arenas: Sedimentos de grano medio a fino, de alto contenido de sílice y aluminio. Se observan en depósitos fluviales formados por los ríos y constituyen extensas áreas agrícolas.

Limos: sedimento finos se encuentra in-situ al lugar como también transportados por los agentes erosivos y son los principales constituyentes en áreas agrícolas por retener partículas de minerales que son la principal fuente de alimentación de las plantas.

Arcillas: Las rocas volcánicas en su mayoría se componen de plagioclasas que constituyen a las arcillas, están en su clasificación se diferencia por el porcentaje de sodio, potasio y aluminio que proporcionan ciertos minerales al suelo, también retienen a los minerales de hierro que dan aspecto de coloración rojiza y amarillenta en algunas áreas de suelo poco compacto.

2.4 Introducción de Sistemas de Información Geográfica

2.4.1 Generalidades

Los sistemas de información en la actualidad, han pasado a ser herramientas muy efectivas de la ingeniería y de las ciencias básicas. Ahora, gracias al desarrollo acelerado del mundo de la informática, se han creado numerosos programas con aplicación específica, los cuales enmarcan todo el conocimiento y el estado del arte en las diferentes áreas del saber y los SIG son una prueba de este progreso.

El tratamiento de datos georreferenciados y la computarización de la información se aplica de forma práctica a la resolución de problemas complejos. El gran interés de estos sistemas reside en su capacidad para simplificar datos y análisis de difícil lectura mediante imágenes gráficas que agilizan la comprensión de la información. Los Sistemas de Información Geográfica traen consigo una nueva doctrina que contribuye al análisis, planificación y gestión del territorio.

2.4.2 Concepto de Sistemas de Información Geográfica

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS por las siglas inglesas de Geographic Information Systems) es un sistema computarizado, consistente en la colección organizada de equipos, programas, datos georreferenciados y personal. Todos estos trabajan en conjunto para el almacenamiento, análisis y despliegue de información espacial asociada a una base de datos de atributos. (Chuvieco, 1996), ver Figura 11.

También se definen como una nueva tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar preguntas de modo inmediato.

Existen otras definiciones de SIG, algunas de ellas acentúan su componente de base de datos, otras sus funcionalidades y otra enfatizan el hecho de ser una herramienta de apoyo en la toma de decisiones, pero todas coinciden en referirse a un SIG como un sistema integrado para trabajar con información espacial, herramienta esencial y toma de decisiones en muchas áreas vitales.

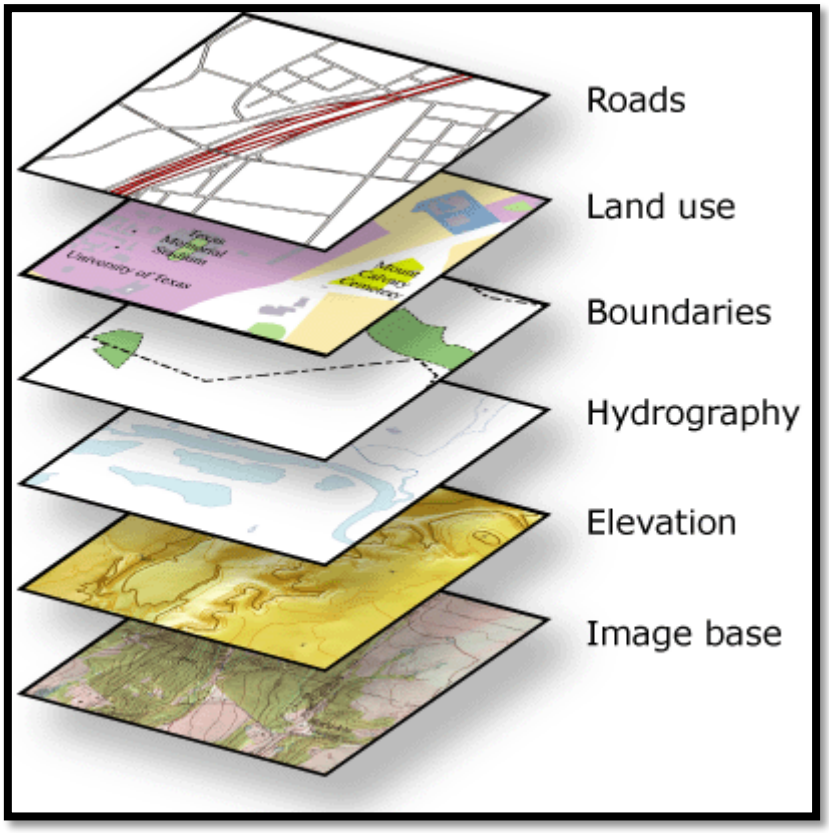


Figura 11. Relación de capas para diferentes datos en un SIG
Fuente: http://www.engargantar.net23.net/129137/analisis-estrategico-de-las-tesis-sobre-areas-protegidas-leidas-en.html.jpg

Si empleáramos una ecuación para resumir los elementos que constituyen el sistema, ver Figura 12, sería como sigue:

$$\mathrm{GIS} = \mathrm{SW} * \mathrm{HW} * \mathrm{DB} * \mathrm{HR} * \mathrm{P}$$

Donde:
SW: Son los programas del computador.
HW: Son los equipos de computación y periféricos.
DB: Es la base de datos con toda la información pertinente.
HR: Es el recurso humano capacitado
P: Son los procedimientos y procesos que se llevan a cabo.

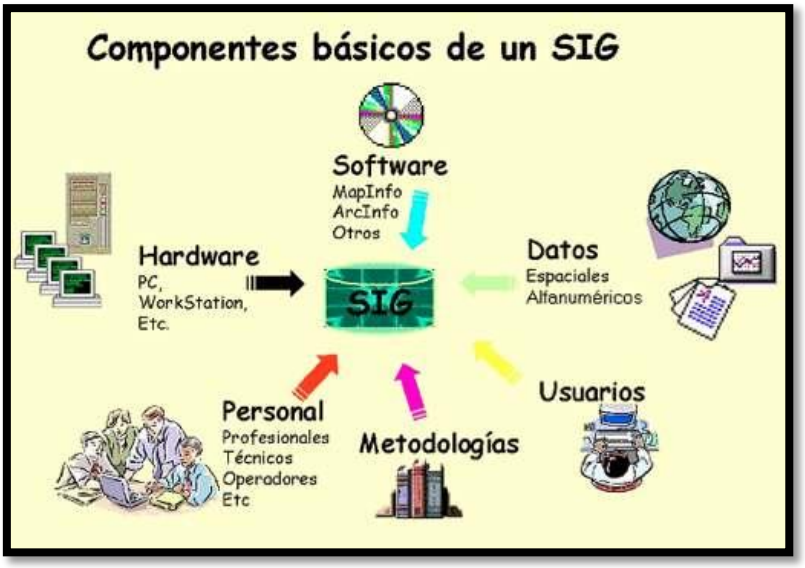


Figura 12. Componentes de un SIG
Fuente: Elaboración Propia

Todos se relacionan mediante el producto algebraico de tal manera que no pueda despreciarse ninguno de ellos, ver Figura 13.

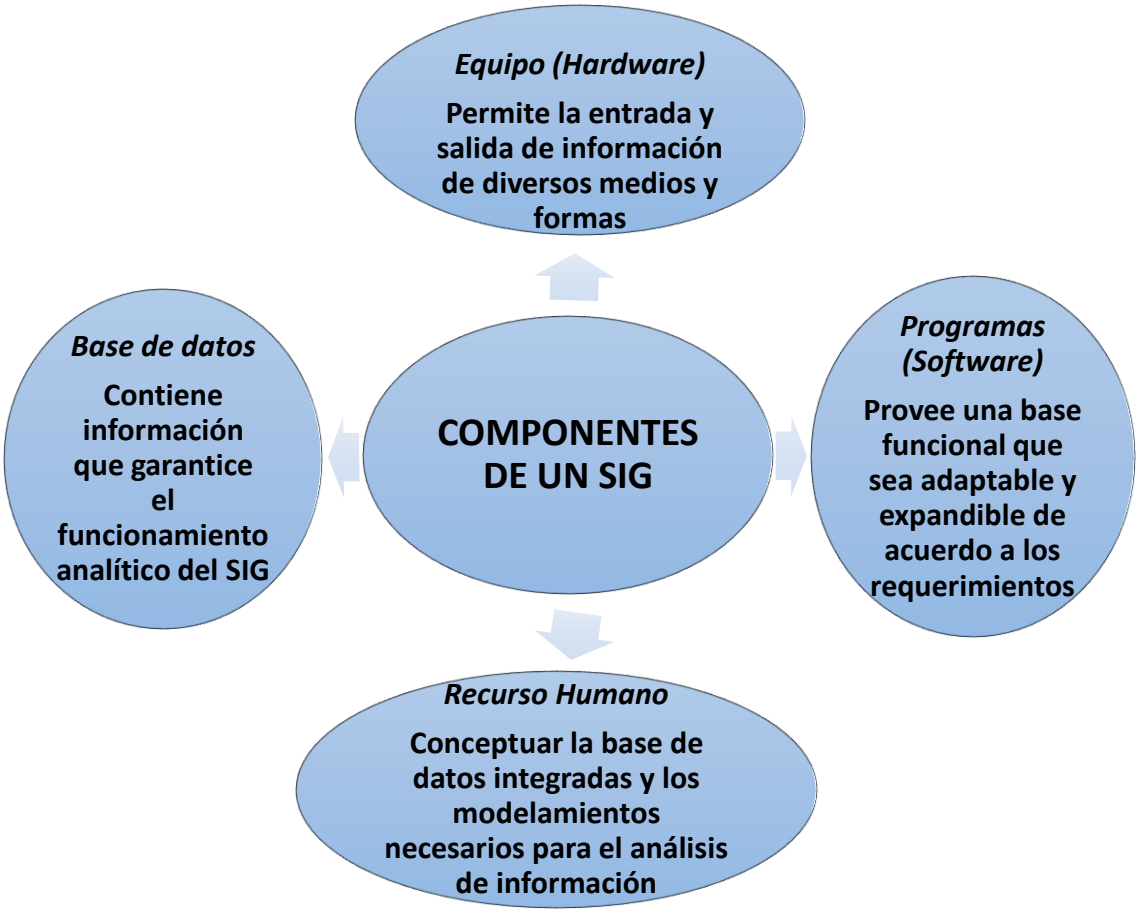


Figura 13. Funciones de los componentes de un SIG
Fuente: Elaboración propia

Usualmente los datos contienen ubicaciones o coordenadas conocidas, a los cuales se le llaman “datos espaciales georeferenciados”. Así mismo, se trabaja mucho con mapas en formato digital, no croquis o esquemas sin escalas ni coordenadas, ni tampoco sólo con dibujos de computadoras, típicos de los programas de diseños (CAD). En estos mapas la información puede ser analizada, modificada, presentada de diversas formas, etc. con una facilidad única de los procesos computarizados. Además de la información cartográfica (el mapa), el SIG maneja una base de datos donde se tienen las diferentes características de los objetos mapeados y a esto se le denomina "base de datos de atributos". De modo que tenemos dos tipos de datos estrechamente integrados: datos geográficos y datos de atributos.

Existen también los datos posicionales, los cuales hacen y dicen dónde está el elemento y los datos topológicos informan sobre la ubicación del elemento con relación a los otros elementos. Los atributos no gráficos dicen qué y cómo es el objeto. El número identificador que es único para cada objeto de la categoría es almacenado tanto en el archivo o mapa de objetos como en la tabla de atributos, lo cual garantiza una correspondencia estricta entre los atributos gráficos y no gráficos.

Un SIG suficientemente sofisticado debe ser capaz de resolver cinco problemas básicos.

- **Localización:** Identifica qué es lo que se encuentra en una localización determinada. La localización puede describirse de varias formas, por ejemplo, por su topónimo, por su código postal o por referencias geográficas como latitud y longitud.
- **Condición**: Requiere un análisis espacial. A diferencia de la primera, en vez de buscar lo que se encuentra en un punto, se necesita un lugar que reúna con ciertas condiciones que se especifiquen (por ejemplo, un terreno que se bosque seco, con 2500 $m^{2,}$ a más de 200 metros de una carretera principal, etc.)
- **Tendencia:** Este parámetro, abarca los dos anteriores, y su solución establece qué diferencias ocurren en un área determinada a través del tiempo.
- **Distribución:** Resuelve qué patrones de distribución espacial existen. Por ejemplo, se plantea determinar si la desnutrición es una causa de mortalidad importante entre los niños que residen en las proximidades de las zonas más altas de un país.
- **Modelización:** Intenta conocer qué pasa en un sistema, cuando ocurre un hecho determinado, por ejemplo, qué sucede si se produce un vertido tóxico en la red de suministro de agua potable.

Es así como los sistemas de Información Geográfica, son de vital importancia para hacer un análisis y toma de decisiones en una determinada región y sobre todo para el desarrollo en el ámbito nacional.

2.4.3 Aplicaciones y usos del suelo

La mayor parte de las actividades que lleva a cabo el hombre tienen una clara componente geográfica. Con frecuencia se tiende a estudiar detalladamente las componentes espaciales de los diversos fenómenos que ocurren a nuestro alrededor y el impacto que

causa en la vida de las personas. Es por eso que la necesidad de información geográfica, así como su interpretación requiere para su manejo herramientas como las que proporcionan los Sistemas de Información Geográfica.

Por lo tanto el uso de los métodos y técnicas de estos sistemas como herramientas idóneas para tratar esa información, se extienden en multitud de ámbitos profesionales, ingenieriles y científicos. Como consecuencia, se genera un impacto sinérgico que enriquece todas las nuevas posibilidades de utilización de dichas herramientas aplicadas al tratamiento de la información geográfica.

2.4.3.1 Aplicaciones al Medio Ambiente

Las aplicaciones al medio ambiente representan el uso más frecuente y el más extendido. Reconocer cuál es el motivo de la proliferación del uso se los SIG para el medio ambiente es complicado ya que significaría encontrar miles de circunstancias que lleva a la aplicación de los sistemas. Un primer intento por delimitar esos motivos nos hace reflexionar acerca del hecho evidente que no existe nada tan "geográfico" como el propio territorio y los elementos físicos que en él se localizan. Es habitual que las relaciones entre los elementos del medio físico alcancen niveles de complejidad muy elevados, por lo que es necesario disponer de herramientas capaces de reflejar y recoger toda esa diversidad. Unido a esto, y como factor realmente clave, encontramos que en la actualidad existe una gran preocupación por todo nuestro entorno, por su estado, por su nivel de conservación y por los recursos que tenemos a nuestra disposición (Comas & Ruiz, 1993), ver Figura 14.

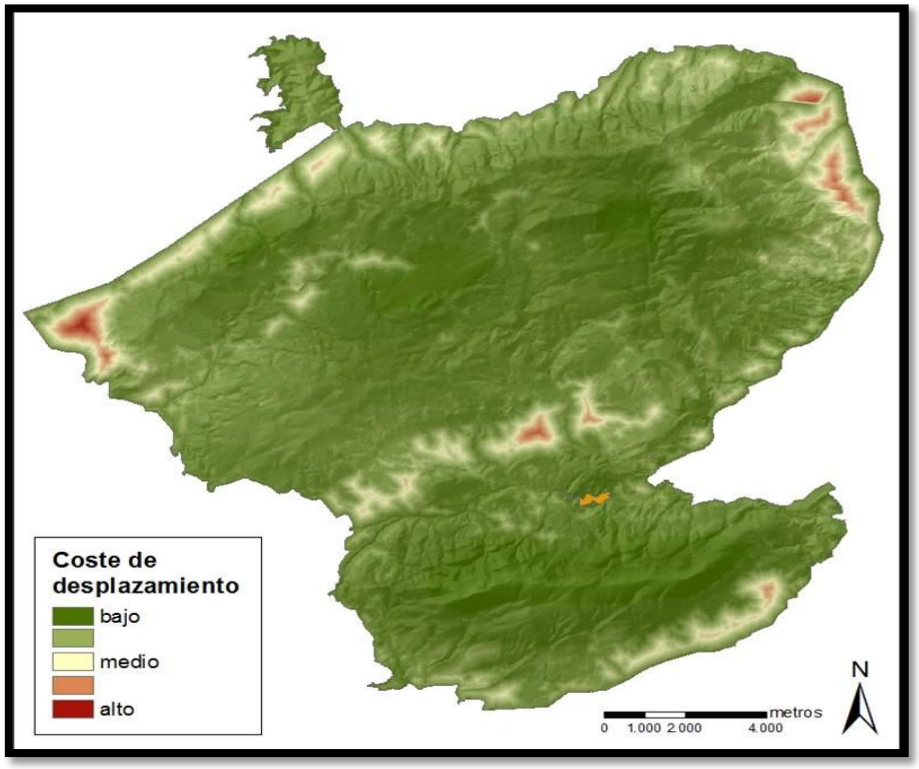


Figura 14. Variabilidad climática y dinámica forestal en ecosistemas de ecotono.
Fuente: Elaboración Propia

Teniendo como referencia la diversidad de hechos, se puede reconocer que los SIG ofrecen grandes garantías para afrontar el estudio integrado de tantas variables y factores que tienen lugar en el territorio. Así se puede reconocer los casos fundamentales que conformarían las aplicaciones dentro de este grupo.

2.4.3.2 Usos del suelo

Dentro de los usos del suelo, los agrícolas adquieren gran importancia en todos los niveles territoriales, desde una escala local hasta una escala global. La información acerca de la situación agrícola que se da en un determinado territorio constituye una información totalmente imprescindible en nuestros días. Es seguramente por este motivo que, por regla general, siempre se ha procurado disponer de datos fiables y actualizados acerca del uso agrícola de un determinado territorio (Aranoff, 1989), ver Figura 15.

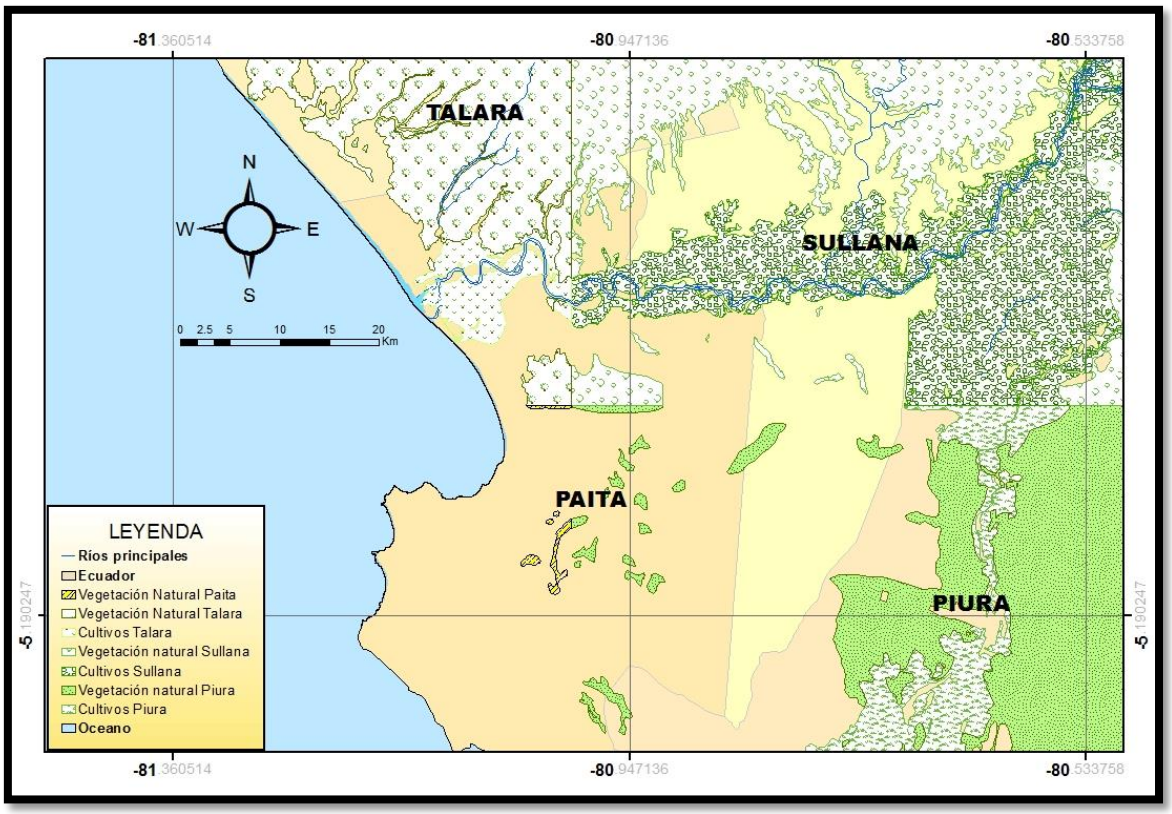


Figura 15. Clasificación del uso del Suelo
Fuente: Elaboración propia

Ha sido habitual durante muchos años que todos esos datos estuviesen limitados a una mera y a veces incluso breve recopilación de datos estadísticos, debido por lo general a la falta de herramientas adecuadas para tratar convenientemente la información disponible. Como consecuencia de este enfoque se supuso disponer de solo una visión parcial y no integradora de la realidad.

Gracias a la aparición de nuevos sistemas y mecanismos para el tratamiento de la información geográfica el panorama ha sufrido un cambio radical. Las técnicas de teledetección y los sistemas para el análisis de imágenes de satélite constituyeron un primer paso para el estudio del suelo y de las condiciones de la agricultura. El segundo

gran cambio fue la entrada en escena de los SIG, que permitieron superar la tarea principal de recoger datos estadísticos sobre el territorio, proporcionando mayores posibilidades de gestión y análisis de dichos datos geográficos. Así, por ejemplo, con las herramientas que proporcionan es posible integrar los datos procedentes de los satélites con datos de tipo meteorológico para realizar previsiones acerca del estado en que se encontrarán las cosechas en el momento de la recolección. También es factible decidir qué tipo de explotación agrícola es la más adecuada en cada situación teniendo en cuenta aspectos tales como el tipo de suelo existente, el nivel de erosión del mismo, la existencia de acuíferos subterráneos en condiciones de ser utilizados para el regadío, etc. En este tipo de aplicaciones, los SIG deben ser vistos como herramientas de uso muy adecuado que, integrando informaciones de diversa procedencia, permiten tomar decisiones, con una gran flexibilidad y rapidez, acerca de cómo planificar la agricultura y los otros usos del suelo (Comas & Ruiz, 1993).

2.4.3.3 Gestión de recursos naturales

El conjunto de casos englobados bajo el epígrafe de gestión de recursos naturales hace referencia a todas aquellas aplicaciones cuyo objetivo principal es tratar la información espacial que describe el tipo y la distribución de dichos recursos en la superficie de nuestro planeta, como, por ejemplo, los recursos minerales, la localización de zonas ricas en agua o las zonas con suelos adecuados para la formación de bolsas petrolíferas. Suelen contemplar también otros datos, como los indicadores del tamaño de una población, de manera que sea posible establecer el potencial de impacto ambiental de las actividades humanas sobre el medio, los datos reflejan cambios en aspectos medioambientales producidos por la acción antrópica del hombre o incluso datos catastrales con el fin de conocer quién posee cierto territorio y, por tanto, también los recursos que en él se encuentran (Siderelis, 1991).

Contar con este gran volumen de datos, a menudo variables en un corto periodo de tiempo, supone disponer de una información privilegiada. Las herramientas de análisis espacial que proporciona los SIG (superposición topológica de capas de información, análisis de proximidad, etc.) toman un papel clave para poder llevar a buen término estos objetivos, brindado a los especialistas en el estudio de los recursos naturales la posibilidad de tener a su alcance la manera de hacer más efectivos sus estudios (Comas & Ruiz, 1993), ver Figura 16.

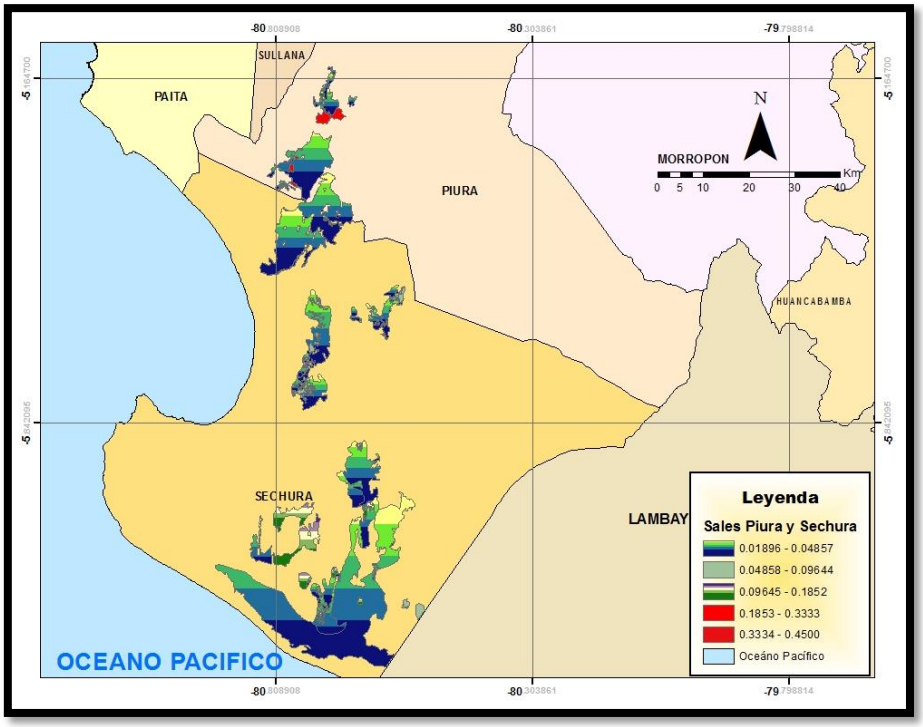


Figura 16. Definición por colores con áreas naturales comunes – Cantidad de sales.
Fuente: Elaboración Propia

2.4.3.4 Gestión de recursos hídricos

Una de las tantas aplicaciones de los SIG es la gestión de recursos hídricos, empleados frecuentemente para describir y estimar el estado en que se encuentra el medio natural y los recursos que éste posee, así como para desarrollar un inventario estandarizado con la información necesaria para la toma de decisiones estratégicas orientadas a la gestión y mejor conocimiento de los recursos disponibles. Así mismo, se utiliza para realizar predicciones y desarrollo de modelos.

Un SIG permite automatizar el proceso de delineación de cauces y cuencas hídricas, partiendo de un Modelo digital de elevaciones (MDE), que a su vez permite extraer información de tipo hidrogeométrico, auxiliándose además de métodos suplementarios como referencias a mapas topográficos, información acerca de los usos del suelo y la cobertura, unidades hidrológicas, delineación de líneas de flujo, y digitalización, además de servir de soporte en el estudio de las relaciones existentes entre las cuencas hídricas y la morfología de los cauces, para analizar, entre otras cosas, la contribución de cada cuenca hidrológica a la escorrentía (Miller, Guertin, & Goodrich, 1996), ver Figura 17.

Figura 17. Presentación de ríos principales y secundarios – Cuenca del Chira
Fuente: Elaboración Propia

Los SIG son considerados como un sistema de apoyo realista y eficiente para el monitoreo de la calidad de las aguas, principales herramientas para conocer el estado de salud de los recursos hídricos, la medición y control de la toxicidad de los efluentes, el estudio de la dispersión espacial de focos contaminantes, o la estimación del impacto que dicha contaminación tiene sobre los distintos ecosistemas, ver Figura 18.

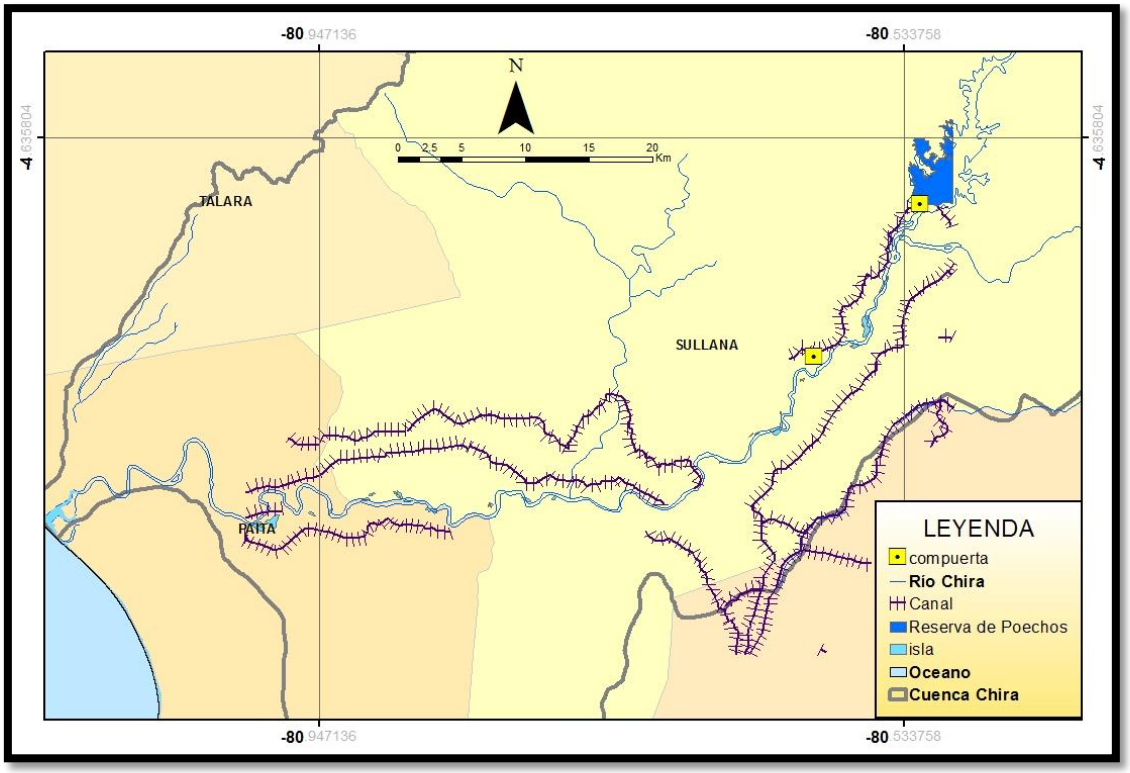


Figura 18. Abastecimiento hídrico del Río Chira
Fuente: Elaboración Propia

Los SIG también pueden ser empleados para la identificación y evaluación de procesos de erosión y de contaminación de origen difuso. Este tipo de contaminación procede de diversas fuentes, difíciles de identificar y en consecuencia muy complejas de estimar. Los SIG proporcionan no obstante una aproximación de gran alcance para la evaluación de los usos del suelo así como de otras peculiaridades del medio para explicar la distribución espacial de esta contaminación.

Los SIG, con la capacidad para realizar evaluaciones de múltiples criterios desempeñan un papel importante como soporte en los estudios relativos a la cantidad y calidad de los recursos hídricos. Permiten representar una enorme cantidad de información de manera sencilla y vistosa, proporcionando una visión de conjunto de gran importancia para la gestión delos recursos hídricos.

2.5 Parámetros Químicos

Para la presente tesis, se ha considerado realizar un examen de caracterización química, que mostrará los parámetros químicos necesarios para hacer dicha caracterización en los suelos de interés.

Los ensayos fueron realizados por el Laboratorio de Agua y Suelo de la Universidad Nacional Agraria La Molina, que cuenta con una certificación reconocida en el país.

Para dichos ensayos se han enviado muestras de suelo con peso de 1kg y a una profundidad de 30 cm en promedio, pues esa es la profundidad requerida para los ensayos a realizar.

A continuación se presentan todos los parámetros contenidos en el análisis de caracterización química de suelos, que servirán para hacer las interpretaciones debidas.

2.5.1 Textura

La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa.

La textura influye decisivamente en el comportamiento del suelo respecto a su capacidad de retención de agua y nutrientes, su permeabilidad (encharcamiento, riesgo de lixiviación de agua y nitrógeno, etc.) y su capacidad para descomponer la materia orgánica.

Para la determinación de la textura, se usa un Diagrama Textural de la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos), que consiste en una herramienta para determinar las clases texturales en función de los porcentajes de arcilla, limo y arena. (Ver Figura 19)

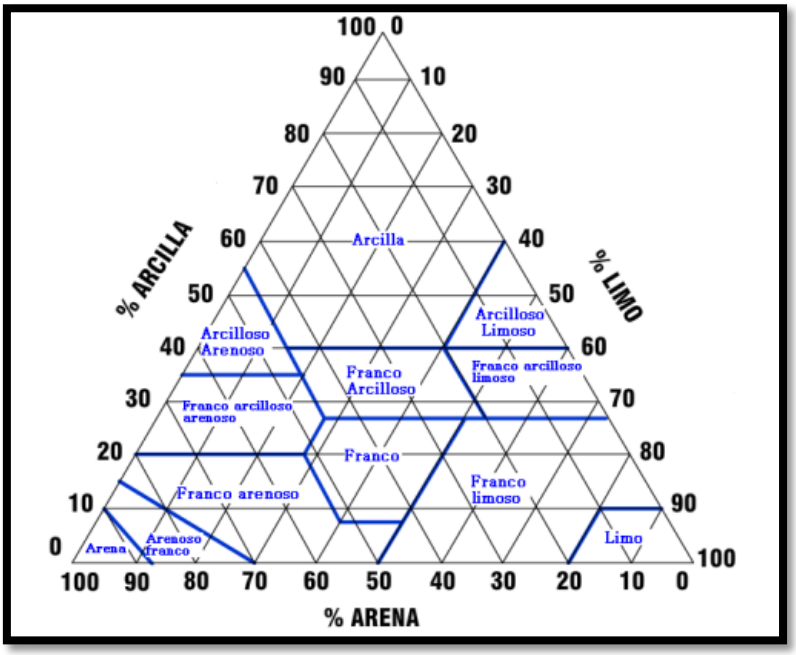


Figura 19. Clasificación de suelos según granulometría (Haverkamp et al, 1999). Arcilla (Clay, C), Arcilloso Limoso (Silty Clay, SiC), Arcilloso Arenoso (Sandy Clay, SC), Franco Arcilloso (Clay Loam, CL), Franco Arcilloso Limoso (Silty Clay Loam, SiCL), Franco Ar

Fuente: Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea, 2009

A grandes rasgos y una vez definida la textura de los horizontes del suelo, sabemos que esta influye en:

La capacidad de retención de agua para las plantas.

- Riesgo de compacidad (dificultad de paso de las raíces en horizontes muy arcilloso).
- Disponibilidad de nutrientes.
- Erosionabilidad.
- Rendimiento de los cultivos.
- Comportamiento frente al laboreo[13].

Es por estas razones que desde el punto de vista agrícola, la clase textural puede favorecer o perjudicar el desarrollo vegetativo de los cultivos, así como es determinante en la fase de intercambio.

2.5.2 Carbonato de Calcio

La importancia de la determinación de los carbonatos del suelo está relacionada con la influencia qué estos ejercen sobre el pH del suelo, un suelo con abundantes carbonatos tendrá un pH neutro o ligeramente alcalino mientras que un suelo sin carbonatos tendrá un pH ácido.

Se considera al carbonato de calcio es el principal componente de la piedra caliza, la cual es una enmienda muy utilizada para neutralizar la acidez del suelo y suministrar calcio (Ca) para la nutrición de las plantas. El parámetro se mide para ver la medida en porcentaje se encuentra en el suelo, ya que puede elevar el pH en los suelos ácidos y reducir la cantidad del Aluminio soluble, que es tóxico para el sistema radical de muchas plantas.

Los valores estándares de carbonatos, se presentan a continuación. (Ver Tabla 1)

Tabla 1. Valores Estándares de Carbonatos

Clase	Calcáreo Total ($CaCO_3$)
Bajo	< 1%
Medio	1 -5 %
Alto	> 5%

Fuente: Laboratorio de Agua, suelos y Medio Ambiente – Universidad Nacional Agraria La Molina

2.5.3 Materia Orgánica

La materia orgánica, es uno de los constituyentes más importante de los suelos, se encuentra relacionada con la productividad agrícola, es un indicador de la salud del suelo y su efecto positivo sobre la sostenibilidad de un sistema productivo, tiene propiedades biológicas, químicas y físicas que dan beneficios a la planta, de manera que influye en las características químicas y físicas del suelo, como estabilidad estructural, capacidad de retención hídrica, como almacenamiento de energía metabólica, fuente de macronutrientes, retención de agua, estimulación e inhibición del crecimiento vegetal, disponibilidad de nitrógeno y azufre, etc.

[13] Acción o actividad de cultivar la tierra

Para su análisis tenemos estos rangos, medido bajo el método de Walkley-Black. (Ver Tabla 2)

Tabla 2. Rangos Estándares de MO

Clase	Materia Orgánica
Bajo	< 2%
Medio	2 - 4 %
Alto	> 4%

Fuente: Laboratorio de Agua, suelos y Medio Ambiente – Universidad Nacional Agraria La Molina

2.5.4 Fósforo disponible

El fósforo se encuentra en los suelos tanto en forma orgánica como inorgánica y su solubilidad en el suelo es baja. Existe un equilibrio entre el fósforo en la fase sólida del suelo y el fósforo en la solución del suelo. Las plantas pueden adsorber solamente el fósforo disuelto en la solución del suelo, y puesto que la mayor parte del fósforo en el suelo existe en compuestos químicos estables, sólo una pequeña cantidad de fósforo está disponible para la planta.

Al absorber el fósforo de la solución del suelo por las raíces, parte del fósforo adsorbido a la fase sólida del suelo es liberado a la solución del suelo, para mantener un equilibrio químico.

Se tiene la siguiente tabla interpretativa en ppm. (Ver Tabla 3)

Tabla 3. Rangos Estándares de Fósforo Disponible

Clase	Fósforo P (ppm)
Bajo	< 7
Medio	7 - 14
Alto	> 14

Fuente: Laboratorio de Agua, suelos y Medio Ambiente – Universidad Nacional Agraria La Molina

2.5.5 Potasio Disponible

El potasio disponible define los grados de deficiencia, suficiencia o exceso de este elemento en relación a su disponibilidad para los cultivos. Este se considera como la suma de potasio cambiable más potasio soluble, el cual es adsorbidos por el suelo y aprovechado por la planta. El potasio en la solución del suelo se encuentra en cantidades relativamente pequeñas en comparación con la cantidad absorbida en complejo de cambio del suelo. (Lopez Ritas & Lopez Melida, 1978)

El potasio disponible cumple funciones trascendentes en la fisiología de las plantas. Actúa a nivel del proceso de la fotosíntesis, en la translocación de fotosintatos, síntesis de proteínas, activación de enzimas claves para varias funciones bioquímicas, mejora la

nodulación de las leguminosas[14] etc. Asimismo, una buena nutrición potásica aumenta la resistencia a condiciones adversas, como sequías y heladas, ya que regula el potencial osmótico celular (regula el contenido de agua interna), o presencia de enfermedades.
Los Valores estándares de presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Rangos Estándares de Potasio Disponible

Clase	Potasio K (ppm)
Bajo	< 100
Medio	100 -240
Alto	> 240

2.5.6 pH

Mide la actividad de los H+ libres en la solución del suelo (acidez actual) y de los H+ fijados sobre el complejo de cambio (acidez potencial). La acidez total del suelo es la suma de las dos, porque cuando se produce la neutralización de los H+ libres se van liberando H+ retenidos, que van pasando a la solución del suelo.

El pH puede variar desde 1 a 14 y de acuerdo con esta escala los suelos se clasifican tal como se muestra en la tabla. (Ver Tabla 5)

Tabla 5. Rangos Estándares del pH

Reacción del Suelo (pH)	
Fuertemente ácido	5,1 – 5,5
Moderadamente ácido	5,6 – 6,0
Ligeramente ácido	6,1 – 6,5
Neutro	6,6 – 7,3
Ligeramente alcalino	7,4 – 7,8
Moderadamente alcalino	7,9 – 8,4

Fuente: Laboratorio de Agua, suelos y Medio Ambiente – Universidad Nacional Agraria La Molina

2.5.7 Conductividad eléctrica

Todos los suelos fértiles contienen por lo menos pequeñas cantidades de sales solubles. La acumulación de sales solubles en el suelo se atribuye principalmente a problemas de drenaje y a la acción de riegos continuados, seguidos de evaporación y sequía.

Cuando un suelo tiene un exceso de sales solubles se le denomina suelo salino. La medida de la conductividad eléctrica (CE) del suelo y de las aguas de riego permite estimar en forma casi cuantitativa la cantidad de sales que contiene. El análisis de la CE en suelos se hace para establecer si las sales solubles se encuentran en cantidades suficientes como para afectar la germinación normal de las semillas, el crecimiento de las plantas o la

[14] Son plantas leñosas o herbáceas con fruto tipo legumbre y con diversas especies cultivadas por su importancia en la alimentación humana y del ganado y sus aplicaciones industriales.

absorción de agua por parte de las mismas. (Módulo 1: Determinación del pH y conductividad eléctrica del suelo, 2015).

Las sales solubles que se encuentran en los suelos en cantidades superiores al 0.1 % están formadas principalmente por los cationes Na+, Ca2+ y Mg2+ asociados con los aniones Cl-, SO42-, NO3- y HCO3.

Existen unos valores estándares brindados por el laboratorio que se han usado de referencia para la interpretación. (Ver Tabla 6)

Tabla 6. Valores de C. E según respuesta de los cultivos

C.E (Sales) Según respuesta de los cultivos (dS/m)	
Muy ligeramente Salino	< 2
Ligeramente Salino	2 - 4
Moderadamente Salino	4 - 8
Fuertemente Salino	8 - 16
Extremadamente Salino	> 16

Fuente: Laboratorio de Agua, suelos y Medio Ambiente – Universidad Nacional Agraria La Molina.

En cuanto a unidades, se agrega que:

dS/m = mmho/cm

Por lo tanto, se deberá tener en cuenta el tipo de unidades para evaluar los resultados con estos valores estándares, de acuerdo con los análisis que brinde el laboratorio.

2.5.8 Cationes Intercambiables

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, merced a su contenido en arcillas y materia orgánica. Las arcillas están cargadas negativamente, por lo que suelos con mayores concentraciones de arcillas exhiben capacidades de intercambio catiónico mayores. A mayor contenido de materia orgánica en un suelo aumenta su CIC.

Los cationes de mayor importancia con relación al crecimiento de las plantas son el calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na), amonio (NH4+), e hidrógeno (H). Los primeros cuatro son nutrientes y se encuentran involucrados directamente con el crecimiento de las plantas. El sodio y el hidrógeno tienen un pronunciado efecto en la disponibilidad de los nutrientes y la humedad. En los suelos ácidos, una gran parte de los cationes son hidrogeno y aluminio en diversas formas. Para fines de esta tesis, se ha considerado estudiar solo los cuatro primeros, presentando adecuadamente los valores obtenidos en los resultados.

Se mide teniendo en cuenta la capacidad de 100 gramos de un suelo de retener a su alrededor cationes; se mide en meq/100 gramos de suelo. Depende del tipo de arcillas del complejo arcillo-húmico y de la cantidad de materia orgánica que tenga el suelo.

Capítulo 3
Metodología del Proyecto

3.1 Antecedentes

Dentro de los estudios realizados más importantes, se encuentra el estudio del cambio climático y su impacto en los productos agroexportables en la región Piura. Este hace un estudio respecto al clima y al suelo como respuesta al primero, de la misma forma evalúa la influencia que tiene en los cultivos de productos agroexportables.

La agricultura al depender de factores climáticos, nos lleva a pensar que ésta se verá afectada por los efectos del cambio climático, toda vez que las emisiones de gases de efecto invernadero aumentan con el crecimiento económico y las industrias; siendo la causa principal del calentamiento global.

La base del análisis se sustenta en que la evaporación del suelo se acelera cuando las temperaturas aumentan y con ella aumenta la transpiración de las plantas, lo que ocasiona más humedad en sus hojas, el efecto combinado es denominado "evapotranspiración". Con el calentamiento global aumenta la probabilidad de las precipitaciones, así como el efecto neto de las altas temperaturas y mayor disponibilidad del agua. Bajo estas condiciones se produce una carrera entre una mayor evapotranspiración y precipitaciones altas. Por lo general, se observa que gana el aumento de la evapotranspiración.

También se sostiene que el impacto del cambio climático en la agricultura es complejo, niveles altos de concentración de CO_2 tiene un impacto positivo, mientras que el aumento de la temperatura, al principio es positivo en el rendimiento del cultivo; pero después de ciertos límites se vuelve negativo, así mismo sucede con las precipitaciones pluviales.

La variabilidad del clima, consecuencia de los diversos fenómenos naturales que se ha venido discutiendo; hace que los productos agrícolas en sus épocas de floración, etapa más importante para las plantas no estén a su temperatura ideal para su desarrollo si no que estén por encima de su temperatura óptima o por debajo de ella. La producción de las plantas también responde a las variaciones del recurso hídrico, principalmente los procedentes de las precipitaciones, tanto por su intensidad como por la temporada.

Cline (2007), realizó estudios sobre los impactos del cambio climático en las cosechas, él estimó que estos impactos serían negativos, más aún, sostiene que en países en desarrollo las pérdidas serán mayores, y hasta de 50% de pérdida en los países más pobres. También remarca que los daños serán mayores en los países más cercanos al ecuador, donde las temperaturas ya se acercan a los niveles de tolerancia de los cultivos y éste sería el caso

de Perú, en la zona norte principalmente; por lo cual nuestra zona de estudio se vería afectada por esta teoría.

3.2 Selección de puntos de control

Para la selección de puntos, previamente se trabajó con un geólogo experimentado que conoce muy bien la zona, por lo cual bajo su conocimiento y experiencia y mediante el uso de cartas nacionales se ubicaron los puntos teóricos que definirían los puntos pilotos finales.

Para la investigación, se ha considerado estudiar 8 puntos que muestren de manera general las distintas formaciones geológicas que son representativas en la región a lo largo del valle en estudio, en el cual se cosechan diversos productos que son agroexportados y de importante interés en la economía de Piura.

Dichos puntos fueron elegidos en base a la cartografía y a los cuadrantes geológicos presentes en la zona, teniendo en cuenta que en las formaciones existentes son favorables para el cultivo de los productos cosechados.

En el desarrollo de este capítulo, se presentarán las coordenadas de dichos puntos, en coordenadas UTM, que son las unidades destinadas para el estudio. En las respectivas tablas se muestran las coordenadas de los puntos en estudio, que fueron medidas en las salidas de campo. Algunos fueron modificados por motivos de inaccesibilidad o se encontraban dentro de terrenos de propiedad privada, pero se cambiaron tomando como base los puntos teóricos iniciales. Así mismo también se presentarán los resultados de los parámetros de la caracterización química realizada, perteneciente a cada punto.

Se tomaron muestras en dos campañas denominadas fases exploratorias 1 y 2, las mismas que se realizaron en los meses de Mayo y Diciembre respectivamente, con la finalidad de ver una comparación en dos períodos de tiempo, pues en el primero se supuso se encontrarían un ambiente sumamente hostil y seco, ya que el período de lluvias estadísticamente que ocurre en los meses de Diciembre, Enero y Febrero ya había pasado y el segundo debería ya contar con algunas pequeñas lluvias y la mayoría de productos en ese mes deberían estar en tiempo de cosecha, por lo que el suelo debería encontrarse en otras condiciones.

3.2.1 Zona de Estudio

a) Ubicación, extensión y límites

La cuenca Catamayo-Chira está constituida por una zona ubicada en territorio peruano y otro ecuatoriano, pero para fines de esta tesis solo se tomará en cuenta la zona dentro de nuestro país. La cuenca del río Chira (parte peruana) tiene un área 10534.76 km^2 (Plan de gestión de Recursos Hídricos de la Cuenca Chira-Piura, 2014). Geográficamente se encuentra ubicada entre las coordenadas 03º40’28” S (525571.90 m E); 05º07’06” S (707173.23 m E) y 80º46’11” O (9593854.61 m S); 79º07’52” O (9433953.78 m S). Los

principales afluentes del Río Chira por su margen derecha son las quebradas: Honda, Peroles, La Tina, Poechos, y Cóndor y por su margen izquierda los ríos Quiroz y Chipillico.

Políticamente comprende 5 provincias del Departamento de Piura: provincia de Ayabaca (Distritos Sicchez, Suyo, Sapillica, Frías, Ayabaca, Pacaipampa, Lagunas, Montero, Paimas y Jililí); provincia de Piura (distritos de Las Lomas y Tambogrande); provincia de Sullana (distritos de Lancones, Sullana, Querecotillo, Salitral, Marcavelica, Bellavista, Ignacio Escudero y Miguel Checa); provincia de Paita (distritos de Tamarindo, La Huaco, Pueblo Nuevo de Colán, El Arenal, Vichayal y Amotape) y provincia de Talara (distrito de la Brea).

b) Condiciones climáticas

El clima en la cuenca Chira corresponde a una zona subtropical, caracterizado por pluviosidad moderada y altas temperaturas, sujeto a los eventos del Fenómeno El Niño (FEN[15]), que afecta el clima de la zona costera hasta los 2000 m.s.n.m. En la zona baja y media de la cuenca, el clima es cálido y seco, típico de la Costa Norte del Perú. Recibe influencia de las variaciones de la Faja Ecuatorial y los cambios de dirección en sentido Este-Oeste de las corrientes marinas de aguas frías (Humboldt) y caliente (Ecuatorial). Estas características ocasionan altas temperaturas ambientales con escasez de precipitaciones, salvo durante períodos cortos y esporádicos de ingresos al hemisferio sur de la corriente marina de aguas calientes (El Niño), como los ocurridos en 1982-83, 1997-98 y 2001/2002 de características extraordinarias. Sin FEN, las precipitaciones varían de 10 a 80 mm/año en los primeros meses del año, siendo el resto seco. (Diagnóstico de la Gestión de los Recursos Hídricos de la cuenca Chira-Piura, 2012)

En la parte alta de la cuenca, el clima es temperado y muy húmedo, característica particular de la sierra norte de la vertiente del Pacífico, motivada por la vecindad con la Línea Ecuatorial y la Cordillera Occidental Andina. En esta zona se producen precipitaciones pluviales generalmente en los cuatro primeros meses del año, teniendo un régimen pluvial varía de 700 a 1000 mm/año. Sin embargo, cada cierto número de años se presentan períodos con lluvias de gran intensidad, ocasionadas por nubes provenientes del Atlántico que al vencer la barrera de los Andes se enfrían y precipitan.

La disponibilidad de recursos hídricos superficiales en el río Chira, con una persistencia del 75%, para un período de 64 años (en el puente Sullana/Ardilla), corresponde a una masa anual promedio de 1 307,8 MMC.

c) Geomorfología

En cuanto a la geomorfología, la evolución morfotectónica de la cuenca se caracteriza por movimientos orogénicos que dieron como resultado la formación grabens y horst, cuyos elementos tectónicos mayores son las cuencas Sechura, Talara, Lancones y la Cordillera de la Costa como un elemento positivo. En la parte norte de la cuenca se ubican dos cordilleras paralelas: La cordillera Central o Real de los Andes cuyo núcleo lo constituyen rocas del Palezoico, hacia el este; y, la parte norte central está constituida por rocas volcánicas e intrusivas. Aquí se ubican las cotas más altas de toda la cuenca como es el cerro Fierro Urco con 3788m, la topografía comienza a disminuir de este a oeste, interrumpiéndose a la altura de la cordillera de Celica; para luego disminuir considerablemente y determinar un relieve colinoso y completamente plano al llegar a la

[15] FEN: Fenómeno El Niño

desembocadura del río Chira, llegando a la cota más baja. (Autoridad Nacional del agua, 2012)

d) Hidrodinámica

El curso del Río Chira, desde sus nacientes hasta su desembocadura es algo sinuoso, ya que en un primer tramo desde su inicio hasta la altura de la localidad de Sullana, corre de Norte a Sur-Este, para después adoptar una dirección final de Este a Oeste hasta su desembocadura en Océano Pacífico.

e) Sistema Hidráulico

El valle del río Chira cuenta con un sistema hidráulico constituido por la Presa Poechos (1 000 MMC), la Presa de Derivación Sullana, el Canal de Derivación Daniel Escobar (54 km), el Canal Miguel Checa (78,5 km y capacidad de conducción de 19 a 5 m^3 /s), un Sistema de Drenaje Troncal (55 km) y Diques de Defensa contra Inundaciones (54,64 km). Es importante resaltar, que en los viajes realizados, se han observado su influencia junto con el impacto antropogénico en las poblaciones aledañas.

f) Flora característica

De acuerdo al periodo vegetativo los cultivos agrícolas que se dan en el valle se clasifican en; cultivos permanentes, semipermanentes y transitorios. Los cultivos permanentes son llamados así por la duración del cultivo y entre ellos se encuentra el cultivo de limón, y la vid, dedicados mayoritariamente a la exportación. Entre los cultivos semipermanentes se encuentran el banano orgánico, la caña de azúcar y distintos pastos cultivados como: gramalote, alfalfa y pasto elefante. En cuanto a cultivos transitorios, los de mayor importancia son: cultivo de arroz y maíz amarillo, seguido por otras como el maíz amiláceo, arveja, algodón.

A nivel de cuenca hidrográfica existe un total de 142 957 ha. El promedio anual de área cosechada en tierras con agua regulada de la presa Poechos, es de 86 859 ha; de las cuales 44 919 ha corresponden al valle de Chira y 41 940 ha al valle de Piura.

Es importante mencionar, que mucha de las plantas cosechadas en el valle se ven afectadas por los problemas desencadenados debido a los métodos de riego de baja eficiencia, que generan problemas de drenaje y salinidad. Así mismo, tenemos cultivos que son afectados por los altos requerimientos de agua como el arroz y el algodón.

3.3 Trabajo de Campo

3.3.1 Fase Exploratoria 1

En la primera expedición, se realizaron cinco jornadas de viaje de campo, donde se exploraron y tomaron las muestras de los 8 puntos piloto a investigar. En los diferentes viajes, se han preparado rutas, teniendo en cuenta las cercanía de los puntos que conforman las diversas cuencas geológicas como lo son las cuencas Lancones y Talara.

3.3.1.1 Recolección de muestras

A. Primera Jornada

La primera jornada, se realizó el día 04 de Mayo del 2015. Consistió en ir a 4 primeros puntos ubicados dentro del Valle del Chira. Los puntos a estudiar, se encuentran dentro de la cuenca geológica Talara y son los puntos A, C, D y E, localizados en las siguientes coordenadas. (Ver Tabla 7). La ubicación total de los puntos se ubicará en el mapa que se muestra en la Figura 28.

Tabla 7. Ubicación de Puntos de estudio-Jornada 1

Punto	Coordenada Este	Coordenada Norte	Referencia
Punto A	**522621**	**9431471**	**Al sur de loma La Mesita**
Punto C	**531219**	**9440544**	**Tramo Piura-Sullana**
Punto D	**519920**	**9464793**	**Cerca de las Cañas**
Punto E	**524816**	**9464501**	**Las golondrinas**

Fuente: Elaboración propia

A continuación se hará una pequeña descripción de las muestras tomadas en esta primera jornada, e irá acompañado de unas referencias fotográficas.

- **Punto A**

En el Punto A, se encontró un suelo duro, con una cantidad de carbonatos considerables, pues a simple vista se podía ver la diatomita y el yeso. Cuando se empezó a hacer la calicata en los primeros 5cm se observó una pequeña parte de materia orgánica que envolvía la materia del suelo, por lo que se puede acotar que es un suelo fértil y a pesar de que no se encontró humedad, debido a los nutrientes existentes que junto con las sales lo hacen un suelo probablemente productivo para cierto tipos de productos. La calicata en este punto fue del 60cm de profundidad. (Ver Figura 20).

Figura 20. Calicata del Punto A

- **Punto C**

El punto C, fue un lugar estratégico, pues ahí está instalada una ladrillera y se pudo observar que los suelos que presentaban contenían algunos minerales importantes que a simple vista se podrían ver en el perfil del suelo. Así mismo, contenían yeso y diatomita al igual que en el punto A, por lo que se puede decir que es característico del valle contener minerales apropiados y sales que contribuyen con la calidad del suelo.
La muestra de suelo sacada para el laboratorio, fue sacada de un talud de importante profundidad. Se consideró para el estudio tomar muestras hasta 50 cm de profundidad. (Ver Figura 21)

Figura 21. Calicata del Punto C

- **Punto D**

El punto D, presentaba una gran cantidad de materia orgánica y raíces, tenía mucha dureza y se podía observar areniscas presente, lo que lo convierte en poroso y debido al porcentaje de estos, es viable el crecimiento y paso de las raíces de diversas plantas, no necesariamente de productos agrícolas, si no también puede ser maleza, por lo que se debería tener cuidado. La profundidad para esta calicata es de 50 cm. (Ver Figura 22)

Figura 22. Calicata del Punto D

- **Punto E**

El punto E forma parte de un amplio hectareaje de COMISA, una empresa instalada en este Valle para producir mediante la caña de azúcar, Etanol. En conjunto los promotores y la cooperativa, logran reivindicar la propiedad del fundo "La Golondrina" de 26 219 hectáreas, ubicado en la margen derecha del Rio Chira, inmediatamente después de la presa de Sullana. Al hacer la calicata, se pudo observar que el suelo era rojizo y presentaba una cantidad considerable de humedad, por lo que se puede decir que eran arcillosos y limosos, debido al contenido de agua presente en el suelo. La calicata en este punto fue de 45 cm de profundidad, pues el suelo presentaba características similares en el perfil observado. (Ver Figura 23)

Figura 23. Calicata del Punto E

B. Segunda Jornada

En la segunda jornada, realizada el día 06 de mayo, se tomaron muestras pertenecientes al Valle del Chira, los cuales pertenecen a la cuenca geológica Talara y a la sub-cuenca Miramar. Las coordenadas que los definen están en la Tabla 8. La ubicación total de los puntos se ubicará en el mapa que se muestra en la Figura 28.

Tabla 8. Coordenada de puntos - Segunda Jornada

Punto	Coordenada Este	Coordenada Norte	Referencia
Punto F	**543625**	**9472809**	**Este del Cerro Buitre**
Punto G	**544538**	**9474121**	**Este del Cerro Buitre**
Punto H	**565578**	**9480596**	**Cerca de Suena el Agua**

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presenta una pequeña descripción de las calicatas realizadas para tomar las muestras de suelo, así como sus respectivas referencias fotográficas.

- **Punto F**

El punto F está ubicado cerca un yacimiento de piedra Pilca, pasando el puente los Serranos, y que a pesar de estar rodeados de este tipo de suelo, y debido al drenaje natural existente en la zona se pudo observar humedad, un poco de materia orgánica y carbonatos presentes, por el cambio de color a medida que se excavó la calicata se puede decir que es un suelo productivo. La calicata realizada fue de una profundidad de 50 cm. (Ver Figura 24)

Figura 24. Calicata del Punto F

- **Punto G**

Este punto es cercano al punto F, todavía el paisaje extendido conservaba un drenaje similar, que es capaz incluso de formar reservorios naturales si se presentaran grandes lluvias. El suelo contenía un porcentaje de humedad que era sensible al tacto y con gran cantidad de materia orgánica en los primeros 20 cm. La profundidad de la calicata fue de 50 cm, y se encontró algunos fósiles marinos que fueron recolectados como muestra de la calicata. (Ver Figura 25)

Figura 25. Calicata del Punto G

- **Punto H**

En el Punto H, se realizó una calicata de 50cm de profundidad, donde se pudo observar que presentaba significativas cantidades de agregados de gran tamaño y junto con ella presentaba una matriz arenosa y dura. Se encontraron pocas sales observables, pero si partes de materia prima enraizadas dentro del basamento, lo cual refleja lo valioso de la calidad del suelo, por la cantidad de materia orgánica visible. (Ver Figura 26)

Figura 26. Calicata del Punto H

C. Tercera Jornada

La tercera jornada de esta expedición, se realizó el día 07 de mayo, donde se tomó una muestra perteneciente a la cuenca geológica Lancones y a la Cuenca hidrográfica del Chira. La coordenada que la define se muestra en la Tabla 9. La ubicación total de los puntos se ubicará en el mapa que se muestra en la Figura 28.

Tabla 9. Coordenadas de puntos de estudio - Tercera Jornada

Letra	Coordenada Este	Coordenada Norte	Referencia
I	**545501**	**9447050**	**Cerca de la Bocana**

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presenta una pequeña descripción de la calicata realizada para tomar la muestra de suelo, así como sus respectivas referencias fotográficas.

- **Punto I**

El Punto I, es un punto estratégico, que se encontraba cultivado de camote y donde los lugares cercanos tenían las mismas condiciones, pero con diferentes tipos de cultivos, como yuca, maíz, frejoles, etc. Esta zona tiene en expansión cerca de 1500héctareas de cultivos. Por su condición, el suelo tenía mucha humedad y materia orgánica. La calicata que se hizo fue de 50 cm, a un lado de las plantas cultivadas. (Ver Figura 27)

Figura 27. Calicata del punto I

3.3.1.2 Elaboración de base de datos en GIS

Para la elaboración de los datos en GIS, se usaron los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio de las diferentes calicatas realizadas. Estos fueron complementados junto con la información de las Cartas Nacionales en formato Shape, las cuales anteriormente fueron adquiridas del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

Cada Shape adquirido posee una tabla de datos de atributos que contiene información relevante tales como: cotas, información hidrológica, geológica, etc. De esta forma se logra complementar dicha información con los resultados de los parámetros químicos que se agregan, dando una información más completa. Las cartas nacionales están definidas por códigos que completan toda el área nacional. Así, las cartas empleadas para el estudio han sido las siguientes: 10a (Talara), 10b (Sullana), 10c (Las Lomas), 11a (Paita), 11b (Piura).

Con la información necesaria que contienen los shapes, se hicieron unas tablas en Excel las cuales fueron convertidos a tablas de GIS para que así puedan ser leídas por el programa y posteriormente poder generar los análisis respectivos según cada parámetro químico estudiado de los puntos presentes en la cuenca.

Los puntos fueron ubicados con su respectiva coordenada y ubicados dentro de la cuenca tal como se muestra. (Ver Figura 28).

Como se aprecia en la Figura 28, los mapas elaborados en GIS presentan de forma gráfica su ubicación y límites, pero no es lo único que se puede analizar; como se mencionó en párrafos anteriores existe información tomada de los ensayos químicos que pueden ser analizados y mostrados. En el siguiente apartado, donde se analizarán las variables de interés, se agregará cada mapa que contenga un análisis gráfico hecho por el programa ARc GIS y que será de suma importancia para su interpretación.

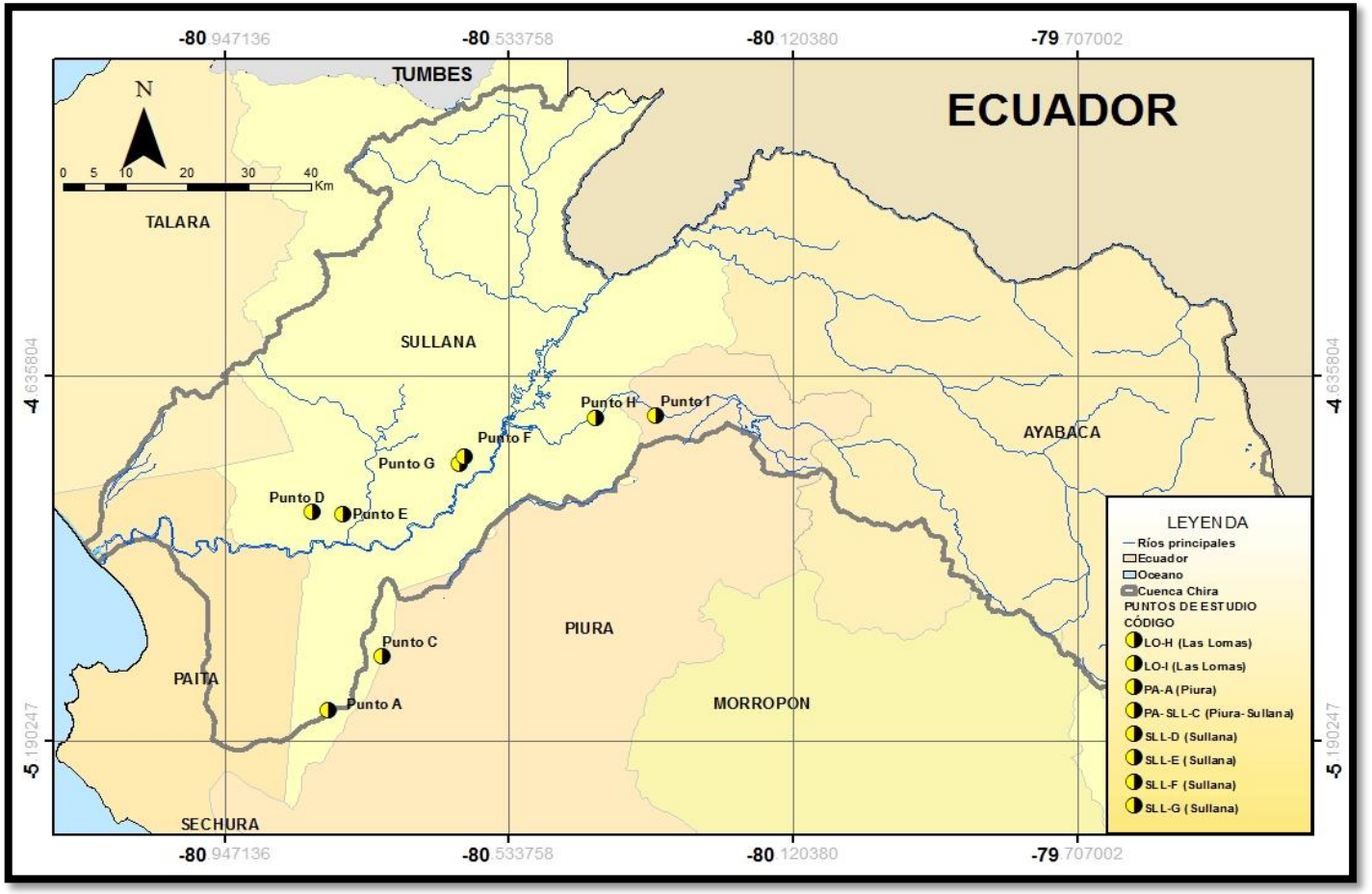


Figura 28. Mapa de ubicación de los puntos de estudio en la cuenca Chira- Fase exploratoria 1
Fuente: Elaboración Propia

3.3.1.3 Resultados de análisis químico del suelo

A. Presentación de resultados

Tabla 10. Resultados químicos de los puntos de estudio – Fase Exploratoria 1

NOMBRE	CÓDIGO	X	Y	CE ds/m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH 1:1	MO (%)	P(ppm)	K_2O(ppm)	$CaCO_3$(%)	Cambiables (Cmol(+)/kg)				
					Arena (%)	Limo(%)	Arcilla(%)	Textura						CIC TOTAL	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	K^{+}
Punto A	PA-A	522621	9431471	3,21	70,12	27,44	2,44	Franco arenoso	6,62	0,24	3,68	34,4	0,17	26,3	25,72	0,42	0,11	0,06
Punto C	PA-SLL-C	531219	9440544	0,39	67,12	27,44	5,44	Franco Arenoso	8,17	0,29	3,26	25	19,2	30,1	27,85	2,08	0,11	0,05
Punto D	SLL-D	519920	9464793	17,01	69,12	29,44	1,44	Franco arenoso	7,75	0,35	4,17	512	1,63	23,8	19,54	1,27	1,78	1,17
Punto E	SLL-E	524816	9464501	31,1	65,12	32,44	2,44	Franco Arenoso	6,56	0,26	2,94	175,8	0,08	28,2	17,56	1,18	0,11	0,33
Punto F	SLL-F	543625	9472809	0,41	63,12	26,44	10,44	Franco Arenoso	8,99	0,32	5,9	176,2	0,84	21,2	10,68	1,68	1,52	0,42
Punto G	SLL-G	544538	9474121	0,94	51,12	31,44	17,44	Franco	8,34	0,29	3,11	143,6	0,88	36,9	26,68	2,78	1,03	0,28
Punto H	LO-H	565578	9480596	0,21	93,12	5,44	1,44	Arena	8,52	0,37	4,84	44,2	0,36	19,6	13,75	3,18	0,77	0,11
Punto I	LO-I	575441	9480918	5,41	61,12	33,44	5,44	Franco Arenoso	6,71	0,4	3,95	71,4	0,38	21,2	9,41	2,55	0,09	0,15

B. Análisis de Variables

a) Textura

Como se ha indicado en el capítulo 2, la textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. Ésta se relaciona con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa.

Así mismo con la capacidad de retención de nutrientes, su permeabilidad (encharcamiento, riesgo de lixiviación de agua y nitrógeno, etc.) y su capacidad para descomponer la materia orgánica.

La Tabla 11 muestra los resultados acerca de las clases texturales en la zona de estudio.

Tabla 11. Resultados de Textura

NOMBRE	CÓDIGO	Análisis Mecánico			
		Arena (%)	Limo(%)	Arcilla(%)	Textura
Punto A	PA-A	70,12	27,44	2,44	Franco arenoso
Punto C	PA-SLL-C	67,12	27,44	5,44	Franco arenoso
Punto D	SLL-D	69,12	29,44	1,44	Franco arenoso
Punto E	SLL-E	65,12	32,44	2,44	Franco arenoso
Punto F	SLL-F	63,12	26,44	10,44	Franco arenoso
Punto G	SLL-G	51,12	31,44	17,44	Franco
Punto H	LO-H	93,12	5,44	1,44	Arena
Punto I	LO-I	61,12	33,44	5,44	Franco arenoso

Fuente: Elaboración Propia

En los resultados, se han encontrado que seis de los ocho puntos son Franco-arenosos, siendo los otros dos Franco y Arena. De manera general se puede decir que los puntos dentro de la zona de estudio, presentan una textura media correspondiente a franco arenoso.

Respecto a la distribución espacial, se puede ver la distribución en proporción, gracias a los gráficos en forma de pie con los contenidos de arena, arcilla y limo de cada punto estudiado que determina finalmente la textura. Así mismo, se puede ver la litología de la zona que es de vital importancia para su interpretación. (Ver Figura 29).

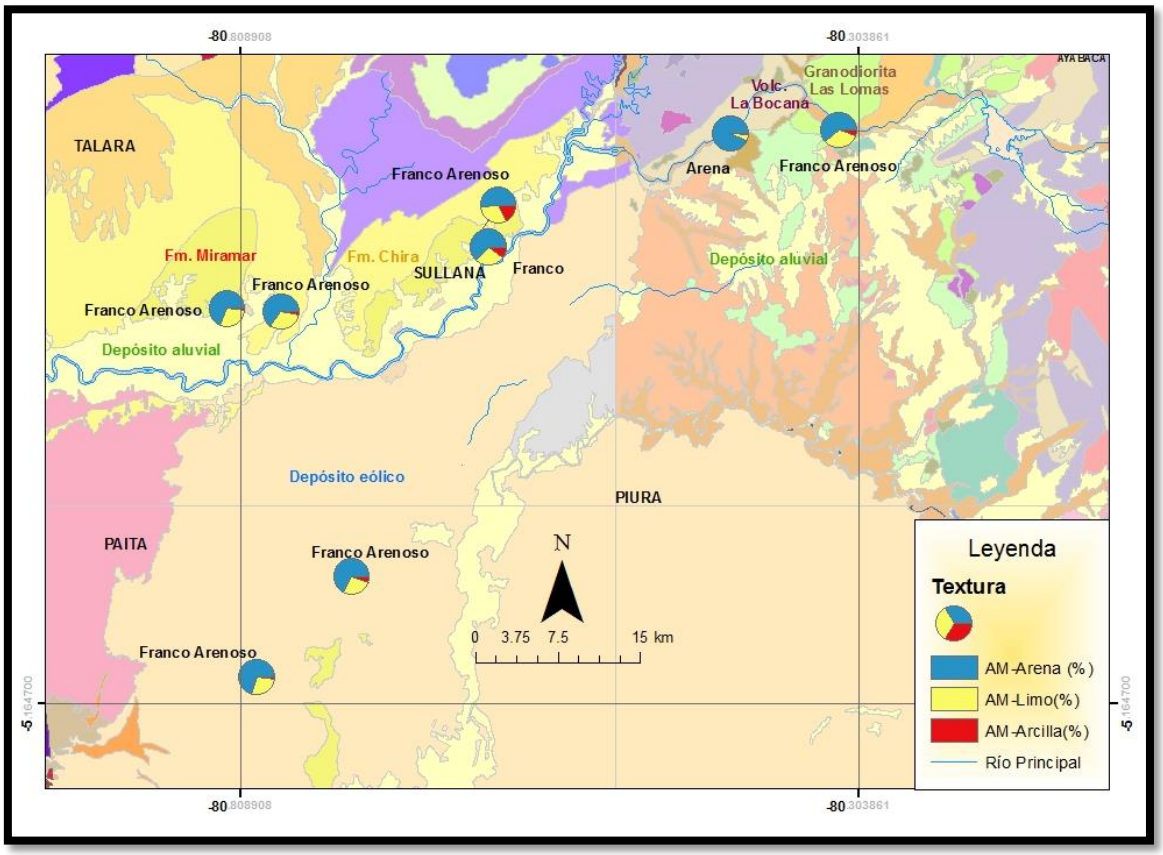


Figura 29. Distribución geográfica de los puntos analizando textura.
Fuente: Elaboración Propia

Los diferentes porcentajes de arena, arcilla y limo se pueden explicar por las diversas formaciones presentes en las zonas donde se encuentran ubicadas.

b) Contenido de Carbonatos.

Los valores de carbonatos varían entre 0,17% en el punto A, hasta un máximo de 19,2% en el punto C el cual se encuentra ubicado entre Piura y Sullana. Se entiende la elevada cantidad de carbonatos en comparación con los otros ya que ese punto está dentro de una ladrillera, donde se percibió considerables cantidades calcita mientras se tomaba la muestra. Además en una porción de muestra, se aplicó unas gotas de ácido clorhídrico y la roca tuvo un efecto efervescente, por lo cual se podía anticipar el alto contenido de carbonatos que tenía. Así mismo se percibió que este tipo de rocas, minerales y sales se extiende en una gran parte de suelo a los alrededores. (Ver Tabla 12).

Tabla 12. Resultados obtenidos de Carbonato de Calcio

NOMBRE	CÓDIGO	$CaCO_3$ (%)
Punto A	**PA-A**	**0,17**
Punto C	**PA-SLL-C**	**19,2**
Punto D	**SLL-D**	**1,63**
Punto E	**SLL-E**	**0,08**
Punto F	**SLL-F**	**0,84**
Punto G	**SLL-G**	**0,88**
Punto H	**LO-H**	**0,36**
Punto I	**LO-I**	**0,38**

Fuente: Elaboración Propia

Respecto a la distribución espacial dentro de la cuenca, a continuación se presenta un mapa con el contenido de carbonatos distribuidos en la zona de estudio. Como es visible, el valor más alto de carbonatos se encuentra en el punto C, gráficamente con color rojo. Los valores más bajos se encuentran en la parte de Las Lomas y son de color amarillo. (Ver Figura 30).

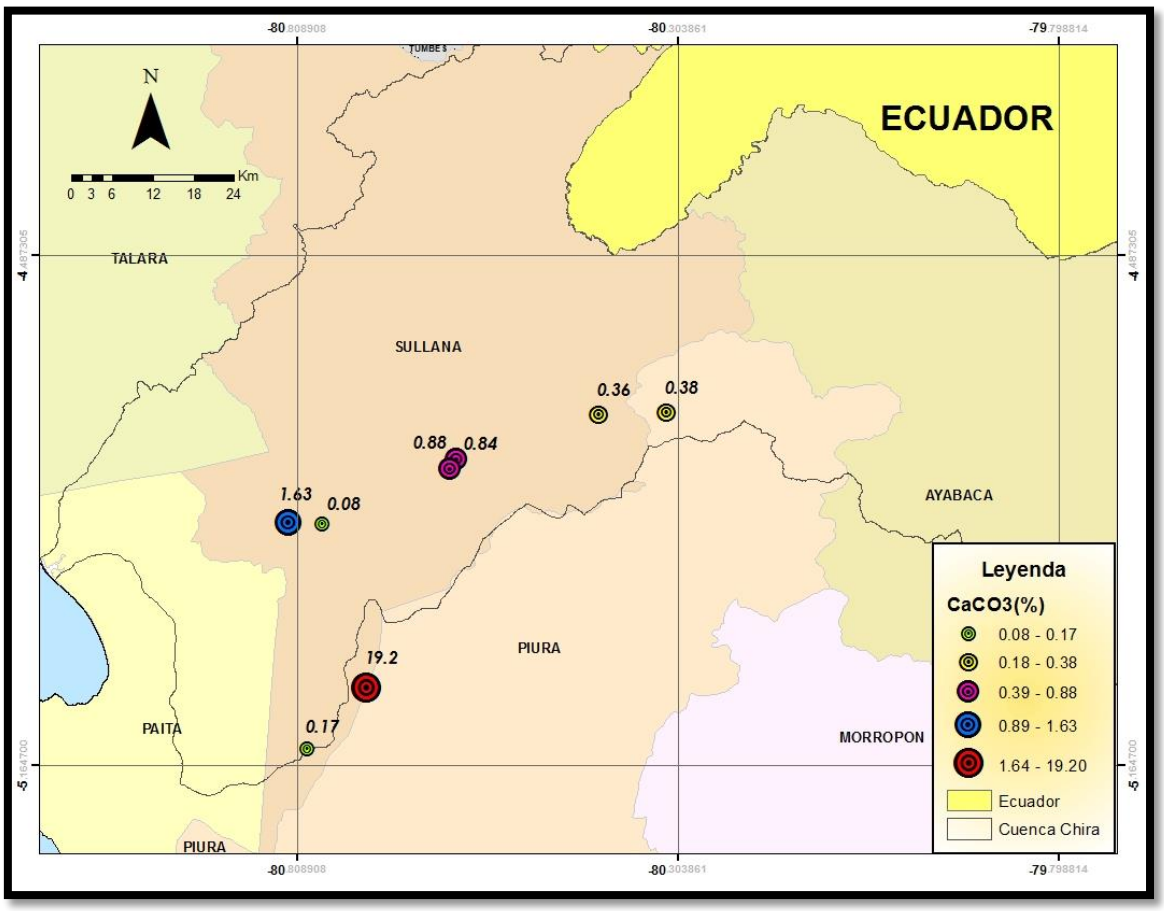


Figura 30. Distribución geográfica de los puntos analizando carbonatos de calcio
Fuente: Elaboración Propia

Figura 31. Muestra analizada in-situ sufriendo un efecto efervescente.

El efecto efervescente que sufrió una pequeña porción de la muestra en este punto, anticipaba la cantidad fuerte de carbonatos presentes. (Ver Figura 31).

c) Materia Orgánica

Dentro de la zona de estudio los valores variaron desde un mínimo de 0,24% en el punto A, ubicado en la zona de Piura, hasta un máximo de 0,40% en el punto I, ubicado en la zona de Las Lomas. (Ver Tabla 13). Durante el mes de mayo considerado un periodo seco, significa encontrar valores de MO bajos, justificándose así que la materia orgánica en su totalidad se ha desintegrado a lo largo del valle anteriormente en el período húmedo.

Tabla 13. Cantidad de Materia Orgánica

NOMBRE	CÓDIGO	MO (%)
Punto A	**PA-A**	**0,24**
Punto C	**PA-SLL-C**	**0,29**
Punto D	**SLL-D**	**0,35**
Punto E	**SLL-E**	**0,26**
Punto F	**SLL-F**	**0,32**
Punto G	**SLL-G**	**0,29**
Punto H	**LO-H**	**0,37**
Punto I	**LO-I**	**0,40**

Fuente: Elaboración Propia

Según los porcentajes de materia orgánica en todas las muestras, los valores se encuentran por debajo de 0,9%, lo cual significa en términos estándares que son muy bajos, tal como se mostró en el capítulo 2 en la Tabla 2.

Se presenta a continuación el mapa la distribución de materia orgánica en la zona de estudio. Se observa que los rangos de distribución del contenido de MO son bajos, como es característico en la zona por la acelerada descomposición de la misma, debido a las altas temperaturas. (Ver Figura 32).

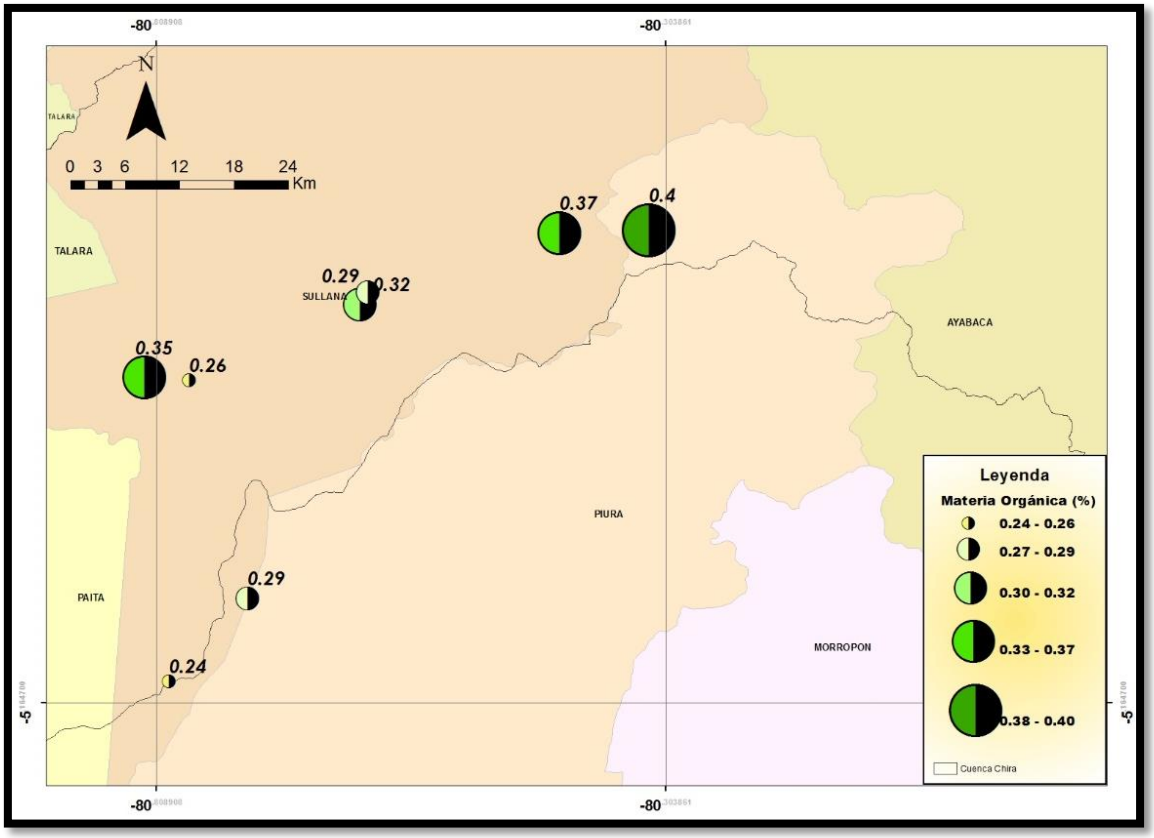


Figura 32. Distribución geográfica de los puntos analizando el % de MO
Fuente: Elaboración Propia

d) Fósforo disponible:

Los valores obtenidos van desde 2,94 ppm en el punto E hasta 5,9 ppm en el punto F. (Ver Tabla 14). Estos últimos, presentan los valores más altos dentro de esta fase exploratoria, ambos ubicados en Sullana, caracterizada por la formación Chira y Verdum con altos contenidos de arcillas, causantes de una mejor absorción de fósforo por encontrase cargados positivamente. En general, la mayoría de puntos tiene valores bajos de P en (ppm), por lo tanto se puede decir, que a lo largo del área estudiada los valores de fósforo disponible son bajos, pudiéndose considerar anómalos.

Tabla 14. Fósforo disponible

NOMBRE	CÓDIGO	P(ppm)
Punto A	**PA-A**	**3,68**
Punto C	**PA-SLL-C**	**3,26**
Punto D	**SLL-D**	**4,17**
Punto E	**SLL-E**	**2,94**
Punto F	**SLL-F**	**5.9**
Punto G	**SLL-G**	**3,11**
Punto H	**LO-H**	**4,84**
Punto I	**LO-I**	**3,95**

Fuente: Elaboración Propia

La distribución de fósforo disponible a lo largo de la cuenca, puede ser percibida de manera gráfica, junto con los valores agrupados en rangos. (Ver Figura 33). Es apreciable que los valores no son muy dispersos entre sí, pero varían a pesar de su cercanía de ubicación.

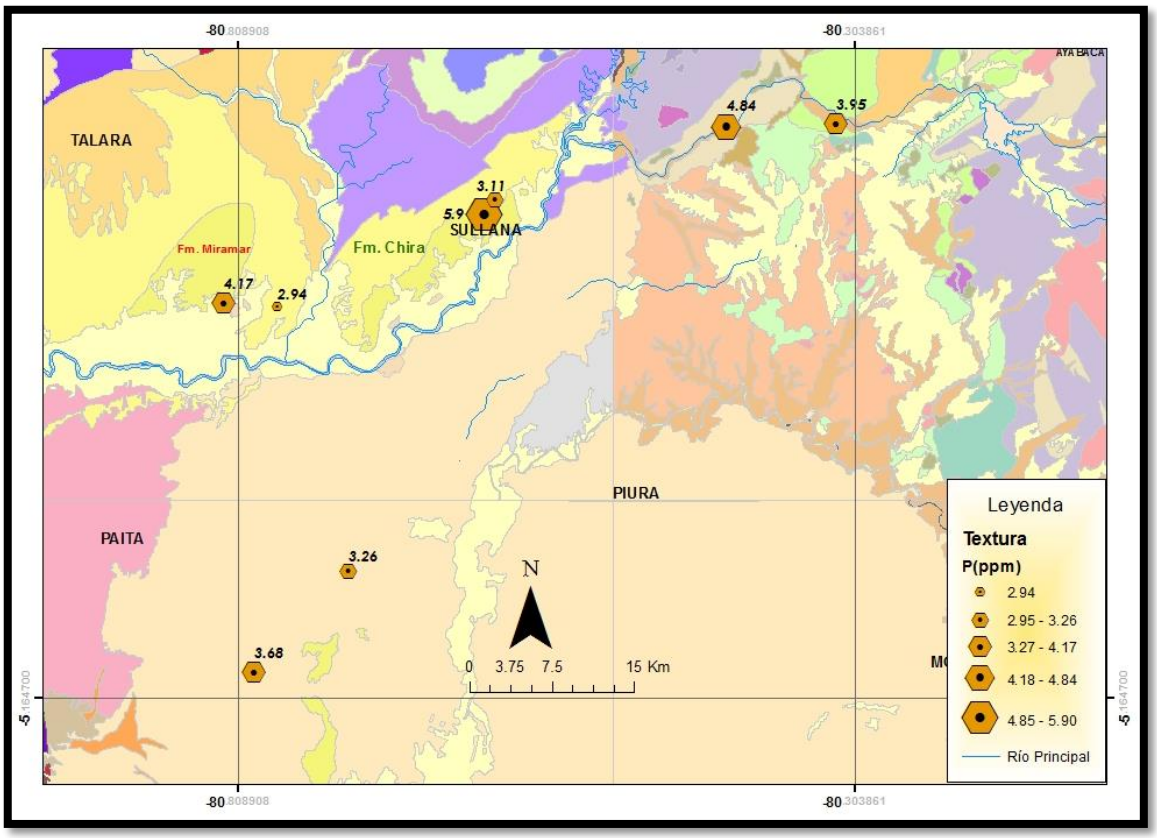


Figura 33. Distribución geográfica de los puntos considerando el fósforo disponible
Fuente: Elaboración Propia

e) Potasio disponible:

El potasio disponible existe, en el suelo como ion potasio en estructuras minerales. En este periodo escogido para la toma de muestras como se presenta en la Tabla 15, los valores de K en ppm se encuentra en el rango de valores medios, teniendo un promedio de 122,66 ppm. Estos variaron desde un mínimo de 20,74 ppm en el punto C, hasta un máximo de 424,85 ppm en el punto D.

Tabla 15. Potasio disponible

NOMBRE	CÓDIGO	K(ppm)
Punto A	**PA-A**	**28,54**
Punto C	**PA-SLL-C**	**20,74**
Punto D	**SLL-D**	**424,85**
Punto E	**SLL-E**	**145,88**
Punto F	**SLL-F**	**146,21**
Punto G	**SLL-G**	**119,16**
Punto H	**LO-H**	**36,68**
Punto I	**LO-I**	**59,25**

Fuente: Elaboración Propia

Como es apreciable, la variabilidad es grande por tratarse de puntos que se encuentran en diferentes formaciones geológicas. Dicha condición se ve afectada porque la cantidad de potasio se encuentra relacionado con la textura, siendo el punto más bajo el que está en el punto C con un valor de 20,74 ppm que está en Piura, (donde la textura es franco arenosa). Esto le permite diferenciarse de los valores más altos que se encuentran en Sullana, donde la mayoría presenta un elevado contenido de arcilla expansiva, lo que conlleva a presentar gran cantidad de potasio. Debido a sus formaciones, Chira y Miramar contienen minerales principales como micas moscovitas y feldespatos (en mediana cantidad), los cuales poseen potasio no intercambiable en el interior de su estructura y al meteorizarse, liberan este elemento, que ya puede ser absorbido por las plantas motivo por el que las nutre. (Ver Figura 34)

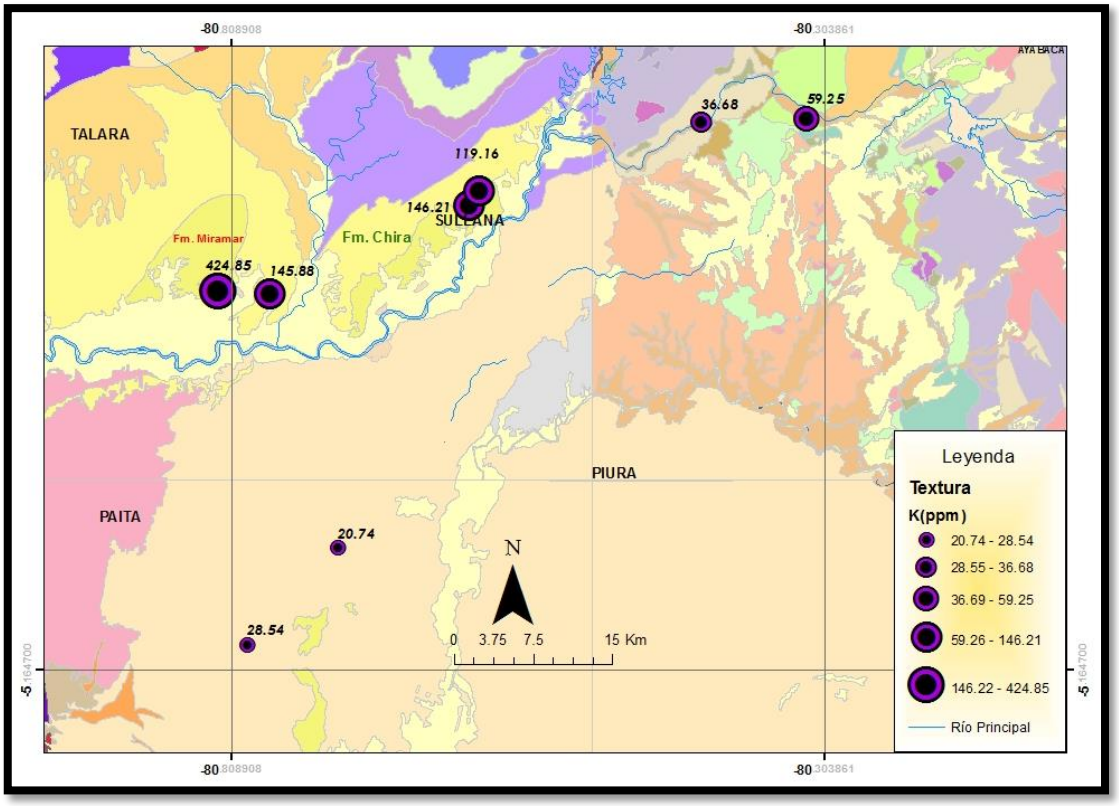


Figura 34. Distribución geográfica de los puntos considerando el potasio disponible
Fuente: Elaboración Propia

f) pH:

El pH del suelo dependerá de diversos factores incluyendo la formación del suelo, la estación del año, las prácticas de cultivo, profundidad de muestreo, contenido hídrico y la técnica utilizada para determinar el pH. Es muy importante la evaluación del pH, ya que es un indicador de la salinidad o sodicidad del suelo. Se debe tener presente que un pH por debajo de 8,5 define al suelo como ácido y por encima de 8,5 es alcalino. Para cada caso, el suelo debe ser tratado según las características y deficiencias existentes. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16. Cantidad de pH

NOMBRE	CÓDIGO	pH 1:1
Punto A	PA-A	6,62
Punto C	PA-SLL-C	8,17
Punto D	SLL-D	7,75
Punto E	SLL-E	6,56
Punto F	SLL-F	8,99
Punto G	SLL-G	8,34
Punto H	LO-H	8,52
Punto I	LO-I	6,71

Fuente: Elaboración Propia

En cuanto a la distribución espacial, tenemos valores mínimos de pH como 6,62 y 6,71 en los puntos A e I respectivamente y el valor más alto se obtiene en el punto F con un valor de 8,99, siendo altamente alcalino, representando un problema para este punto, ya que al ser elevado, puede asociarse a problemas de drenaje, conductividad eléctrica, etc y ser nocivo para el suelo. Es muy inusual que contenidos de pH sean tan elevados como este, pues es una zona eriaza y no presenta contaminación de actividades realizadas por el hombre, lo que podría significar ser una posibilidad de un error del laboratorio, o por el reactante usado en el ensayo, aunque podemos ver que el segundo valor más alto es el valor en el punto G con 8,34.

Se puede observar los valores de pH distribuidos a lo largo de la cuenca. (Ver Figura 35)

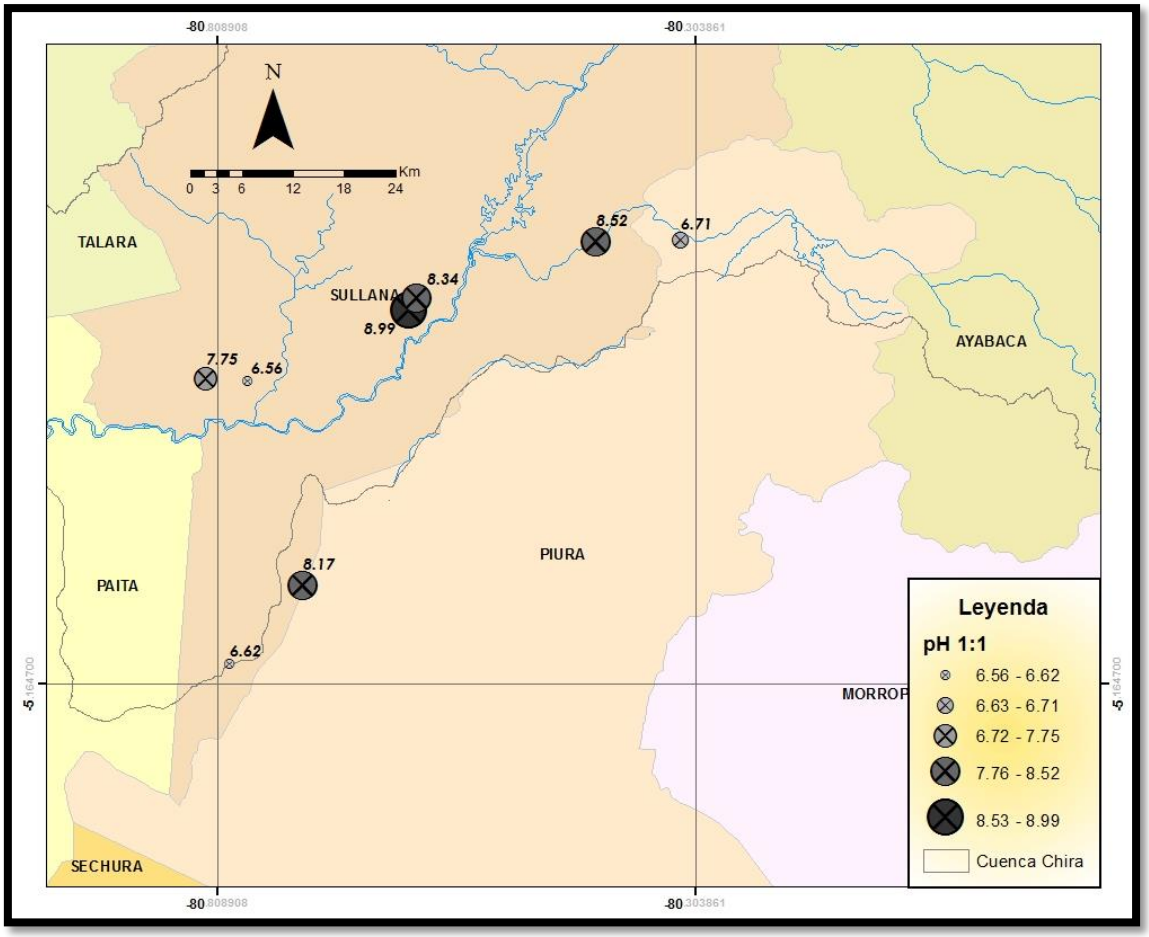


Figura 35. Distribución geográfica de los puntos considerando pH
Fuente: Elaboración Propia

g) Conductividad eléctrica

Para este parámetro, se han obtenido los siguientes valores presentados en la Tabla 17.

Tabla 17. Valores obtenidos de Conductividad Eléctrica

NOMBRE	CÓDIGO	CE ds/m Relación 1:1
Punto A	**PA-A**	**3,21**
Punto C	**PA-SLL-C**	**0,39**
Punto D	**SLL-D**	**17,01**
Punto E	**SLL-E**	**31,1**
Punto F	**SLL-F**	**0,41**
Punto G	**SLL-G**	**0,94**
Punto H	**LO-H**	**0,21**
Punto I	**LO-I**	**5,41**

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la Tabla 17, el valor más bajo corresponde al punto H, con un valor de 0,21 ubicado en Las Lomas, y el valor más alto es el perteneciente al punto E con un valor de 31,1 ubicado en Sullana, este último viene seguido del punto D con 17,01 pasando el rango de 16, ambos considerándose extremadamente salinos, tal como se muestra en el capítulo 2.

Se presenta la distribución de este parámetro a lo largo de la cuenca donde se recolectaron los puntos. (Ver Figura 36)

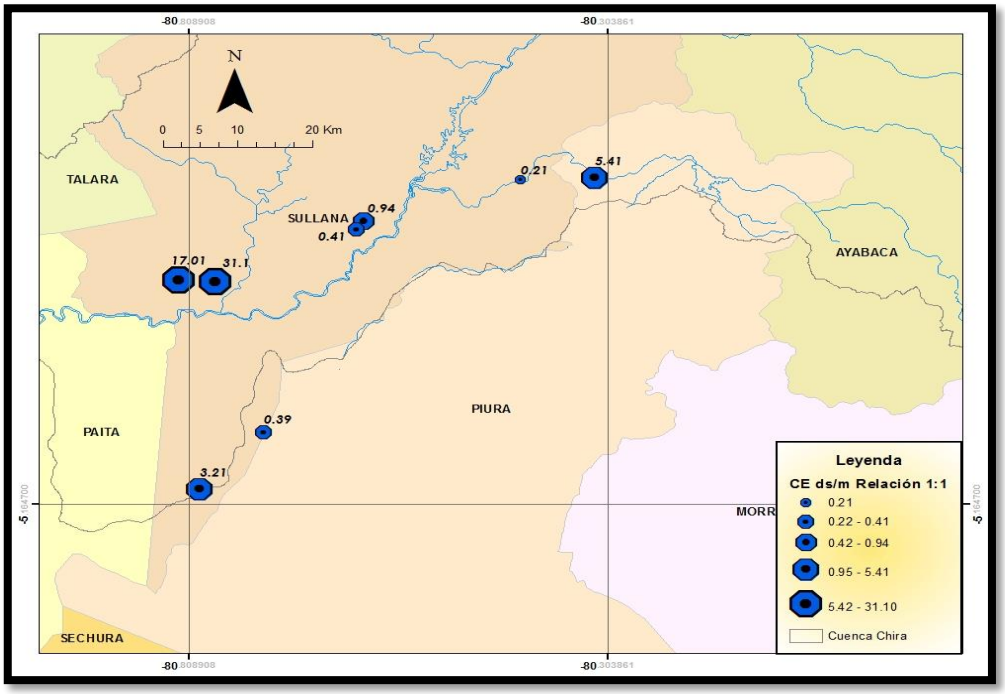


Figura 36. Distribución geográfica de los puntos considerando Conductividad Eléctrica.
Fuente: Elaboración Propia

h) Cationes Intercambiables

Los valores de cationes intercambiables de los 8 puntos de muestreo en el período seco, se presentan en la Tabla 18. Los valores variaron desde un CIC total de 19,6 en el punto H hasta 36,9 en el punto G. Tal como se muestra en los resultados, el calcio es el catión más abundante en todos los suelos, teniendo en promedio un valor de 18,90 Cmol/kg. (Ver Tabla 18).

Tabla 18. Cantidad de Cationes Intercambiables

NOMBRE	Cambiables (Cmol(+)/kg)				
	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	K^{+}	CIC TOTAL
Punto A	25,72	0,42	0,11	0,06	26,3
Punto C	27,85	2,08	0,11	0,05	30,1
Punto D	19,54	1,27	1,78	1,17	23,8
Punto E	17,56	1,18	0,11	0,33	28,2
Punto F	10,68	1,68	1,52	0,42	21,2
Punto G	26,68	2,78	1,03	0,28	36,9
Punto H	13,75	3,18	0,77	0,11	19,6
Punto I	9,41	2,55	0,09	0,15	21,20

A continuación se presenta la distribución espacial dentro de la zona de estudio con las bases cambiables estudiadas. Se muestran de forma gráfica las cantidades de calcio, magnesio, sodio y potasio. (Ver Figura 37)

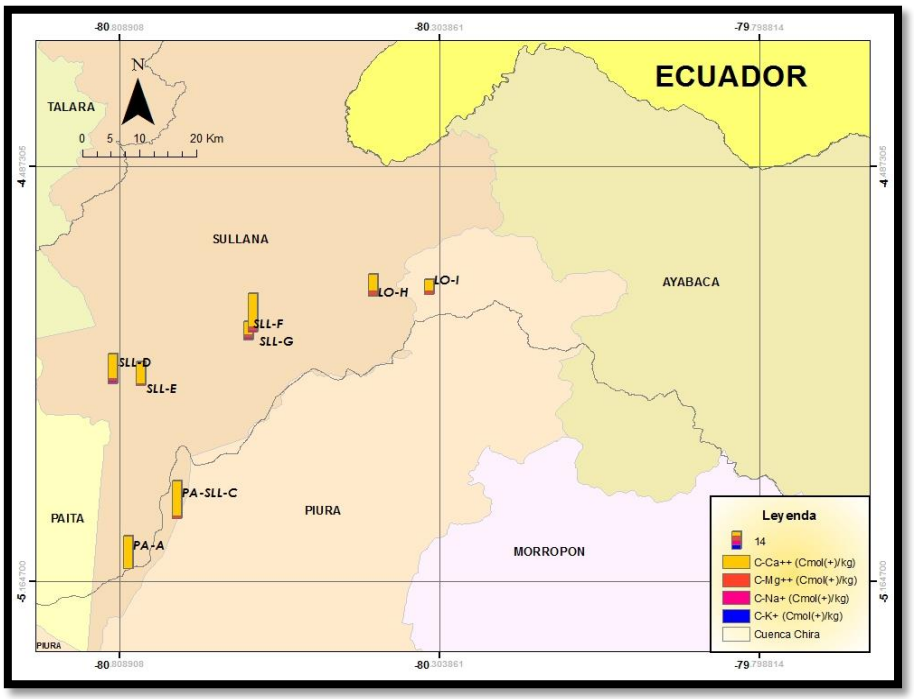


Figura 37. Distribución geográfica de los puntos teniendo en cuenta con cationes intercambiables.
Fuente: Elaboración Propia

3.3.1.4 Análisis de agua

En esta primera campaña se decidió no hacer análisis de agua, debido a que el período vegetativo en el que se encontraba todo el valle era en la etapa inicial de cosecha, por lo tanto no se vería una influencia del agua directa sobre el suelo. Así mismo es importante mencionar que el Valle es abastecido casi en su totalidad por agua superficial de las estructuras hidráulicas más importantes como lo son La Represa Poechos y los diversos canales de derivación que existen a lo largo de toda la cuenca. Además, como se ha mencionado anteriormente, esta investigación se realiza junto a un proyecto más grande, por lo cual se ha respetado el no hacer las pruebas de agua para esta fase exploratoria.

3.3.2 Fase Exploratoria 2

La segunda expedición se desarrolló con 4 salidas de campo, tomando en cuenta las coordenadas de la primera fase de exploración ubicadas dentro de la cuenca a estudiar. En esta segunda fase se tiene como finalidad la toma de muestra de suelo por medio de calicatas de 30 centímetros de profundidad, como se hizo en la fase exploratoria 1, así como la toma de muestra de aguas en los pozos más cercanos a las áreas de estudio.

3.3.2.1 Recolección de muestras

A. Primera Jornada

En la primera jornada, realizada el día martes 01 de diciembre del 2015, se tomó solo una muestra perteneciente a la cuenca de Chira. El Punto a estudiar es el FU-1 y la coordenada que lo define se encuentra en la Tabla 19. La ubicación total de los puntos se ubicará en el mapa que se muestra en la Figura 48.

Tabla 19. Coordenadas de la primera jornada

Punto	Coordenada Este	Coordenada Norte	Referencia
Punto FU-1	**554767**	**9466758**	**Caserío Las Cañas**

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se presenta una pequeña descripción de la calicata realizada para tomar las muestras de suelo, así como su respectiva referencia fotográfica.

- **Punto FU-1**

El punto FU-1 forma parte de extensas áreas de arena eólica, el suelo se constituye en gran porcentaje de arenas de grano fino a muy fino. El contenido de materia orgánica determinado por la presencia de raíces, es más abundante en algunas áreas que en otras. La calicata se elaboró cerca de plantaciones de banano orgánico, estas áreas antes fueron sembríos de mango y limón, con un sistema de riego tradicional. Actualmente la construcción de pozos y el uso de una red de tuberías han desarrollado un nuevo sistema de regadío, con uso razonable del agua.

Este punto ha sido tomado en vez del punto C, ya que en la segunda fase no se pudo ingresar, pues tal como se relató en la primera fase este punto se encontraba dentro de una ladrillera, por lo tanto habían uno sistema protocolar que seguir para poder ingresar y debido a la ardua producción en la que se encontraba en ese momento no se pudo hacer

la toma respectiva de la muestra. Es importante mencionar que ambos puntos se encuentran dentro del mismo valle del Chira, que es una de las zonas de estudio del proyecto. (Ver Figura 38)

Figura 38. Calicata del punto FU-1
Fuente: Elaboración Propia

B. Segunda Jornada

En la segunda jornada, realizada el día viernes 04 de diciembre del 2015, los puntos de estudio se ubican dentro del tablazo Talara y formaciones geológicas que se formaron durante el terciario superior. Se encuentran ubicadas en las siguientes coordenadas. (Ver Tabla 20). La ubicación total de los puntos se ubicará en el mapa que se muestra en la Figura 48.

Tabla 20. Coordenadas de la segunda jornada

Punto	Coordenada Este	Coordenada Norte	Referencia
Punto A	**520446**	**9431123**	**Al sur de loma La Mesita**
Punto DX2	**516756**	**9465185**	**Cerca de Cañas-Sembríos de plátanos**
Punto EX2	**522772**	**9464322**	**Las golondrinas- Sembrío de arroz**

Fuente: Elaboración Propia

- **Punto A**

Este punto se ubica en extensas áreas de arena eólica, así también la presencia de pequeños afloramientos, remanentes del Tablazo Talara, el suelo se conforma por arenas poco consolidadas, capas delgadas de yeso y bajo contenido de materia orgánica. (Ver Figura 39)

Figura 39. Calicata del punto A

- **Punto D**

El punto DX2, es un nuevo punto tomado dentro del mismo valle, ubicado dentro de la cuenca geológica Talara, el suelo es producto de la erosión de las formaciones geológicas que forman parte de la estratigrafía de la cuenca, la litología se describe por arenas, arcillas y limos, alto contenido de yeso en forma de costras y el contenido de materia orgánica. En este lugar encontramos extensiones con sembríos de banano orgánico, por lo cual se podría entender su alto contenido de humedad y materia orgánica. (Ver Figura 40)

Figura 40. Calicata del Punto DX2

- **Punto E**

El punto EX2, al igual que el punto DX2 es un nuevo punto tomado dentro del valle Chira. La calicata presenta un suelo color gris oscuro, rico en materia orgánica con un alto contenido de arcillas y plasticidad, cerca de esta área se observa afloramientos de rocas sedimentarias con presencia de yeso en forma de capas, venillas y costras de varios centímetros de espesor. En esta área, se observó grandes extensiones de terrenos con sembríos de arroz. (Ver Figura 41)

Figura 41. Calicata del punto E

C. Tercera Jornada

La tercera jornada se realizó el día miércoles 09 de diciembre del 2015, se hicieron 3 calicatas en zonas de litología diferente, el punto H se ubica en la Cuenca Lancones y los puntos F y G se ubican en la Cuenca Talara. Las coordenadas que los definen son las siguientes. (Ver Tabla 21). La ubicación total de los puntos se ubicará en el mapa que se muestra en la Figura 48.

Tabla 21. Coordenadas de la tercera jornada

Punto	Coordenada Este	Coordenada Norte	Referencia
Punto F	**544558**	**9474266**	**Este del Cerro Buitre**
Punto GX2	**550112**	**9481756**	**Este del Cerro Buitre**
Punto HX2	**565603**	**9480847**	**Las golondrinas**

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se presenta una descripción de los puntos de muestreo.

- **Punto F**

La litología de la cuenca Talara es netamente sedimentaria, el punto F se ubica sobre extensas áreas de sedimentos de grano fino, actualmente están siendo utilizadas para siembra de banano orgánico, la calicata se hizo en tierras erizas, se observan plantas secas que crecen en épocas de lluvia, de acuerdo a su litología presenta arenas, limos, arcillas y pequeños fragmentos angulosos de gravas. (Ver Figura 42).

Figura 42. Calicata del punto F

- **Punto GX2**

La calicata se realizó en áreas de tierras eriazas, rodeadas de lomadas y afloramientos de areniscas, el suelo presenta una litología de arenas de grano medio a fino, limos, arcillas y un alto contenido de yeso cristalizado. La presencia de raíces finas secas como materia orgánica es muy baja en este punto. (Ver Figura 43).

Figura 43. Calicata del Punto GX2

- **Punto HX2**

Por su ubicación en la cuenca Lancones, se observan afloramientos de rocas volcánicas andesíticas en su mayoría, la calicata se hizo dentro de campos de sembrío ubicados en la margen derecha del río Chipillico. Presenta abundante materia orgánica por la presencia de raíces finas a muy finas de restos de plantaciones de maíz, el suelo se presenta altamente consolidado, constituido por arenas, limos, arcillas y pequeños fragmentos de gravas. (Ver Figura 44).

Figura 44. Calicata del punto HX2

También se realizó la toma de muestra de agua, en un pozo ubicado a 200 metros de la calicata muy cerca al río Chipillico, este pozo es uno de los abastecedores de agua a los caseríos más cercanos. (Ver Figura 45)

Figura 45. Abastecimiento de agua punto HX2

D. Cuarta Jornada

La cuarta jornada de campo se desarrolló el día viernes 11 de diciembre del 2015, el punto de muestreo y estudio geofísico se realizó en el caserío Pelingará, distrito Las Lomas. El punto analizado será "I" y sus coordenadas que los definen son las siguientes. (Ver Tabla 22). La ubicación total de los puntos se ubicará en el mapa que se muestra en la Figura 48.

Tabla 22. Coordenadas de los puntos de la cuarta Jornada

Punto	Coordenada Este	Coordenada Norte	Referencia
Punto IX2	**574000**	**9477853**	**Cerca de la Bocana**

Fuente: Elaboración Propia

- **Punto IX2**

El punto IX2, se ubica en la cuenca Lancones alrededor de afloramientos de la formación Ereo, Volcánico la Bocana, volcánico Lancones, depósitos aluviales y coluviales. La calicata se hizo en un terreno con plantaciones de limón, el suelo presenta arenas, limos y arcillas, la materia orgánica está comprendida por las raíces y hojas secas de cosechas pasadas, por ubicarse en una zona de mineralización en superficie se observa la alta oxidación de los minerales componentes del suelo. (Ver Figura 46).

Figura 46. Calicata del punto IX2

En el área se encontró un pozo a tajo abierto, con utilidad para riego agrícola, de profundidad 7 metros aproximadamente. Se tomó 3 muestras de agua para su análisis fisicoquímico. (Ver Figura 47)

Figura 47. Pozo punto IX2

3.3.2.2 Elaboración de base de datos en GIS

Al igual que en la primera fase, los datos fueron complementados con información de los ensayos químicos que resultaron en esta campaña de campo. Luego fueron procesados y se elaboraron mapas con análisis propios del programa que se muestran de manera gráfica en cada ubicación. Esta vez además se anexará en los análisis, resultados de muestras de agua que se tomaron en 3 puntos de la cuenca; dichos resultados también han sido procesados por el programa, mostrándolos de manera gráfica que sirvan para la interpretación.

Los mapas elaborados, irán en el siguiente apartado de análisis de variables, tanto en la parte química del suelo como en la parte de análisis de agua. Se muestra a continuación los puntos de estudio en esta segunda fase exploratoria. (Ver Figura 48)

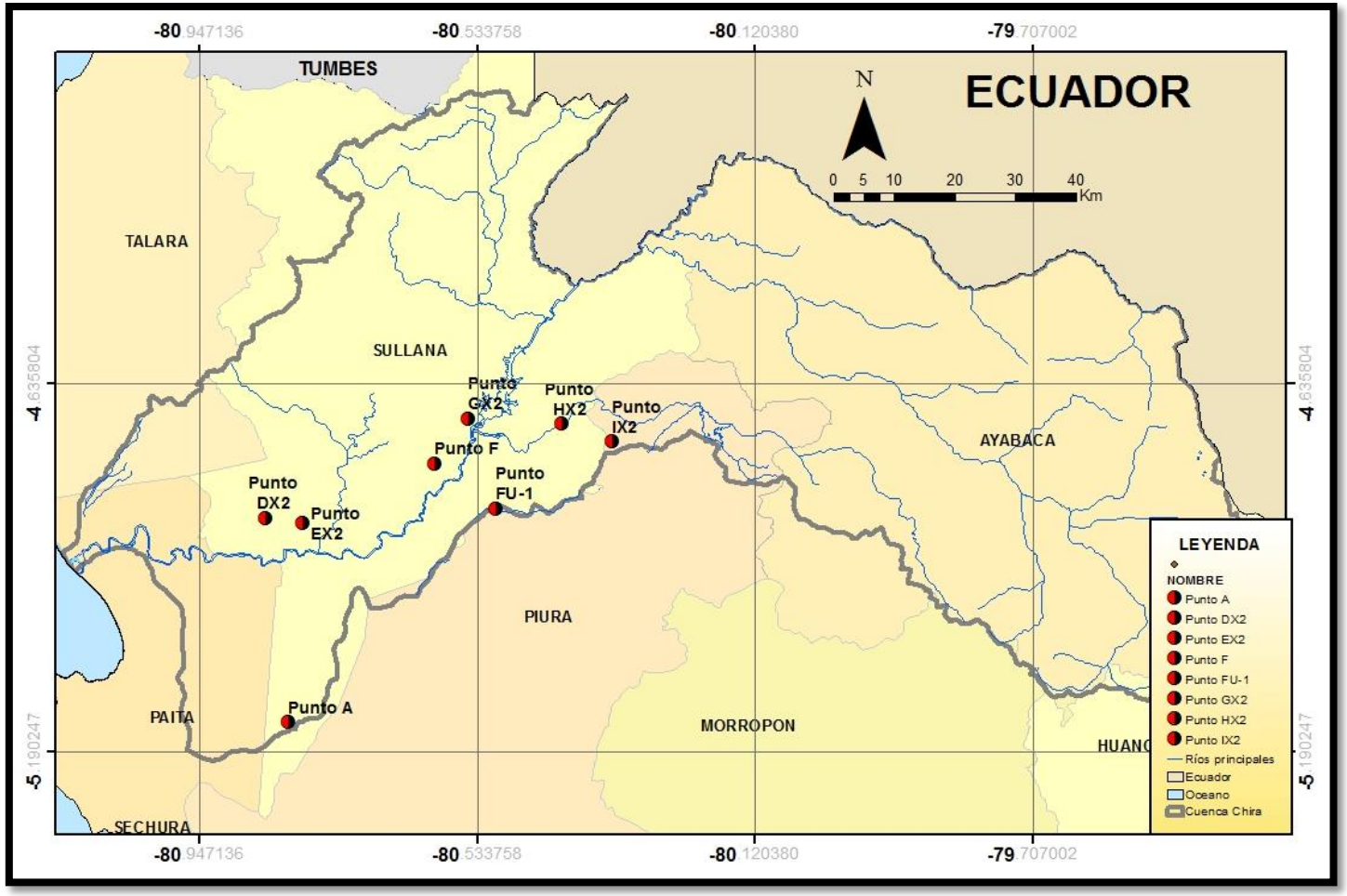


Figura 48. Mapa de ubicación de los puntos de estudio en la cuenca Chira – Fase exploratoria 2
Fuente: Elaboración Propia

3.3.2.3 Resultados de análisis químico del suelo

A. Presentación de resultados

Tabla 23. Resultados de caracterización química de los puntos de estudio

NOMBRE	CÓDIGO	X	Y	CE ds/m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH 1:1	MO (%)	P(ppm)	K_2O(ppm)	$CaCO_3$ (%)	Cambiables (Cmol(+)/kg)				
					Arena (%)	Limo(%)	Arcilla(%)	Textura						CIC TOTAL	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	K^{+}
Punto A	PA-A	520446	9431123	0,34	75,68	17,28	7,04	Franco arenoso	8,04	0,31	17,58	113	0,6	23,12	11,4	1,17	0,11	0,28
Punto FU-1	SLL-FU1	554767	9466758	0,52	71,68	21,28	7,04	Franco arenoso	7,06	0,76	40,32	332	0,35	15,36	6,9	1,1	0,11	0,77
Punto EX2	SLL-EX2	522772	9464322	0,99	24,4	31,28	44,32	Arcilla	7,38	1,23	13,35	286	0,35	34,56	28,47	4,95	0,49	0,65
Punto DX2	SLL-DX2	516756	9465185	20,6	20,4	65,28	14,32	Franco limoso	6,97	1,95	25,66	322	2,02	40	33,15	4,13	1,93	0,78
Punto HX2	LO-H	565603	9480847	0,44	52,4	37,28	10,32	Franco arenoso	8,09	0,47	22,68	352	0,2	49,2	45,70	2,38	0,28	0,84
Punto F	SLL-F	544558	9474266	0,91	28,4	47,28	24,32	Franco	7,84	0,87	21,43	230	6,72	29,12	14,10	4,93	0,3	0,12
Punto GX2	SLL-GX2	550112	9481756	2,63	46,4	49,28	4,32	Franco arenoso	7,55	0,12	17,11	164	4,61	50,72	49,87	0,44	0,11	0,3
Punto IX2	LO-IX2	574000	9477853	0,77	36,4	39,28	24,32	Franco	7,68	1,33	19,27	98	1,54	36	29,91	5,46	0,17	0,46

Fuente: elaboración propia

B) Análisis de Variables

Las variables fisicoquímicas analizadas fueron

a) Textura

Esta vez dentro de las clasificaciones de textura, se encontraron dos nuevas texturas las cuales son arcilla y franco limoso. Estas nuevas clases texturales se dieron en los puntos EX2 y DX2.

Tabla 24. Análisis de textura

NOMBRE	CÓDIGO	Análisis Mecánico			
		Arena (%)	Limo(%)	Arcilla(%)	Textura
Punto A	PA-A	75,68	17,28	7,04	Franco arenoso
Punto FU-1	SLL-FU1	71,68	21,28	7,04	Franco arenoso
Punto EX2	SLL-EX2	24,40	31,28	44,32	Arcilla
Punto DX2	SLL-DX2	20,40	65,28	14,32	Franco limoso
Punto HX2	LO-H	52,40	37,28	10,32	Franco arenoso
Punto F	SLL-F	28,40	47,28	24,32	Franco
Punto GX2	SLL-GX2	46,40	49,28	4,32	Franco arenoso
Punto IX2	LO-IX2	36,40	39,28	24,32	Franco

Fuente: Elaboración propia

Estas nuevas texturas indican que a pesar de la cercanía de las formaciones litológicas, existen diferentes factores que pueden hacer que la textura varíe en distancias cortas, pues depende de los porcentajes de arena, arcilla y lima presentes; los mismos que se ven influenciados por la gran variabilidad de formaciones geológicas existentes. Los valores nuevos, se encuentran en la presencia de las formaciones Chira y Miramar, que se caracteriza por sus extensiones de partículas finas como el limo y las arcillas expansivas, con gran capacidad de retención de agua y nutrientes. (Ver Figura 49)

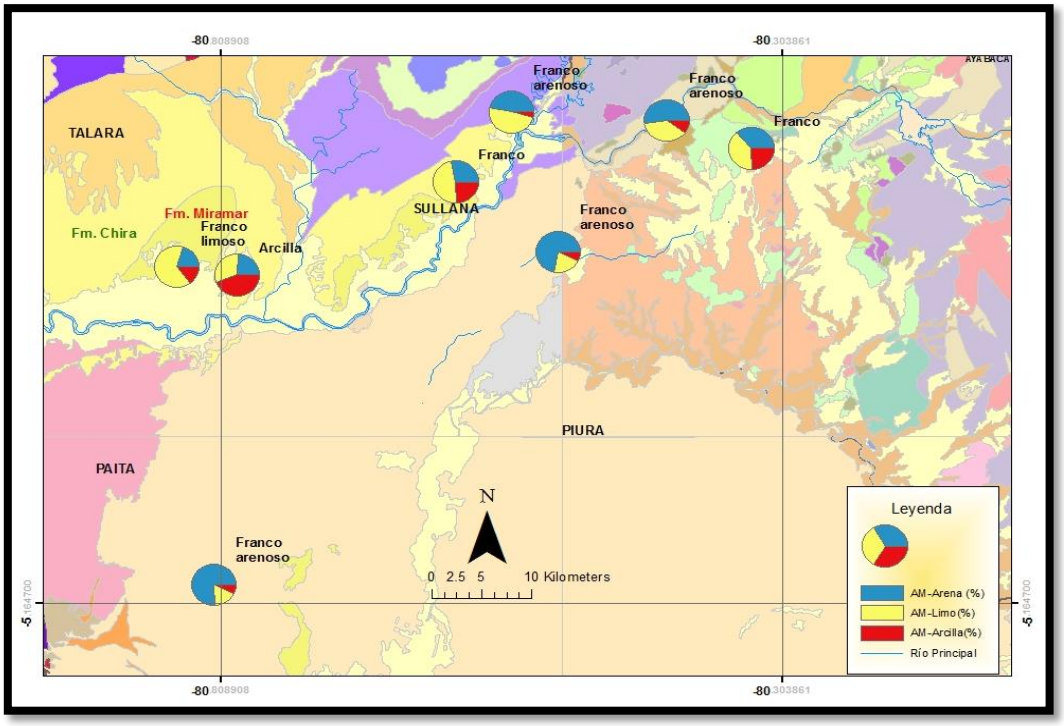


Figura 49. Mapa de distribución de texturas
Fuente: elaboración propia

b) Contenido de Carbonatos.

La cantidad de carbonatos de calcio en esta segunda fase, son desde un mínimo valor de 0,20% en el punto HX2, hasta 4,61% en el punto GX2. La cantidad de $CaCO_3$ ha podido ser influenciada por el tiempo en que ha sido tomada la muestra, realizada en el mes de Diciembre. Los lugares correspondientes a los valores más bajos, pueden presentar un empobrecimiento en el suelo, ya que en esta fase se encontraban terminando de recoger los diversos productos en las áreas de cultivo, tales como mango, limón y banano, los mismos que aprovecharon los carbonatos necesarios para nutrir la planta, o balancear el pH en algunos casos, donde los niveles de alcalinidad son altos. (Ver Tabla 25).

Tabla 25. Cantidad de Carbonatos de calcio

NOMBRE	CÓDIGO	$CaCO_3$(%)
Punto A	**PA-A**	**0,60**
Punto FU-1	**SLL-FU1**	**0,35**
Punto EX2	**SLL-EX2**	**0,35**
Punto DX2	**SLL-DX2**	**2,02**
Punto HX2	**LO-H**	**0,20**
Punto F	**SLL-F**	**6,72**
Punto GX2	**SLL-GX2**	**4,61**
Punto IX2	**LO-IX2**	**1,54**

Fuente: Elaboración Propia

La distribución de carbonatos en la cuenca se muestra a continuación. Dicho parámetro se ha evaluado en cinco rangos, mostrándose los valores correspondientes de cada punto analizado. Dentro de los rangos de $CaCO_3$ presentados en el capítulo 2, podemos apreciar que la mayoría de los puntos se encuentran en un nivel medio entre 1 y 5%. Solo el punto F sobrepasa este valor llegando a 6,72%, considerándose alto. (Ver Figura 50)

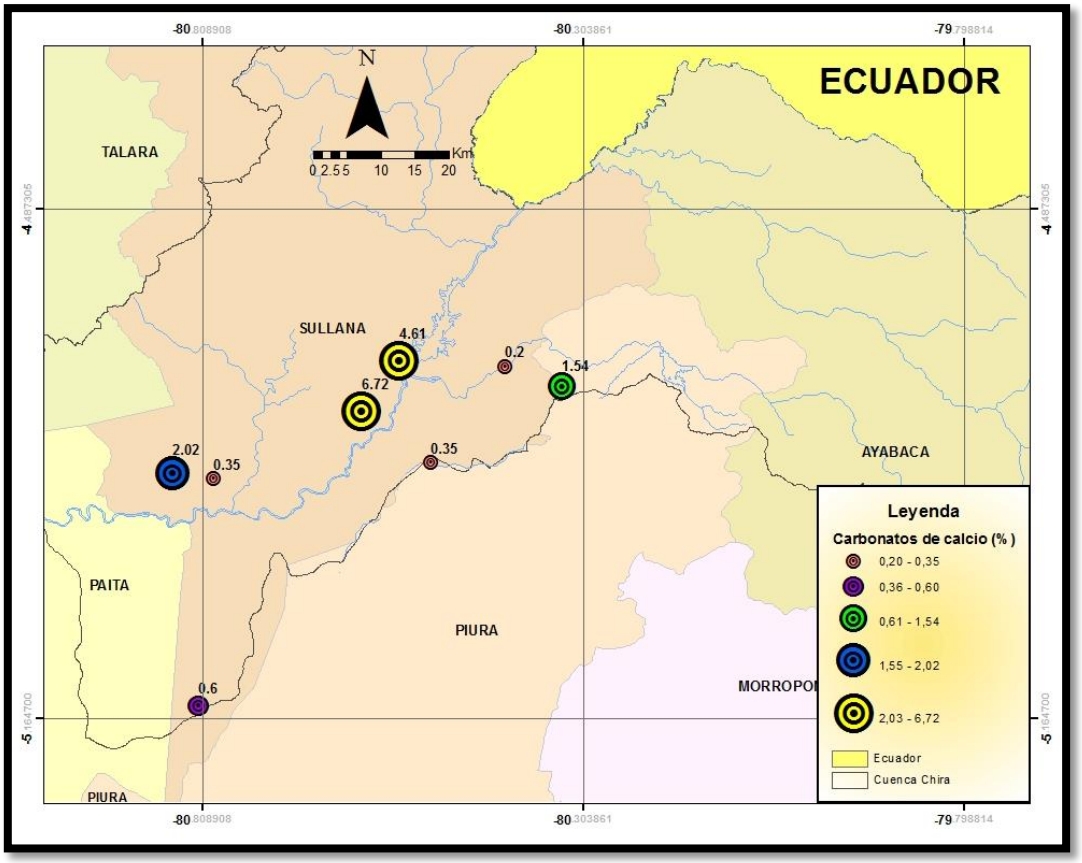


Figura 50. Distribución de carbonatos de calcio
Fuente: elaboración propia

c) Materia Orgánica

Los valores de MO varían desde un porcentaje de 0,12% en el punto GX2, hasta 1,95% en el punto DX2. Este último, junto con el punto EX2 son los dos valores más altos ambos ubicados en Sullana. Se puede explicar su elevado porcentaje, ya que ambos lugares estaban sembrados con cultivos de banano orgánico y arroz respectivamente, y en los que es muy probable que el agricultor haya utilizado abonos de tipo orgánico para fertilizar el suelo. (Ver Tabla 26)

Tabla 26. Cantidad de Materia orgánica

NOMBRE	CÓDIGO	MO (%)
Punto A	**PA-A**	**0,31**
Punto FU-1	**SLL-FU1**	**0,76**
Punto EX2	**SLL-EX2**	**1,23**
Punto DX2	**SLL-DX2**	**1,95**
Punto HX2	**LO-H**	**0,47**
Punto F	**SLL-F**	**0,87**
Punto GX2	**SLL-GX2**	**0,12**
Punto IX2	**LO-IX2**	**1,33**

Fuente: elaboración propia

En el mapa presentado en la Figura 52 se muestra la distribución de las cantidades de materia orgánica presentes en la cuenca, representando con íconos de diferentes tamaños las cantidades, las cuales son proporcionales a su valor de MO. Los dos valores más altos se encuentran cercanos entre sí, siendo los puntos DX2 y EX2; esto se entiende porque cuando se tomó la muestra existían sembríos de banano orgánico y arroz respectivamente. Además es importante acotar que ambos puntos se encontraban saturados casi en su totalidad y como se ha mostrado anteriormente en la textura, contienen altos contenidos de arcilla, lo que favorece a retener un buen porcentaje de agua en sus partículas haciendo que la materia orgánica sea retenida y pueda coexistir incluso con microorganismos presentes en el suelo, enriqueciéndolo. (Ver Figura 51).

Figura 51. Lombriz de tierra dentro de calicata en el punto DX2
Fuente: elaboración propia

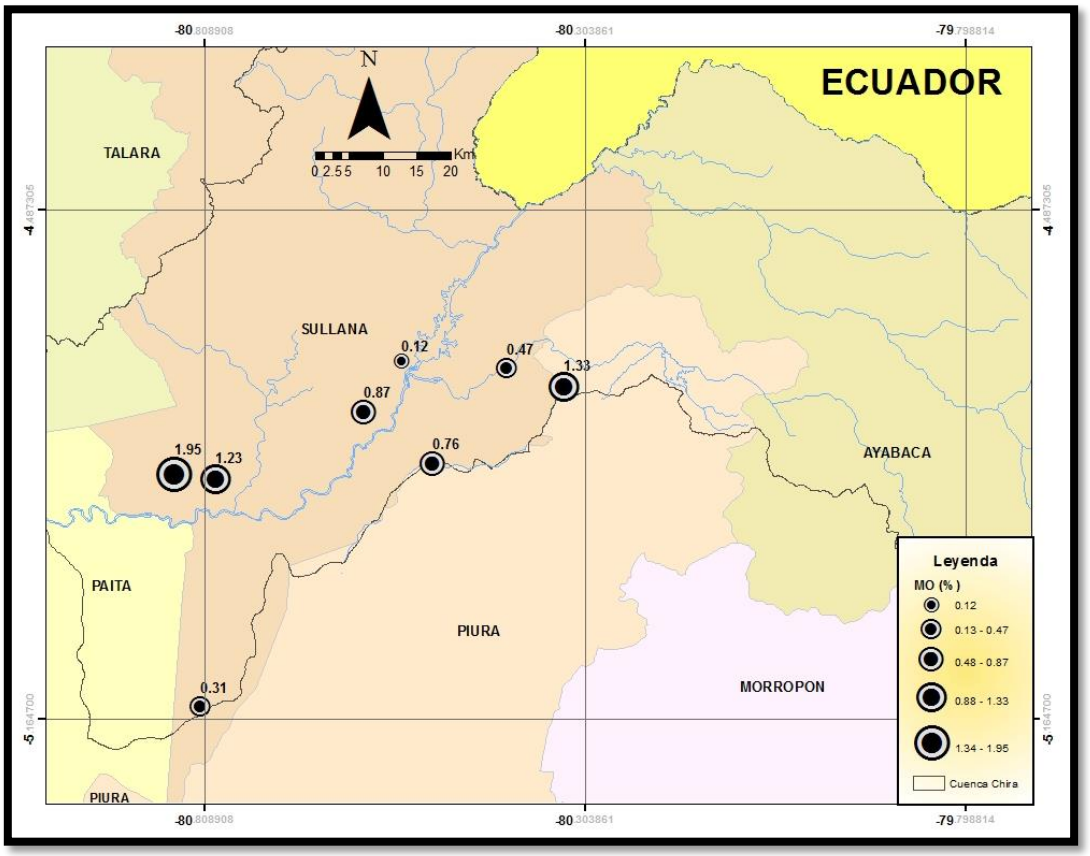


Figura 52. Distribución de MO dentro de la zona de estudio
Fuente: elaboración propia

d) Fósforo disponible:

La mayor parte del fósforo disuelto en el suelo en un momento dado es baja. Aun así se cree que las plantas obtienen todo o casi todo el fósforo de la solución del suelo. Por lo tanto, se puede decir, que en el punto FU-1 donde se encuentra la mayor cantidad de fósforo disponible el suelo ha sido reforzado con algún fertilizante para poder obtener esta gran cantidad de ppm de fósforo, ya que el lugar donde se tomó la muestra pertenece a un fundo de banano orgánico. Por otro lado el menor valor de 13,35 ppm en el punto EX2, se podría justificar por la presencia de cultivos de arroz en ese lugar, los cuales necesitan cantidades considerables de potasio para una buena producción y prevención de plagas, por lo tanto es probable que la planta haya adsorbido gran parte del fósforo disponible.

Tabla 27. Cantidad de fósforo disponible

NOMBRE	CÓDIGO	P(ppm)
Punto A	**PA-A**	**17,58**
Punto FU-1	**SLL-FU1**	**40,32**
Punto EX2	**SLL-EX2**	**13,35**
Punto DX2	**SLL-DX2**	**25,66**
Punto HX2	**LO-H**	**22,28**
Punto F	**SLL-F**	**21,43**
Punto GX2	**SLL-GX2**	**17,11**
Punto IX2	**LO-IX2**	**19,27**

Fuente: elaboración propia

La distribución de fósforo que se observa, contribuye a la visualización de las cantidades repartidas de fósforo disponible en la cuenca. Se tiene un valor máximo de 40,32 en punto FU-1, como se presentó anteriormente. Los símbolos son proporcionales a los rangos que se muestran en la leyenda del mapa. (Ver Figura 53).

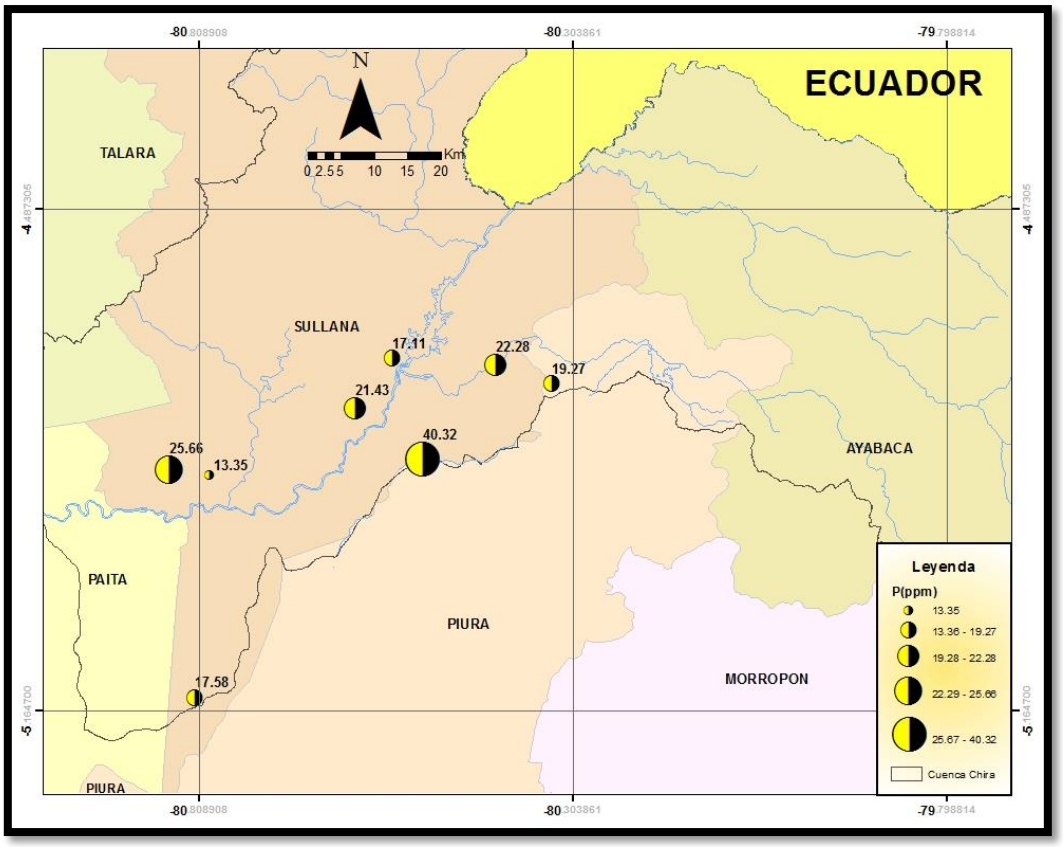


Figura 53. Distribución de fósforo disponible en la zona de estudio
Fuente: elaboración propia

e) Potasio disponible:

Las cantidades de potasio disponible en ppm, como se observan en la Tabla 28 son considerables para la cantidad de muestra extraída, siendo todas las muestras de 1kg de suelo. El valor más bajo es de 98 ppm en el punto IX2, donde habían sembrado recientemente 15 has de limón, por lo cual se puede decir que el potasio baja su disponibilidad al entrar en contacto con el agua y algunos fertilizantes utilizados para los sembríos. Así al pasar a una forma hidratada, se convierte en un catión intercambiable y ya no queda de manera disponible.

Tabla 28. Distribución de potasio disponible

NOMBRE	CÓDIGO	K(ppm)
Punto A	**PA-A**	**113,00**
Punto FU-1	**SLL-FU1**	**332,00**
Punto EX2	**SLL-EX2**	**286,00**
Punto DX2	**SLL-DX2**	**322,00**
Punto HX2	**LO-H**	**352,00**
Punto F	**SLL-F**	**230,00**
Punto GX2	**SLL-GX2**	**164,40**
Punto IX2	**LO-IX2**	**98,00**

Fuente: elaboración propia

Es importante mencionar que la cantidad de potasio disponible tiene que ver mucho con las cantidades de micas meteorizables existentes en el suelo. Los suelos jóvenes, ricos en mica, muestran una elevada tasa de liberación y, en consecuencia restituyen el potasio cambiable tan pronto como es utilizado, manteniéndolo así a un nivel elevado, tales como los puntos DX2 y H dentro de la zona de estudio, así se muestra en el mapa de distribución de potasio disponible, pues ambas formaciones son consideradas de épocas jóvenes. (Ver Figura 54).

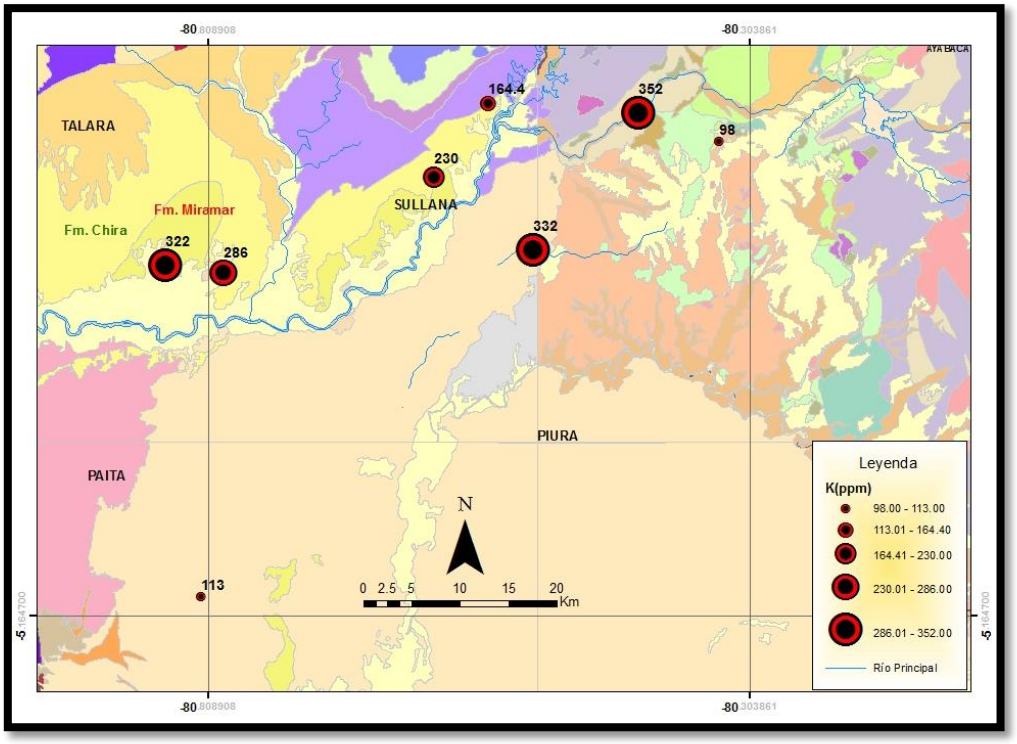


Figura 54. Distribución de potasio disponible en los puntos con contraste de litología
Fuente: elaboración propia

f) pH:

Como se ha mencionado anteriormente el pH es un indicador de la cantidad de salinidad o sodicidad de los suelos. Los valores más bajos en esta fase obtenida fueron en los puntos DX2 y FU-1 con valores de 6,97 y 7,06 respectivamente. Ambos valores entran dentro del rango de suelos neutros, por lo cual tendrán una disposición para volverse sódicos o salinos, dependiendo de la suma de algunas condiciones como cantidad de $CaCO_3$, MO, drenaje, etc.

Tabla 29. Contenido de pH

NOMBRE	CÓDIGO	pH 1:1
Punto A	**PA-A**	**8,04**
Punto FU-1	**SLL-FU1**	**7,06**
Punto EX2	**SLL-EX2**	**7,38**
Punto DX2	**SLL-DX2**	**6,97**
Punto HX2	**LO-H**	**8,09**
Punto F	**SLL-F**	**7,84**
Punto GX2	**SLL-GX2**	**7,55**
Punto IX2	**LO-IX2**	**7,68**

Fuente: elaboración propia

En la distribución de pH (Ver Figura 55), se puede observar que los valores más altos no se encuentran en una misma zona, sino que están alejados entre sí, pero como se sabe la mayoría de suelos que contiene valores de pH por encima de 8 posee un exceso de sales, por lo cual se debería tomar en cuenta el drenaje de estos puntos pues puede ser probable que cristalicen sales a su alrededor. En particular el punto A, que posee un valor de 8,04 explica que este sea elevado gracias a las grandes cantidades de sales cristalizadas en su interior. (Ver Figura 56)

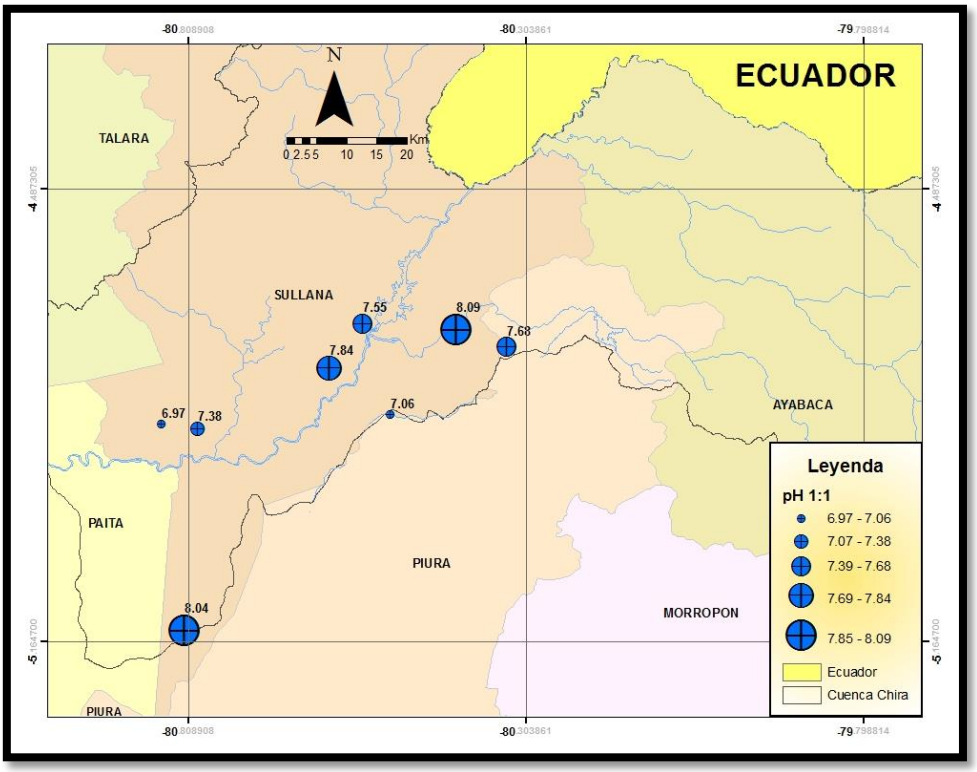


Figura 55. Distribución de pH en los puntos
Fuente: elaboración propia

Figura 56. Exceso de Sales en el punto A
Fuente: elaboración propia

g) Conductividad eléctrica

La cantidad de conductividad eléctrica presente en esta fase es muy variable al obtener como resultado un mínimo de 0,34 en el punto A, hasta un valor de 20,60 en el punto DX2. (Ver Tabla 30). Ambos pertenecen a formaciones distintas dentro de la cuenca. El punto A está ubicado en una zona desértica, donde no se ha sembrado ningún tipo de cultivo, a diferencia del punto DX2, donde se cultivaba banano orgánico en esta época del año, además se encontraba saturado cuando se tomó la muestra. Por este motivo se puede explicar su elevado valor de conductividad eléctrica, ya que el agua hace que las sales sean solubles.

Tabla 30. Cantidad de conductividad eléctrica

NOMBRE	CÓDIGO	CE (ds/m) Relación 1:1
Punto A	**PA-A**	**0,34**
Punto FU-1	**SLL-FU1**	**0,52**
Punto EX2	**SLL-EX2**	**0,99**
Punto DX2	**SLL-DX2**	**20,60**
Punto HX2	**LO-H**	**0,44**
Punto F	**SLL-F**	**0,91**
Punto GX2	**SLL-GX2**	**2,63**
Punto IX2	**LO-IX2**	**0,77**

Fuente: elaboración propia

La distribución de CE se presenta en la Figura 57, de esta forma se puede ver que el valor más alto se encuentra al lado de uno de los valores más pequeños, este cambio brusco se debe a que en el punto DX2 se encontraba totalmente saturado cuando se tomó la muestra, pues habían regado las plantas de banano orgánico que se encontraban en el lugar. El agua, es uno de los factores más importantes para evaluar este parámetros, y junto con la cantidad de sales disueltas ayuda a obtener valores más altos. Asi mismo, por el hecho de estar con sembríos de banano orgánico, el suelo estaba nutrido con grandes cantidades de fertilizantes y materia orgánica.

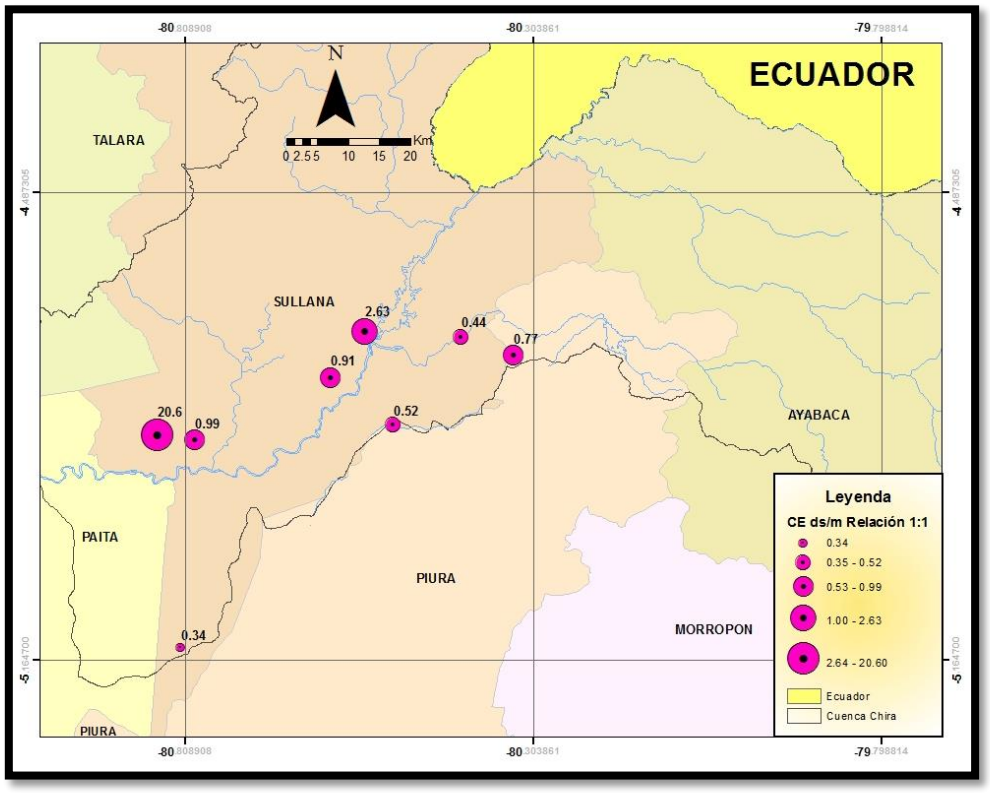


Figura 57. Distribución de conductividad eléctrica en los puntos
Fuente: elaboración propia

h) Cationes Intercambiables

La capacidad de intercambio catiónico, se ve influenciada principalmente por la cantidad de calcio que es capaz de encontrarse en la zona de intercambio, por lo tanto la cantidad del ion Ca^{+2} predominará en el resultado de este parámetro. (Ver Tabla 31)

Tabla 31. Capacidad de intercambio catiónico

NOMBRE	CÓDIGO	Cambiables (Cmol(+)/kg)				
		Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	K^{+}	CIC TOTAL
Punto A	PA-A	11,40	1,17	0,11	0,28	23,12
Punto FU-1	SLL-FU1	6,90	1,10	0,11	0,77	15,36
Punto EX2	SLL-EX2	28,47	4,95	0,49	0,65	34,56
Punto DX2	SLL-DX2	33,15	4,13	1,93	0,78	40,00
Punto HX2	LO-H	45,70	2,38	0,28	0,84	49,20
Punto F	SLL-F	14,10	4,93	0,30	0,12	29,12
Punto GX2	SLL-GX2	49,87	0,44	0,11	0,30	50,72
Punto IX2	LO-IX2	29,91	5,46	0,17	0,46	36,00

Fuente: elaboración propia

La suma total de las cuatro bases más importantes, contribuye a saber si el suelo es capaz de liberar este tipo de cationes, de tal forma que generen un impacto positivo en el aprovechamiento de estas. Tal como se mencionó anteriormente, el calcio por ser uno de los iones más grandes domina la CIC en su totalidad, así se puede decir que las concentraciones más bajas de calcio ocurren en suelos muy lavados, con capacidades de intercambio catiónicos bajas.

La distribución de cationes intercambiables se muestra a continuación. (Ver Figura 58).

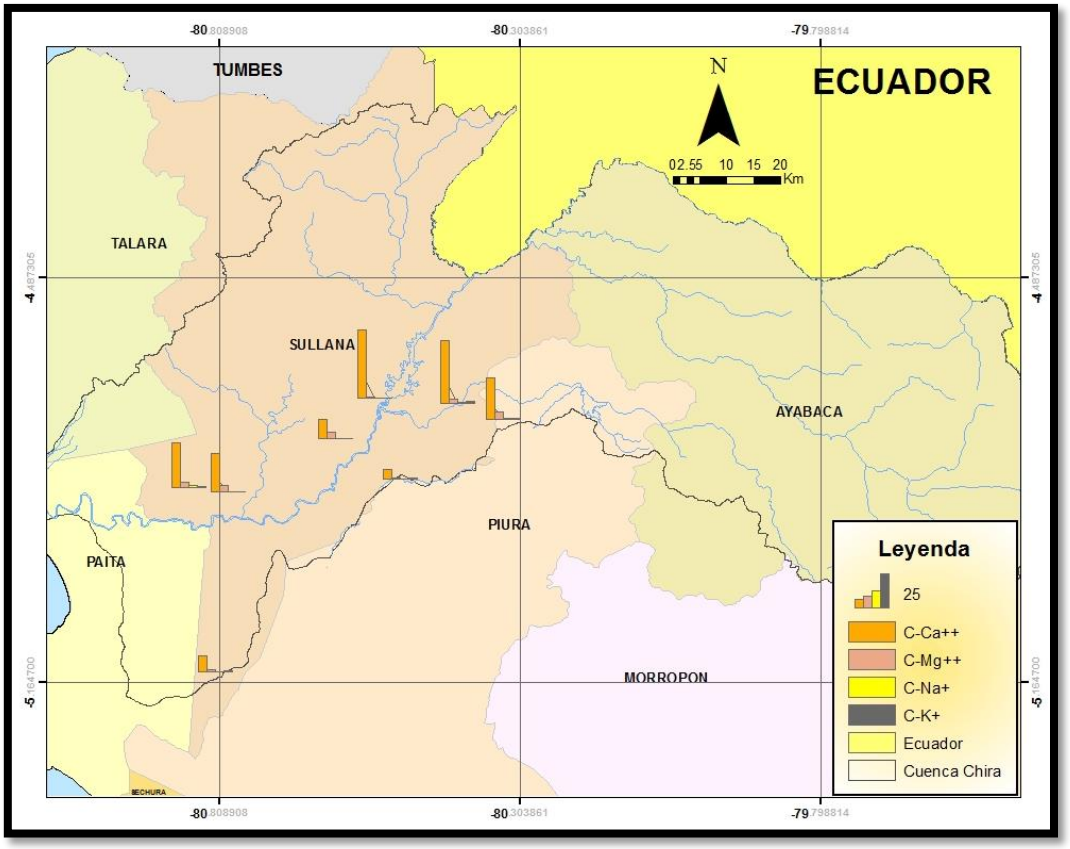


Figura 58. Distribución de cationes intercambiables en los puntos de estudio.
Fuente: elaboración propia

3.3.2.4 Análisis de agua

Por tratarse de agua subterránea, en dos de los tres puntos muestreados siendo de pozos abastecidos de acuíferos presentes en la zona, en estas formaciones, la calidad del agua dependerá de tres factores principalmente: la climatología, el quimismo y la composición litológica de la estructura sólida del acuífero. Los dos primeros están sujetos a un condicionante natural o antrópico. El último varía si se trata de un acuífero natural o de uno análogo realizado por el hombre (por ejemplo un depósito de residuos urbanos en masa).

La toma de muestras de agua es una operación delicada, que debe ser llevada a cabo con el mayor cuidado; esto condiciona los resultados analíticos y la interpretación que será dada. De manea general, la muestra debe ser homogénea y representativa y no modificar características físico - químicas. Es por eso que se consideró usar insumos como guantes, botellas esterilizadas, hielo fabricado, cooler para mantener la temperatura original del

agua extraída, ya que en el mes de diciembre la temperatura es elevada, superando los 30 °C.

El análisis de agua ha sido realizado en el laboratorio de Sanitaria de la Universidad de Piura, haciéndose 2 tipos de ensayos: Análisis y/o mediciones de campo en el cual se analizó la conductividad y el pH; y por otro lado, un análisis físico-químico del agua en el cual se evaluó la cantidad de bicarbonatos, carbonato, cloruros, dureza cálcica, dureza magnética, fosfatos totales, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal y sulfatos.

El primer tipo, se interpretará de manera referencial, pues a pesar que ambos son parámetros que debieron ser medidos en campo, por motivos extrínsecos no pudieron realizarse de esta forma, por lo tanto los valores se midieron en laboratorio, así que su resultado e interpretación será de manera referencial.

En la Tabla 32, se presentan los resultados obtenidos en el laboratorio, de manera ordenada y con sus respectivos valores que servirán para brindar unas pequeñas interpretaciones acerca de la calidad del agua y cómo influyen en la calidad y el quimismo del suelo que rodea la zona de estudio.

Por otro lado, en la Figura 59 se muestra la distribución espacial de los tres puntos de muestreo, ubicados en la zona de estudio y en lugares muy cercanos a puntos donde se hicieron calicatas para analizar la química del suelo. Es así que se verá la influencia que brinda el agua al suelo.

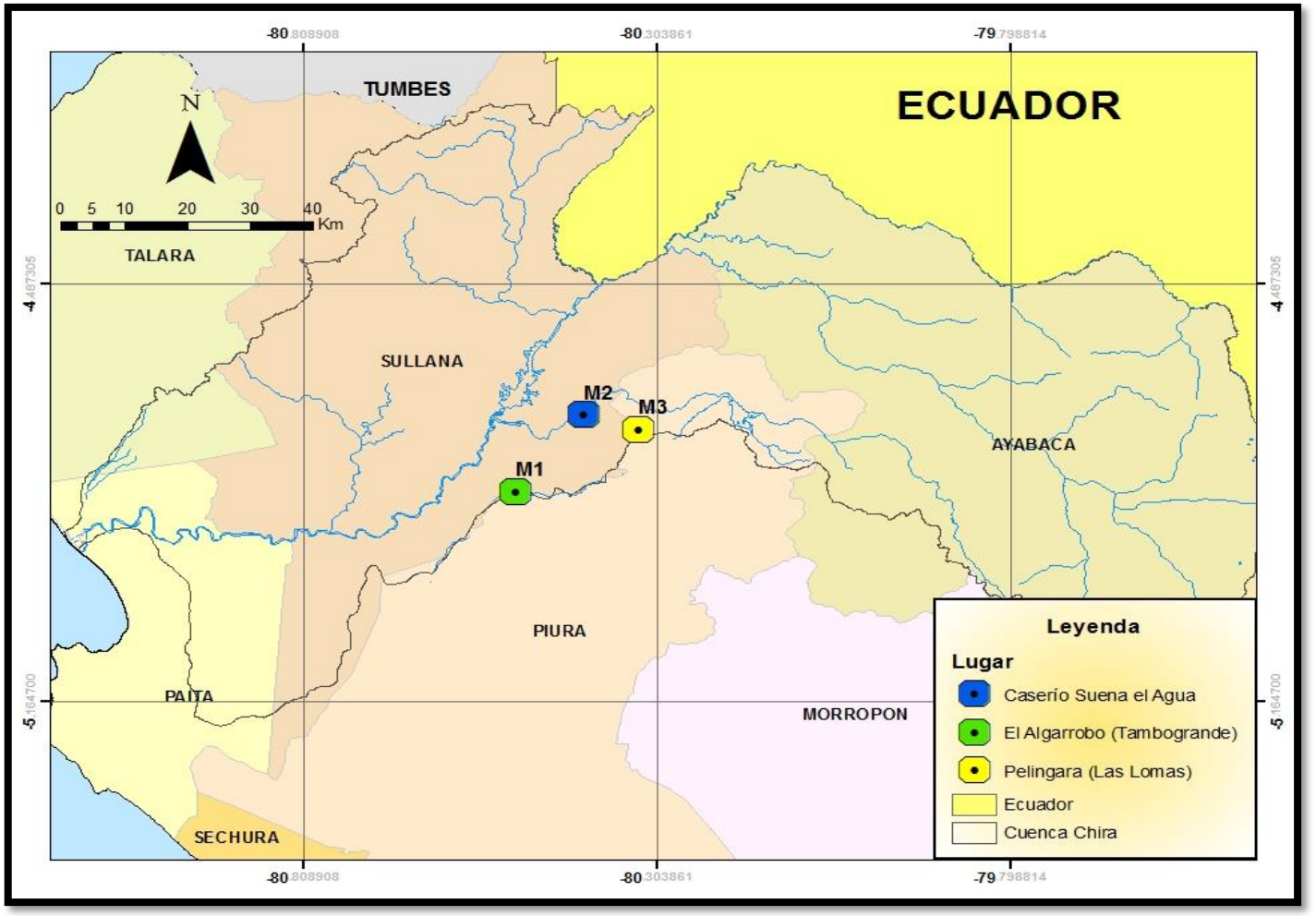


Figura 59. Ubicación de puntos donde se realizaron las muestras.
Fuente: elaboración propia

a. Presentación de resultados

Tabla 32. Resultados obtenidos en las muestras de agua

Nombre	Lugar	X	Y	Conductividad (µS/cm)	pH (Unidades de Ph)	Bicarbonatos (mg HCO3-/L)	Carbonatos (mg CO32-/L)	Cloruros (mg Cl-/L)	Dureza cálcica (mg CaCO3/L)	Dureza magnésica (mg CaCO3/L)	Fosfatos totales (mg PO4-3/L)	Nitratos (mg NO3-/L)	Nitritos (mg NO2-/L)	Nitrógeno amoniacal (mg NH3-N/L)	Sulfatos (mg SO42-/L)
M1	El Algarrobo (Tambogrande)	554767	9466758	257	8,65	108	1.2	13	60	28	< 0,1	< 0,4	< 0,3	< 0,1	20
M2	Caserío Suena el Agua	565565	9480550	1489	7,63	373	< 1	133	158	138	< 0,1	4,4	< 0,3	< 0,1	237
M3	Pelingara (Las Lomas)	574171	9477901	9970	7,78	248	< 1	2847	1480	1000	0,6	2,6	< 0,3	< 0,1	920

Fuente: elaboración propia

b. Análisis de resultados

Conductividad

Es la capacidad del agua para transportar la corriente eléctrica. Esta capacidad depende de los iones presentes en el agua debido a la división de sales orgánicas, ácidos y bases. Su importancia, nos permite verificar en forma rápida la variación del contenido de sales disueltas y estimar cuantitativamente los sólidos totales disueltos (TDS) en una muestra de agua. Así mismo los cambios en la conductividad nos pueden indicar intrusión salina u otras fuentes de contaminación. En las aguas continentales, los iones que son directamente responsables de los valores de la conductividad son, entre otros, el calcio, el magnesio, el potasio, el sodio, los carbonatos los sulfatos y los cloratos.

Tabla 33. Resultados obtenidos de conductividad en las muestras de agua

Nombre	Lugar	Conductividad (µS/cm)
M1	El Algarrobo (Tambogrande)	257
M2	Caserío Suena el Agua	1489
M3	Pelingará (Las Lomas)	9970

Fuente: Elaboración Propia

Para evaluar este parámetro, se tomará en cuenta los valores estándares de los ECA-Categoría 3 (Anexo B), considerando agua para riego de vegetales, donde el valor máximo de conductividad para que cumpla el estandar es 2500 µS/cm, por lo que se puede concluir que los dos primeros valores cumplen con este requisito. Como se observa en la Tabla 33, el valor más grande es el de la muestra 3 (M3), ubicada en Pelingará, dicha muestra se pasa del valor máximo con un resultado de 9979 µS/cm. Se rescata que este pozo a tajo abierto está rodeado de Volcánico El Ereo, como formación litológica principal, además de rocas ígneas volcánicas, aportando grandes cantidades de sulfatos, haciendo que estas sales se disuelvan al entrar en contacto con el agua del posible acuifero existente. Es importante agregar, que este pozo fue perforado por los dueños del fundo donde se tomó la muestra, y con el que no se riegan actualemente los cultivos de limón que se cosechan, además, el pozo no se encuentra registrado como la mayoría de los pozos que existen en el Valle del Chira.

Para la distribución espacial, se muestra de manera gráfica los valores de conductividad y su ubicación dentro de la zona de estudio. (Ver Figura 60).

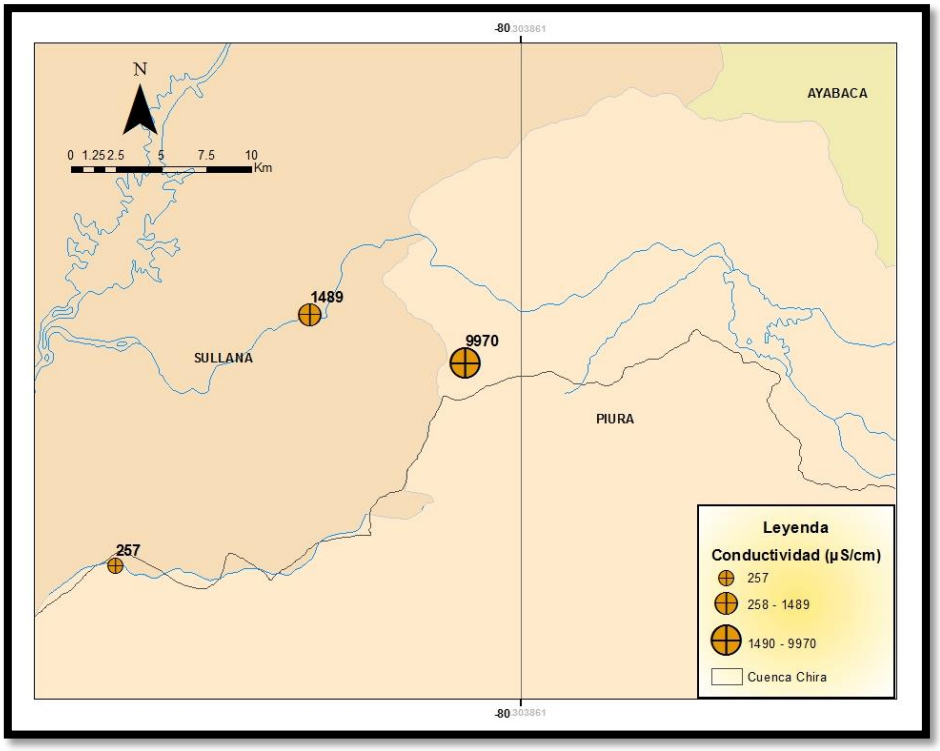


Figura 60. Distribución de conductividad en la zona de estudio
Fuente: elaboración propia

pH

Es una expresión de carácter ácido o básico del agua u otra sustancia líquida determinada por el número de iones hidrógeno presente. Su importancia radica dependiendo del valor de pH pudiendo limitar la posibilidad de vida acuática y muchos usos del agua, tal como lo es en el uso de regadío de las plantas. Es una medida también de cuántas sales disueltas hay en el agua, haciéndolo aún más importante.

Los valores obtenidos en los tres puntos de muestreo, se presentan en la Tabla 34.

Tabla 34. Cantidad de pH en las muestras de agua

Nombre	Lugar	pH (Unidades de pH)
M1	El Algarrobo (Tambogrande)	8,65
M2	Caserío Suena el Agua	7,63
M3	Pelingará (Las Lomas)	7,78

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar claramente que los valores varían entre 7,63 hasta 8,65. La gran variabilidad de pH en el último punto con respecto a los otros 2, es que esta muestra fue una toma de agua de un reservorio que había en el fundo, por lo tanto varía, ya que considerando que es abastecido por agua del Canal Tablazo se puede contaminar con restos de detergentes o residuos que son producto de las actividades antropogénicas de los lugares aledaños. Además se acota que el valor promedio es de 7,56 sin considerar este punto, se puede decir que las otras aguas son un poco alcalinas, pues se encuentran alrededor de 7,5. Su distribución espacial se muestra en la Figura 61.

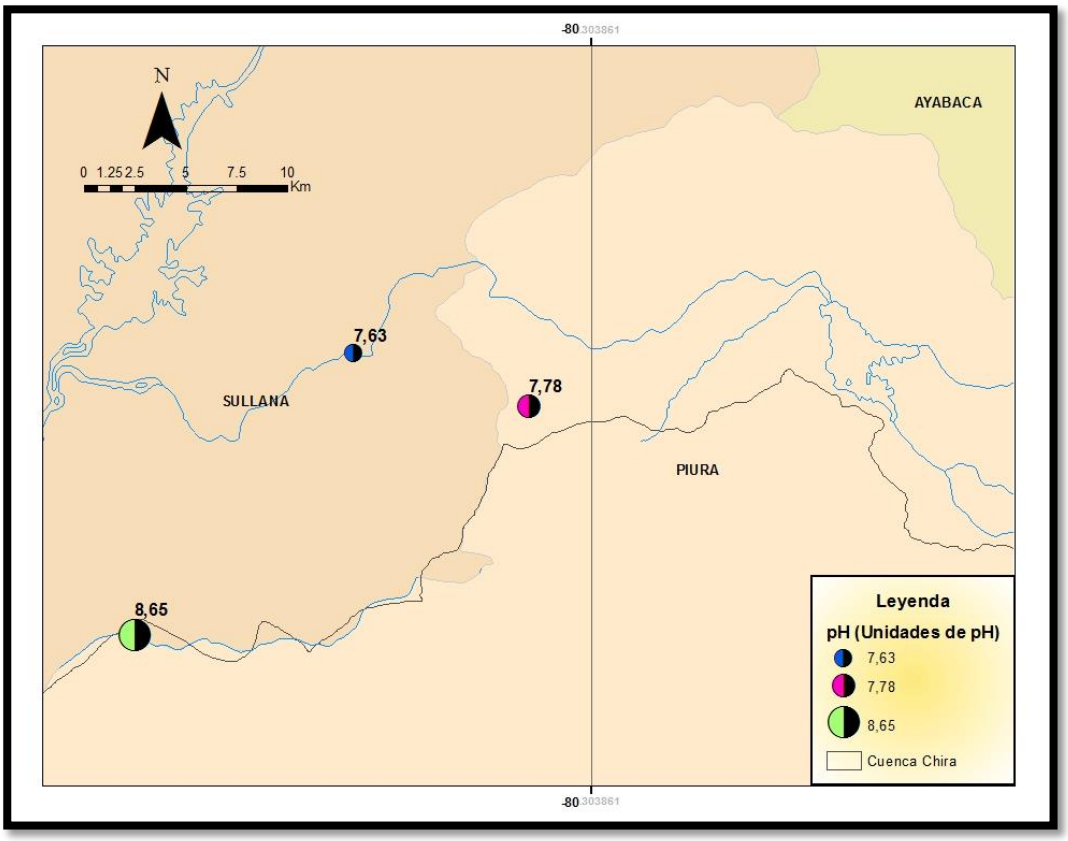


Figura 61. Distribución del pH en la zona de estudio
Fuente: elaboración propia

Carbonatos y bicarbonatos

La cantidad de bicarbonatos y carbonatos indican la cantidad que tiene el agua a la resistencia del pH. Mientras más carbonatos hay presentes en el agua, el pH se eleva haciéndolo más alcalino. El bicarbonato hace que el pH baje de manera prudente haciéndolo más acido. Además se sabe que si tiene más carbonatos, más cerca de 8 estará el pH.

La Tabla 35 presenta tres parámetros importantes a estudiar, que son el contenido de bicarbonatos, carbonatos y pH, que se relacionan de manera directa, es decir, si aumentan la cantidad de carbonatos y bajan la cantidad de bicarbonatos, varía el valor del pH.

Tabla 35. Cantidad de bicarbonatos, carbonatos y pH en los puntos muestreados.

Nombre	Lugar	Bicarbonatos (mg HCO_3^-/L)	Carbonatos (mg CO_3^{2-}/L)	pH (Unidades de pH)
M1	El Algarrobo (Tambogrande)	108	1,20	8,65
M2	Caserío Suena el Agua	373	< 1	7,63
M3	Pelingará (Las Lomas)	248	< 1	7,78

Fuente: Elaboración Propia

En el caso de la muestra M1, la presencia de carbonatos es alta en comparación con las demás lo que explica el elevado pH, además la presencia de bicarbonatos es baja, por lo que queda influenciado únicamente por la cantidad de carbonates totales. Es probable que en esta zona, los valores de pH del suelo se encuentren elevado por contaminaciones parecidas.

Dureza Cálcica y magnésica

Indica la presencia de carbonatos de calcio y magnesio. Si la muestra tiene demasiado carbonato de calcio, este es peligroso por ser incrustante, es decir, se adhiere a las tuberías y calderas en el caso que se quiera hacer un pozo de regadío con un sistema de tubos para regar los sembríos. Cabe resaltar que su formación por adherencia, no es en sí una precipitación de sales. Para ciertos cultivos, hay un límite de carbonatos de calcio, ya que saturan el suelo e inhiben el crecimiento de los vegetales.

Tabla 36. Cantidad de dureza Cálcica y magnésica en los puntos.

Nombre	Lugar	Dureza cálcica (mg $CaCO_3$/L)	Dureza magnésica (mg $CaCO_3$/L)
M1	El Algarrobo (Tambogrande)	60	28
M2	Caserío Suena el Agua	158	138
M3	Pelingará (Las Lomas)	1480	1000

Fuente: Elaboración Propia

Se muestra la distribución de dureza cálcica y magnésica en la cuenca. (Ver Figura 62). Se puede ver que las cantidades de la muestra 1 (M1) de ambas dureza son bajas, por lo tanto se explica el elevado pH en este punto. Además como se mencionó anteriormente, esta muestra es agua de canal que abastece el reservorio de donde se extrajo la muestra.

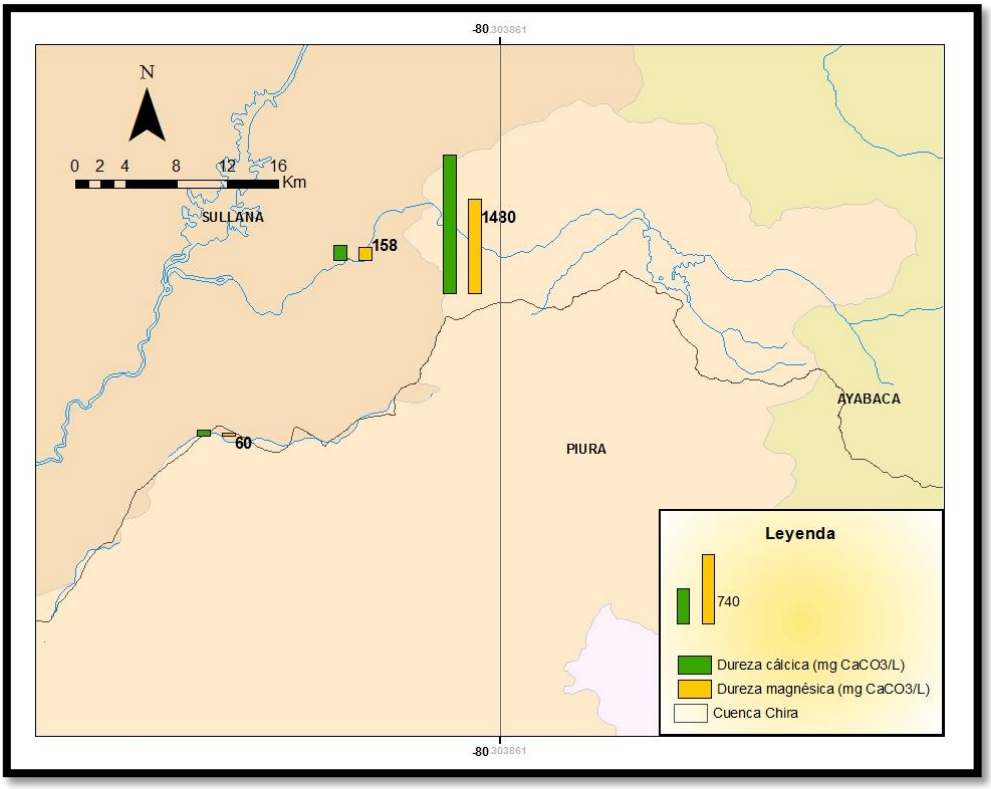


Figura 62. Cantidades de dureza cálcica y magnésica en los puntos de estudio.
Fuente: elaboración propia

Cloruros

Los cloruros, son los que le dan el sabor salobre al agua. No significa que cambie las características físicas o químicas del agua en cuestión, pero se debe tener en cuenta que si hay exceso de cloruros, vuelve al agua corrosiva.

Tabla 37. Cantidad de cloruros obtenidos en las muestras.

Nombre	Lugar	Cloruros (mg Cl^-/L)
M1	El Algarrobo (Tambogrande)	13
M2	Caserío Suena el Agua	133
M3	Pelingara (Las Lomas)	2847

Fuente: Elaboración Propia

Para la distribución espacial de cloruros presentes (Ver Figura 63), donde se puede apreciar claramente que solo el valor de una muestra supera el máximo permitido por los ECA para el riego de vegetales con un valor de 500 (mg Cl^-/L**).** El punto de la muestra 3 (M3) cuenta con un valor de 2847 mg Cl^-/L, por lo tanto no podría considerarse para regar los sembríos que se cosechen en esa zona.

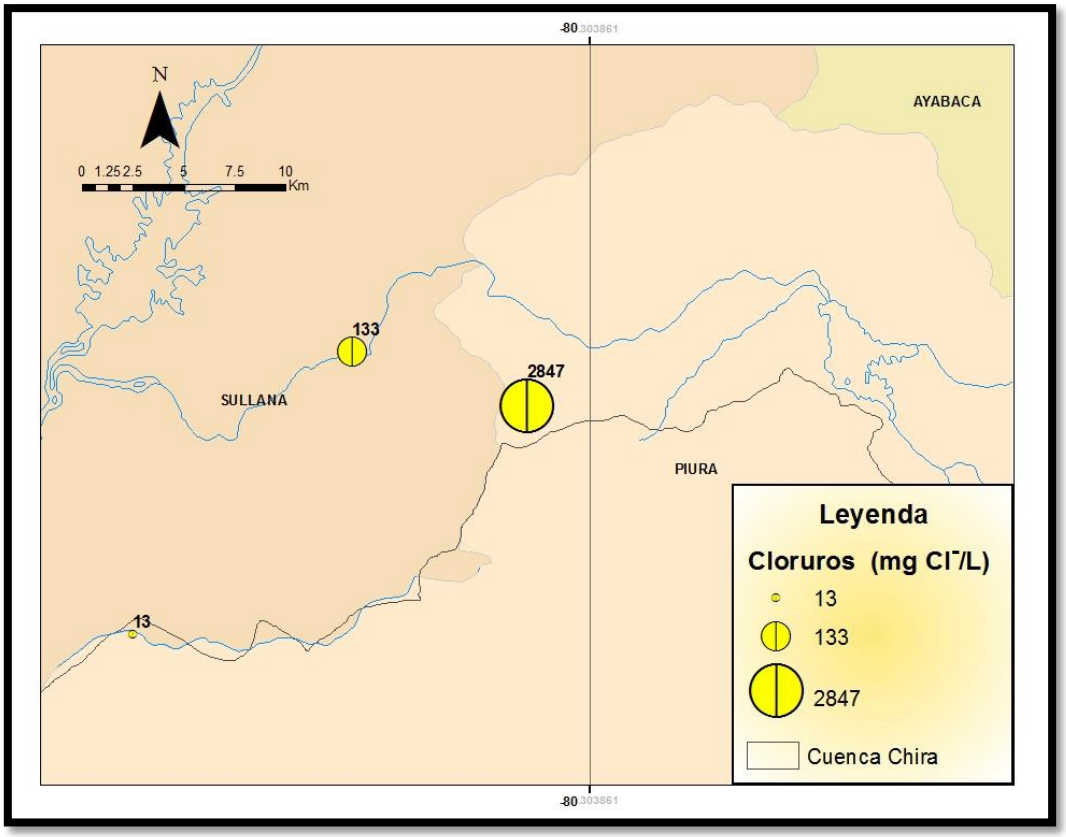


Figura 63. Cantidades de cloruros en los puntos de estudio.
Fuente: elaboración propia

Sulfatos

Depende de donde es el acuífero y todo lo que va arrastrando, si hay formaciones rocosas con alto contenido de sulfatos cercas, aumentarán los valores de este parámetro en el agua. La concentración de sulfatos depende de muchas variables, como la litología, la composición de sales disueltas, contaminación, etc. En el caso de las muestras, la cantidad de sulfatos es mayor en la muestra 3 (M3), pero como se ha ido observando, el pozo de este punto en particular tiene un elevado número de cloratos, dureza cálcica y magnésica. Por lo tanto era de esperarse también el elevado número de sulfatos.

Los valores obtenidos de sulfatos se presentan en la Tabla 38.

Tabla 38. Cantidad de Sulfatos obtenidos en las muestras.

Nombre	Lugar	Sulfatos (mg SO_4^{2-}/L)
M1	El Algarrobo (Tambogrande)	20
M2	Caserío Suena el Agua	237
M3	Pelingará (Las Lomas)	920

Fuente: Elaboración Propia

Referente a la distribución espacial, es observable que el valor más alto, coincide con todos los parámetros elevados anteriormente estudiados, haciéndolo menos apto para el uso de esta agua en los sembríos cercanos. (Ver Figura 64)

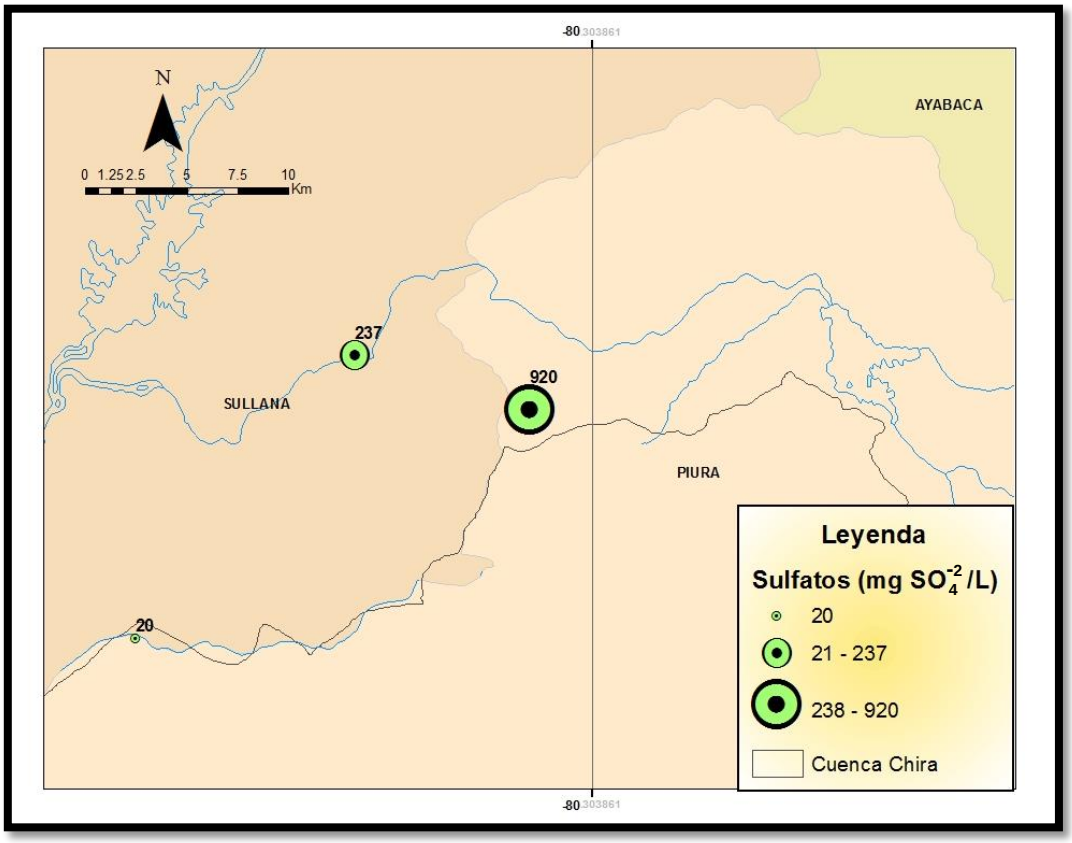


Figura 64. Cantidades de sulfatos en los puntos de estudio.
Fuente: elaboración propia

Nitritos y Nitratos

Indica la cantidad de descomposición de materia orgánica. Si no se encuentran nitritos, indica que no ha existido contaminación por MO. Ambos se usan para medir contaminación del agua por residuos orgánicos. El ciclo de nitrógeno empieza con nitrógeno amoniacal, después se convierte en nitrato y luego es nitrito. Dependiendo de la cantidad de materia orgánica que se vaya degradando.

La cantidad de nitritos y nitratos también presentan valores estándares según los ECA. (Anexo B). En la categoría 3, para las aguas de riego de vegetales, se puede encontrar que los valores de nitratos más nitritos es de 100 mg/l. En las muestras recogidas todos los puntos cumplen con los valores, ya que la cantidad tanto de nitratos como de nitritos es muy baja y no superan este valor. (Ver Figura 65)

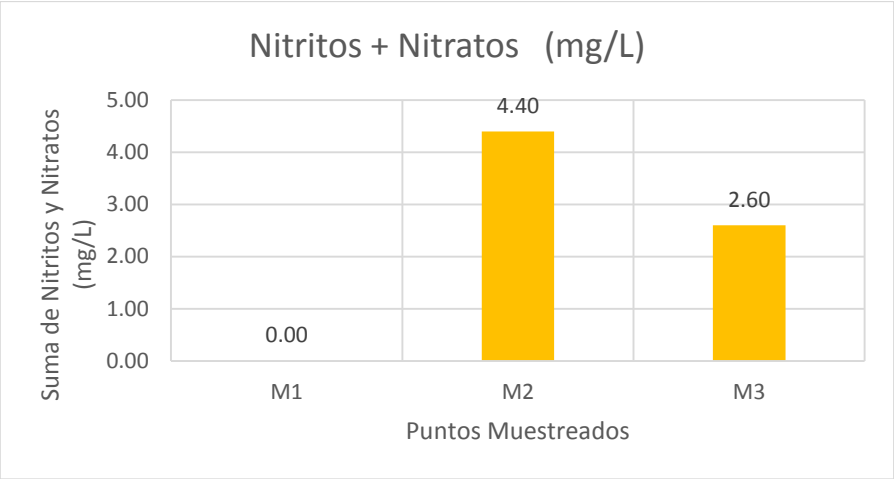


Figura 65. Suma de Nitritos más Nitratos en los puntos muestreados.
Fuente: Elaboración Propia

Por los valores muy bajos de contenidos de nitritos y nitratos, podemos ver la poca influencia que tienen sobre el suelo, además se reafirma la poca cantidad de materia orgánica presente en el valle.

Capítulo 4
Interpretación de Resultados

4.1 Interpretación de Resultados de la fase exploratoria 1

- En cuanto a la textura, se observa que 6 de los 8 puntos, tienen un suelo franco arenoso, apto para la mayoría de los productos agroexportables ya que en su mayoría presentan una textura media, siendo este tipo de suelos los que se adecuan a la mayoría de cultivos comerciales. (Ver Figura 66).

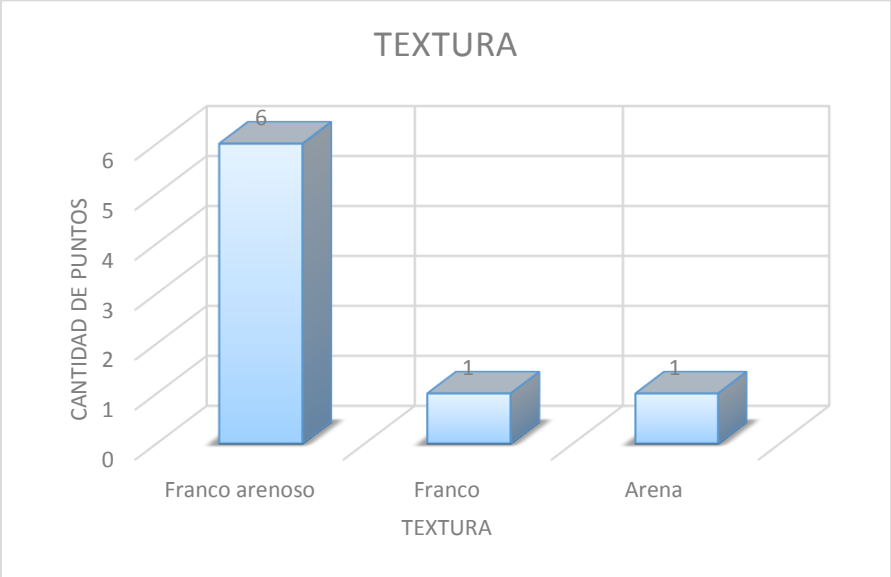


Figura 66. Clases texturales presentes en la zona de estudio.

- Tal como se mostró en el capítulo anterior con la distribución de las cantidades de arena, arcilla y limo, la mayoría de los puntos contiene un alto contenido de arena, con un valor promedio de 67,50%; por lo tanto se puede acotar que el contenido de arena, al estar relacionada con la porosidad y una buena aireación de los suelos, ayuda al buen drenaje de los mismos, por permitir el paso del agua que penetra en ellos. En la Figura 67, se presenta las cantidades exactas de los porcentajes de arena, arcilla y limo, junto con sus líneas de tendencias, donde se aprecia de manera considerable que la tendencia de las arenas está por encima de las otras dos.

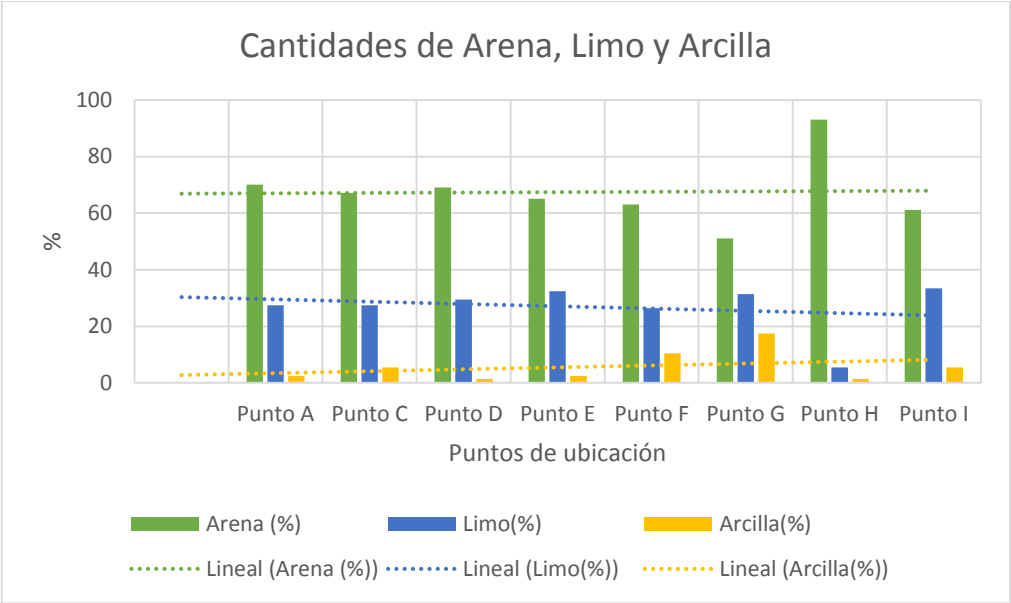


Figura 67. Distribución de arena, limo y arcilla en los puntos.

- Por otro lado, si se suma el segundo valor más elevado que es porcentaje de limo, al poseer partículas pequeñas aumenta la capacidad del suelo para la retención de nutrientes, por lo que el suelo es más fértil, pudiéndose considerar de textura media a la zona de estudio. Como se aprecia, en la mayoría de puntos el porcentaje de limo es casi constante, con un promedio de 26,69 % a diferencia del punto H que tiene un valor bajo de 5,44% considerándose como una muestra no representativa dentro de la zona. Dicha muestra fue tomada en una quebrada, donde la cantidad de agregados gruesos es mayor. Por esta razón también se justifica su elevado porcentaje de arena con un valor de 93,12%, como se mostró anteriormente, pues pertenece a una zona donde la mayoría de los componentes son agregados de gran tamaño.

- Dentro de la cuenca, 7 puntos de estudio (A, D, E, F, G, H e I), presentan una cantidad baja de carbonatos. Los carbonatos de calcio que han sido estudiados, tienden a neutralizar la acidez del suelo, es decir, aumenta el pH volviéndolo más alcalino, por lo que los suelos de estos puntos tienen menos probabilidad de convertirse en suelos nocivos y perjudiquen la cosecha de cultivos como la uva, el banano orgánico, la caña de azúcar y el ají páprika que aceptan valores de pH entre medianamente ácidos y neutros, o incluso en suelos ligeramente alcalinos. El punto con valor alto de contenido de $CaCO_3$, es el punto C, el cual estaría más influenciado en cuanto a su pH, ya que este valor al ser el carbonato de calcio total, indicaría la caliza activa que se encuentra en la zona, posiblemente afectando la calidad del suelo y podría no ser recomendable para los cultivos que potencialmente podrían ser sembrados. Los cultivos más sensibles serían la uva, la caña de azúcar y el ají páprika. Los valores se presentan de manera gráfica en la Figura 68.

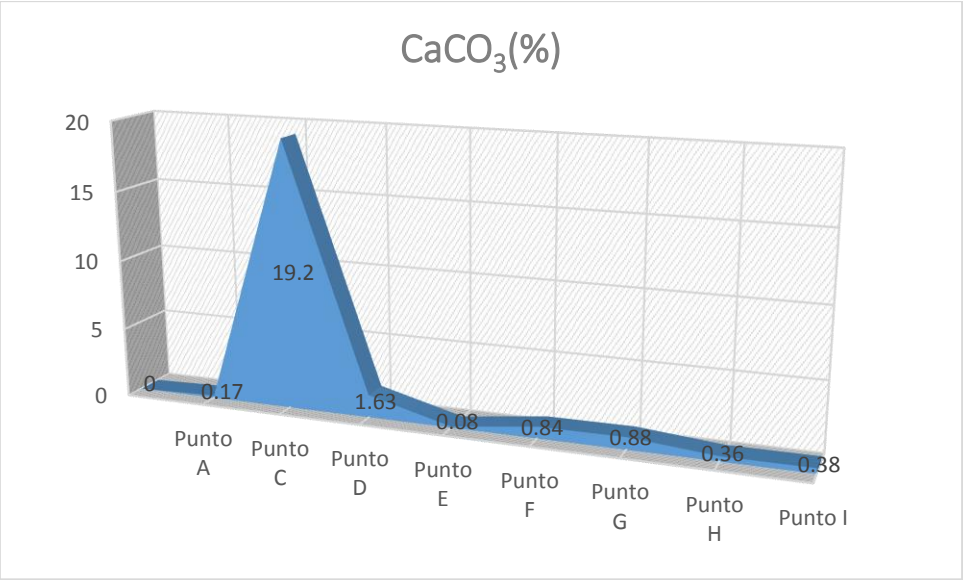


Figura 68. Porcentaje de Carbonatos de Calcio.

- Cabe mencionar que la calcita tiene como compuesto principal al $CaCO_3$ y es uno de los minerales evaporíticos de mayor presencia de la Formación Miramar, por lo tanto, se puede decir que debido a esta formación geológica existente dentro del punto C, asegura la gran cantidad de este componente. Esto justifica el elevado valor de carbonato de calcio, recordando que este punto se encontraba dentro de una ladrillera en la carretera Piura – Sullana.

- Los cationes intercambiables (Ca^{+2}, Mg^{+2}, Na^{+} y K^{+}), son los responsables del aprovechamiento de los nutrientes en el suelo, por lo tanto algunas plantas necesitarán de fertilizantes que mejoren la calidad nutritiva del terreno donde serán cultivadas. En la zona de estudio, encontramos distribuidos estos cationes de la siguiente manera. (Ver Figura 69)

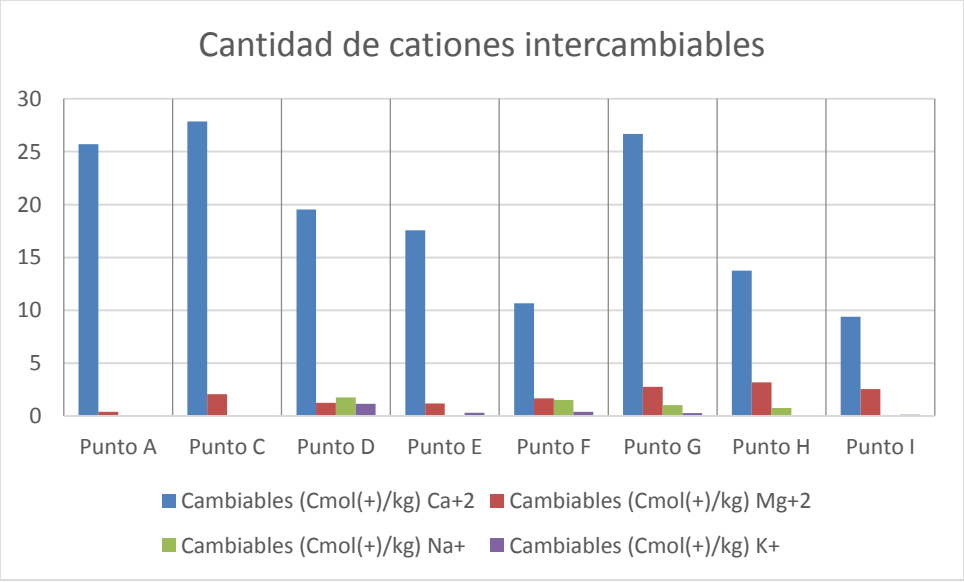


Figura 69. Distribución de cationes principales.

- Se puede decir respecto a la cantidad de cationes intercambiables, que el calcio es el catión predominante dentro de los cuatro principales, siendo el responsable del 71,49% del CIC total. Le sigue el magnesio, con un promedio de 7,72%. Esta condición se da porque los suelos de origen sedimentario tienen elevados contenidos de calcita y magnetita en su mayoría, a diferencia de otras zonas del país en la que predominan otros tipos de cationes en su composición, haciendo a sus suelos con otras características en cuanto a bases cambiables. De esta forma el calcio al ser un catión de gran tamaño y gran representatividad, se encuentra nutriendo considerablemente al suelo con este macronutriente, cubriendo las necesidades de las plantas que usualmente se siembran.

- Para la materia orgánica, con los resultados presentados en el Capítulo 3, se puede decir que la cantidad de MO es baja en la mayoría de los puntos, con un promedio de 0,32%, considerándose así con un valor menor a 2% (Ver Figura 70). Esto se debe principalmente a que los terrenos muestreados a lo largo del valle se encontraron desérticos por la sequía dada en la región de casi 8 años, pues en climas más secos la cantidad de MO es menor, ya que el crecimiento de pequeñas plantas en el suelo es menor. Así mismo, se puede decir que debido a las altas temperaturas que se presentan en la región no se puede conservar la MO, pues en climas cálidos se acelera su descomposición.

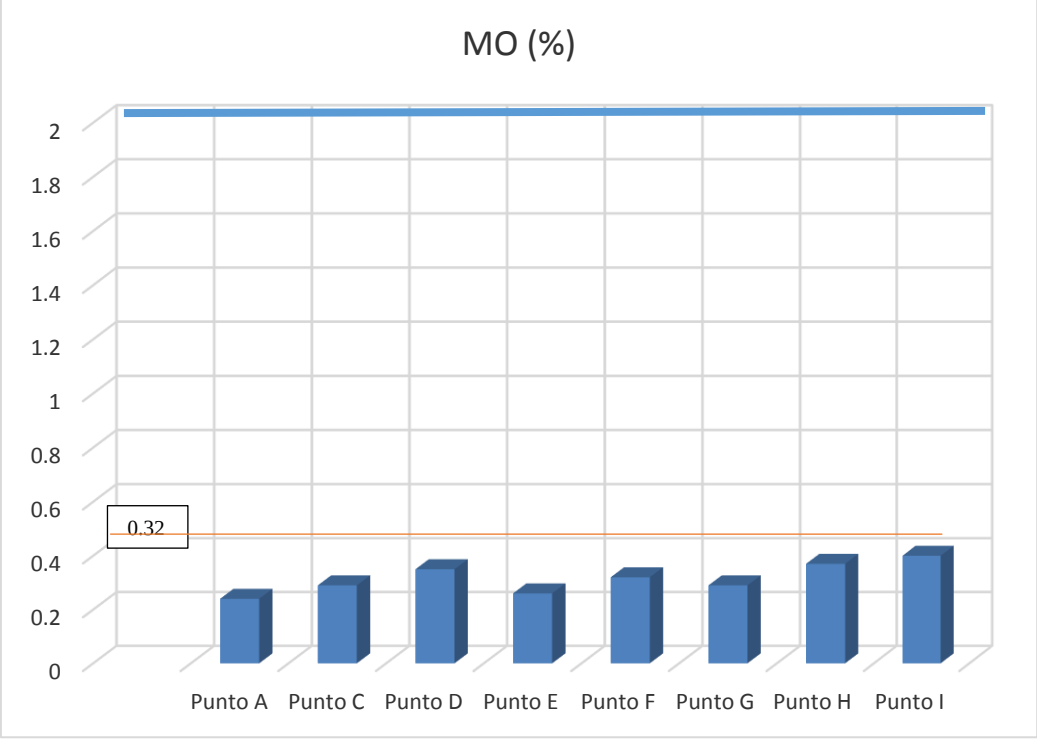


Figura 70. Porcentaje de Materia orgánica

- En cuanto a los dos puntos más bajos de MO, siendo el punto A y el punto E, se explican que podrían ser gracias a las elevadas pendientes que presentaban (Ver Figura 71 y Figura 72); ya que los terrenos con pendientes fuertes sufren una mayor

escorrentías y presentan menos agua disponible para las plantas, en donde la cantidad de MO es menor, no solo por el reducido crecimiento de vegetación, sino porque parte de la materia orgánica se pierde por la erosión en las fuertes pendientes, sobretodo en su parte superior. (Thompson & Troeh, 1980)

Figura 71. Terreno del punto A

Figura 72. Terreno del punto E

- Generalmente el óptimo del pH oscila entre 6 y 7,5, porque en ese intervalo, todos los nutrientes se muestran razonablemente accesibles. (Thompson & Troeh, 1980). Para las plantas que se cultivan en el Valle del Chira como la uva, el ají Páprika, arroz y el banano orgánico que requieren pH en rangos de 6,5 hasta 7,5, la mitad de los puntos es apta para el crecimiento y desarrollo de estos productos, para la otra mitad, tales como los puntos C, F, G y H, que poseen elevado este parámetro, se necesita de un tratamiento especial para poder cultivarlos. En todo caso se podría probar con nuevos

productos, teniéndose en cuenta sus demás requerimientos como textura, CE, bases cambiables, etc.

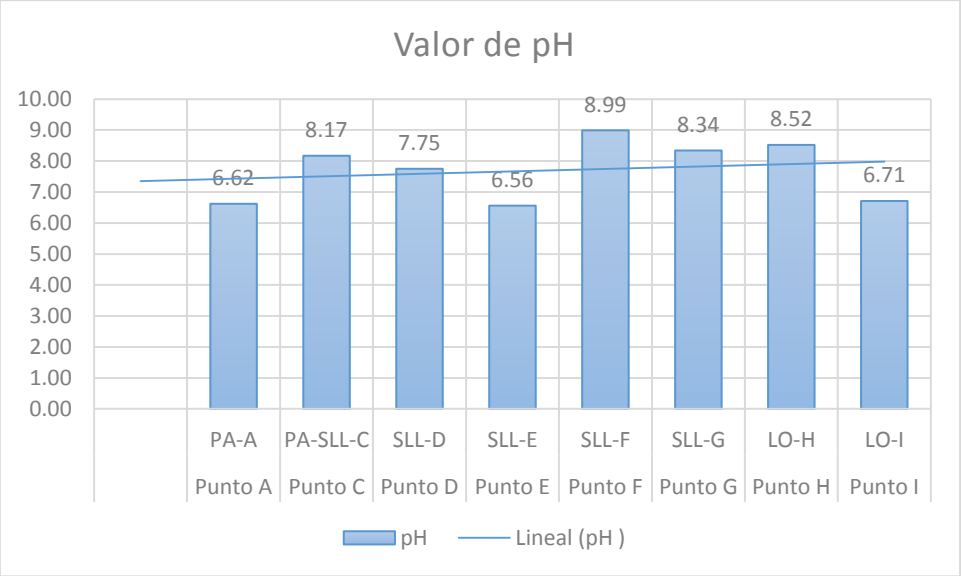


Figura 73. Valores de pH en distribución de barras.

- De la Figura 73, con la línea de tendencia se puede visualizar que el valor se encuentra aproximadamente en 7, y sacando un promedio de los valores se obtiene que es 7,71, por lo cual, sabiendo que los valores próximos a 7,5 u 8 suelen hallarse asociados a los suelos característico de la costa norte del país, los puntos muestreados cumplen con este patrón.

- Los puntos con elevado pH, como los puntos F, G y H considerados como alcalinos por tener un valor por encima de 8,5, necesitan ser sometidos a una enmienda del suelo. Casi todos los suelos alcalinos necesitan correcciones de drenaje. En esta área se debería corregir la alcalinidad si el exceso de agua va a persistir dificultando el crecimiento de las raíces y amenazando con el retorno de las condiciones alcalinas. Un buen sistema de drenaje debe eliminar del suelo el agua suficiente para que éste pueda utilizarse con normalidad. (Thompson & Troeh, 1980). Es importante mencionar que actualmente con las nuevas tecnologías de riego tecnificado, los problemas de drenajes son casi nulos.

- Para los resultados de conductividad eléctrica (CE), con valores menores de 2 dS/m como en los puntos C, F, G y H, estos son considerados con baja salinidad, lo cual no es necesariamente ventajosa en cuánto a la absorción de sales, pues en general una conductividad eléctrica por debajo de 0,6 dS/m señala pobreza de elementos nutritivos. (Lopez Ritas & Lopez Melida, 1978). (Ver Figura 74)

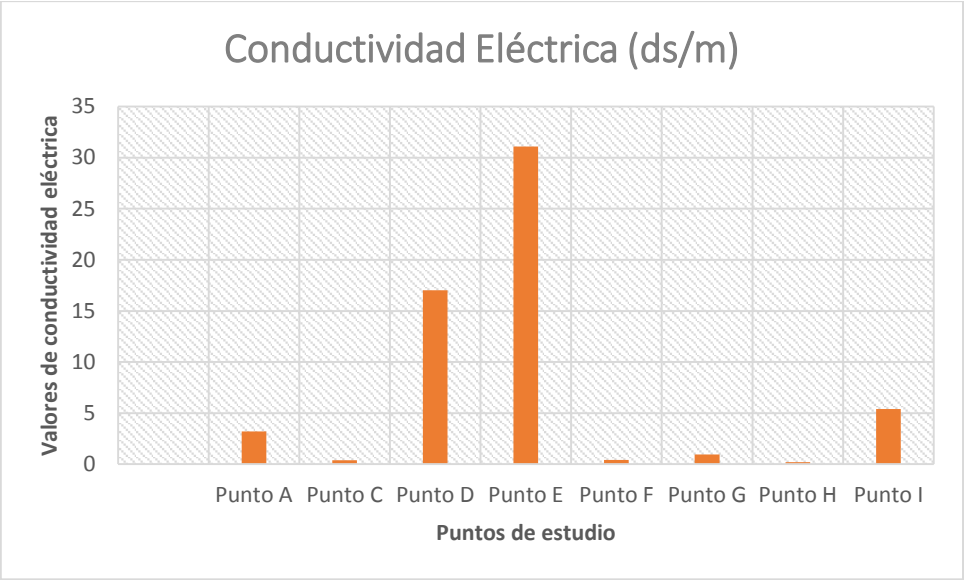


Figura 74. Valores de Conductividad eléctrica en distribución de barras.

- Los suelos normales suelen dar cifras que puede llegar a 4 dS/m (mmho/cm) y en suelos más pesados hasta 6 dS/m sin que sea causada por exceso de sales nocivas. Pero para seguridad, cuando el análisis arroja valores mayores de 4 dS/m, es recomendable efectuar pruebas en el Extracto de Saturación[16], más aún, si el pH también es elevado. (López Ritas & López Melida, 1978). Como ocurre en el punto I, con un valor 5.41dS/. Para los puntos que superan el valor de 16 dS/m, considerándose extremadamente salinos, se debería tener en cuenta que podrían presentar problemas en su entorno. Para la zona estudiada, tenemos puntos como el D y E con valores de 17,01 y 31,1 dS/m respectivamente. (Ver Figura 74)

- En cuanto a la distribución de fósforo todos los puntos se encuentran dentro del rango de valores bajos, teniendo valores menores de 7%. Así mismo existen tres valores más altos de fósforo disponible dentro de los 8 puntos estudiados con valores de 4,17, 4,84 y 5,9ppm. Esto podría explicarse porque en Sullana, en la margen derecha del Río chira, se encuentran grandes cantidades de arcillas expansivas que contienen cantidades importantes de montmorillonita, las cuales poseen considerables cantidades de fósforo adsorbidos en su composición. (Ver Figura 75)

[16] Se entiende por extracto de saturación la solución extraída del suelo después de saturarlo con agua, buscando ponerlo en un punto cercano a su capacidad de campo, dada que esta es la situación más perdurable con una concentración mínima de sales. Un estado de mayor humedad presentaría una solución más diluida pero de escasa duración temporal; un estado más seco elevaría la concentración pero sería muy variable en el tiempo. (http://www.eweb.unex.es/eweb/edafo/ECAP/ECAL5PQSalinidad.htm, 2016)

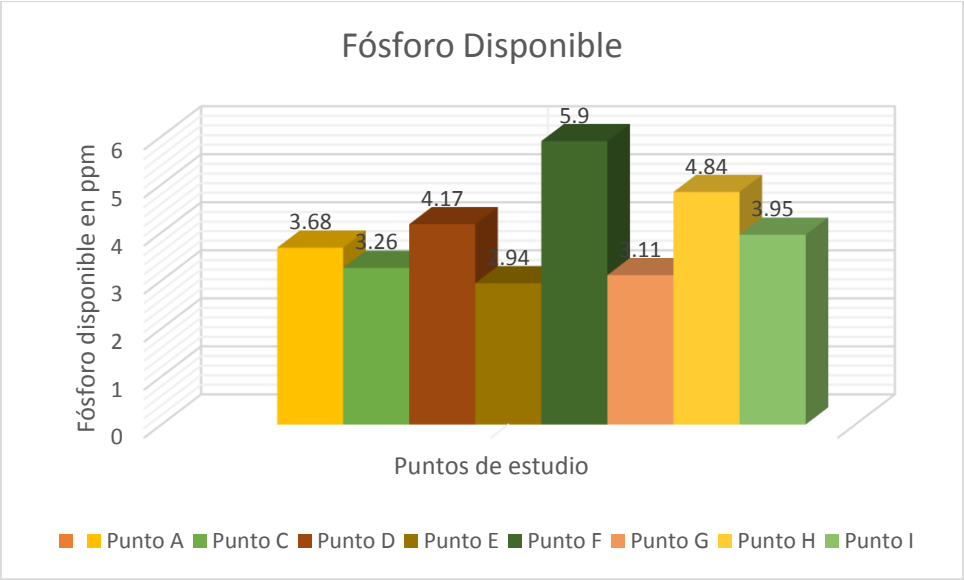


Figura 75. Valores de fósforo disponible en distribución de barras.

- Para el caso del potasio disponible, la distribución de los valores obtenidos tiene como resultado que en los puntos A, C, H e I se encuentran en el rango de valores bajos, siendo el límite para estar en este rango 100 ppm, tal como se muestra en la Figura 76. En el caso de los otros valores, al estar relacionados con una textura que tiene baja cantidad de arena, tales como los valores medios de los puntos E, F y G pertenecientes a la margen derecha del río Chira, justifican sus valores pues en sus formaciones geológicas presentan cantidades de arcillas expansivas considerables, las mismas que contienen potasio cambiable y soluble en su interior.

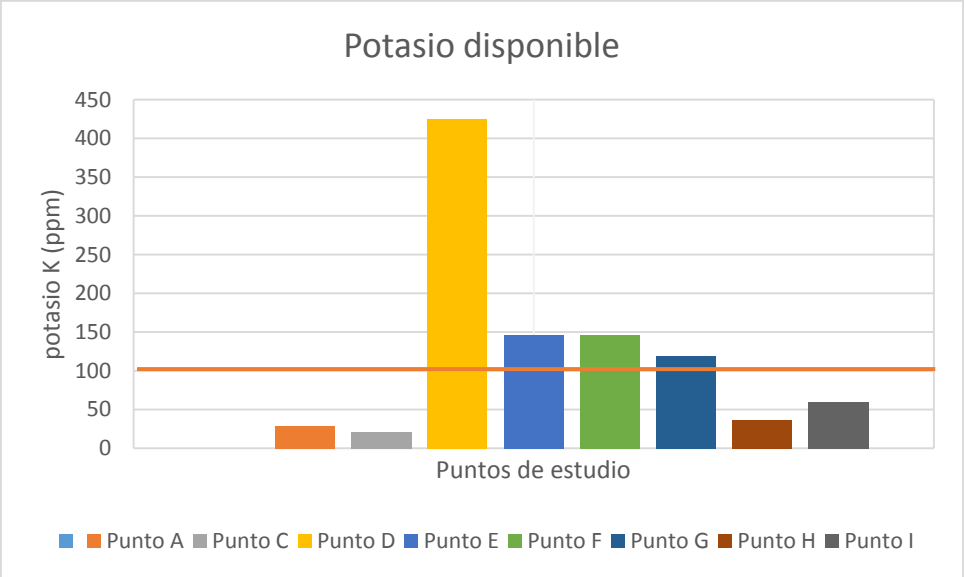


Figura 76. Valores de potasio disponible en distribución de barras.

4.1.1 Conclusiones de fase 1

- ✓ La textura influye decisivamente en el comportamiento del suelo respecto a su capacidad de retención de agua y nutrientes, su permeabilidad (encharcamiento, riesgo de lixiviación de agua y nitrógeno, etc.) y su capacidad para descomponer la materia orgánica. Es por estas razones que desde el punto de vista agrícola, la clase textural puede favorecer o perjudicar el desarrollo vegetativo de los cultivos, así como es determinante en la fase de intercambio.
- ✓ De los seis puntos donde se encontró que la textura fue franco-arenoso, se puede concluir que el banano orgánico, el ají páprika, el arroz y la palta necesitan de este tipo de suelo en cuanto a textura para su adecuado crecimiento y producción. Por lo que las zonas cercanas a estos puntos son aptas para el crecimiento de estos productos.
- ✓ Los tipos de suelo más recomendables para obtener una buena cosecha económica de banano son los suelos de textura media, desde franco arenoso, muy fino y fino, hasta franco arcilloso, como los puntos A, C, D, E, F e I.
- ✓ Por lo que se ha podido observar y obtener en los resultados, puede decirse que los mejores suelos para el cultivo del banano son aquellos con altos contenidos de nutrientes, bien balanceados y complementados con buen abonamiento, procurando suplir la extracción de minerales que se da con las cosechas y las pérdidas que se producen por el proceso de lixiviación.
- ✓ Los mejores suelos para el cultivo de banano, uva, caña de azúcar, ají páprika y arroz son aquellos de formación aluvial y que se encuentran en los valles costeros, de textura arenosa, pero suficientemente provistos de arcilla y limo para retener el agua, como los de textura franco arenosa encontradas en la zona de estudio. Suelos con buena estructura y gran porosidad y que posean buen drenaje, favorecen el desarrollo del banano. Así mismo, se puede decir que el exceso de humedad produce un mal desarrollo del banano y la pudrición de sus raíces.
- ✓ Los contenidos de cationes en suelos naturales dependen fundamentalmente del material de origen y de los procesos de meteorización y lixiviación[17], tal como se ha visto en las principales formaciones que se extienden a lo largo del valle.
- ✓ Según los requerimientos de textura y pH, el banano orgánico, se puede cultivar en los puntos de la cuenca A, E, I, pues los resultados de estos dos parámetros se encuentran entre los rangos aceptables de los requerimientos de este cultivo. Así mismo, es importante mencionar que a lo largo del valle, el banano orgánico es el producto más cosechado en el Chira, por lo tanto, las enmiendas en el suelo que se hagan a los puntos que necesitan de las mismas, siempre serán rentables y bien vista por la mayoría de los pobladores, que tienen sus fundos y prefieren trabajar con este cultivo.
- ✓ Los valores de potasio y fósforo que se obtuvieron en su mayoría bajos, se justifican debido a que los puntos muestreados son eriazos, por lo tanto no han tenido ninguna influencia de fertilizantes ni se han contaminado con algún tipo de detergente o elementos que puedan aumentar estos parámetros a causa de las actividades antropogénicas.

[17] Extracción de la materia soluble de una mezcla mediante la acción de un disolvente líquido.

4.2 Interpretación de resultados de la fase exploratoria 2

- Respecto a la textura, esta vez aparecieron dos nuevas clases de textura que fueron arcilla y franco limoso, que nos indica también la presencia elevada de arcillas y limos en el valle, siendo este un factor importante para definir los suelos como fértiles, ya que las arcillas son importantes para la retención de agua y nutrientes.
  Para estas nuevas texturas, se puede decir que es recomendable sembrar en estos dos puntos arroz (un producto muy cosechado en la zona) y el algodón, aunque actualmente en los últimos años ya no es rentable su siembra y cosecha, por lo que su producción ha disminuido. Ambas texturas, dan como resultados suelos con mejor capacidad de retención de agua y nutrientes. Las apariciones de nuevas texturas, se pueden justificar por la gran variabilidad en distancias muy cortas de cantidades de arcillas, limos y arenas, generando que cambien las clases texturales. (Ver Figura 77)

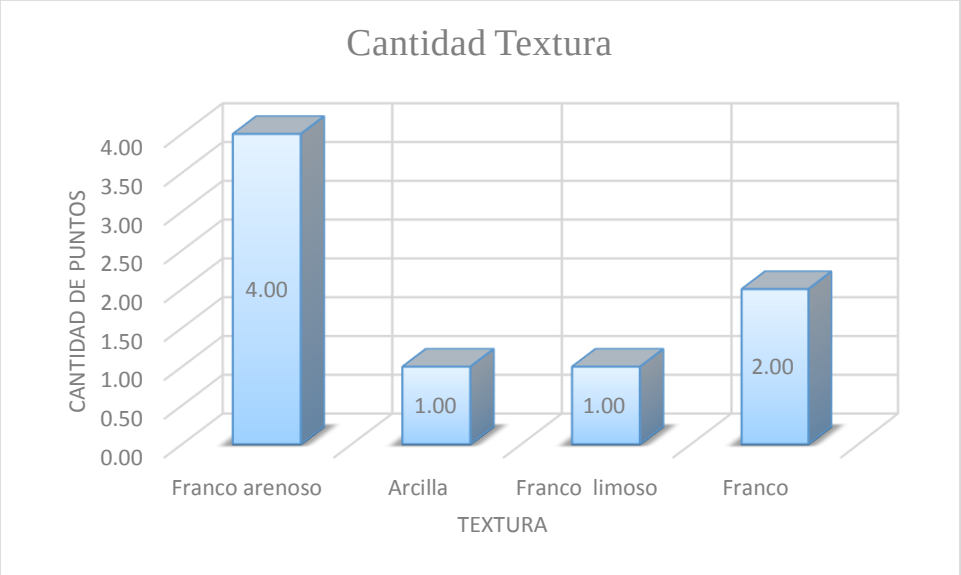


Figura 77. Clases texturales obtenidas en la zona de estudio

- Evaluando la cantidad de carbonatos de calcio, se aprecia en la Figura 78 que la tendencia de los mayores valores corresponden a los puntos F y G, que se encuentran en Las Lomas. Estos valores de carbonatos deben alertar que el suelo en este período de tiempo se encuentra en un estado más alcalino que en la primera fase, por lo que se puede decir que podría haber ocurrido un incremento por parte de la presencia de caliza total debido a los trabajos del suelo que realizaban los dueños de estos terrenos.
  Por otro lado, los puntos A, FU-1, DX2, EX2 y HX2 que no tienen elevado el contenido de carbonatos y que por lo tanto no tienen mucha influencia sobre el pH podrían cumplir con las condiciones para producir cosechas de uva, banano, arroz y ají páprika; tal como en la primera fase exploratoria.

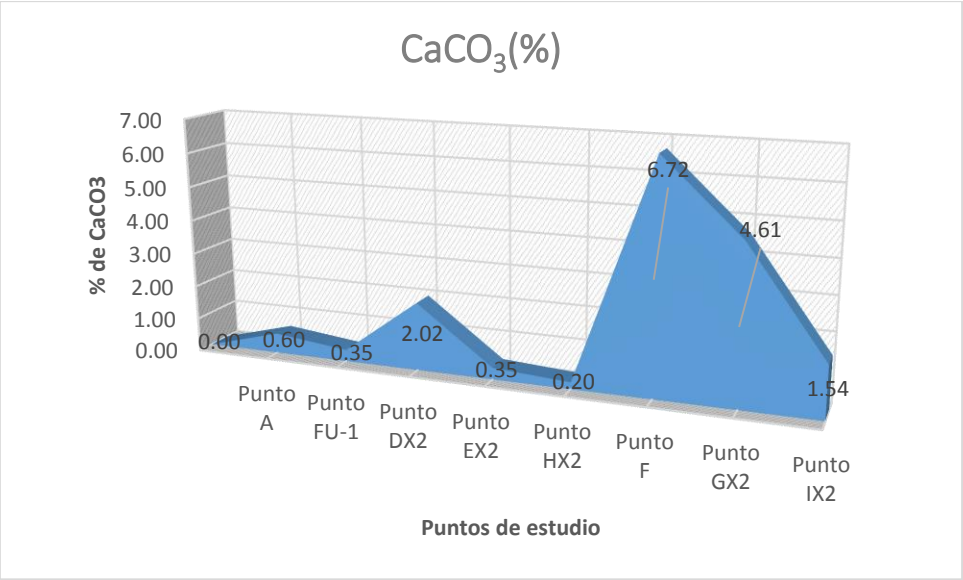


Figura 78. Porcentaje de Carbonatos de Calcio-Fase Exploratoria 2

- Respecto al pH, la situación de los suelos en esta época del año se mantiene, teniendo un pH promedio cercano al de la primera fase exploratoria, con un valor de 7.58, encontrándose en el rango de ligeramente alcalino, es importante mencionar que a lo largo del valle del Chira, los valores de pH fluctúan entre 7.5 y 8, tal como se ha encontrado en ambas fases exploratorias. (Ver Figura 79)

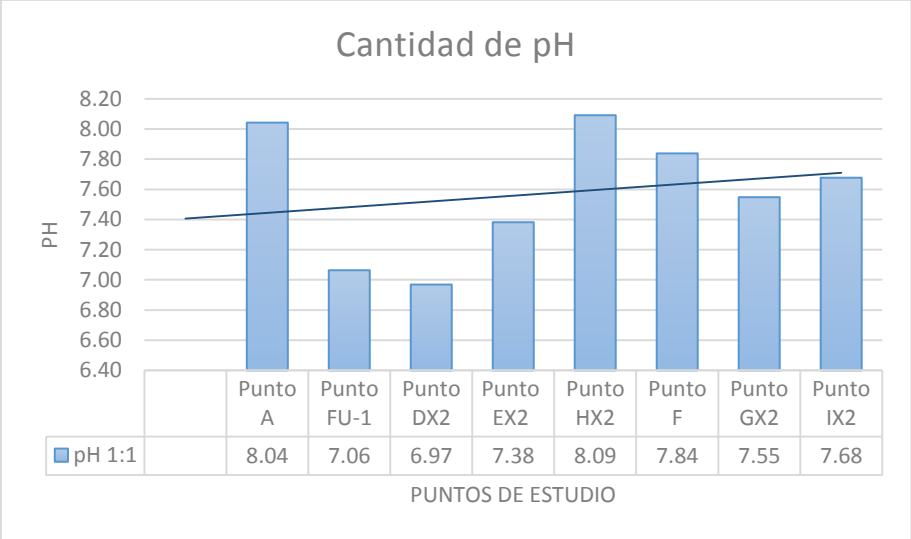


Figura 79. Valores de pH en distribución de barras.

- Los valores de pH y carbonatos de calcio, se relacionan de manera directa, pues al existir una presencia elevada de estos, aumentan el pH. En la zona de estudio, los valores de carbonatos se encuentran en un nivel medio para esta fase exploratoria, por lo que se pueden considerar como un factor influyente en la elevación o reducción del pH, tal como se aprecia en la Figura 80; donde los valores que tienen elevados porcentajes de $CaCO_3$, tienen valores de pH más elevados, como el caso del punto EX2, F, GX2 e IX2; de este modo no se puede decir que este comportamiento ocurre de forma inversa; es

decir, que para los valores que presentan valores bajos de carbonatos el pH disminuye, pues para los puntos de estudio, este parámetro depende de factores diversos como el drenaje, la conductividad de sales, bases, etc.

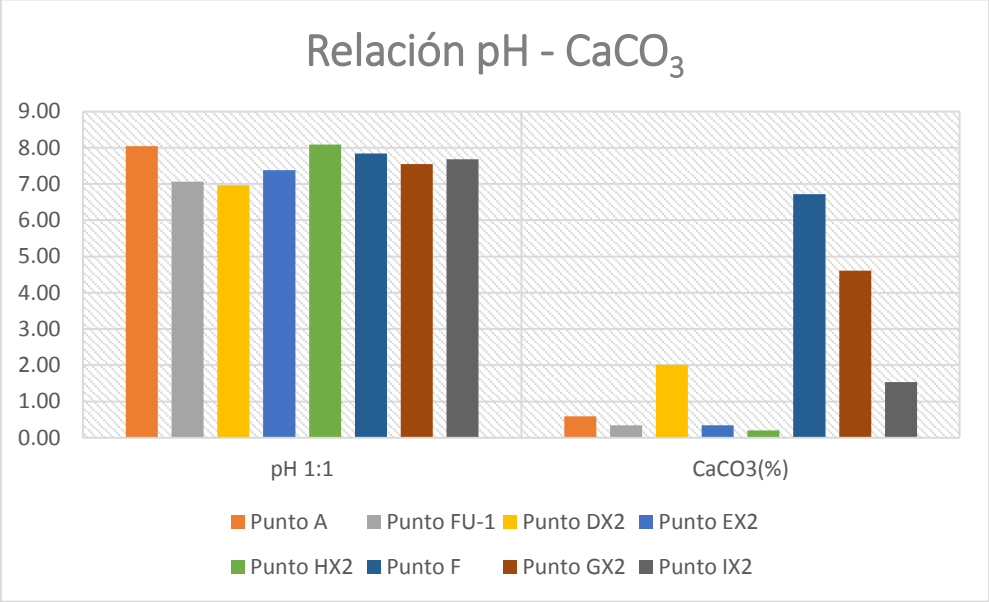


Figura 80. Relación entre pH y $CaCO_3$

- Los valores de MO, en esta etapa siguen siendo en su mayoría del rango considerado como bajo, pues como se viene mencionando en la zona ocurre un proceso acelerado de materia orgánica por las condiciones climáticas, más aún en el mes de Diciembre, donde las temperaturas superan los 30 °C acelerando más este proceso. Los valores más altos correspondientes a materia orgánica como el punto DX2 e IX2, son lugares ubicados dentro de sembríos o muy cercanos a ellos, por lo tanto tienen la influencia de la vegetación existente cercana y de los microorganismos coexistentes en el terreno. (Ver Figura 81)

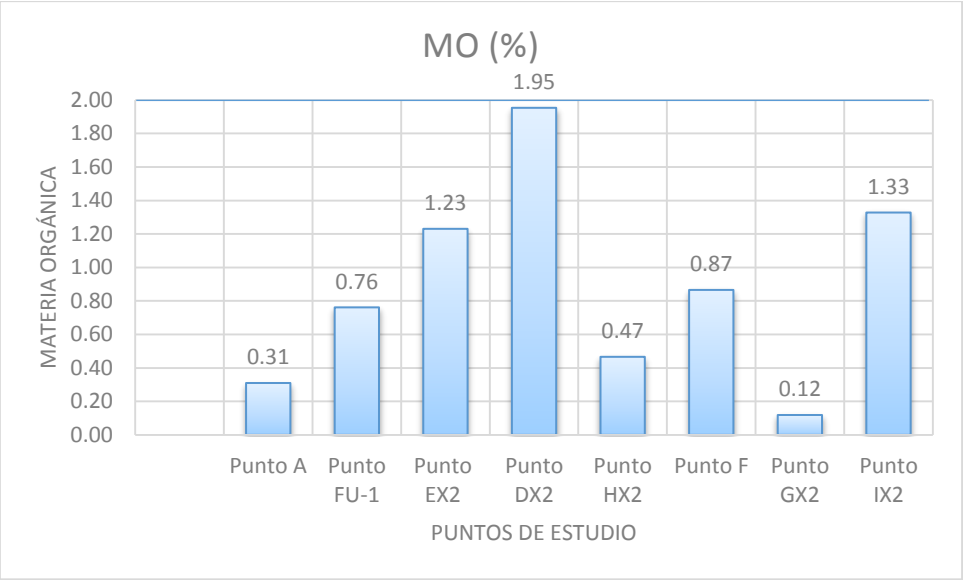


Figura 81. Cantidad de Materia Orgánica

- Para los valores de fósforo disponible en la fase exploratoria dos, presenta un promedio de 22,12 ppm considerándose un valor alto pues sobrepasa el rango de 14 ppm, que es el límite para los rangos de valores altos en este parámetro. Se podría decir que han subido considerablemente este valor ya que existen puntos como FU-1, DX2, EX2, H e IX2 que ahora se encuentran cultivados, y probablemente el suelo ha sido nutrido con fertilizantes fosforados, elevando este valor. (Ver Figura 82)

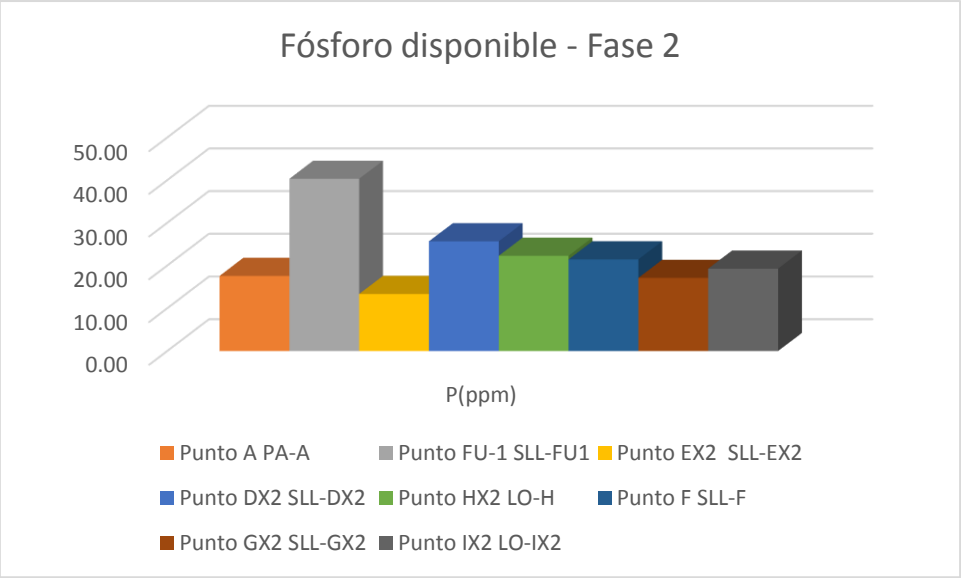


Figura 82. Cantidad de fósforo disponible

- Para los valores de potasio teniendo un promedio de 237,18 ppm, se considera que los puntos de estudio poseen en sus terrenos un nivel alto, lo cual es muy favorable para los productos frutales que se cultivan en el valle, como banano orgánico, caña de azúcar, palto, etc. En esta segunda fase, los valores suben considerablemente debido a los cultivos presentes en los terrenos en estudio, tales como los puntos FU-1, donde existían

sembríos de banano orgánico, suelos a los cuales se les había nutrido con fertilizantes que contenían componentes potásicos que ayuden a la absorción de las plantas. Lo mismo sucede en el punto H, donde habían plantaciones de maíz y mango. (Ver Figura 83)

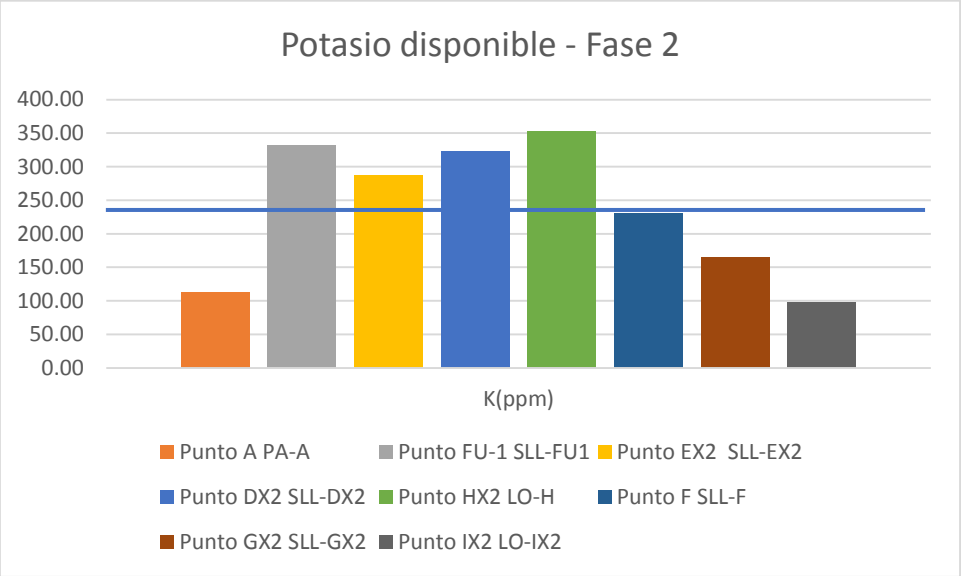


Figura 83. Cantidad de potasio disponible

4.2.1 Conclusiones de fase2

- ✓ En cuanto a la materia orgánica (MO), se debe considerar que en Piura, los meses desde de Diciembre hasta Marzo son los de mayores temperaturas registradas, por lo cual las altas temperaturas tienen un efecto sobre la materia orgánica, degradándola. Así mismo, en las temporadas más frías se debe tener en cuenta la preservación de la materia orgánica por el descenso de la temperatura. Aunque los valores de MO son bajos, es importante considerar estos dos aspectos, ya que la presencia o no de la misma depende de muchos otros factores.
- ✓ El aumento de carbonatos de calcio influye de manera directa con el aumento del pH, de esta manera si el contenido de $CaCO_3$ es mayor, elevará el pH en el suelo tal como se observó anteriormente. Los carbonatos presentes en la zona son influenciados por las formaciones litológicas de manera moderada, por esta razón en la mayoría de los puntos estos valores son considerados bajos, para los demás valores, las acciones de laboreo, la contaminación del suelo o la ayuda de algunos fertilizantes ayuda a que los valores sean un poco más elevados.
- ✓ La caída de la materia orgánica en este período del año, es altamente justificable por la degradación aún más acelerada debido al aumento de la temperatura en la zona.
- ✓ La presencia de nuevas clases texturales, podrían significar la mejora del suelo en cuanto a términos de mayor cantidad de partículas finas como arcillas y limos, pues estos últimos presentan una alta capacidad de agua y nutrientes, además representa una justificación para que entren nuevamente la cosecha de productos como el algodón que en la actualidad se ha dejado de lado.

- ✓ El aumento de valores obtenidos en los resultados de parámetros como el fósforo, potasio y en algunos casos de la materia orgánica, se pueden justificar por la existencia de algunos cultivos encontrados en los puntos de muestreo o por la cercanía de estos.

4.3 Comparaciones de las dos fases exploratorias

En este proceso comparativo se debe aclarar que los puntos nuevos en la fase exploratoria 2, que anteriormente se describieron con sus propias características, serán usados para analizar las variaciones en ambas fases. Por lo tanto, a pesar que físicamente no son los mismos puntos, dichas comparaciones se tomarán de manera referencial por encontrarse dentro de la zona de estudio delimitada.

Cantidades de pH

En cuanto a la comparación de ambas fases exploratorias, se puede apreciar que los valores de pH han disminuido ligeramente, teniendo ahora un promedio de 7,58, mientras que en la primera fase tiene un promedio de 7,71. (Ver Figura 84). A pesar de esto, ambos valores oscilan entre 7,5 y 8 que suelen ser característicos de los suelos del valle, y en general de la costa. Por lo tanto se puede decir, que estos suelos requieren enmiendas ácidas como por ejemplo aplicaciones de materia orgánica, azufre agrícola y el uso de fertilizantes de reacción ácidos tales como los fertilizantes amoniacales, para poder utilizarlos en los cultivos típicos de la zona.

Lo que es rescatable también es que la dispersión de estos valores disminuye, pues en la primera fase se tiene una desviación estándar de 0,96, mientras que en la segunda campaña el valor de ésta disminuye a 0,42. Se puede justificar esta reducción de variabilidad de los datos, debido a que en la segunda fase exploratoria algunas de las áreas muestreadas ya estaban cultivadas, por lo que con ayuda de los fertilizantes de índice ácido y las enmiendas aplicadas por los productores para el desarrollo de las plantas como el banano orgánico, arroz o limón, probablemente han hecho que los valores de pH sean más uniformes.

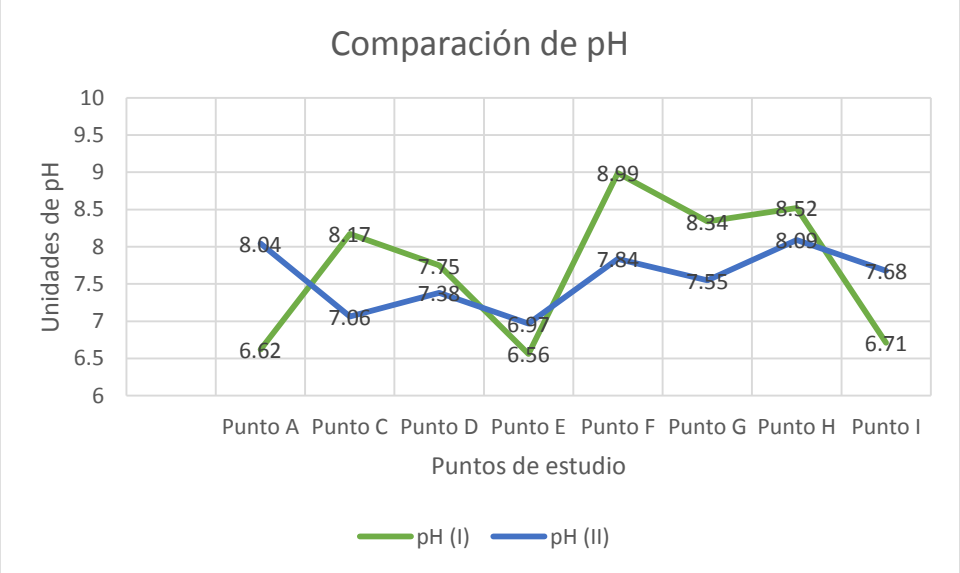


Figura 84. Comparación de pH

Cantidades de $CaCO_3$

Para las cantidades de Carbonato de Calcio, es apreciable que existen más valores que definen un valor medio de carbonatos, siendo este rango de 1% a 5% (rectángulo de color rojo en la Figura 85), tal como se aprecia, se puede observar en los puntos E, F, y G.

En cuanto al pico de 19,20 % de carbonatos, se observa que al ser un valor muy alto, genera que la dispersión en la primera fase sea de 6,59, siendo los otros valores bajos, a diferencia de la segunda fase que los valores varían menos teniendo una desviación estándar de 2,39%.

Además se rescata que la variabilidad en la primera fase, sin considerar el punto C, que es una excepción por la cantidad de calcita presente, es menor que en la segunda fase; teniendo valores de desviaciones estándares de 0,54 y 2,39 respectivamente. Esto podría indicar que a medida que pasa el tiempo debido a los trabajos del laboreo en el suelo por parte de los productores originaría que se remuevan cantidades ligeramente mayores de carbonatos totales, ocasionando una ligera alza en los resultados de $CaCO_3$.

Se debe tener presente de una forma secundaria, que el agua con la que se riegan estos cultivos influye también en la cantidad de carbonato de calcio, pues las fuentes de los diversos abastecedores de agua para regadío, pueden presentar algún tipo de contaminación, aumentando los carbonatos en el agua y luego en el suelo.

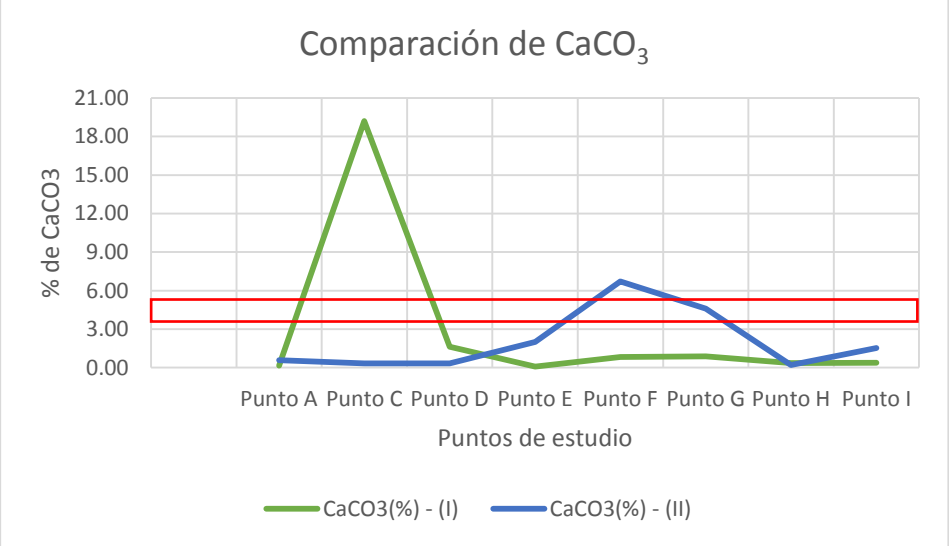


Figura 85. Comparación de $CaCO_3$

Cantidades de MO

Para el caso de la materia orgánica los valores suben en promedio 0,67% en casi todos los puntos, a excepción del punto G, que sigue siendo un punto eriazo, donde pasa de un valor de 0,29 a 0,12%. Se puede justificar el descenso de la materia orgánica debido a su ubicación geográfica, pues la zona sufre altamente las consecuencias del intemperismo, por lo cual la materia orgánica se degrada con mayor facilidad, y dado que las muestras se tomaron con una diferencia de seis meses en las distintas fases exploratorias, era de esperarse que los valores bajen aún más en este punto. (Ver Figura 86).

Para la mayoría de los puntos, donde el valor de MO aumentó en la fase exploratoria 2, se puede explicar por la existencia de puntos con cultivos en la zona de muestreo, por lo que es probable que el productor, haya aplicado materia orgánica para la nutrición del suelo elevando un poco los valores de este parámetro. A esta situación se le suma también los restos vegetales que hay en el suelo y al descomponerse aumentan la materia orgánica. A pesar de esta situación, es importante mencionar que los valores de MO son considerados bajos en ambas fases, con resultados menores a 1%, pues presentan valores promedio de 0,32% y 0,88% respectivamente. Esto sucede porque el clima es caluroso en la mayoría del año, ayudando a la descomposición de la materia orgánica, además la zona de estudio sufre una carencia de humus, por formar parte de la costa.

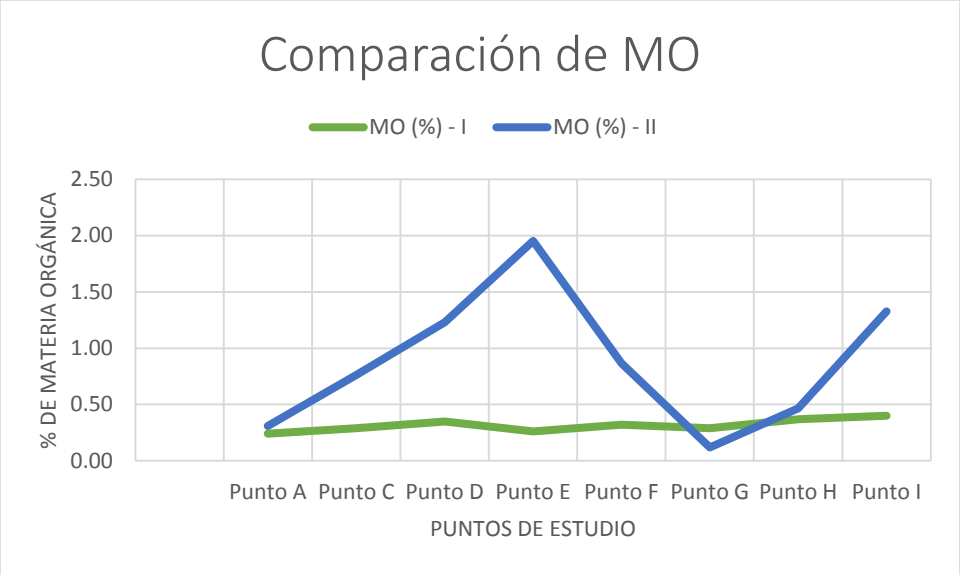


Figura 86. Comparación de MO

Valores de conductividad eléctrica

Se puede apreciar que la tendencia en ambas fases es parecida, presentando el mismo pico en el punto E con valores de 30,10 y 20,60 en la primera y segunda fase respectivamente. (Ver Figura 87). En las dos fases, sin considerar los picos para los suelos estudiados, se concluye que en la primera fase los suelos se encuentran en un promedio de 3,94 dS/m (ligeramente salino); mientras que en la segunda campaña se obtiene un promedio de 0.94 dS/m (muy ligeramente salino).

Se debe tener en cuenta que para la instalación de un cultivo, el agricultor hace un primer riego que se denomina “riego de machaco” que en realidad es un lavado de suelos (riego pesado) con alto volumen de agua, y es usual que se aplique para favorecer el desarrollo de las plantas, además se aplica previamente a las labores de aradura y gradeo del suelo. Por consiguiente los futuros riegos, que el agricultor haya realizado en los puntos que en la fase exploratoria 2 que se encontraron cultivados han ocasionado que disminuyan los niveles de las sales dentro de los primeros 30 cm, que es la profundidad de la capa arable y a la que se tomó la muestra.

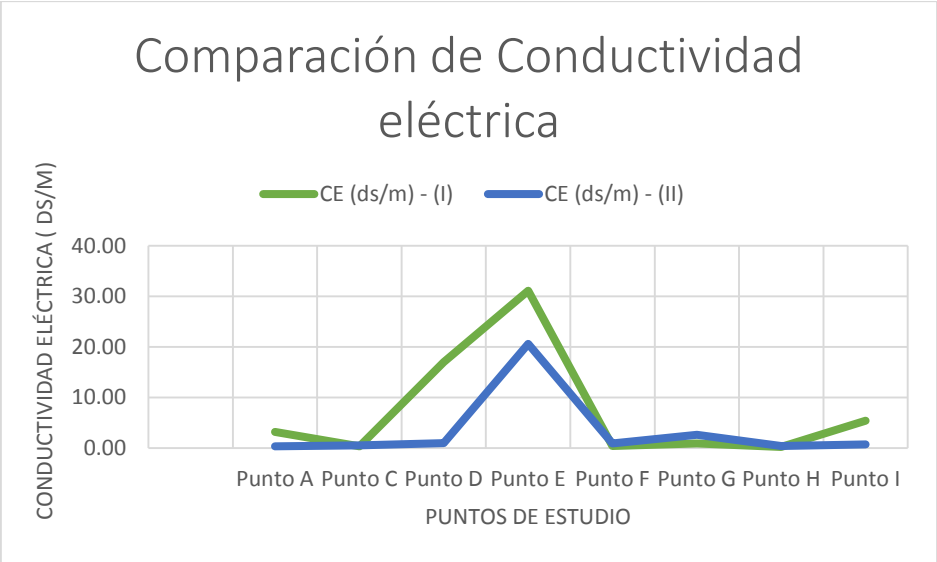


Figura 87. Comparación de CE

Comparación de Fósforo Disponible

El fósforo disponible ha aumentado de un promedio de 3,98 a 22,12 ppm, es decir, su condición de solubilidad sube 5,56 veces en promedio. Este incremento se ha dado en los puntos que ahora se encuentran cultivados, se puede justificar por las aplicaciones de fertilizantes fosforados que el productor probablemente ha realizado al tener sus terrenos con sembríos de banano, uva, arroz, etc, aumentando los valores de este parámetro.

En la fase exploratoria 1, los valores obtenidos en el análisis son de carácter anómalos, presentando valores extremadamente bajos, que no están acorde con niveles de fósforo de la zona que fluctúan entre 7 y 8 ppm (Sullon, 2016) . Para los suelos eriazos, que han aumentado su disponibilidad de fósforo sin necesidad de fertilizantes, se puede decir que presentan cierta rareza, pues es poco probable que se incremente en 3 veces su valor, ya que los terrenos en descanso no tienen una significativa recuperación para este elemento. (Ver Figura 88).

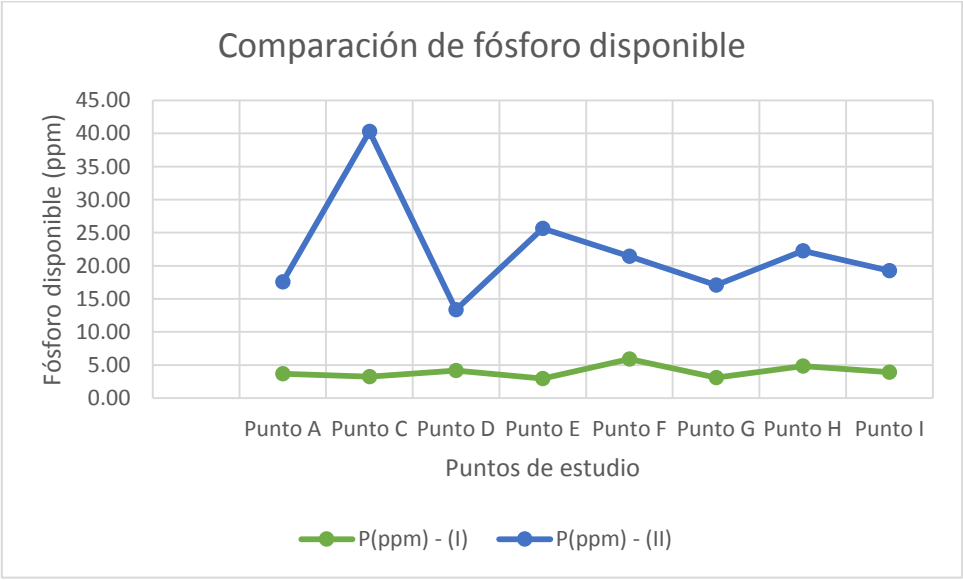


Figura 88. Comparación de fósforo disponible

Comparación de Potasio Disponible

Respecto al potasio disponible, se aprecia una gran variabilidad entre los datos tomados en ambas fases exploratorias, teniendo desviaciones estándares de 132,60 para la primera fase y 101,34 para la segunda. También es visible que los valores de potasio disponible han aumentado en 7 de los 8 puntos totales (Ver Figura 89), por lo que se puede pensar a que el potasio disponible eleva su disponibilidad con el paso del tiempo. Al existir en la zona de estudio un alto contenido de feldespatos y en algunos casos ortoclasas, ambas formas de potasio no disponible, con el paso del tiempo se alteran y originan un mayor porcentajes de arcillas ricas en potasio. Por ende, la forma anterior del potasio pasa a un estado disponible y posteriormente es aprovechado por la planta y almacenado en la CIC del suelo.

Para los incrementos que se observan en los puntos con sembríos, se justifican debido a que el agricultor está efectuando aplicaciones de fertilizantes potásicos para una adecuada nutrición de sus terrenos.

Para el punto D que sufre una caída de potasio disponible en la segunda fase, se puede decir que el descenso ocurrido en este punto se debe que al existir un cultivo de banano orgánico el cual se encontraba en malas condiciones nutricionales, según las declaraciones del productor, el cultivo puede haber absorbido la gran parte de las reservas que tenía en el suelo ya que en la primera campaña tenía un valor de 424.85 ppm al no aplicársele al suelo ningún fertilizante potásico u de otro tipo.

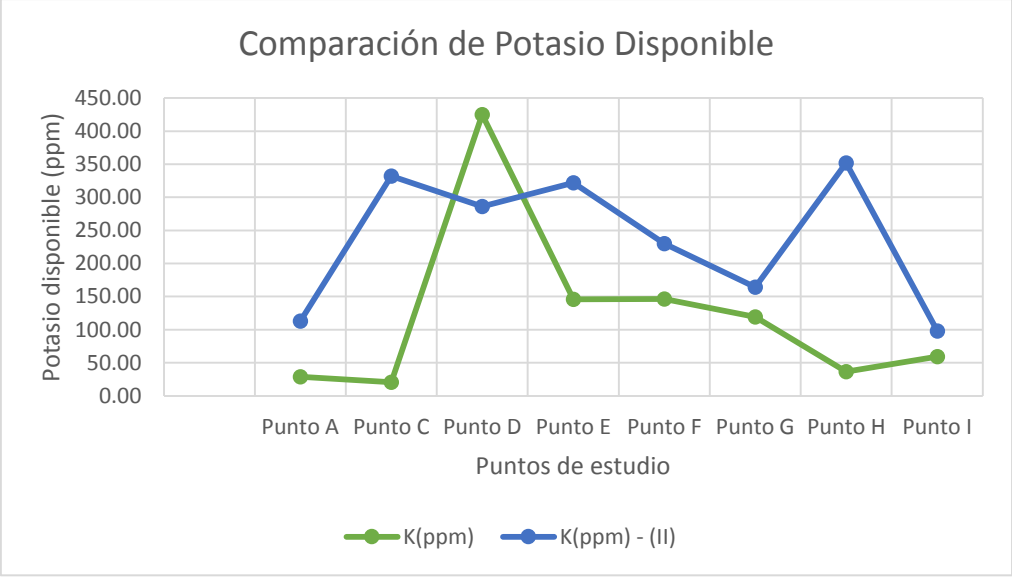


Figura 89. Comparación de potasio disponible

Comparación de CIC total

Comparando los valores de la CIC total, se acota que tratándose de los puntos de estudio pertenecen a una misma zona de estudio, y debido a la gran variabilidad de CIC analizado en ambas fases exploratorias, se puede decir que podría tratarse de un error de muestreo, ya que la CIC depende del contenido de arcillas y humus, debido a que en el valle del Chira no existe humus, dependerá solo del primer factor, y se sabe que este porcentaje de

arcillas es prácticamente invariable. Se presenta en la Figura 90, de manera gráfica la variabilidad de los datos.

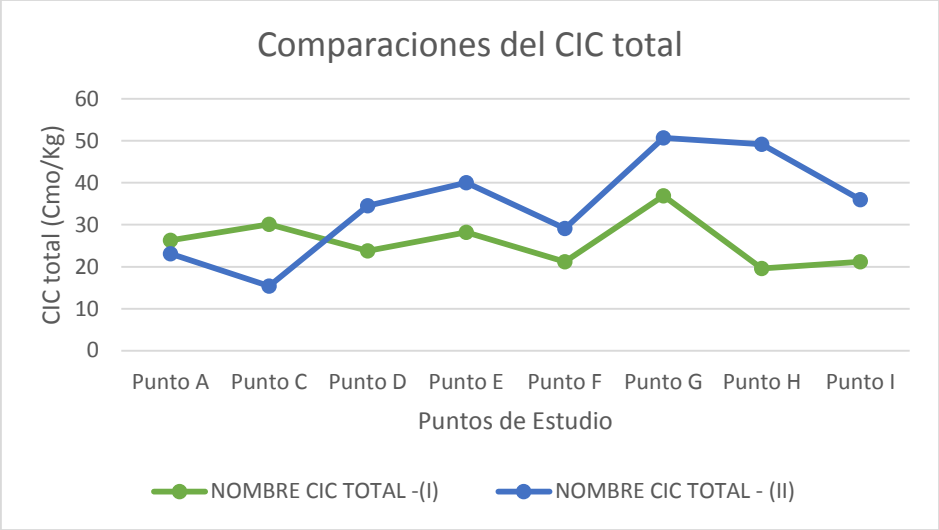


Figura 90. Comparación de potasio disponible

4.4 Recomendaciones

- Para el caso de los suelos con contenido de sales elevadas presentes en la zona de estudio, dados por la conductividad eléctrica se pueden recomendar efectuar lavados de suelo siempre y cuando exista un adecuado sistema de drenaje.

- Las variaciones de parámetros como el pH, en los casos que se encuentra elevado este valor se puede mejorar con enmiendas ácidas, como materia orgánica, azufre agrícola o productos comerciales que mejoran la condición alcalina del suelo, garantizando una mejor nutrición de la planta.

- En cuanto a contenido de carbonatos presentes, se recomienda efectuar determinaciones de caliza activa, ya que esta es la principal responsable de la elevación del pH de los suelos y de la fijación del fósforo disponible para las plantas.

- Considerando los niveles muy bajos de materia orgánica, se deben hacer aplicaciones de diferentes fuentes de materiales orgánicos como estiércol, compost, vermicompost (humus o estiércol de lombriz), abonos verdes, con el fin de enmendar esta deficiencia.

- Para el nivel de fertilidad de los suelos en estudio este es bajo y el orden de la deficiencia es típico de la zona (N > P > K), esto se debe tener en cuenta para determinar los niveles de fertilización que se debe aplicar a los cultivos.

- La mayoría de las texturas fueron franco arenosas, características de los suelos sedimentarios con niveles de limo que varían entre 26% y 31% en promedio y arena entre 61% y 70%, con algunas excepciones, por lo que se recomendaría la siembra de cultivos que se adecuen a esta clase textural por ejemplo el plátano, caña de azúcar y frutales en general.

CONCLUSIONES

- Es importante evaluar los parámetros químicos del suelo ya que ayuda a tener un precedente de lo que le sucede al suelo antes de ser cultivado, qué tipo de elementos químicos predominan, si cuenta con nutrientes disponibles para las plantas potencialmente cultivadas y si necesita hacerle enmiendas para mejorar su productividad según los requerimientos de los sembríos.

- La toma de muestras debe efectuarse de manera adecuada para no tener valores de parámetros que sean dudosos o inusuales, pues alterarían la realidad del suelo, teniendo una idea equivocada de lo que sucede llevando a emitir interpretaciones y conclusiones erróneas.

- Los parámetros químicos estudiados significan un aporte para las investigaciones futuras, ya que actualmente no se cuenta con bases de datos sobre la química del suelo en el Valle del Chira, que es uno de los más importantes en la costa peruana, y uno de los que más aporte económico brindan en la región noroeste del país.

- La geología de la zona es un aspecto importante para evaluar la química del suelo, pues la generación de estos en su mayoría sedimentarios están definidos por su formación, antigüedad y rasgos producto del intemperismo y por su composición mineralógica.

- El análisis de la cuenca se debe tener en cuenta de una forma relevante, ya que es en ella donde se desarrolla la vida del valle, se debe conocer su geología, clima y los parámetros geomorfológicos más importantes, ya que así se puede dar una idea de la influencia de estas características sobre los terrenos en general que yacen en ella.

- Las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica son muy útiles pues permiten tener en primer lugar la distribución geográfica de los puntos de estudio y ver como se distinguen entre sí, y en segundo lugar, clasificar los valores obtenidos, tener contrastes de elementos, mezclar herramientas de trabajo y así generar mapas que sirvan mejor en su visualización y ubicación.

- El cambio climático, se debe tener presente en estudios como el generado por esta tesis ya que representa un factor importante en la influencia del comportamiento del suelo, pues algunos parámetros de la química del suelo, como por ejemplo los valores de materia orgánica se ven directamente influenciados por este. En los últimos años las temperaturas han aumentado considerablemente, lo que genera un acelerado

proceso de descomposición de materia orgánica, dejando al suelo cada vez con valores más bajos. Así mismo se le debe dar importancia por la ubicación geográfica en que la zona de estudio se encuentra, pues su cercanía con la línea ecuatorial le agrega un factor de riesgo importante, no solo por el aumento de la temperatura sino también por las corrientes que son de impacto como el Fenómeno del Niño y las temporadas de sequía.

- En el caso de las muestras de agua, al ser en su mayoría de origen subterráneo se puede decir que esta se relaciona de manera directa con el suelo, pues ambos están fuertemente ligados en sus propiedades físicas, mineralógicas y químicas, es decir, el suelo influye en algunas propiedades del agua y viceversa. Tal es el caso de la cantidad de sulfatos en el agua, en los cuales la cantidad de este parámetro en el agua, depende mayormente por el tipo de suelo que atraviesa el acuífero.

- Para el caso del Valle en estudio, se sabe que el agua generada de manera superficial cubre casi en su totalidad el consumo de los regadíos que se extienden a lo largo de este, pero es importante mencionar que la mayoría de productores, tratan de perforar sus propios pozos sin un registro alguno, por lo que se debe tener en cuenta esta realidad, que se podría tornar negativa en lo que se refiere a explotación de los acuíferos existentes y de los cuales es importante mencionar se tienen pocos estudios.

- En lo que respecta a la fase exploratoria 1, se puede concluir que la mayoría de los parámetros con valores bajos, se han visto influenciados por el clima y por la poca nutrición del suelo. Para los suelos con fines de cultivo, dicha situación se debe al tiempo en que fue tomada la muestra, pues al realizarse en el mes de mayo el suelo se encontraba carente de nutrientes debido al inicio de los trabajo de laboreo. Para los suelos eriazos, que son en su mayoría, el clima y la geología son los aspectos determinantes.

- En la fase exploratoria 2 se concluye, que los valores han aumentado de manera promedio, justificándose la elevación de los mismos debido a la nutrición realizadas por los agricultores hacia el suelo, para el aprovechamiento de las diversas plantas existentes. Así mismo, se concluye el aumento moderado para la mayoría de parámetros que cumplen una función nutricional y de intercambio catiónico, como el fósforo y el potasio. Para el caso de la materia orgánica, en ambas fases se confirman valores mínimos, pues las altas temperaturas la degradan casi extinguiéndola, situación que es muy común en esta zona del país.

RECOMENDACIONES

- Es importante evaluar los valores químicos estándares según los requerimientos del cultivo potencial a sembrar, pues con ellos se puede saber si el suelo está en las condiciones óptimas para un buen desarrollo de las plantas o necesita de algunas enmiendas para lograrlo.

- Para la interpretación de los resultados es muy importante evaluar el muestreo, así como la forma de realizar el ensayo, pues como en todo campo de medida de parámetros, se debe recordar que existen errores que hay que considerar, pues resultaría que los resultados fueran anómalos, convirtiendo a la muestra en no representativa de la zona de estudio.

- Las temporadas de muestreo, deben ser evaluadas con rigurosidad, ya que el clima al ser inesperado, podría no ser significativo realizar más ensayos si la variación de este es mínima, ya que los resultados serían prácticamente los mismos. Lo óptimo sería tener condiciones climáticas distintas para poder apreciar las distintas condiciones en las que el suelo se encuentre.

- En la mayoría de terrenos eriazos que se extienden en el valle, se recomienda ser estudiados a fondo en la parte química, ya que existen muchas cualidades que se pueden aprovechar y podrían ser tratados adecuadamente y así los inversionistas apuesten por sembrar algunos cultivos, aumentando la economía.

- Debido a la no existencia de un registro de la presencia de pozos en el Valle del chira, pues la demanda de agua es actualmente cubierta por el río Chira y el funcionamiento de las obras hidráulicas derivadas, se recomienda una inspección adecuada de la cantidad de pozos que pueden estar funcionando de manera indiscriminada, ya que existen pequeños y medianos productores que perforan pozos por cuenta propia con el fin de hallar agua dentro de sus tierras.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ACEVEDO, Edmundo.** "Interacciones en el Suelo-Agua-Raíz en el proceso de absorción de agua de las plantas". Chile (2000).

2. **ANA**. *Cuenca Hidrográfica del Chira Piura.* [En línea]. Piura. Disponible en web: <http://www.ana.gob.pe:8088/la-cuenca/mapa-del-crhc.aspx> [Consulta: 06/12/2014].

3. **ARANOFF.** "Geographic Information System: Management Perspective". (1989) - Ottava.

4. **AUTORIDAD AUTÓNOMA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA CHIRA – PIURA –** COMITÉ INSTITUCIONAL**. "**Plan de defensas ribereñas y encauzamiento de ríos". Resumen del diagnóstico situacional. Piura (2007).

5. **BANCO CENTRAL DE RESERVA. "**Informe actualizado de la Caracterización agrícola y económica de la Región Piura" (2013).

6. **BANCO CENTRAL DE RESERVA,** Proyección institucional – Encuentros Regionales (2008)- Piura. Informe económico social.

7. **BRACK EGG, Antonio.** "Ecología del Perú". Editorial Bruño. Lima (2000)

8. **CASTILLO, Carlos Hildebrando.** "Pautas para la interpretación visual de imágenes en geología" – Conferencia: Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Piura (2012).

9. **CEPA.** "ISTMO Centroamericano: efectos del cambio climático sobre la agricultura". México (2010).

10. **CHUVIECO, Emilio**. "Fundamentos de la Teledetección espacial". Madrid (1996) – Rialph.

11. **COMAS, David y RUIZ Ernest.** "Fundamentos de los sistemas de información geográfica". Barcelona (1993) – Ariel.

12. **ECHARRI, Luis.** "Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente". (2007).

13. **FUNACIÓN CENTRO INTERNACIONAL DE HIDROGEOLOGÍA SUBTERRÁNEA.** "Hidrogeología". Barcelona (2009).

14. **JOSÉ FRANCISCO MONTALVO (2006),** Caracterización química de los sedimentos superficiales en las bahías de Cárdenas.

15. **LÓPEZ RITAS, Julio y LÓPEZ MELIDA Julio.** "El diagnóstico de suelos y plantas" Madrid (1978) – MundiPrensa.

16. **MA, BUSTILLO y M.J.LÓPEZ GARCÍA** (1995), Sedimentología química de los sedimentos miocenos con deatomeas en la cuenca de Gualdaquivir.

17. **MILLER, S. N; GUERTIN, D. P; GOODRICH, D. C**. "Linking GIS and geomorphologic field research at Walnut Gulch Experimental Watershed" (1996).

18. **MIRANDA, Juan Luis Sayán.** "Aguas Subterráneas-Análisis General de situación Región Norte". Lima (1969) - Oficina Regional de Desarrollo del Norte.

19. **Módulo 1:** "Determinación del pH y conductividad eléctrica del suelo". Disponible en: <http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/medio_mod1.1.htm> [Consulta: 17/06/15].

20. **MURILLO, Carlos Alberto Gonzáles**. Informe: "Relación Agua, Suelo, Planta Atmósfera". Página 14. (1990).

21. **NELSON SILVA y MARÍA INÉS ASTORGA** (2010), Textura, materia orgánica y composición química elemental (C y N) de sedimentos marinos.

22. **PAVEZ WELLMAN, Alejandro.** Aguas Subterráneas en la Costas del Perú.

23. **RIOJA MOLINA, A (2002).** Apuntes de Fitotecnia General, E.U.I.T.A, Ciudad Real.

24. **ROCÍO DE LOS ANGELES PORTOCARRERO,** Tesis: "Interacción agua superficial – Acuífero libre y el contenido de Nutrientes en la cuenta del arroyo el Tejar, Departamento de Monteros, Provincia de Tucumán".

25. **SANTIBAÑEZ, Claudia.** "Propiedades físicas químicas y biológicas". Santiago de Chile (2003).

26. SIDERELIS, K. C. "Land Resource Information System" (1991).

27. THOMPSON, L.M y TROEH, F.R. "Los suelos y su fertilidad". España (1980) – Reverté.

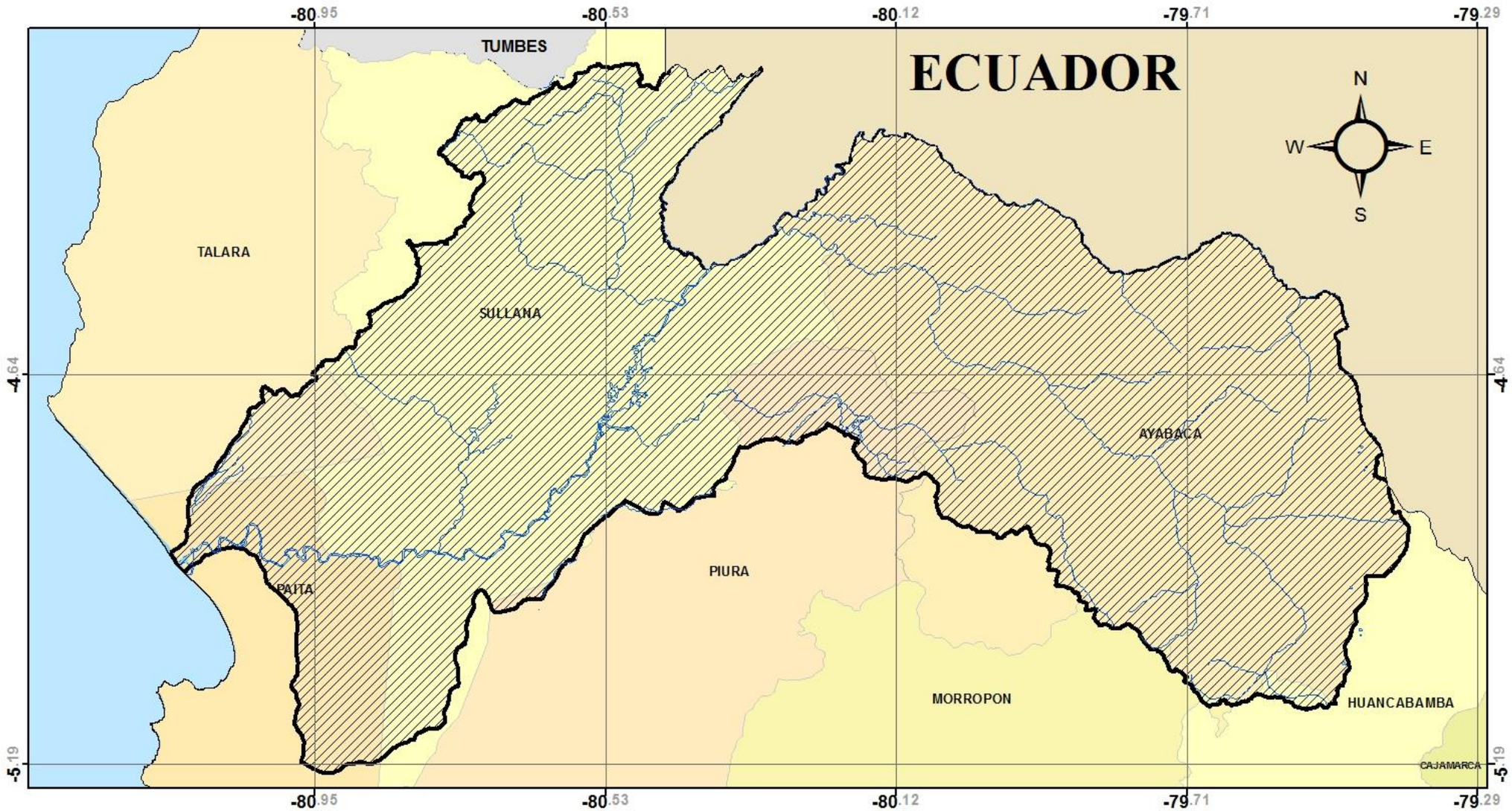
28. UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA Y CONSORCIO DE INVESTIGACIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL (CIES) (2012)**,** Informe económico del cambio climático en la agricultura de región Piura actualizado.

29. VOLKE – SEPÚLVEDA, T., VELASCO-TREJO, J.A., DE LA ROSA PÉREZ, D.A. ". Suelos Contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación". México (2005)

Anexo A

Mapas con parámetros geomorfológicos estudiados

ECUADOR



LEYENDA

- Ríos principales
- Oceano
- Cuenca Chira

PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS

Elaborador: Karen Inga Albañil

0 5 10 20 30 40 50 Km

Área de la cuenca : 10 534.757 km

Perímetro de la cuenca : 776.223 km

Pendiente de la cuenca: 1.49 %

Desnivel Longitudinal : 3975 m

Longitdud del cauce Principal: 241.32 km

Anexo B

Tablas del MINAM – Categoría 3

CATEGORÍAS		ECA Agua: CATEGORÍA 3	
PARÁMETRO	UNIDAD	Parámetros para riego de vegetales	Parámetro para bebida de animales
		D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo	D2: Bebida de animales
FÍSICO - QUÍMICOS			
Aceites y grasas	mg/L	5	10
Bicarbonatos	mg/L	518	..
Cianuro Wad	mg/L	0,1	0,1
Cloruros	mg/L	500	..
Color (b)	Color verdadero escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2500	5000
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO_5)	mg/l	15	15
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/l	40	40
Detergentes (SAAM)	mg/l	0,2	0,5
Fenoles	mg/l	0,002	0,01
Floruros	mg/l	1	..
Nitratos (NO_3 ; -N) + Nitritos (NO_2 ; -N)	mg/l	100	100
Nitritos (NO_2 ; -N)	mg/l	10	10
Oxígeno disuelto (valor mínimo)	mg/l	4	5
Potencial del hidrógeno (pH)	Unidades de pH	6,5 - 8,5	6,5 - 8,4
Sulfatos	mg/L	1000	1000
Temperatura	°C		
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	5	5
Arsénico	mg/L	0,1	0,2
Bario	mg/L	0,7	..
Berilio	mg/L	0,1	0,1
Boro	mg/L	1	5
Cadmio	mg/L	0,01	0,05
Cobre	mg/L	0,2	0,5
Cobalto	mg/L	0,05	1
Cromo total	mg/L	0,1	1
Hierro	mg/L	5	..

Litio	mg/L	2,5	2,5
Magnesio	mg/L	..	250

CATEGORÍAS		ECA Agua: CATEGORÍA 3	
PARÁMETRO	UNIDAD	Parámetros para riego de vegetales	Parámetro para bebida de animales
		D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo	D2: Bebida de animales
INORGÁNICOS			
Manganeso	mg/L	0,2	0,2
Mercurio	mg/L	0,001	0,01
Niquel	mg/L	0,2	1
Plomo	mg/L	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,02	0,05
Zinc	mg/L	2	24
PLAGUICIDAS			
Parathión	ug/l	35	35
Organoclorados			
Aldrin	ug/l	0,004	0,7
Clordano	ug/l	0,006	7
DDT	ug/l	0,001	30
Dieldrin	ug/l	0,5	0,5
Endosulfan	ug/l	0,01	0,01
Endrín	ug/l	0,004	0,2
Heptacloro y heptacloro epóxico	ug/l ug/l	0,01	0,03
Lindano	ug/l	4	4
CARBAMATO			
Aldicarb	ug/l	1	11
PLOCLORUROS BIFENILOS TOTALES			
Policloruros Bifenilos Totales (PCB´s)	ug/l	0,04	0,045
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS			
Coliformes Totales (35-37°C)	NMP/100 ml	1000	5000
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 ml	1000	1000
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	20	20
Escherichia Coli	NMP/100 ml	100	100
Huevos y larvas de helminhos	Huevos/L	< 0,1	< 0,1

Fuente: Decreto-Supremo-N°-015-2015-MINAM