



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO
ACADÉMICO DE INGENIERO GEÓLOGO**

DETERMINACIÓN DE ÁREAS CON POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO MEDIANTE
EVALUACIÓN ESPACIAL MULTICRITERIO DE LA MICROCUENCA HONDA,
CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO.

AUTOR: JOSHUA OMAR VILLACIS GARCÍA

TUTORA: ING. CÉSAR PATRICIO BORJA BERNAL. MS.C.

Guayaquil, Junio 2020



Universidad de Guayaquil

**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO
ACADÉMICO DE INGENIERO GEÓLOGO**

TEMA:

DETERMINACIÓN DE ÁREAS CON POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO MEDIANTE
EVALUACIÓN ESPACIAL MULTICRITERIO DE LA MICROCUENCA HONDA, CANTÓN
ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO.

AUTOR: JOSHUA OMAR VILLACIS GARCÍA

TUTOR: ING. CÉSAR PATRICIO BORJA BERNAL. MS.C.

Guayaquil, Junio 2020

ANEXO VI. - CERTIFICADO DEL DOCENTE TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA



UNIDAD DE TITULACIÓN

Guayaquil, 06 de marzo del 2020

Señor

Lcdo. Félix Sanango Pazmiño, M.A.E.

VICEDECANO (E) DE LA FACULTAD CIENCIAS NATURALES

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

Ciudad. -

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación **DETERMINACIÓN DE ÁREAS CON POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO MEDIANTE EVALUACIÓN ESPACIAL MULTICRITERIO DE LA MICROCUENCA HONDA, CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO.**, del estudiante **JOSHUA OMAR VILLACIS GARCIA**, indicando que ha (n) cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- *El trabajo es el resultado de una investigación.*
- *El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.*
- *El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.*
- *El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.*

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del Trabajo de Titulación con la respectiva calificación.

Dando por concluida esta tutoría de Trabajo de Titulación, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que el estudiante está apto para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,

César Patricio Borja Bernal Ms.C
C.I. 0601605918

Tutor de Trabajo de Titulación

C.I.: 0920218989

C.C: Gestora de Integración Curricular y Seguimiento a Graduados

ANEXO VII.- CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN



Habiendo sido nombrado Ing. César Patricio Borja Bernal Ms.C, tutor del Trabajo de Titulación certifico que el presente Trabajo de Titulación ha sido elaborado por JOSHUA OMAR VILLACÍS GARCÍA, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERO GEÓLOGO.

Se informa que el trabajo de titulación: DETERMINACIÓN DE ÁREAS CON POTENCIAL HIDROGEOLOGÍCO MEDIANTE EVALUACIÓN ESPACIAL MULTICRITERIO DE LA MICROCUENCA HONDA, CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO., ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa antiplagio URKUND quedando el 1 % de coincidencia.

URKUND

Urkund Analysis Result

Analysed Document: archivo para urcum.docx (D64885781)
Submitted: 3/5/2020 12:33:00 PM
Submitted By: geologoborja@gmail.com
Significance: 1 %

Sources included in the report:

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES CARRERA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA (Autoguardado).docx (D48977396)
urkund.docx (D48512094)

Instances where selected sources appear:

3

César Patricio Borja Bernal Ms.C
C.I. 0601605918

TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN
FECHA: 06/03/2020



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN**



Guayaquil, 3 de abril de 2020

Señor

Lcdo. Félix Sanango Pazmiño, M.A.E.

VICEDECANO (E) DE LA FACULTAD CIENCIAS NATURALES

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

Ciudad. -

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el informe correspondiente a la **REVISIÓN FINAL** del Trabajo de Titulación **DETERMINACIÓN DE ÁREAS CON POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO MEDIANTE EVALUACIÓN ESPACIAL MULTICRITERIO DE LA MICROCUENCA HONDA, CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO**, del estudiante Joshua Omar Villacís García. Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fue revisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

Cumplimiento de requisitos de forma:

- El título tiene un máximo de 20 palabras.
- La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.
- El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad.
- La investigación es pertinente con la línea y sublíneas de investigación de la carrera.
- Los soportes teóricos son de máximo 10 años.
- La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica el que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que el estudiante está apto para continuar el proceso de titulación.

Particular que comunicamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,

Tania Guevara Montero, MSc.

Docente tutor revisor

C.I. 0959220815

C.C: Gestora de Integración Curricular y Seguimiento a Graduados



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA



UNIDAD DE TITULACIÓN

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE GRADUACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	DETERMINACIÓN DE ÁREAS CON POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO MEDIANTE EVALUACIÓN ESPACIAL MULTICRITERIO DE LA MICROCUENCA HONDA, CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO.		
AUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Villacis García Joshua Omar		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Ing. Cesar Patricio Borja Bernal. Msc Ing. Tania Guevara Montero Msc.		
INSTITUCIÓN:	Universidad de Guayaquil		
UNIDAD/FACULTAD:	Facultad Ciencias Naturales		
MAESTRÍA/ESPECIALIDAD:	Ingeniería Geológica		
GRADO OBTENIDO:	Ingeniero Geólogo		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	ABRIL	No. DE PÁGINAS:	116
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ciencias Geológicas		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Potencial hidrogeológico, Evaluación Multicriterio, Modelo Digital, Análisis Jerárquicos		

RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo realizar una zonificación de áreas con un alto potencial hidrogeológico en la microcuenca Honda, ubicada en el cantón Zaruma. Se ejecutaron 4 etapas de trabajo, iniciando con la recopilación de información bibliográfica y el uso de sistemas de información geográfica, seguido de una etapa de campo en la que se realizaron ensayos de infiltración, reconocimiento geológico, topográfico y muestreo de suelo, datos necesarios para el modelo digital deseado, posteriormente se ejecutaron ensayos de laboratorio para los análisis respectivos de cada muestra (humedad natural, textura y secciones delgadas de rocas) y se finalizó con el procesamiento de los datos. Una vez culminadas estas etapas se generaron capas de información digital para la aplicación de la evaluación multicriterio, mediante procesos de análisis jerárquicos y superposición de datos de los factores litología, velocidad de infiltración, precipitación, textura de suelo, uso de suelo, densidad de drenaje y pendientes, obteniendo como resultado la distribución espacial y zonificación del área, de la cual 9,29 Km², un 47,11% de territorio, tiene aptitud de Excelente a Buena para para la prospección de agua subterránea, culminando la etapa inicial de prospección.

ABSTRACT

The objective of this research work was to make a zoning of areas with a high hydrogeological potential in the Honda microbasin, located in the canton Zaruma. Executed by 4 stages of work, beginning with the collection of bibliographic information and the use of geographic information systems, followed by a field stage in which infiltration, geological, topographic and soil sampling tests were carried out, necessary data for the desired digital model, subsequent laboratory tests were performed for the respective analyzes of each sample (natural moisture, texture and thin sections of rocks) and ending with data processing. Once these stages were completed, layers were generated for the use of multicriteria evaluation through

processes of hierarchical analysis and superposition of layers of the lithology factors, infiltration speed, precipitation, soil texture, land use, drainage density and slope obtaining As a result, the spatial distribution and zoning of an area of which 9,29 km², 47,11% of land is suitable and excellent for good groundwater prospecting, culminating the initial stage of prospecting.

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593968614075	E-mail: joshua.villacisg@ug.edu.ec
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Facultad de Ciencias Naturales	
	Teléfono: (04) 308-0777	
	E-mail: info@fccnugye.com	

ANEXO XII.- DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y DE AUTORIZACIÓN DE LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL USO NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES ACADÉMICOS



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN**



**LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO COMERCIAL DE LA OBRA
CON FINES ACADÉMICOS**

Yo, Villacis García Joshua Omar, con C.I. No. 0950857334, certifico que los contenidos desarrollados en este Trabajo de Titulación, cuyo título es **DETERMINACIÓN DE ÁREAS CON POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO MEDIANTE EVALUACIÓN ESPACIAL MULTICRITERIO DE LA MICROCUENCA HONDA, CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO**. Son de mi absoluta propiedad y **responsabilidad Y SEGÚN EL Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN***, autorizo la utilización de una licencia gratuita intransferible, para el uso no comercial de la presente obra a favor de la Universidad de Guayaquil.

Villacis García Joshua Omar
C.I.: 0950857334

***CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN (Registro Oficial n. 899 - Dic./2016) Artículo 114.- De los titulares de derechos de obras creadas en las instituciones de educación superior y centros educativos.- En el caso de las obras creadas en centros educativos, universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de artes y los conservatorios superiores, e institutos públicos de investigación como resultado de su actividad académica o de investigación tales como trabajos de titulación, proyectos de investigación o innovación, artículos académicos, u otros análogos, sin perjuicio de que pueda existir relación de dependencia, la titularidad de los derechos patrimoniales corresponderá a los autores. Sin embargo, el establecimiento tendrá una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra con fines académicos.**



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA



UNIDAD DE TITULACIÓN

DETERMINACIÓN DE ÁREAS CON POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO MEDIANTE EVALUACIÓN ESPACIAL MULTICRITERIO DE LA MICROCUENCA HONDA, CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO.

Autor: Joshua Omar Villacis García

Tutor: ING. César Patricio Borja Bernal. Ms.c

Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo realizar una zonificación de áreas con un alto potencial hidrogeológico en la microcuenca Honda, ubicada en el cantón Zaruma. Se ejecutaron 4 etapas de trabajo, iniciando con la recopilación de información bibliográfica y el uso de sistemas de información geográfica, seguido de una etapa de campo en la que se realizaron ensayos de infiltración, reconocimiento geológico, topográfico y muestreo de suelo, datos necesarios para el modelo digital deseado, posteriormente se ejecutaron ensayos de laboratorio para los análisis respectivos de cada muestra (humedad natural, textura y secciones delgadas de rocas) y se finalizó con el procesamiento de los datos. Una vez culminadas estas etapas se generaron capas de información digital para la aplicación de la evaluación multicriterio, mediante procesos de análisis jerárquicos y superposición de datos de los factores litología, velocidad de infiltración, precipitación, textura de suelo, uso de suelo, densidad de drenaje y pendientes, obteniendo como resultado la distribución espacial y zonificación del área, de la cual 9,29 Km², un 47,11% de territorio, tiene aptitud de Excelente a Buena para la prospección de agua subterránea, culminando la etapa inicial de prospección.

Palabras Claves: Potencial hidrogeológico, Evaluación Multicriterio, Modelo Digital, Análisis Jerárquicos



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA**



UNIDAD DE TITULACIÓN

**DETERMINATION OF AREAS WITH HYDROGEOLOGICAL POTENTIAL THROUGH
MULTI-CRITERIA SPACE EVALUATION OF MICROCUENCA HONDA, CANTÓN
ZARUMA, PROVINCE OF EL ORO.**

***Autor:** Joshua Omar Villacis García*

***Tutor:** ING. César Patricio Borja Bernal. Ms.c*

Abstract

The objective of this research work was to make a zoning of areas with a high hydrogeological potential in the Honda microbasin, located in the canton Zaruma. Executed by 4 stages of work, beginning with the collection of bibliographic information and the use of geographic information systems, followed by a field stage in which infiltration, geological, topographic and soil sampling tests were carried out, necessary data for the desired digital model, subsequent laboratory tests were performed for the respective analyzes of each sample (natural moisture, texture and thin sections of rocks) and ending with data processing. Once these stages were completed, layers were generated for the use of multicriteria evaluation through processes of hierarchical analysis and superposition of layers of the lithology factors, infiltration speed, precipitation, soil texture, land use, drainage density and slope obtaining As a result, the spatial distribution and zoning of an area of which 9,29 km², 47,11% of land is suitable and excellent for good groundwater prospecting, culminating the initial stage of prospecting.

Keywords: Hydrogeological potential, Multicriteria Evaluation, Digital Model, Hierarchical Analysis

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mi madre Jessica García por ser mi inspiración a superarme, a dar lo mejor de mí, ser esa mano amiga que siempre me brindaba palabras de alientos y apoyo incondicional ayudándome a culminar mi formación académica

A mis hermanos Edward, Andrea y Melina por ser una motivación de seguir adelante y mis compañeros de la vida.

A mis abuelas Rosa Mora y Vilma Pita por su enseñanzas, valores y cariño que me han dado toda mi vida.

A mi Tía Alba Vila y Padrino Luis Tamayo por los consejos que me dieron a lo largo de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre por darme todo su apoyo incondicional durante mi preparación académica.

A mis hermanos por ser mi compañía en todo momento.

A mi Tutor Msc. Patricio Borja Bernal por apoyarme en mi tema de tesis con su conocimiento, orientación y tiempo dedicado que me permitieron culminar con mi carrera universitaria.

A los docentes de la Universidad de Guayaquil que me aconsejaron y brindaron de sus conocimientos geológicos y preparación para la vida profesional.

A mis amigos Stephen Fortis, Danika Mejillones y Cristhian Contreras por haberme apoyado durante la elaboración de la tesis.

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4 Características generales del área de estudio	4
1.4.1 Área de Estudio	4
1.5 Vías de Acceso	5
1.6 Características del Medio Físico	6
1.6.1 Actividad Humana.....	6
1.6.2 Uso y Cobertura del suelo	6
1.6.3 Textura de Suelo.....	8
1.6.4 Clima y Vegetación	8
1.6.5 Relieve.....	8
1.6.6 Geomorfología	10
1.7 Características Hidrogeológicas de la Microcuenca Honda	11
1.7.1 Hidrografía	11
1.7.2 Hidrogeología	11
1.8 Estudios Previos	12
2. MARCO GEOLÓGICO Y TECTÓNICO.....	15
2.1 Geología Regional	15
2.1.1 Historia Geológica.....	15
2.1.2. Geología Local.....	16

2.2. Magmatismo.....	17
2.3. Geotectónica.....	18
2.4. Estructural.....	19
3. METODOLOGÍA.....	21
3.1 Primera Etapa: Trabajos previos a etapa de campo	21
3.1.1 Recopilación de Información.....	21
3.1.2 Depuración y Digitalización de Mapas Base.....	22
3.1.3 Delimitación del área de Estudio	23
3.2 Segunda Etapa: Trabajos de campo.....	26
3.2.1 Materiales y Equipos de campo.....	26
3.2.2 Levantamiento Cartográfico y Topográfico.....	27
3.2.3 Muestreo de suelo	29
3.2.4. Ensayos de Infiltración por doble anillo (Anillos de Munz)	32
3.3 Tercera Etapa: Laboratorio	38
3.3.1 Humedad Natural.....	38
3.3.2 Análisis Textural.....	40
3.4 Cuarta Etapa: Trabajo de gabinete	42
3.4.1 Depuración de mapas.....	42
3.4.2 Asignación de pesos a los Factores	43
3.4.3 Aplicación del Análisis de Evaluación Multicriterio.....	45
4. RESULTADOS	47
4.1. Delimitación del Parteaguas.....	47
4.2 Descripción de Láminas Delgadas.....	48
4.2.1. LÁMINA No. T3MI-EGMI CC001	48
4.2.2. LÁMINA No. M3-24-11-cc002.....	52
4.2.3. LÁMINA No. T5-EGM2-CC003	56
4.4. Grados de Aptitud de Factores y clases	60

4.5. Mapa de Pendiente	61
4.6. Mapa de Potencial Hidrogeológico según la Pendiente.....	62
4.7. Mapa de Densidad de Drenaje.....	63
4.8. Potencial Hidrogeológico según la Densidad de Drenaje	64
4.9. Mapa de Uso de Suelo.....	65
4.10. Mapa de Potencial Hidrogeológico según el Uso de Suelo.....	66
4.11. Mapa de Isoyetas.....	67
4.11. Mapa de Potencial Hidrogeológico según la Precipitación.....	68
4.12. Mapa de Textura de Suelo.....	69
4.13. Mapa de potencial hidrogeológico según la Textura de Suelo.....	70
4.14. Mapa Litológico	71
4.15. Potencial Hidrogeológico según la Litología	72
4.16. Mapa de la Velocidad de Infiltración	73
4.17. Potencial Hidrogeológico de la velocidad de infiltración.....	74
4.18. Potencial Hidrogeológico de la Microcuenca Honda.....	75
5. Discusión.....	76
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
7. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍAS	80
8. ANEXOS	84

INDICE POR FIGURAS

Figura 1 Mapa de Ubicación y Acceso del área de estudio. Villacis, J. (2020) ..	5
Figura 2 Mapa de Cobertura de Suelo. Fuente: PDOT Zaruma (2014).....	7
Figura 3 Mapa Topográfico basado en las cartas del IGM 1:50000. Villacis J. (2020)	9
Figura 4 Mapa Geomorfológico de la Microcuenca Honda. Editado de Sigtierras. Villacis, J. (2020)	10
Figura 5. Mapa Hidrográfico de la Microcuenca Honda. Villacis, J. (2020)	11
Figura 6. Esquema del Sistema Hidrogeológico de Zaruma-Portovelo. Fuente: Tutivén, J. (2017).....	12
Figura 7 Mapa Metalotectónico y subdivisiones del distrito Azuay. Fuente PRODEMINCA (2000)	19
Figura 8. Flujograma de la delimitación digital de una Cuenca.	24
Figura 9. Divisoria de Agua entre las microcuencas de Arcapamba y Honda. Villacis, J. (2020)	25
Figura 10. Ajustes de la divisoria de agua de la cuenca Honda. Villacis, J. (2020)	26
Figura 11. GPS GARMIN 64s.....	27
Figura 12. Flujograma de Manejo del GPS.	29
Figura 13. Ensamblado y manejo del Hand Auger tipo “AMS Soil Sampling Enviromental Kit” en campo.....	30
Figura 14. Recuperación de 30 cm de suelo con barreno hueco helicoidal.	30
Figura 15. Empaquetamiento de muestras de suelo para conservación de humedad natural.....	31
Figura 16. Flujograma del manejo de Toma de muestras de Suelo.	31
Figura 17. Esquema del método del doble anillo. Fuente: Cesas. A. (2016).....	32
Figura 18. Entierro, centrado y nivelación de los anillos de infiltración.	33
Figura 19. Limpieza y remoción de la cubierta vegetal del terreno. Villacis, J. (2020)	34
Figura 20. Nivelación de anillos en el terreno de ensayo. Villacis, J. (2020)....	34
Figura 21. Entierro de los anillos “interno” y “externo”. Villacis, J. (2020)	35
Figura 22. Humedecimiento de Anillo externo. Villacis, J. (2020).....	35
Figura 23. Llenado de anillo Interno hasta los 20 cm de altura. Villacis, J. (2020)	36

Figura 24. Medición de intervalos de infiltración en el anillo interno. Villacis, J. (2020)	37
Figura 25. Flujograma de Ensayo de Infiltración por método de Doble Anillo ..	37
Figura 26. Muestras de Suelo empaquetadas herméticamente. Villacis, J. (2020)	38
Figura 27. Muestras y pesaje del Pozo 6 en estado natural.....	39
Figura 28. Secado de las muestras del Pozo 6. Villacis, J. (2020).....	39
Figura 29. Pesaje de las muestras en seco del Pozo 6. Villacis, J. (2020)	40
Figura 30. Flujograma del Método Organoléptico “FEEL” (Modificado de Thein, 1979).....	42
Figura 31. Modelo matemático de Saaty.....	44
Figura 32 Modelo espacial de superposición de capas (Barredo, J.I., Gómez, M.2006).....	45
Figura 33. Resultado de superposición. (Fuente: ESRI, 2016)	46
Figura 34. Mapa de área de estudio. Villacis, J. (2020)	47
Figura 35. Andesita de la Unidad Portovelo.	48
Figura 36. Lamina CC001 vista en microscopio en nícoles cruzados y paralelos.	50
Figura 37. Microfotografía en luz polarizada de la lámina CC001.	50
Figura 38. Microfotografía en Luz natural de la lámina CC001.	51
Figura 39 Piroclastos Andesíticos de la Unidad Portovelo.	52
Figura 40. Lamina CC002 vista en microscopio en nícoles paralelos y cruzados.	53
Figura 41. Microfotografía en luz polarizada de la lamina CC002.	54
Figura 42. Microfotografía en Luz natural de la muestra CC002.	55
Figura 43. Muestra CC003 de Andesita Porfídica de la Unidad Portovelo.	56
Figura 44. Muestra CCOO3 vista en microscopio en nícoles cruzados y paralelos.	57
Figura 45. Microfotografía en luz polarizada de la muestra CC003.....	58
Figura 46. Microfotografía en Luz natural de la muestra CC003.....	59
Figura 47. Mapa de Pendientes. Escala 1:50 000. Villacis, J. (2020).....	61
Figura 48 Mapa del Potencial Hidrogeológico de Pendientes Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)	62

Figura 49 Mapa de la Densidad de Drenaje Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)	63
Figura 50. Mapa del Potencial Hidrogeológico según la Densidad de Drenaje. Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)	64
Figura 51. Mapa del Uso de Suelo. Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)	65
Figura 52. Mapa del Potencial Hidrogeológico según el Uso de Suelo Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)	66
Figura 53. Mapa Isoyetas (precipitación anual) Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)	67
Figura 54. Mapa del Potencial Hidrogeológico según la Precipitación Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)	68
Figura 55. Mapa Textura de Suelo Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)	69
Figura 56. Mapa del Potencial Hidrogeológico de Textura de Suelo Escala 1:50000. Villacis, J., (2020)	70
Figura 57. Mapa de Uso de Suelo Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)	71
Figura 58. Mapa del Potencial Hidrogeológico según la Litología Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)	72
Figura 59. Mapa de Velocidad de Infiltración Instantánea Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)	73
Figura 60. Mapa del Potencial Hidrogeológico de Velocidad de Infiltración Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)	74
Figura 61. Mapa del Potencial Hidrogeológico de la Microcuenca Honda Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)	75
Figura 62. Selección de área para la prospección inicial de agua subterránea y surgencia de agua.	76

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas de la divisoria de agua y delimitantes de la cuenca hidrográfica. Villacis, J. (2020).....	4
Tabla 2. Datos de Uso de Suelo y Extensión Territorial. Fuente: MAE (2008) ...	6
Tabla 3. Tabla de Textura de Suelos. Fuente: PDOT Zaruma (2014).....	8
Tabla 4 Rangos de pendientes y extensión territorial. Fuente IGM.....	9
Tabla 5 Páginas Web de Instituciones Públicas.....	22
Tabla 6 Clasificación del tamaño de las Partículas. Editado de Udden-Wentworth (1922)	41
Tabla 7. Fuente: Saaty, Thomas. The Analytic Hierarchy Process. New York, United States Of America: McGraw Hill (1980).....	43
Tabla 8 Matriz pareada por el método de Saaty.....	44
Tabla 9. Tabla de matriz Normalizada.....	45
Tabla 10. Grado de Aptitudes por Factor. Villacis, J. (2020)	60

ÍNDICE DE ANEXO

ANEXO 1. MAPA de datos reales de muestreos y ensayos de campo.....	84
ANEXO 2. Imagen Landsat 8 ATMOSPHERIC REMOVAL con banda espectral 7, 5,3.....	84
ANEXO 3. ENSAYO DE INFILTRACIÓN #1	85
ANEXO 4. ENSAYO DE INFILTRACIÓN #2	86
ANEXO 5. ENSAYO DE INFILTRACIÓN #3	87
ANEXO 6. ENSAYO DE INFILTRACIÓN #4	88
ANEXO 7 ENSAYO DE INFILTRACIÓN #5	89
ANEXO 8. ENSAYO DE INFILTRACIÓN #6	90
ANEXO 9. ENSAYO DE INFILTRACIÓN #7	91
ANEXO 10. ENSAYO DE INFILTRACIÓN #8	92
ANEXO 11 ENSAYO DE INFILTRACIÓN #9	93
ANEXO 12. ENSAYO DE INFILTRACIÓN #10	94
ANEXO 13 ENSAYO DE INFILTRACIÓN #11	95
ANEXO 14. ENSAYO DE INFILTRACIÓN #12	96

ANEXO 15 TABLAS DE MATRIZ PAREADA POR EL METODO DE SAATY #1	97
ANEXO 16 TABLAS DE MATRIZ PAREADA POR EL METODO DE SAATY#2	98
ANEXO 17. TABLAS DE MATRIZ PAREADA POR EL METODO DE SAATY #3	99
ANEXO 18. TABLAS DE MATRIZ PAREADA POR EL METODO DE SAATY #4	100
ANEXO 19. TABLAS DE MATRIZ PAREADA POR EL METODO DE SAATY #5	101
ANEXO 20. Tabla Promedio del Resultado de Pesos asignados por Expertos.	102
ANEXO 21. Peso Ponderado por método de clasificación de suma	102
ANEXO 22. TABLAS DE CALCULOS DE HUMEDAD NATURAL	104
ANEXO 23. Tabla de texturas de suelo	108
ANEXO 24. Afloramiento de 3 m de ancho de volcanoclastos descubiertos por la erosión de la quebrada.	108
ANEXO 25. Surgencia y acumulación de agua natural proveniente del fracturamiento del macizo rocoso 655625,9594746.	109
ANEXO 26. . Piroclástos de textura fina con alteración silíceas.	109
ANEXO 27. Afloramiento de 15 metros de alto compuesto por Piroclástos con alteración silíceas y sulfuros diseminados.	110
ANEXO 28. Rocas volcanoclásticas de textura fina con alteración silíceas.	110
ANEXO 29. Colinas suaves observadas desde el franco este de la microcuenca Honda.	111
ANEXO 30. Canalización y acumulación de agua para el uso de ganadería.	111
ANEXO 31. Salida de agua a partir del mina artesanal ubicada en el punto .	112
ANEXO 32. Vista panorámica del relieve moderado presente en la microcuenca honda	112
ANEXO 33. Surgencia de agua a partir de fracturas de andesitas en el punto 655269, 9593497.	113
ANEXO 34. Andesitas porfídicas con la presencia de 4 familias de diaclasas 6555311, 9593990.	113

ANEXO 35. Perfil de suelo con evidente contraste de color por el cambio de horizonte.....	114
ANEXO 36. Acumulación de agua por métodos de captación y canalización de naciente de agua	114
ANEXO 37. Afloramiento de andesitas porfídicas ubicadas en 656014, 9597748	115
ANEXO 38. Estructuras de almohadillas ubicadas en el punto 655960, 9597753.....	115
ANEXO 39. Mina artesanal presente en las zonas altas de la cuenca.....	116
ANEXO 40. Afloramiento de andesitas con alta meteorización y fracturamiento	116

Capítulo 1

1. INTRODUCCIÓN

La Hidrogeología es una rama de las ciencias geológicas que estudia el comportamiento e interacción del agua que se encuentra presente en los suelos y rocas, su génesis, precipitación, infiltración, circulación, distribución y captación. Este estudio facilita la comprensión de la formación de los cuerpos de agua que conocemos y sus características (BUSSO, 2019).

Las zonas de recarga hídrica son superficies con la capacidad natural de infiltrar el agua derivada de la escorrentía superficial o precipitación. La importancia de estas zonas se debe a que permiten el abastecimiento y almacenamiento del agua en acuíferos subterráneos, aportando una de las mayores fuentes de abastecimiento de agua dulce de la tierra siendo: 68.7% en glaciales, 30.1% en aguas subterráneas, 0,4% en ríos y lagos (Blanco, 2015).

La falta de información de datos relacionados con zonas de potencial como Recurso Hídrico Subterráneo es un problema presente en el país, dificultando la localización de cuerpos de agua para el abastecimiento humano de dichas demandas.

En el estado ecuatoriano, SENAGUA (Secretaría Nacional de Agua) es la institución encargada de proveer y contar con la información relacionada con el agua, sin embargo en sus sitios web oficiales no cuenta con registros, datos o mapas referentes a zonas de potencial de recarga en el cantón Zaruma.

El presente trabajo se realizó en la Microcuenca Honda, cantón Zaruma, con la finalidad de proveer datos hidrogeológicos relacionado a las áreas con potencial de recarga hídrica, teniendo en cuenta trabajos de campo, laboratorio y procesamiento de información geológica. Se aplicó el procesamiento y ponderación en pesos de mapas temáticos mediante la EMC (Evaluación Multicriterio), validación de datos geológicos, hídricos y cartográficos, obteniendo así datos que permitieron conocer el recurso hídrico presente en la

cuenca, zonificar las áreas con mayor potencial, ubicar y proyectar la exploración de los posibles cuerpos de agua subterráneos, para así planificar estrategias para la conservación de este recurso natural.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La falta de información de datos relacionados con zonas de potencial como Recurso Hídrico Subterráneo, dificulta la localización de cuerpos de agua para el abastecimiento humano a dichas demandas.

La importancia del presente Proyecto es la obtención de resultados con la ayuda de métodos de evaluación Multicriterio, que definirán zonas con potencial de recarga en acuíferos, basados en los datos de campo y ensayos de laboratorio, cuyos resultados permitirán la construcción, ponderación y superposición de mapas de pendientes, de Geología, textura de suelo, infiltración, precipitación, densidad de drenaje y alineamientos y además la topografía.

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El actual proyecto busca contribuir con información relacionada al comportamiento hidrogeológico de la Microcuenca Honda para la sectorización y definir áreas de recarga hídrica que beneficien a las comunidades cercanas.

Por consiguiente también beneficiará a futuros proyectos en la búsqueda de agua subterránea, reduciendo el área de exploración inicial, canalizando el interés a zonas específicas, optimizando costos y enfocando los estudios con un mayor detalle.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar las áreas con posible potencial hidrogeológico en el sub-suelo, mediante análisis de evaluación multicriterio en la Microcuenca Honda, cantón Zaruma, provincia El Oro

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Recopilar bibliografía: geológica, geomorfológica y ambiental para aplicar evaluación multicriterio y determinar posibles áreas de recarga hídrica.
2. Elaborar mapas de pendiente, geología, densidad de drenaje y alineamiento, textura de suelo, uso de suelo, infiltraciones y precipitación.
3. Validar la información obtenida en los mapas mediante levantamientos topográficos, fotointerpretación, memorias técnicas y caracterización de campo.
4. Elaborar el Mapa de áreas con potencial hidrogeológico de la microcuenca Honda.

1.4 Características generales del área de estudio

1.4.1 Área de Estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el cantón de Zaruma, Provincia “El Oro”, en la demarcación hidrográfica de la microcuenca “Honda”, entre las comunas/barrios de: La Cocha, Guizhaguiña, El Bosque, Palestina, Roma. El territorio abarca una extensión de 9,26Km² y un perímetro de 14,21Km lineales.

La Tabla 1 muestra las coordenadas que delimitan la cuenca desde el parteaguas o divisoria de aguas, la cual provoca que el agua precipitada caiga en una red hidrográfica distinta. El sistema de coordenadas proyectadas es UTM (Universal Transverse Mercator) Datum WGS84 (Word Geodetic System 1984).

Tabla 1: Coordenadas de la divisoria de agua y delimitantes de la cuenca hidrográfica. Villacis, J. (2020)

PUNTOS	X	Y
P1	656040,944	9597840,375
P2	656564,968	9592380,980
P3	656171,072	9592221,132
P4	655382,958	9592629,049
P5	656247,187	9594029,106
P6	654709,749	9593209,684
P7	654010,995	9594277,153
P8	656201,457	9594796,693
P9	656174,117	9595328,842
P10	656709,829	9596336,156
P11	654175,727	9595369,533
P12	654629,697	9596175,848
P13	655280,055	9596822,835
P14	655605,090	9597403,977

1.5 Vías de Acceso

Como se muestra en la Figura 1, se puede acceder al área de estudio desde la ciudad de Zaruma como punto central para el desplazamiento hacia pueblos cercanos a la cuenca por vías de 2do y 3er orden, pavimentadas y no pavimentadas. Las rutas son: La Cocha-Roma, Zaruma-El Bosque, Arcapamba- El Bosque y Zaruma-Guizhaguiña.

Las vías de acceso de segundo orden se encuentran en buenas condiciones pavimentadas, lo que facilita el acceso al área de estudio mediante transporte vehicular, tal como la vía Zaruma-La Cocha-La Roma, sin embargo las de 3^{er} no se encuentran pavimentadas, siendo de arcillas y lastre, sin presencia de señaléticas como la de Zaruma-El Bosque y Zaruma la Guizhaguiña.

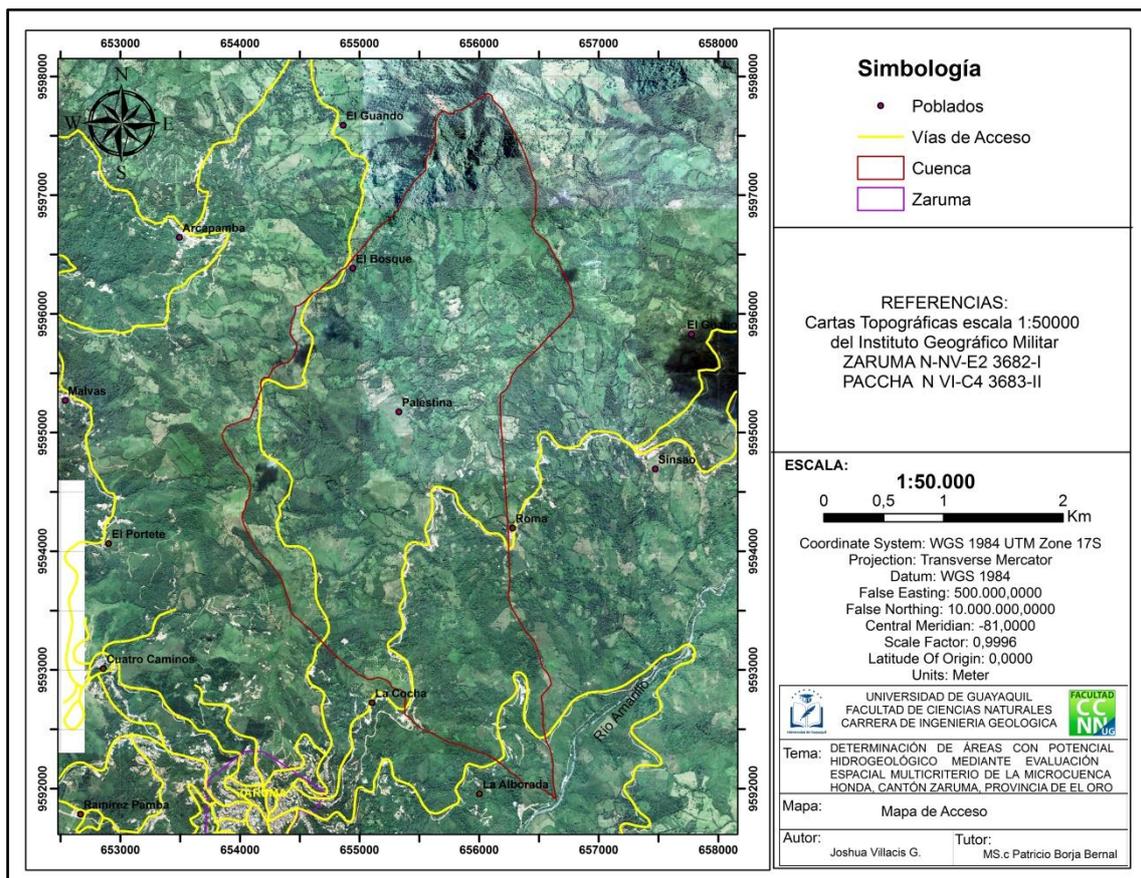


Figura 1 Mapa de Ubicación y Acceso del área de estudio. Villacis, J. (2020)

1.6 Características del Medio Físico

Las características del medio físico corresponden a los impactos e incidencias de actividades humanas en la tierra a través de sus elementos como la vegetación, suelo, fauna, condiciones naturales y meteorológicas, relacionadas directamente al desarrollo antrópico del terreno

1.6.1 Actividad Humana

En la actualidad el cantón Zaruma posee varios sectores potencialmente económicos, siendo la actividad minera su principal fuente de ingreso económico y laboral, aunque con un gran impacto ambiental. Otro de sus sectores productivos, como impulsores socioeconómicos, deriva de la fertilidad de sus suelos para la agricultura, siendo esta su segunda fuente de ingresos en productos como la caña de azúcar, maíz, yuca, piña y café, viéndose afectada en su mayoría por las condiciones geomorfológicas del terreno, con pendientes abruptas con un rango del 70% . Como última actividad socioeconómica presente en el cantón está el turismo, que según el catastro del Ministerio de Turismo en 2014, el mayor atractivo son sus sitios naturales y manifestaciones culturales (PDOT GAD ZARUMA 2014).

1.6.2 Uso y Cobertura del suelo

Según la base de datos registrada por el MAE entre los años 2000 y 2008 sobre uso de suelo, se han reconocido las distribuciones territoriales que presenta el cantón de Zaruma, estableciendo una matriz de los análisis comparativos de coberturas en el uso suelo.

Tabla 2. Datos de Uso de Suelo y Extensión Territorial. Fuente: MAE (2008)

Cobertura	Hectáreas
Área Poblacional	161
Área Sin Cobertura Vegetal	1164
Bosque Nativo	12054
Cultivo Anual	6,9
Cultivo Semipermanente	1717
Infraestructuras	15

Mosaico Agropecuario	15690
Natural	26
Páramo	9442
Pastizal	20888
Plantación Forestal	223
Vegetación Arbustiva	3162
Vegetación Herbácea	65159

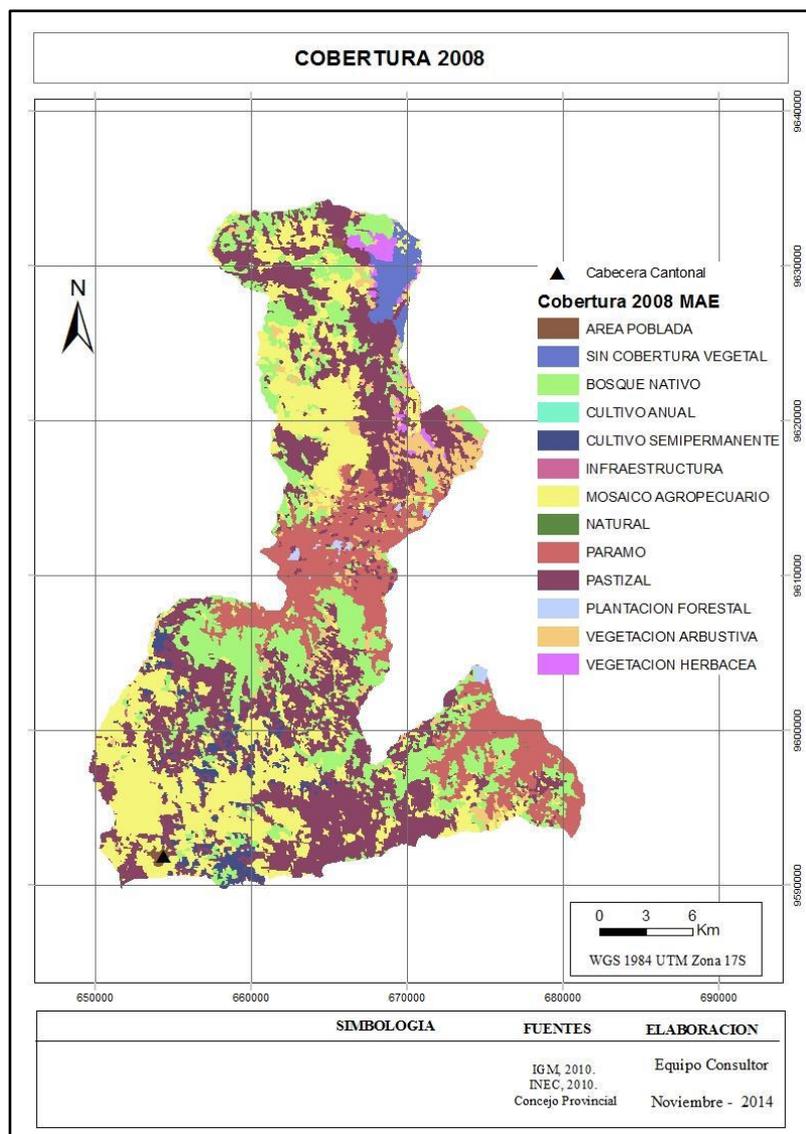


Figura 2 Mapa de Cobertura de Suelo. Fuente: PDOT Zaruma (2014)

1.6.3 Textura de Suelo

Las texturas de suelo correspondientes al cantón Zaruma tienen un dominio del 85.89% del terreno con suelos finos, constituidos por arcillas y limos. En la Tabla 3 se observa la distribución de texturas presentes en el cantón a partir de los datos obtenidos por el MAGAP.

Tabla 3. Tabla de Textura de Suelos. Fuente: PDOT Zaruma (2014)

Textura	Descripción	Hectáreas (Ha)	Territorio (%)
Muy Finos	Suelos conformados casi en su totalidad por arcillas	1352.73	2.08
Fina	Suelos conformados por material arcilloso y en menor medida por limos	55968.06	85.89
Media	Son suelos francos limo-arenosos	7824.20	12.03
Total		65144.99	100

1.6.4 Clima y Vegetación

Debido a las características topográficas y geográficas del cantón, se evidencian microclimas diferenciados. El clima es subtropical húmedo, con dos estaciones bien marcadas: invierno en los meses de enero-abril y verano a partir de mayo-diciembre, con ausencia de precipitación.

1.6.5 Relieve

El cantón Zaruma presenta en su terreno relieves de pendientes muy pronunciadas, según la matriz realizada por el IGM (Instituto de Información Geográfica), donde se evidencia que el rango predominante en el cantón es de relieves escarpados con pendientes superiores a 70°, abarcando el 24% del territorio cantonal, seguidos de pendientes medias de entre 12-25° con un 16% de alcance territorial, seguido de pendientes fuertes de entre 40-70°, comprendiendo un 15% del territorio.

Tabla 4 Rangos de pendientes y extensión territorial. Fuente IGM

Descripción	Rango de pendiente (%)	Territorio (%)	Hectáreas
Plano	0-2	12	7772.051
Suave	2-5	7	4451.442
Muy Suave	5-12	13	8214.228
Media	12-25	16	10676.39
Media Fuerte	25-40	13	8360.598
Fuerte	40-70	15	10065.39
Escarpado	>70	24	15568.52
TOTAL		100	65108.651

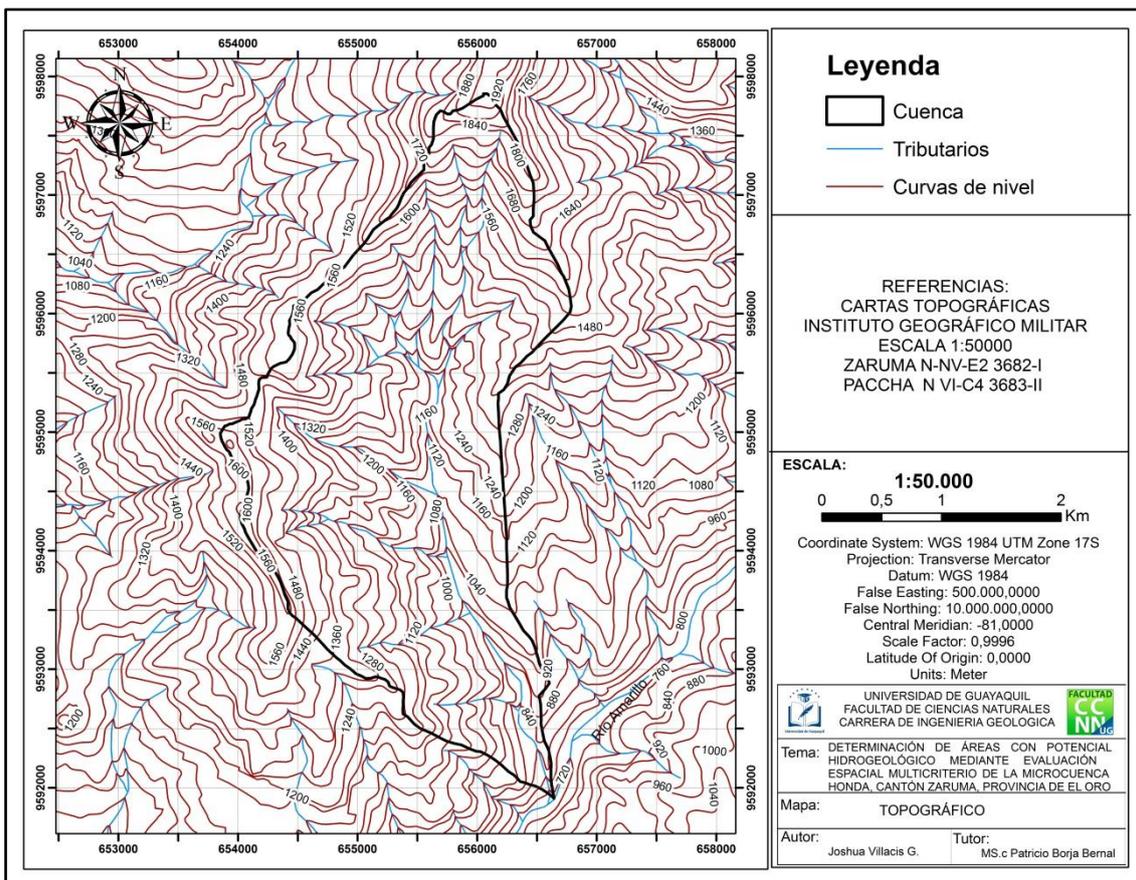


Figura 3 Mapa Topográfico basado en las cartas del IGM 1:50000. Villacis J. (2020)

1.6.6 Geomorfología

El cantón Zaruma se encuentra asentado sobre la cordillera que divide los ríos Amarillo y Calera, de relieve escarpado y montañoso, cuya red de drenaje está influenciada por redes de fallas tectónicas y fracturamiento. En los pie de monte y zonas deprimidas se encuentran depósitos aluviales con pendientes menores al 40%, con vertientes localmente disectadas y convexas.

En las zonas bajas, las cuales se unen al cantón Portovelo, se forman terrazas aluviales en las planicies y terrenos planos a lo largo de las orillas del Río Amarillo, donde ocurren inundaciones durante las crecidas del Río. Sobre los terrenos donde se evidencia presencia del macizo rocoso, el desarrollo de formas es heterogéneo, con relieves de moderados a fuertes o disectados; las vertientes son abruptas y rectilíneas, con una pendiente de 40-70%.

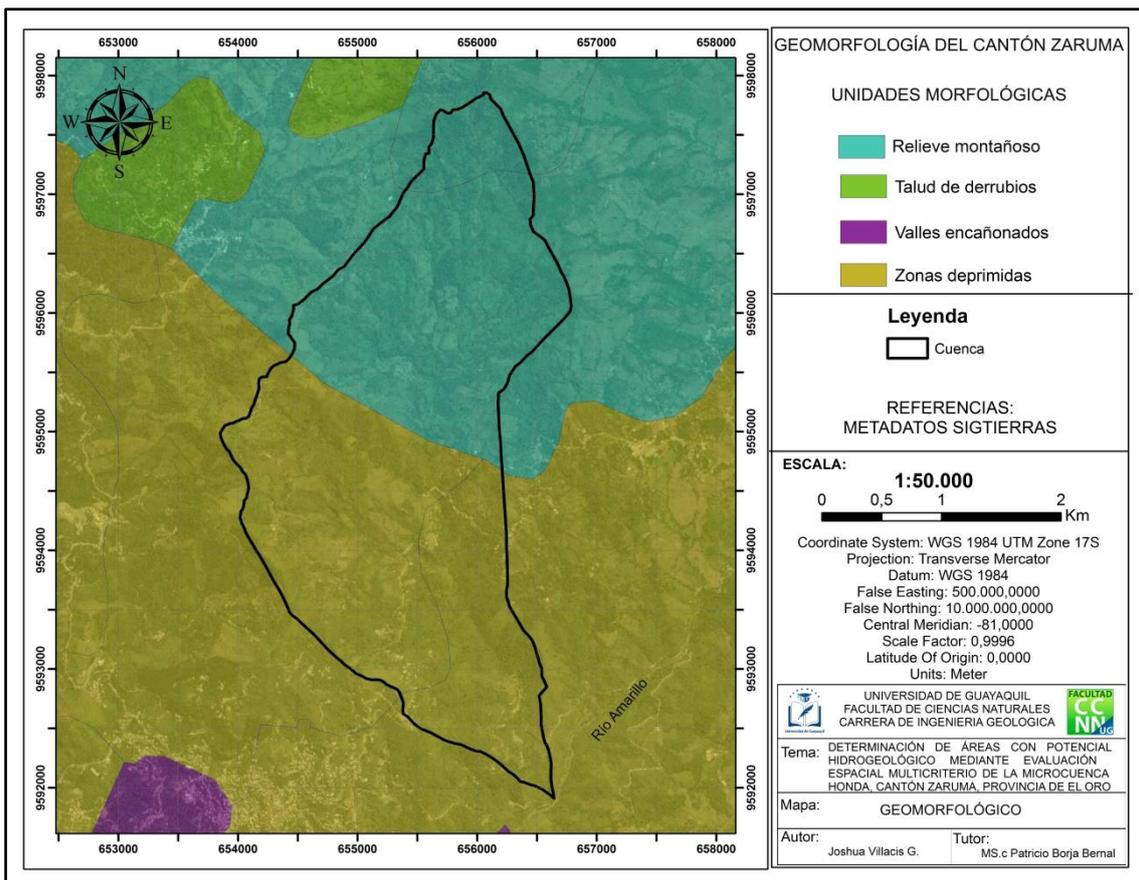


Figura 4 Mapa Geomorfológico de la Microcuenca Honda. Editado de Sigtierrez. Villacis, J. (2020)

1.7 Características Hidrogeológicas de la Microcuenca Honda

1.7.1 Hidrografía

La microcuenca Honda tiene un área menor a los 10 Km², con una dirección N-S y desemboca al Río Amarillo al Sur-Este, teniendo un rango de altitud entre 720 y 1920 msnm. Los principales sistemas hídricos en el cantón Zaruma son el Río Calera ubicado al Oeste y el Río Amarillo, ubicado al Sur-Oeste del cantón, estos convergen entre sí al sur, dando origen al Río Pindo.

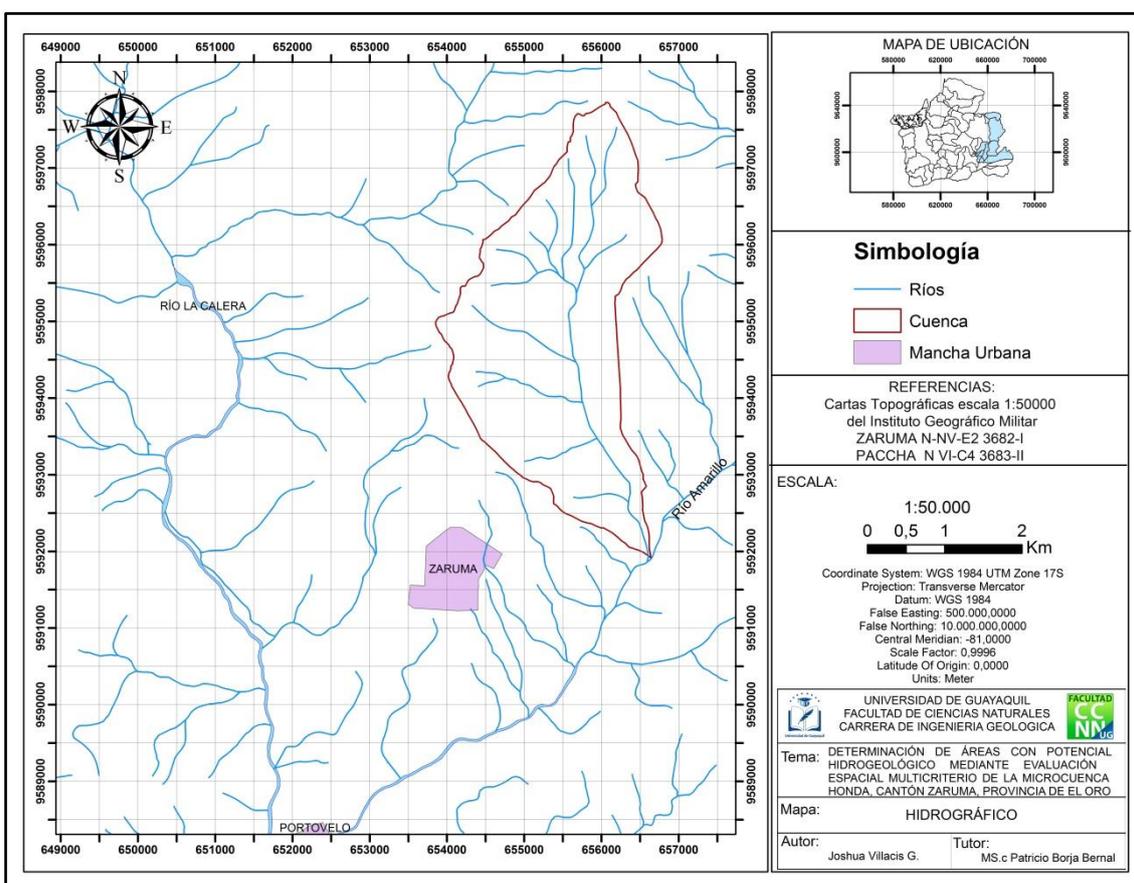


Figura 5. Mapa Hidrográfico de la Microcuenca Honda. Villacis, J. (2020)

1.7.2 Hidrogeología

El comportamiento hidrogeológico del distrito Zaruma-Portovelo está condicionado al agrietamiento, que sirve como conductos en el macizo rocoso,

siendo un acuífero de tipo fisura-libre-interior. El nivel freático se encuentra a 5m de la superficie. Los socavones de galerías mineras en niveles inferiores provocan que estas se conviertan en desfuegos del nivel freático.

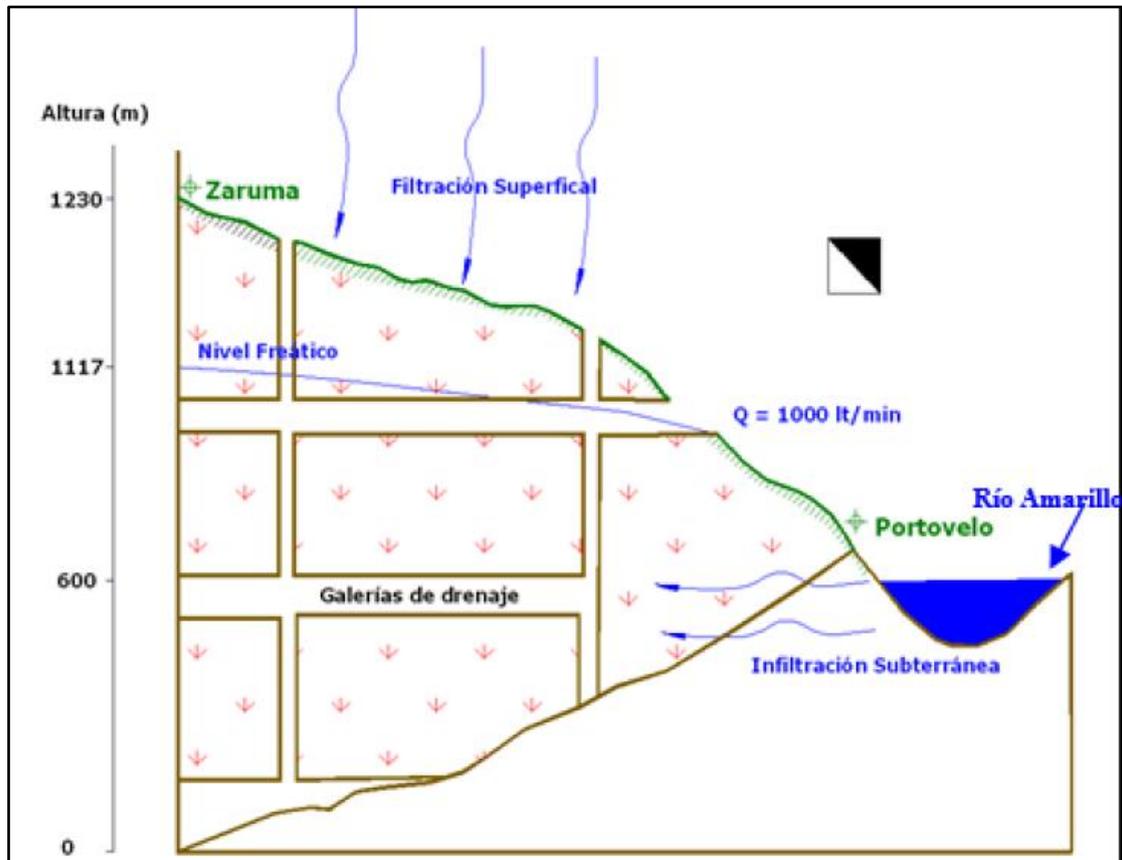


Figura 6. Esquema del Sistema Hidrogeológico de Zaruma-Portovelo. Fuente: Tutivén, J. (2017)

1.8 Estudios Previos

El manejo integral de los recursos hídricos por parte del Estado ecuatoriano como un bien público no privatizado se da por primera vez tras la publicación de la Ley de Aguas de 1972. Aquí se reconoce que las fuentes de agua deben ser protegidas por medio de delimitaciones territoriales y que las concesiones de uso y acceso al agua serán regularizadas por medio del propio Estado (Ley de Aguas: Reglamento y Legislación Conexa, 2010).

Las zonas de recarga hídrica superficiales y subterráneas en Ecuador se ven determinadas por características del medio físicas específicas que determinan zonas con potencial hídrico, considerando la elevación, exposición, regímenes de lluvia, vegetación, uso de suelo, texturas de suelo, pendiente, factores que

favorecen a la escorrentía superficial permitiendo acumulación y retención del agua(Vélez, 2005).

Macas y López en 2018 determinaron el potencial para la exploración de aguas subterráneas, mediante análisis de jerarquía basados en SIG en el cantón Puyango-Catamayo, obteniendo mapas que zonificaron áreas favorables para exploración. Los pesos fueron influenciados en mayor medida por la precipitación, permeabilidad de las rocas, densidad del drenaje y pendiente del terreno. Con el uso de estos parámetros se evidenció que el 70% de las áreas son favorables para la recarga de aguas subterráneas, estos datos posteriormente fueron comparados y validados con puntos de agua generados por el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología).

Bravo Peña, Sáenz López, et, 2015. Determinaron áreas de potencial hídrico mediante la técnica de evaluación multicriterio (EMC) en el acuífero Cuauhtémoc Chihuahua en México, para ello usaron superposición de capas de litología, grado de desarrollo de la red superficial, edafología, uso de suelo, infiltración, cobertura vegetal, densidad de fracturas y alineamientos, reclasificaron los pesos de los factores por sumatoria lineal, tomando la pendiente como factor principal con un 0.35% de 1.00%. Como resultado en la zonificación se obtuvo que el 70% del terreno tiene aptitud muy alta en su recarga hídrica debido a la infiltración por porosidad secundaria o fracturamiento.

Rodríguez y Pérez en 2014 con el uso cartográfico digital en SIG y base de datos pre-existentes determinaron el potencial de recarga hídrica de la cuenca hidrográfica de Guara en Cuba, basándose en las características tales como geología, pendiente, precipitación, infiltración, textura de suelo, cobertura vegetal, etc.

Masache, 2018, delimitó las zonas de potencial en recarga hídrica al sur-occidente del Parque Nacional Cayambe-Coca mediante la técnica de Evaluación Multicriterio (EMC), integrando capas de cobertura vegetal, pendiente, isoyetas, textura de suelo y geomorfología, zonificando áreas con alta, media y baja intensidad de recarga subterránea y superficial, obteniendo datos coherentes con las características del área de estudio.

Rincón, en 2018, presentó en el “Departamento del César de Colombia” como propuesta, el uso de los análisis espaciales multicriterio para prospección de acuíferos, sobre los métodos directos a través de sondeos geofísicos, esto debido a sus altos costos, mostrando el potencial de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), convirtiendo características cualitativas en cuantitativas, asignándoles valores ponderados y así distribuirlos en intervalos de clases; los factores considerados fueron: precipitación, cobertura, pendiente, litología, densidad de drenaje.

Coy en 2015 obtuvo resultados cuantitativos estimando el potencial de recarga hídrica en la subcuenca del Río Tzunutz, utilizando multivariantes en las que incluye pendiente, cobertura vegetal, estructuras geológicas, precipitación local y tipos de suelo. Este estudio se realizó para solventar la falta de información local, vacíos de antecedentes hídricos en el área y obtener un mapa delimitando las zonas con potenciales muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

CAPITULO 2

2. MARCO GEOLÓGICO Y TECTÓNICO

2.1 Geología Regional

Ubicada en la zona suroccidental del Ecuador, donde paulatinamente se aleja de la cordillera occidental y Real, la región de Zaruma se encuentra constituida por rocas metamórficas del paleozoico y triásico del Bloque Amotape-Tahuin. Al centro del bloque y sobreyaciendo, se presentan secuencias sedimentarias del Cretácico de margen pasivo y al sur se evidencia la presencia de volcanoclastos pertenecientes a la cuenca Alamor – Lancones.

2.1.1 Historia Geológica

Las rocas de mayor antigüedad conforman el basamento metamórfico Pre-Cretácico (Complejo Moromoro, La Victoria y Unidad El Tigre) definidas por Litherland et al. (1994). Durante el Jurásico superior y Cretácico inferior se depositaron los sedimentos continentales. En el Aptiano, en dirección sur hacia el Perú, con un ambiente de arco de isla se emplazan gabros y basaltos de afinidad toleíticos, de la Unidad Punta de piedras, que a su vez se encuentra superpuesta una secuencia volcanoclástica del Albiano y del Cenomaniano, todas pertenecientes a un complejo de rocas oceánicas originadas de un arco insular. Del Coniaciano al Santoniano se depositaron sedimentos con el mayor aporte de la erosión del arco volcánico oceánico.

La acreción del arco insular al continente formó las estructuras regionales montañosas acompañadas de intensos plegamientos y cizallamiento. Durante el Campaniano y Maastrichtiano inició el relleno de la cuenca del Río Playas con sedimentos marinos someros y conglomerados de cono aluvial costero. A partir del Eoceno al Oligoceno se formó el arco volcánico continental que constituye al Norte del grupo Saraguro y Unidad Portovelo mientras que al sur dio lugar a las Unidades Loma Blanca y Catacocha, Finalmente en el Mioceno, al sur de la falla Yamata, se depositan sedimentos de la Unidad RíoPlayas en una cuenca continental INIGEMM (2014).

2.1.2. Geología Local

Dentro del subdistrito minero de Zaruma-Portovelo y la faja de mineralización aurífera - polimetálica de Zaruma-Portovelo se encuentran las siguientes unidades geológicas:

Rocas Metamórficas (Pzc-K)

Rocas asociadas al complejo metamórfico de El Oro, localizadas en el flanco S-O del distrito Zaruma-Portovelo y al Sur de la falla de Piñas-Portovelo, con una tendencia estructural en el rumbo E-W, presenciando facies metamórficas de alto y bajo grado de edad Paleozoicas-Cretácicas (Aspden et al., 1995).

El complejo metamórfico El Oro se encuentra conformado por gneis, migmatitas, metapelitas, pizarras, eclogitas, gneis graníticos, paragneises, anfibolitas, esquistos azules, esquistos verdes, arcosas metamórficas.

Grupo Saraguro (Eoceno)

Conforma una franja NO-SE de rumbo, paralela al cinturón del complejo metamórfico de El Oro. Litológicamente está constituido por secuencias de rocas volcánicas sub-aéreas, calco-alcalinas, intermedias ácidas a ácidas, teniendo tobas de composición andesítica-dacítica como predominantes y tobas riolíticas en menor medida, las cuales se encuentran discordantes sobre el BAT (Bloque Amotape-Tahuin), con la agrupación de rocas de similares características a la Unidad Portovelo, de las cuales su interpretación litológica las relacionan con el Eoceno tardío y medio (Dunkley y Gaibor, 1997).

Unidad Portovelo (Oligoceno)

Se presenta al NE de la ciudad de Zaruma, estando conformada por lavas, basaltos andesíticos, andesitas, andesitas meteorizadas, tobas andesíticas y tobas dacíticas. Las rocas presentes en la unidad presentan una afinidad calco-alcalina (Pratt et al., 1997), son discordantes y se encuentran sobreyaciendo el basamento metamórfico. Aspen (PRODEMINCA 2000) determinó dos edades de 21.5-28.4 Ma, de edad Oligoceno tardío a Mioceno temprano, confirmando su relación con el grupo Saraguro.

La unidad está conformada por 3 series litológicas de E-W: Muluncay, Portoviejo y Faique (Billingsley 1926).

Muluncay presenta tobas, bechas volcánicas, ignimbritas y lavas andesíticas, siendo esta unidad la base de la serie Portovelo.

Portovelo está constituida por basaltos andesíticos, tobas andesíticas y tobas de composición intermedia con una dirección NW-SE.

Faique se encuentra sobreyaciendo la serie Portovelo, su composición es similar a la serie Muluncay, manteniendo una diferencia por poseer cuerpos aflorantes de intrusivos subvolcánicos dioríticos, riolíticos y granodioríticos. (Bonilla 2009).

Rocas Intrusivas (Mioceno superior)

Cuerpos dioríticos, riolíticos y granodioríticos que intruyen a las rocas del complejo metamórfico de El Oro, Unidad Portovelo y Grupo Saraguro, concordantes a la dirección estructural de la falla Piñas-Portovelo en dirección NW-SE (Spencer et al, 2009, en Bonilla, 2009).

Depósitos Aluviales (Cuaternario)

Expuestos en el área incluyen aluviales, coluviales. Los aluviales se encuentran al margen de los Ríos Pindo, Santa Ana, Marcabelí y Amarillo, mientras los depósitos coluviales se presentan en mayor proporción en los sectores de Guayuro y Loma de Mishquipaño (INIGEMM, 2013).

2.2. Magmatismo

Se presenta intrusión de pequeños cuerpos subvolcánicos del Mesozoico y Cenozoico, que se encuentran emplazados en el bloque Amotape-Tahuin y en las secuencias cretácicas. Las intrusiones del Mesozoico ocurren como cuerpos elongados de NO-SE, relacionadas al complejo granitoide Moromoro, mientras las intrusiones ocurridas durante el Cenozoico fueron emplazadas hacia el SE, conformando cuerpos de dimensiones pequeñas.

En el primer grupo se encuentran los granitos, granodioritas sin foliación o poco foliadas pertenecientes a la Unidad La Florida, la granodiorita asociada al plutón

de Marcabelí y la monzodiorita y granodiorita biotítica del Plutón El Prado del Triásico tardío.(Aspden et al., 1995).

El segundo grupo de la actividad magmática está constituido por intrusiones dioríticas, tonalíticas y granodioríticas, además de cuerpos subvolcánicos de textura porfídica y composición intermedia con relictos de piroxenos, fenocristales y microlitos de plagioclasas, las cuales conforman geoformas subredondeadas al E y SE de la Provincia de El Oro.(INIGEMM, 2013)

Los minerales secundarios son epidota, clorita y cuarzo. Debido a las evidencias de afectaciones a las unidades cretácicas, las intrusiones tonalíticas y los cuerpos subvolcánicos andesíticos son atribuidos a una edad terciaria en conjunto con las intrusiones dioríticas y granodioríticas, emplazadas en las unidades pre-cretácicas (INIGEMM, 2013).

2.3. Geotectónica

El distrito minero Zaruma-Portovelo fue descubierto al Sur-Oeste de la Cordillera Occidental desde el Imperio Inca, para la extracción de oro en el Río Amarillo (Bonilla 2009). Los distritos de Pucará-Alausí y Zaruma-Portovelo fueron reagrupados por PRODEMINCA (2000) denominándolos subdistritos mineros de Azuay y renombrando Zaruma-Portovelo como subdistrito El Oro . Este subdistrito se encuentra limitado por Fallas regionales entre las que se tiene al sur la falla Piñas Portovelo, al norte la falla de Jubones y al Este la falla de Peltetec, que se extiende hacia el sur tomando el nombre de la falla de Girón.

Los rasgos estructurales de la Falla de Peltetec, indican la acreción de los terrenos con afinidad continental Chaucha y Tahuín al terreno oceánico de Alao durante el periodo Cretácico (Litherland et., 1994 en Bonilla, 2009).

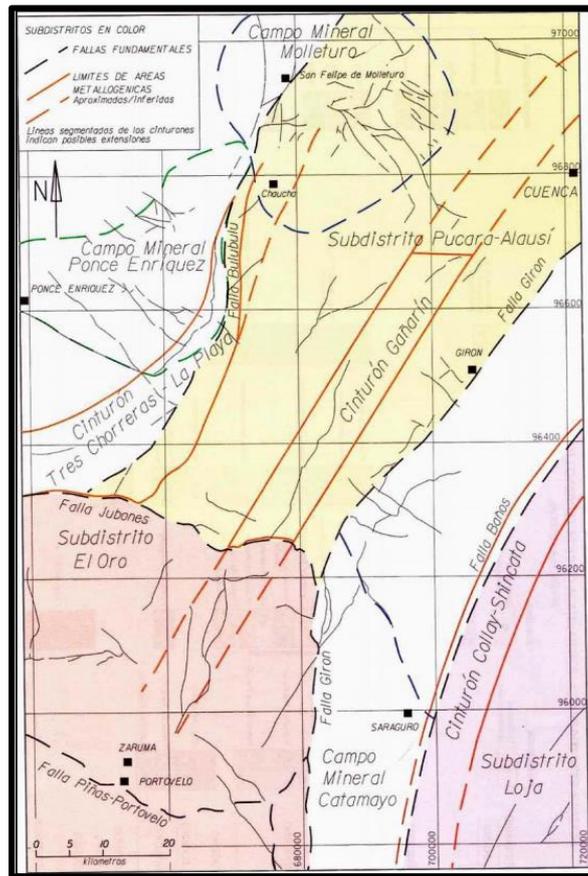


Figura 7 Mapa Metalotectónico y subdivisiones del distrito Azuay. Fuente PRODEMINCA (2000)

2.4. Geología Estructural

La zona de Zaruma se encuentra afectada por diferentes zonas de fallamiento predominante con la dinámica inversa y transcurrente, en su mayoría por deformaciones dúctiles, lo que provoca extensas zonas de cizalla.

Las fallas incorporan el sistema estructural de la falla Piñas-Portovelo que dividen al Grupo Saraguro del Complejo Metamórfico de El Oro. Entre estas fallas está la Falla Orianga, la cual corta las secuencias de afinidad continental del Bloque Amotape-Tahuin con la afinidad oceánica de la Cuenca Alamor-Lancones. la Falla Puyango que constituye el contacto tectónico de las unidades Los Sabalos, Quebrada, El Tigre. La Falla Yamana que conforma el límite NO de la cuenca del Río Playas.

La secuencia de volcanosedimentos y sedimentaria de la Cuenca Alamor-Lancones se encuentra plegada, con cizallamientos, dando lugar a anticlinales y sinclinales con un rumbo preferencial NE-SO y E-O, además de tener zonas

con clivaje pizarroso y fracturas cortando la estratificación. Las deformaciones dúctil y frágil entre las fallas de Yamana y Orianga desarrollaron estructuras con direcciones similares a las del Bloque Amotape-Tahuin, donde pudo desarrollarse parte de los eventos de acreción del Campaniense (INIGEMM, 2013).

3. METODOLOGÍA

El análisis espacial es un método que consistió en la compensación y ponderación de variables que influyen en la aptitud del potencial hídrico (Molero, 2007). Según Daga López en 2007 al involucrar valores geográficos y cartográficos estos permiten, evaluar alternativas y plantear soluciones de un problema espacial, evaluar los impactos por el accionar humano a partir de variables naturales y antrópicas, disminuir la incertidumbre en la toma de decisiones, evaluar opciones y alternativas hacia un problema de un recurso hídrico.

Para la selección de criterios se consideraron los factores más utilizados en diferentes análisis aplicados en el campo hidrológico y que hayan obtenido resultados favorables, logrando así determinar los sitios con potencial hídrico. Los factores seleccionados fueron, litología, densidad de drenaje y alineamiento, textura de suelo, infiltración, uso de suelo y precipitación.

El presente trabajo de titulación fue desarrollado en 4 etapas, detalladas a continuación:

3.1 Primera Etapa: Trabajos previos a etapa de campo

3.1.1 Recopilación de Información

Se recopiló información sobre el área de estudio en cuanto a datos de textura de suelo, topografía, hidrografía, precipitación, infiltración de suelo, estructural, textura de suelo, uso de cobertura y geología, obtenida de instituciones públicas, papers, tesis, artículos científicos de nivel nacional e internacional.

3.1.1.1 Documentos de organizaciones nacionales e internacionales

La Geodatabase geológica y geográfica en el Ecuador en la actualidad tiene acceso libre, la misma contiene mapas, shapes e informes técnicos en los sitios web oficiales de instituciones públicas, lo cual beneficia el desarrollo y aprovechamiento de recursos renovables y no renovables según sus finalidades.

Tabla 5 Páginas Web de Instituciones Públicas

Página Web	Institución
http://www.geoenergia.gob.ec/ http://www.geoenergia.gob.ec/mapas-indice/	 <p>INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO Y ENERGÉTICO</p>
http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/ http://www.igm.gob.ec/index.php/en/	 <p>Instituto Geográfico Militar</p>
http://www.ideportal.iee.gob.ec/ http://www.ideportal.iee.gob.ec/nacional/	 <p>Instituto Espacial Ecuatoriano</p>
https://www.agricultura.gob.ec/sigtierras/	 <p>Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca</p> <p>SIGTIERRAS</p>

3.1.1.2 Información de documentos Científicos, Papers y publicaciones.

Se realizó recopilación de trabajos previos referentes a la prospección de acuíferos y potencial geohídrico, mediante jerarquización en análisis de evaluación multicriterio.

3.1.1.3 Información de los documentos de trabajos de instituciones de educación superior.

Aportan con bibliografía actual en cuanto a la metodología y modelos ejecutables en captación de agua superficial y subterránea en las variantes de acuíferos descritos por sus características, tipos y presión hidrostática con la ponderación jerárquica de las variables utilizables para definir el potencial Hidrogeológico.

3.1.2 Depuración y Digitalización de Mapas Base

Los mapas base se elaboraron a partir de información regional existente:

- Hoja geológica de Zaruma a escala 1:100000(IGM e INIGEM 2015).

- Hoja Topográfica ZARUMA N-NV-E2 3682-I y PACCHA N VI-C4 3683-II a escala 1:50000
- Imágenes Landsat de combinación de bandas espectrales.
- Imágenes aéreas escala 1:5000 Sigtierras.
- Shapes de Polilíneas de Isoyetas escala 1:500000.
- PDOT del cantón Zaruma, Sinsao y Guizhaguiña
- Memorias técnicas: Geo-pedología de Levantamiento Cartográfico Temático, Escala 1:25000 (SIGTIERRAS 2016).

Los datos recopilados fueron llevados a un SIG (Sistema de Información Geográfico) para elaborar cada uno de los mapas temáticos, acorde a las variables que fueron utilizadas en el modelo de evaluación multicriterio y llevados a una escala con mayor detalle y precisión (1:10000), para así colocar puntos de observación y estaciones geológicas, con un plan de ruta al levantamiento cartográfico.

Los mapas base elaborados fueron:

- Delimitación de la Cuenca.
- Mapa geológico de la zona.
- Mapa Topográfico.
- Red Hidrográfica.
- Mapa Vial.

3.1.3 Delimitación del área de Estudio

La delimitación de la Microcuenca Honda se realizó a partir de criterios topográficos y de la red drenaje superficial, mediante métodos de carácter numérico e interpolación, que siguen la dirección del drenaje del agua, Esto se hizo con los siguientes pasos:

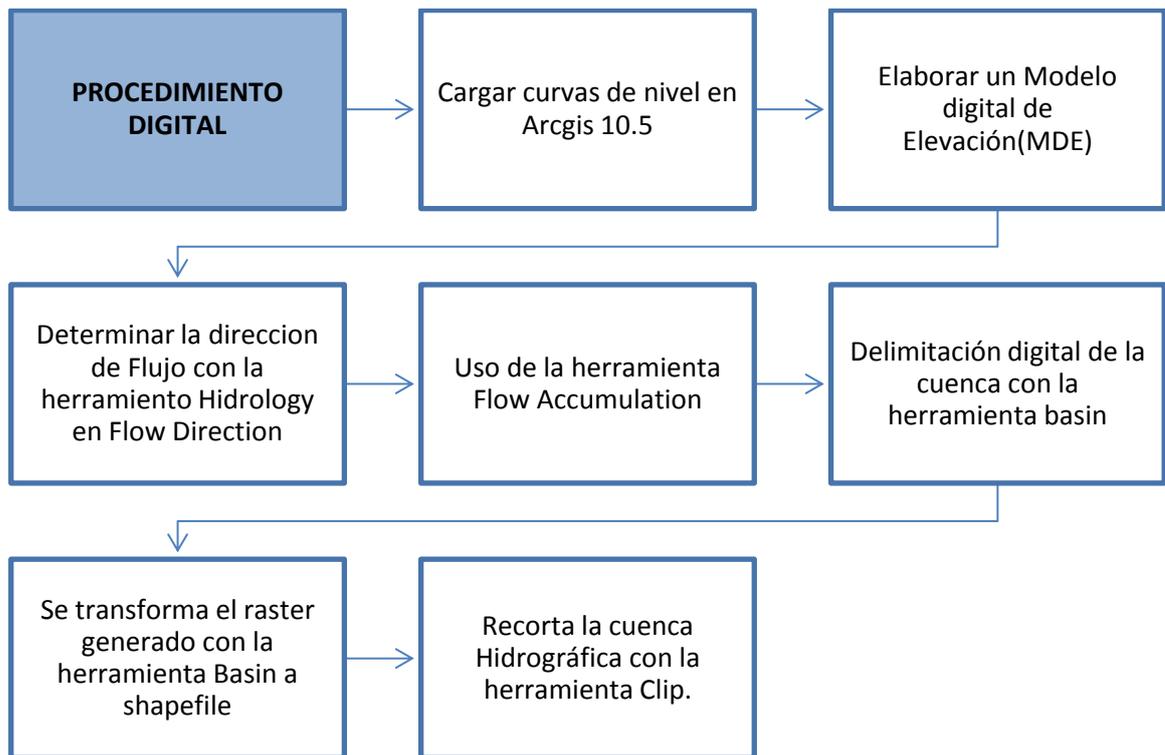


Figura 8. Flujograma de la delimitación digital de una Cuenca.

Posterior a la delimitación, realizada con la herramienta Hydrology en Arcgis 10.5, se procedió a validar el modelo mediante el levantamiento topográfico mediante puntos de estación con un GPS GARMIN 64S y antena Glonass en el parteaguas, los cuales delimitan la cuenca Honda de sus adyacentes.



Figura 9. Divisoria de Agua entre las microcuencas de Arcapamba y Honda.

Villacis, J. (2020)

Para finalizar se procedió a correlacionar los puntos de coordenadas tomados en campo, el modelo hidrológico elaborado en Arcgis con la herramienta Hydrology y las imágenes aéreas. Se realizaron los ajustes y correcciones entre los datos reales de campo y el modelo digital. La línea roja indica el límite real de la microcuenca mientras que las líneas negras son la delimitación obtenida por el procesamiento digital (Ver Fig. 10)

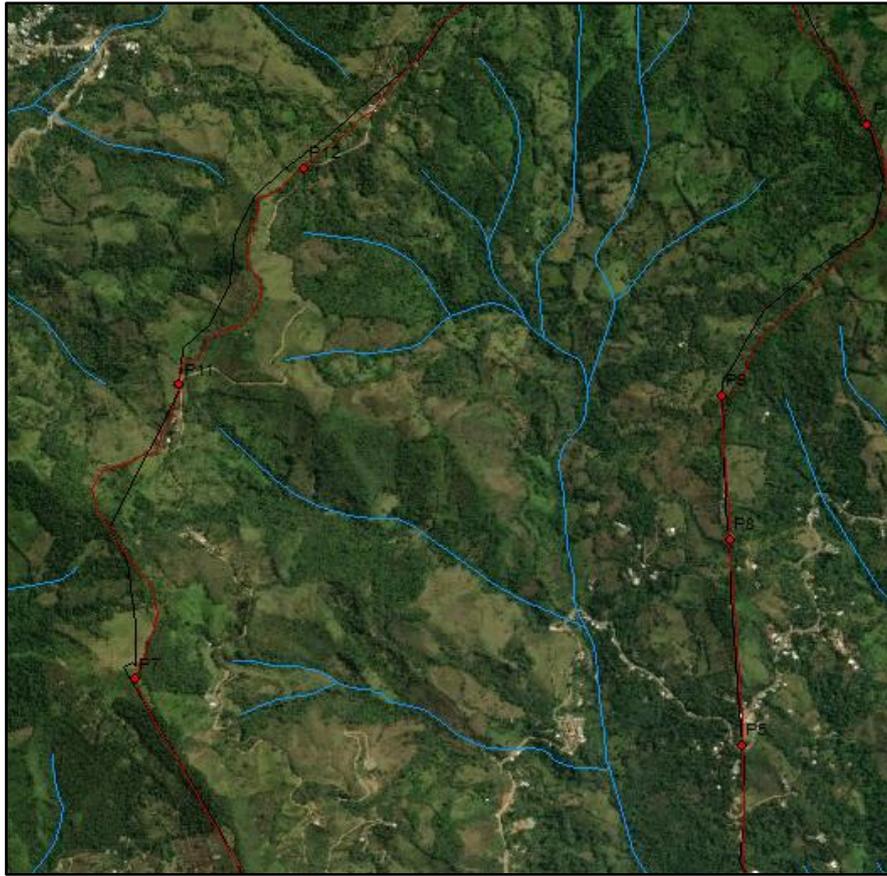


Figura 10. Ajustes de la divisoria de aguas de la cuenca Honda. Villacis, J. (2020)

3.2 Segunda Etapa: Trabajos de campo

La segunda etapa o el trabajo de campo consistió en el levantamiento y cartografía para la validación de mapas regionales a nivel local, mediante levantamiento topográfico, descripción de afloramientos geológicos, toma de muestras de suelo, ensayos de infiltración por método de doble anillo, toma de evidencia fotográfica.

3.2.1 Materiales y Equipos de campo

- a) Brújula Azimutal: usada para la toma de datos estructurales de dirección de buzamiento y ángulo de buzamiento de diaclasas y fracturas.
- b) Rocas ígneas recolectadas (se elaboraron láminas delgadas).
- c) GPS GARMIN 64S: se utilizó para el levantamiento topográfico y cartográfico de la cuenca.
- d) ANTENA GLONASS: se utilizó para la amplificación de señal satelital y precisión topográfica.

- e) Auger manual: se utilizó para las perforaciones manuales y recuperación de muestras de suelo.
- f) Infiltrómetros de doble anillos: utilizados para medir la velocidad de infiltración de agua en el subsuelo.

3.2.2 Levantamiento Cartográfico y Topográfico.

El levantamiento topográfico y cartográfico de la microcuenca se realizó con un GPS 64S y antena GLONASS de precisión milimétrica, utilizando los satélites Navstar (desarrollado por la fuerza aérea norteamericana) y Glonass (sistema desarrollado por la milicia Rusa) en el Datum WGS84 y un radio-navegador con constelación de 24 satélites, permitiendo determinar la altura, velocidad y localización en sistema de proyección UTM.



Figura 11. GPS GARMIN 64s

Con la finalidad de levantar la mayor cantidad de información cartográfica del área de estudio se procedió a recorrer quebradas, senderos, vías, trochas, que permitieran reconocer y levantar coordenadas georeferenciadas de quebradas, afloramientos, captadores y almacenamientos de cuerpos de agua, situar estaciones para muestreo de suelo por auger y para ensayos de Infiltrómetros por doble anillo.

3.2.2.1 Configuración del GPS+GLONASS

Posterior al encendido del equipo de medición se ajustó y especificó el sistema de proyección deseado, el cual por su mayor frecuencia, precisión y facilidad en su uso dentro del país se lo calibró en el UTM WGS84 (World Geodetic System 1984) el cual representa a la tierra en un modelo elipsoidal. Se desactivaron las rutas activas que no se iban a utilizar, posteriormente se verificó el número de satélites receptados y el grado de precisión en los ejes XY y el Z, verificado con un hito conocido o BM en la zona.

3.2.2.2 Recolección y Toma de Puntos

La recolección y toma de puntos se la realizó mediante dos tipos de receptores, según el tipo de levantamiento realizado en campo, los cuales fueron por Navegación de Track y Waypoint.

- a) Track: se utilizó para el levantamiento de vías, senderos y rutas de acceso al área de estudio, mediante la opción de alta precisión y frecuencia en tiempo real que contiene el GPS 64s+ Glonass.
- b) Waypoint: se utilizó para la ubicación de puntos, estaciones y lugares estáticos de ensayos. Por cada coordenada tomada se consideró un tiempo de espera de entre 5 a 7 minutos de calibración del instrumento topográfico para levantar la información y/o coordenada con precisión milimétrica, por ende evitar cubrir la antena para no interferir con la antena receptora del GPS.

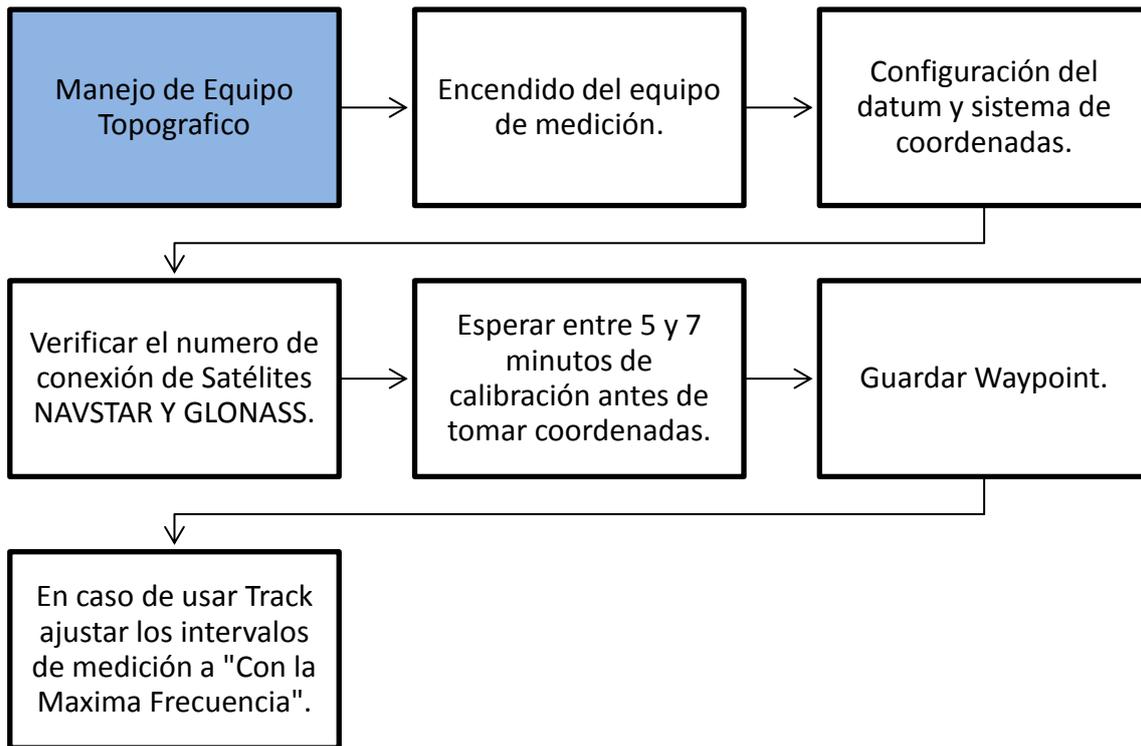


Figura 12. Flujograma de Manejo del GPS.

3.2.3 Muestreo de suelo

El muestreo de suelo se realizó con el fin de monitorear sus condiciones en el medio físico, así como conocer las divisiones del mismo en el subsuelo, por la cantidad y el tamaño de grano que posee en cuanto a textura: arena, limo y arcilla. Por consiguiente se planificó la perforación de suelos mediante el uso de auger manual por el método de Beeker.

El equipo utilizado fue un Hand Auger tipo “AMS Soil Sampling Environmental Kit”, el cual está conformado por un barreno hueco helicoidal de 7 cm de diámetro y una longitud de 30cm, una cuerda o rosca en el extremo superior, la cual permite ensamblar con varias barras de acero de 1m de largo, permitiendo extraer muestras hasta la profundidad deseada.



Figura 13. Ensamblado y manejo del Hand Auger tipo “AMS Soil Sampling Enviromental Kit” en campo.

El procedimiento empieza con la limpieza de la cubierta vegetal en el terreno evitando así tener contaminación o intromisión de raíces y ramas en el empaquetamiento final, posteriormente se ensambla el Hand Auger con una varilla de 1m y un timón. Se aplicó una fuerza vertical y movimiento rotatorio permitiendo que las cuchillas del barreno impulsen y corten el suelo hacia el interior en intervalos de 30cm, para obtener muestra de recuperación, formando así una columna que permita evidenciar el cambio físico de la textura. Para finalizar las muestras extraídas se las colocó en fundas plásticas aislantes con su código, profundidad y número de muestra.



Figura 14. Recuperación de 30 cm de suelo con barreno hueco helicoidal.



Figura 15. Empaquetamiento de muestras de suelo para conservación de humedad natural.

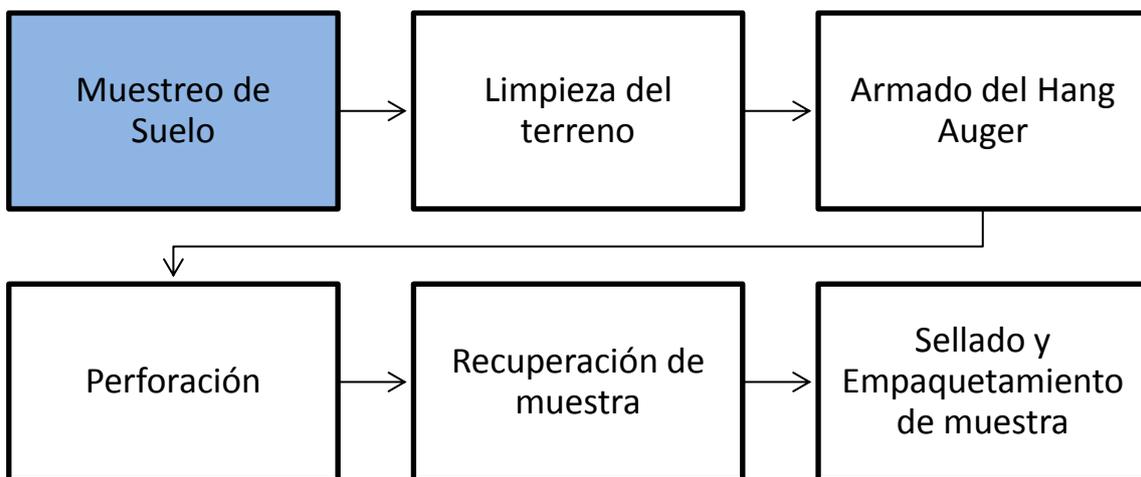


Figura 16. Flujograma del manejo de Toma de muestras de Suelo.

3.2.4. Ensayos de Infiltración por doble anillo (Anillos de Munz)

El Infiltrómetro de doble anillo es un método que permite determinar las características y velocidad de infiltración que presenta un suelo con respecto a la variación de nivel agua en el cilindro interno. (Bragado R. 2008)

Los materiales utilizados durante los ensayos fueron:

- 2 Infiltrómetros de dobles anillo (50cm anillo externo y 25 anillo interno)
- Madera longitudinal que supere el diámetro del anillo
- 1 metro o flexómetro
- 2 bidones de 20 L
- Funda plástica
- Cronómetro

El método se basa en la saturación de un área de suelo delimitada por los diámetros de dos anillos concéntricos para determinar la varianza del nivel de agua dentro del cilindro interno. En los ensayos, durante la etapa inicial de infiltración, los valores pueden llegar a ser muy altos debido a que los suelos se pueden encontrar secos o parcialmente húmedos, pero a medida que avanza el tiempo del ensayo los valores irán disminuyendo hasta alcanzar las condiciones finales de saturación en dependencia de su textura, humedad previa, estructura y horizonte del suelo (Bouwer, H. 1961).

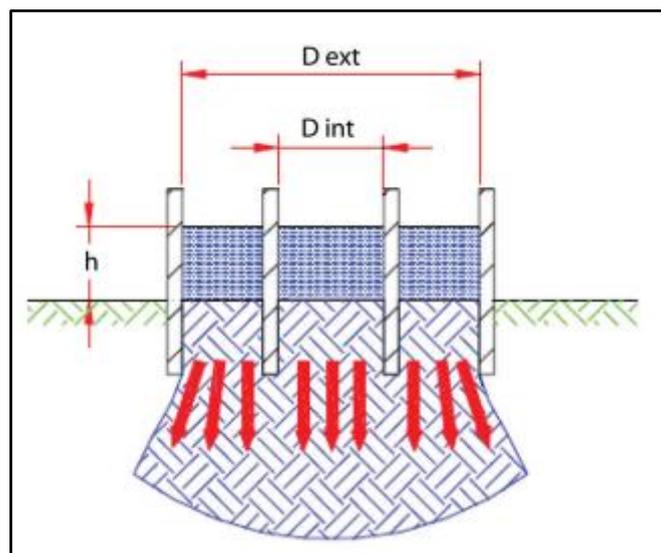


Figura 17. Esquema del método del doble anillo. Fuente: Cesas. A. (2016)

3.2.4.1 Elección de la ubicación de anillos

Para la ubicación de los ensayos por doble anillos se consideró la idoneidad y dispersión de puntos que abarcaron la mayor área representativa de la cuenca, evitando zonas compactadas por vehículos, grietas de suelos expansivos o actividades humanas.



Figura 18. Entierro, centrado y nivelación de los anillos de infiltración.

3.2.4.2. Colocación, llenado de agua y toma de datos

- Previo a la colocación de los anillos se limpió y comprobó que el terreno no contenga piedras, raíces o cubierta vegetal bajo los diámetros de los anillos.



Figura 19. Limpieza y remoción de la cubierta vegetal del terreno. Villacis, J. (2020)

- Se verificó que los cilindros estén centrados entre sí de forma horizontal, esto para que la dirección de la filtración de agua sea vertical por la fuerza gravitatoria, mas no correspondiente a la dirección de la red de escurrimiento superficial.



Figura 20. Nivelación de anillos en el terreno de ensayo. Villacis, J. (2020)

- Se enterraron los cilindros hasta 10cm de profundidad para evitar el drenaje lateral o fuga del agua.



Figura 21. Entierro de los anillos "interno" y "externo". Villacis, J. (2020)

- El primer anillo en ser humedecido fue el externo, esto para tener noción del posterior comportamiento hídrico que tendrá el anillo interno y para dejar humedecida y saturada el área externa, teniendo de esta forma el anillo interno aislado y llevado a propiedades similares de laboratorio.



Figura 22. Humedecimiento de Anillo externo. Villacis, J. (2020)

- Posteriormente se colocó una funda o plato en el anillo interno para evitar el golpe directo del agua con la superficie del suelo y se llena el anillo interno hasta alcanzar una altura superior a los 20cm.



Figura 23. Llenado de anillo Interno hasta los 20 cm de altura. Villacis, J. (2020)

- Luego se procede a medir, entre intervalos de tiempo cada 2min, el nivel de agua dentro del anillo interno, hasta que la tasa de infiltración sea constante. (Asencio. I, Moreno H 2010)



Figura 24. Medición de intervalos de infiltración en el anillo interno. Villacis, J. (2020)

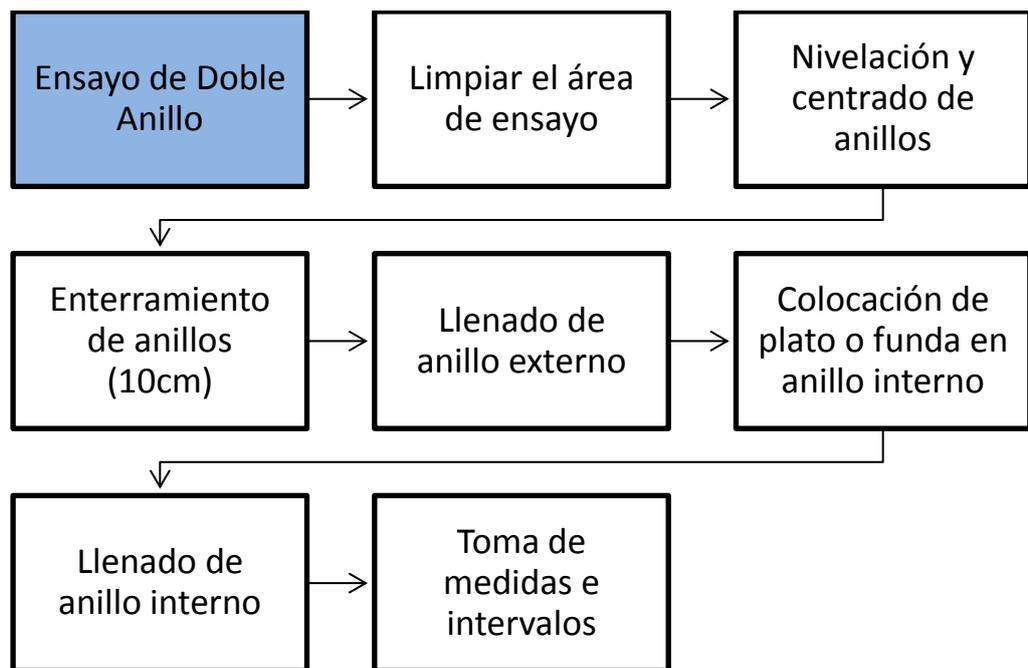


Figura 25. Flujograma de Ensayo de Infiltración por método de Doble Anillo

3.3 Tercera Etapa: Laboratorio

3.3.1 Humedad Natural

Se conoce como humedad natural al contenido de agua en un suelo, en relación al peso de agua contenido y el peso en su fase sólida, expresada en porcentaje % (Rodríguez, J. 2008)



Figura 26. Muestras de Suelo empaquetadas herméticamente. Villacis, J. (2020)

Para conocer el contenido de agua presente en el suelo se procedió con los siguientes pasos:

- Obtener los pesos las muestras en estado natural en una balanza manual de precisión.



Figura 27. Muestras y pesaje del Pozo 6 en estado natural.

- Secar las muestras en estufas hasta notar el cambio de tonalidad de muestras por la pérdida del contenido de agua.



Figura 28. Secado de las muestras del Pozo 6. Villacis, J. (2020)

- Pesar las muestras en estado sólido o seco.



Figura 29. Pesaje de las muestras en seco del Pozo 6. Villacis, J. (2020)

Una vez obtenido los pesos se utilizó la fórmula de humedad natural, que indica que:

$$w\% = \frac{W_m - W_s}{W_s} * 100$$

Dónde:

W_m : peso de la muestra en estado natural.

W_s : peso de la muestra en estado sólido o seco.

3.3.2 Análisis Textural

Dentro de los métodos más importantes se encuentra el análisis textural de los suelos, el cual permite reconocer la permeabilidad, capacidad y composición textural con sus características geotécnicas, a través de la separación de partículas constituidas una cantidad de muestras, conociendo los pesos individuales de los diferentes conjuntos de granos (limo, arena y arcilla) que se atribuyen al peso total (Mohedas, M., 2008).

Los suelos se componen de diferentes tamaños de partículas y fracciones minerales. Denominando a las gruesas como arenas, a los limos medianos y la fracción más pequeña las arcillas.

Tabla 6 Clasificación del tamaño de las Partículas. Editado de Udden-Wentworth (1922)

Partículas	Micrones (milésima parte de un milímetro)
Gravillas y gravas	>2000
Arena Gruesa	200 a 2000
Arena Fina	20 a 200
Limo	2 a 20
Arcilla	< 2

Debido a que las únicas partículas visibles son las arenas que miden entre 2 milímetros y 1 centésimo de milímetro (2mm y 0,01mm) y a la dificultad de separar las arcillas de los limos en la fracción fina mediante tamizado, se seleccionó el método organoléptico el cual tiene como finalidad reconocer los tipos de suelo y texturas de acuerdo a la clasificación americana, estimando de manera práctica la textura a través de percepciones del tacto y la vista siguiendo los pasos que se muestran en el siguiente flujograma:

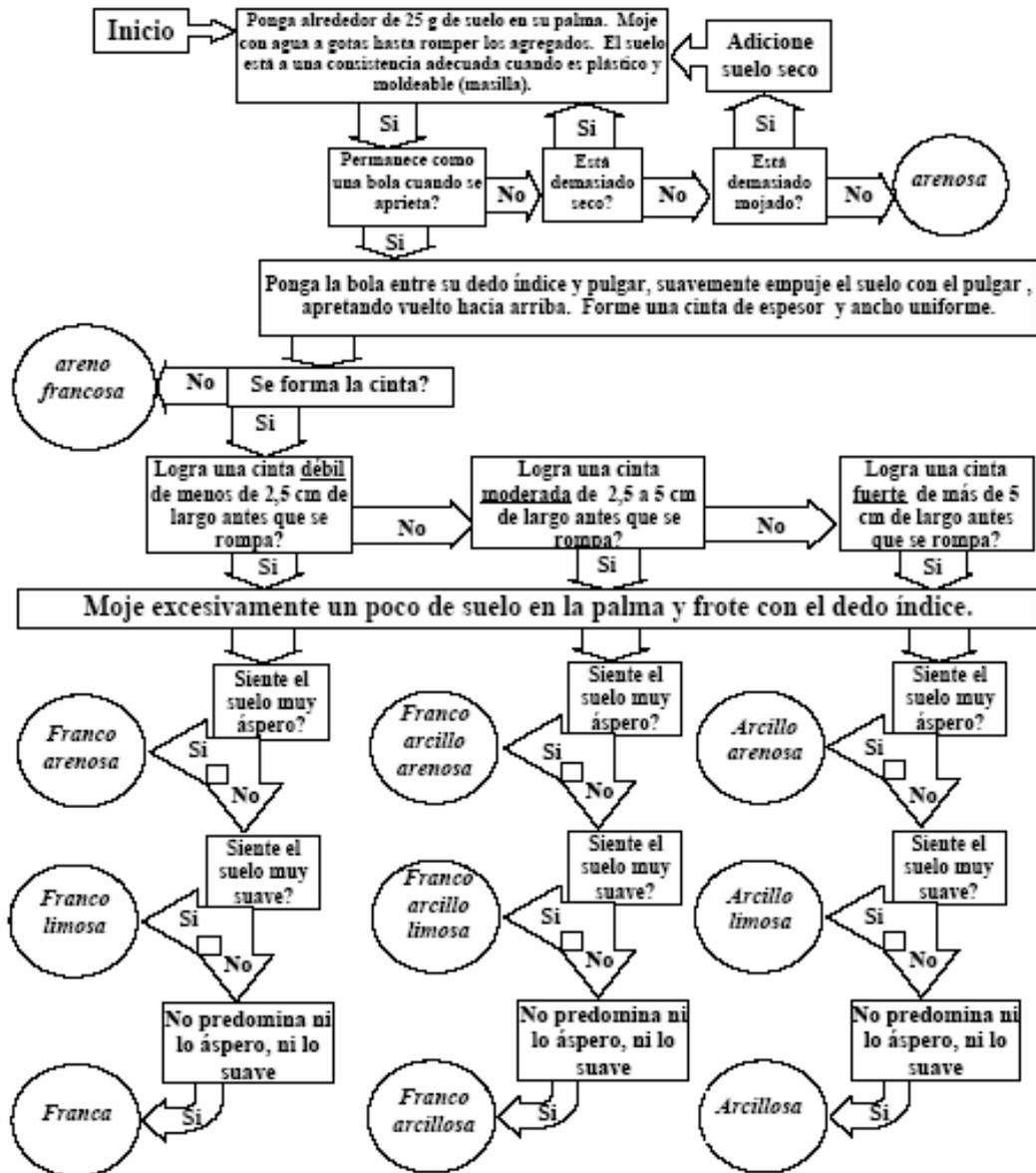


Figura 30. Flujograma del Método Organoléptico “FEEL” (Modificado de Thein, 1979)

3.4 Cuarta Etapa: Trabajo de gabinete

3.4.1 Depuración de mapas

Por medio la recopilación de datos obtenidos en campo, laboratorio y bibliografía, se procedió a elaborar los mapas temáticos escala 1:10000, tales como geológico, red de drenaje y alineamiento, textura de suelo, precipitación, infiltración y uso de suelo, los cuales se utilizaron para determinar el potencial hídrico en la cuenca de estudio mediante la evaluación espacial multicriterio.

3.4.2 Asignación de pesos a los Factores

La metodología empleada para la ponderación de variables entre sí, se realizó por la jerarquía propuesta por SAATY (1980), donde se comparan las variables utilizadas entre distintos autores y las encuestas realizadas a expertos en las áreas de Hidrología y Geología. Luego se hace uso de una matriz pareada donde las columnas y filas tendrán un número de variables a integrar para el resultado del mapa final, de tal forma que al comparar las variables de los distintos autores se obtendrá una ponderación aritmética con un peso propio para cada variable (Gómez & Barredo, 2005).

Esta metodología para la asignación de pesos se fundamenta en la estructuración de modelos jerárquicos y priorizando las distintas variables a través de combinaciones binarias, con las ventajas de ser sustentada de forma matemática, permitiendo medir los criterios en una escala cuantitativa y cualitativa.

Las comparaciones pareadas utilizan una escala subyacente con valores del 1 al 9 para calificar las referencias entre 2 elementos como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Fuente: Saaty, Thomas. The Analytic Hierarchy Process. New York, United States Of America: McGraw Hill (1980)

Escala Numérica	Escala Verbal	Explicación
1	Ambos valores son de igual importancia.	Ambos elementos contribuyen con la propiedad en igual forma.
3	Moderadamente más importante un elemento sobre otro.	El juicio y la experiencia favorecen a un elemento sobre otro.
5	Fuertemente más importante un elemento sobre otro.	Un juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente a otro.
7	Mucho más importante un elemento sobre otro.	Un elemento es muy fuertemente dominante.
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro.	Un elemento es favorecido por lo menos con un orden de magnitud de diferencia.
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos juicios.	Usados como valores de consenso entre dos juicios.

3.4.2.1 Cálculo Matemático

Dentro de la matriz debe contener una comparación pareada entre criterios. Sea a_{xy} el elemento (x,y) de A , para $x=1,2,\dots,n$, y $y=1,2,\dots,n$. Decimos que A es una matriz comparativa pareada de n alternativas, si a_{xy} es la medida preferencial de la alternativa de columna j . Cuando $x=y$, el valor de a_{xy} será igual a "1" pues se está comparando la alternativa consigo misma. (Saaty 1980)

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Figura 31. Modelo matemático de Saaty.

En condiciones de juicio recíproco si A es una matriz de comparación se cumple que $a_{xy}=1/a_{yx}$

Tabla 8 Matriz pareada por el método de Saaty

MATRIZ PAREADA								
CODIGO	CRITERIOS	C_GEO	C_PEN	C_DEN_DRE	C_INF	C_PRE	C_US_SUE	C_TEX_SUE
C_GEO	GEOLOGIA	1,00						
C_PEN	PENDIENTE		1,00					
C_DEN_DRE	DENSIDAD DE DRENAJE			1,00				
C_INF	INFILTRACIÓN				1,00			
C_PRE	PRECIPITACIÓN					1,00		
C_US_SUE	USO DE SUELO						1,00	
C_TEX_SUE	TEXTURA DE SUELO							1,00
C_TOTAL	TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Una vez elaborada la matriz se procede a sintetizar o normalizar los valores con los siguientes pasos indicados a continuación:

- I. Se suman los valores de las columnas.
- II. Se divide cada elemento de la matriz con el total de su respectiva columna.
- III. Se calcula el promedio de los elementos de cada región o fila.

Al elaborar estos pasos como resultado se obtiene una matriz pareada normalizada.

Tabla 9. Tabla de matriz Normalizada

MATRIZ NORMALIZADA										
CODIGO	CRITERIOS	C_GEO	C_PEN	C_DEN_DRE	C_INF	C_PRE	C_US_SUE	C_TEX_SUE	PROMEDIO	
C_GEO	GEOLOGIA	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
C_PEN	PENDIENTE	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
C_DEN_DRE	DENSIDAD DE DRENAJE	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
C_INF	INFILTRACIÓN	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
C_PRE	PRECIPITACIÓN	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,14
C_US_SUE	USO DE SUELO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,14
C_TEX_SUE	TEXTURA DE SUELO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,14
TOTAL										1,00

3.4.3 Aplicación del Análisis de Evaluación Multicriterio

La aplicación del análisis multicriterio consistió en la superposición de los mapas obtenidos por cada factor, posterior a su reclasificación por el método de SAATY, los cuales fueron llevados a un SIG en formato de datos *dataset*, para después ser transformados a imágenes raster y combinados para obtener un grado de aptitud que determina las zonas del potencial hídrico en la microcuenca. La figura 32 y 33 muestra el resultado de superponer un *dataset* de entrada y un *dataset* de salida de superposición.

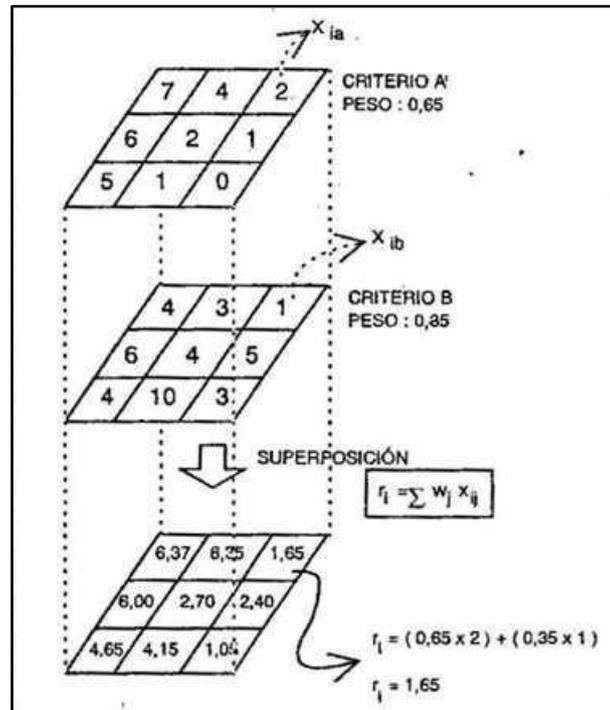


Figura 32 Modelo espacial de superposición de capas (Barredo, J.I., Gómez, M.2006)

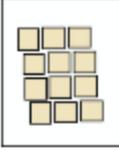
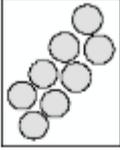
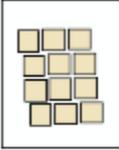
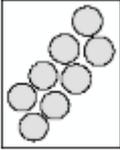
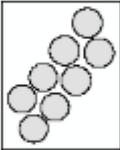
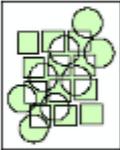
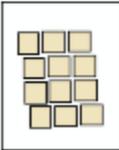
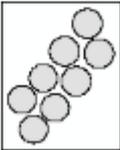
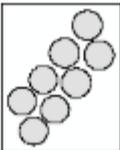
Entidades de entrada	Entidades de superposición	Operación	Resultado
		Identidad	
		Intersección	
		Diferencia simétrica	
		Combinación	
		Actualización	

Figura 33. Resultado de superposición. (Fuente: ESRI, 2016)

4. RESULTADOS

4.1. Delimitación del Parteaguas.

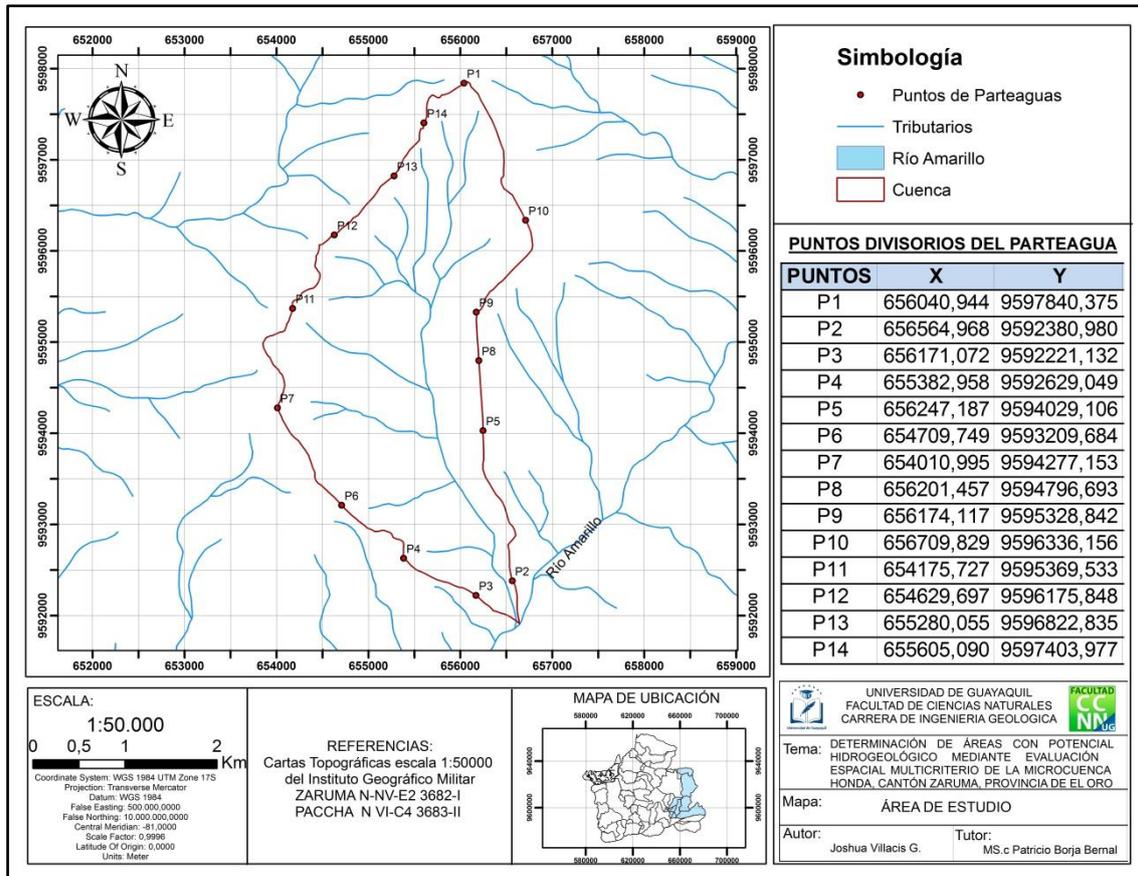


Figura 34. Mapa de área de estudio. Villacis, J. (2020)

La Figura 34 correspondiente al mapa del área de estudio fue elaborado a partir de la referencia de las cartas de Zaruma y Paccha, a escala 1:50000 del IGM y el MDE (modelo digital de elevación). Este modelo posteriormente fue corregido y ajustado a las medidas morfométricas reales del terreno, mediante la fotointerpretación de 15 imágenes satelitales del IGM a escala 1:5000.

Con estos ajustes realizados se procedió a validar los datos digitales, tomando datos reales en campo con el GPS 64S y antena Glonass en 14 puntos de control, tomados al recorrer y acceder a las líneas de cumbre o parteaguas. Las medidas iniciales fueron de 14.283,71 m en perímetro y 9,26 Km² en el área y con el MDE pasaron a ser de 15.194,17m y 9,29 Km² respectivamente, ya ajustados con la fotointerpretación y puntos de control de campo.

4.2 Descripción de Láminas Delgadas

4.2.1. LÁMINA No. T3MI-EGMI CC001

X: 656196 Y: 9592698

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

En la Figura 35 se puede observar una roca gris clara, en secciones se observa alteración de algunos minerales, alto contenido de feldespatos con relación a los ferromagnesianos y poco cuarzo.

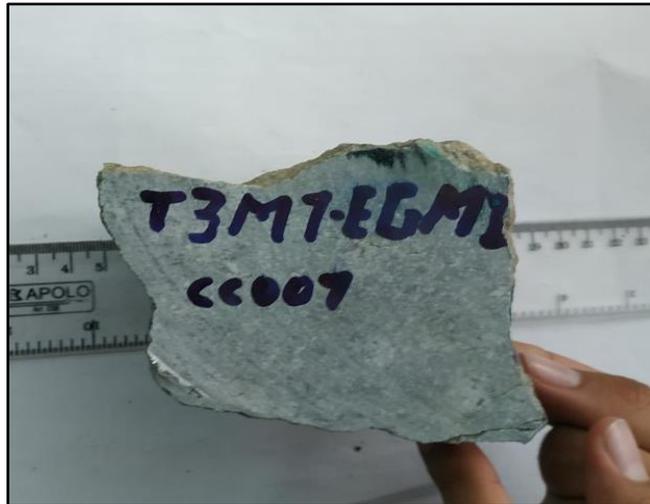


Figura 35. Andesita de la Unidad Portovelo. Villacis, J. (2020)

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Textura hipocristalina, los fenocristales están ligeramente orientados por la fluidez, un dominio de feldespatos (plagioclasas) y ferromagnesianos cloritizados (anfíboles y piroxenos en menor cantidad).

PORCENTAJE APROXIMADO DE MINERALES

<i>FENOCRISTALES</i>	60%
Plagioclasas	30 – 35%
Hornblenda	10 – 15%
Feldespato	1 – 3 %

Clorita	1 – 5%
Opacos	1 – 5 %
<i>MATRIZ</i>	40%
Plagioclasas	15 – 20%
Micas	1 – 5%
Minerales de alteración	5 – 10 %
Opacos	1 – 5 %
TOTAL	100%

CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES

Plagioclasas. - Se observan en la roca como fenocristales y en la matriz, algunos son de gran tamaño, se identifican por tener algunos maclados polisintéticos bien desarrollados, sus bordes en algunos casos están limpios, otros ligeramente alterados. El relieve es moderado, algunos cristales presentan un ángulo de extinción inclinado. Estas plagioclasas tienen características de andesinas.

Ferromagnesianos: Cristales de hornblendas son visibles por su forma y clivaje; se encuentran junto a cloritas, de tonalidad azulada junto a los opacos. Los colores de birrefringencia son de segundo orden (colores fuertes), gran parte de los ferromagnesianos están ligeramente alterados a clorita, estos se han diferenciado por su desarrollo del clivaje.

Minerales de alteración: se observa clorita y cuarzo secundario relleno de espacios y vesículas.

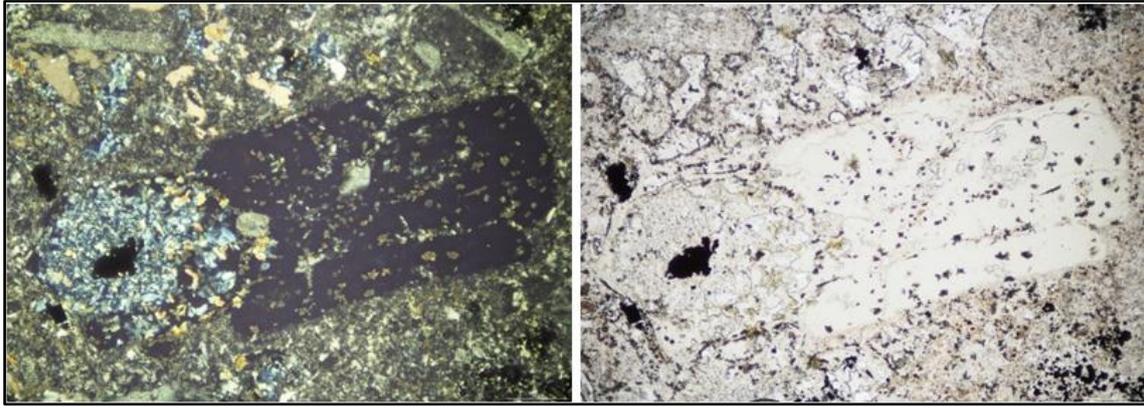


Figura 36. Lamina CC001 vista en microscopio en nícoles cruzados y paralelos. Villacis, J. (2020)

La roca, de color verdoso, tiene muy pocos componentes ferromagnesianos (hornblendas), algunos están en sus bordes cloritizados. Es compacta, presenta minerales nocivos que pueden provocar reactividad como la clorita, y cuarzo recristalizado. Contiene minerales de dureza alta, está alterada con un grado de meteorización bajo, presenta importantes contenidos de plagioclasas y clorita y sulfuros diseminados (ver Figura 36).

Nombre de la roca: Andesita hornbléndica cloritizada.

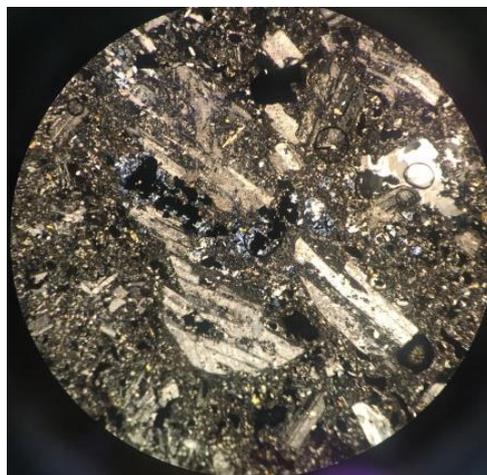


Figura 37. Microfotografía en luz polarizada de la lámina CC001. Villacis, J. (2020)

Bajo la luz polarizada como se muestra en la Figura 37 se pudo identificar textura porfírica con fenocristales de plagioclasas ligeramente orientados, con colores de primer orden - tonos grises a blancos, sus formas son euhédricas a

subhédricas maclados, con características de andesinas. Se observan microcristales de cuarzo relleno de espacios de la roca y en la matriz se identifican microcristales de plagioclasas y ferromagnesianos.

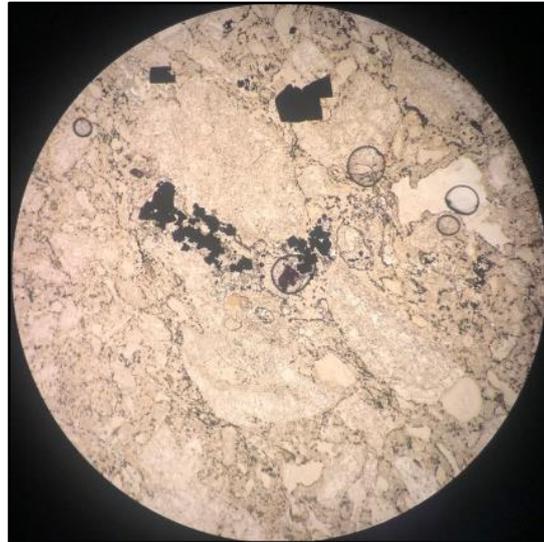


Figura 38. Microfotografía en Luz natural de la lámina CC001. Villacis, J. (2020)

En la Figura 38 se observan los minerales incoloros de plagioclasas con bordes algo meteorizados, con relieve moderado, de mejor manera en la matriz evidencian trazas de clorita con tonalidad verdosa junto a minerales opacos cúbicos (sulfuros). Magnificación X50. Los círculos que se observan en la Figura 38 son burbujas.

4.2.2. LÁMINA No. M3-24-11-cc002

X: 656159 Y: 9592717

ANÁLISIS MACROSCÓPICO



Figura 39 Piroclastos Andesíticos de la Unidad Portovelo. Villacis, J. (2020)

Roca gris clara, verdosa, marrón en sus bordes, se observan clastos con minerales de diferente tamaño, son visibles las plagioclasas y ferromagnesianos, en secciones se observa alteración de algunos minerales. Hay bajo contenido de feldespatos en relación a los ferromagnesianos, con finas vetillas de sulfuros (pirita) (ver Figura 39).

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Textura clástica, la mayoría presenta textura porfirítica, hipocristalina, con tamaños de fenocristales diferentes, se identifica matriz gris verdosa, se observan los cristales de feldespato con forma euhedral a subhedral.

PORCENTAJE APROXIMADO DE MINERALES

<i>FENOCRISTALES</i>	45%
Plagioclasas	15 – 20%
Hornblenda	10 – 15 %
Clastos de rocas	10 – 15%

<i>MATRIZ</i>	55%
Plagioclasas	25 – 30%
Cuarzo	10 – 15%
Minerales de alteración	5 – 10%
Opacos	1 – 5 %
TOTAL	100%

CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES

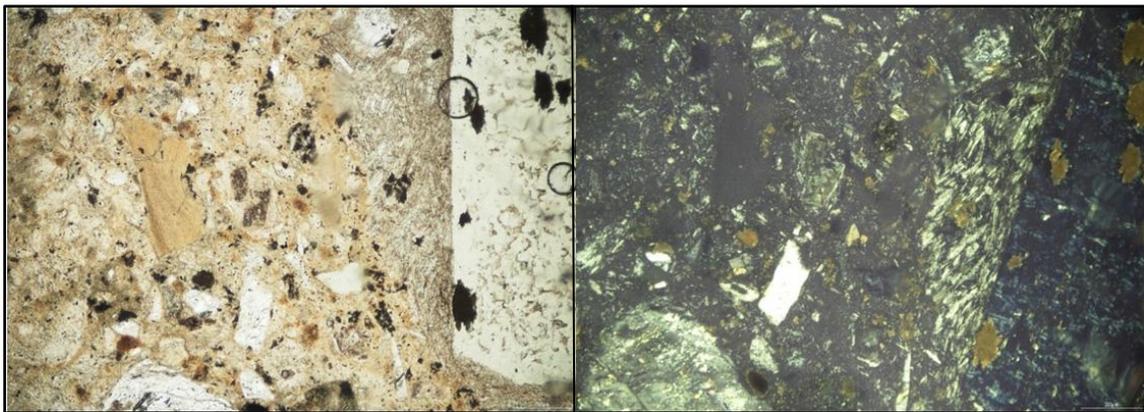


Figura 40. Lamina CC002 vista en microscopio en nícoles paralelos y cruzados. Villacis, J. (2020)

Plagioclasas. - Se identifican por tener maclados polisintéticos, en algunos se observa zonación (ver Figura 40), con características de albita, algunas tienen sus bordes corroídos. Tienen formas euhedrales a subhedrales, el relieve es moderado, algunos cristales presentan un ángulo extinción inclinado.

Sílice. – En la matriz se encuentra en pequeñas acumulaciones y vidrio volcánico disperso. En algunas zonas se han identificado trazas de cristales de cuarzo, con formas poco desarrolladas, de relieve bajo y colores grises de primer orden.

En la matriz se observan cristales de biotita, con birrefringencia de segundo orden; gran parte de los ferromagnesianos tienen bordes alterados a clorita. Por su pleocroísmo cambiante se han identificado como biotitas; algunos cristales presentan un clivaje poco desarrollado, además se han identificado clastos de andesitas hornbléndicas y otros minerales cloritizados (ver Figura 40).

Roca: es piroclástica, de grano grueso, silicificada, con clastos epidotizados, matriz fina granular conformada por material vítreo y sílice. Tiene pocos componentes ferromagnesianos (anfíboles y trazas de piroxenos) algunos están en sus bordes cloritizados y con clivaje poco desarrollado.

La roca es compacta, presenta minerales nocivos y que pueden provocar reactividad como la clorita. Se identifica en la lámina un porcentaje importante de plagioclasas formando acumulaciones junto al cuarzo.

Identificación de la roca: Roca piroclástica de composición andesítica

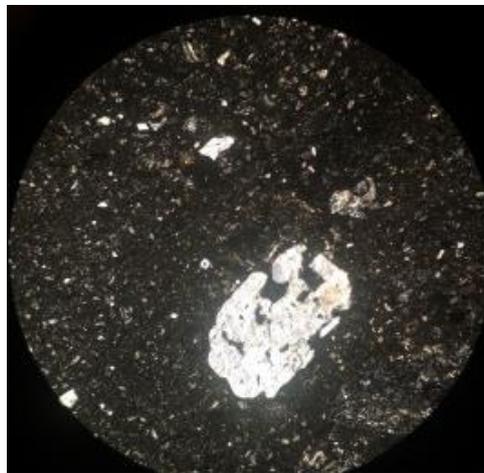


Figura 41. Microfotografía en luz polarizada de la lámina CC002. Villacis, J. (2020)

En la Figura 41 se observan clastos de rocas con plagioclasas orientadas de componentes basálticos, con color de primer orden. También hay plagioclasas macladas milimétricas, vidrio volcánico y trazas de cuarzo, tanto en la matriz como rellenando vesículas. Los cristales son poco desarrollados, en la matriz

son de hornblenda, con contenidos menores de piroxenosy de colores de segundo orden, siendo ligeramente alteradas.

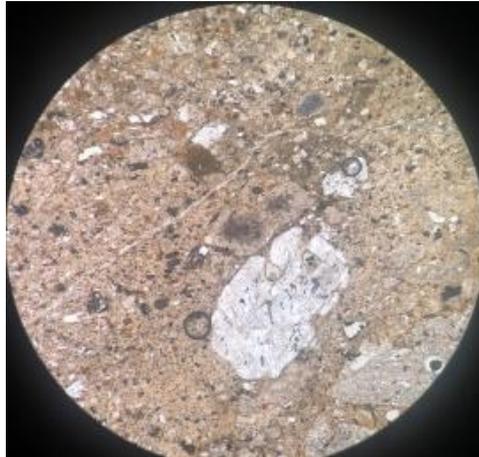


Figura 42. Microfotografía en Luz natural de la muestra CC002. Villacis, J. (2020)

En la Figura 42 se observan minerales incoloros de plagioclasas y sílice, los ferromagnesianos como la hornblenda alargada y la biotita tienen un color marrón verdoso, y presentan un clivaje bien desarrollado, sus bordes son algo meteorizados y alterados con tinte verdoso. Magnificación X50.

4.2.3. LÁMINA No. T5-EGM2-CC003

X:655766 Y:9596973

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

La muestra de la figura 43 se determinó como una roca gris clara, verdosa, marrón en sus bordes, se identifican sulfuros diseminados y en concentraciones relleno de espacios porosos de la roca, los minerales oscuros son ferromagnesianos.



Figura 43. Muestra CC003 de Andesita Porfídica de la Unidad Portovelo. Villacis, J. (2020)

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Textura hipocristalina, los tamaños de los fenocristales de plagioclasas son alargados y zonados, en la matriz son similares, en secciones domina la matriz en relación con los fenocristales, existiendo un dominio de feldespatos (plagioclasas); estos minerales se presentan ligeramente orientados por la fluidez del magma.

PORCENTAJE APROXIMADO DE MINERALES

<i>FENOCRISTALES</i>	45%
Plagioclasas	30 – 35%
Hornblenda	5 – 10%

Feldespato K.	1 – 3 %
<i>MATRIZ</i>	55%
Plagioclasas	30 – 35%
Cuarzo	1 – 5 %
Clorita	5 – 10%
Opacos	1 – 5 %
TOTAL	100%

CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES

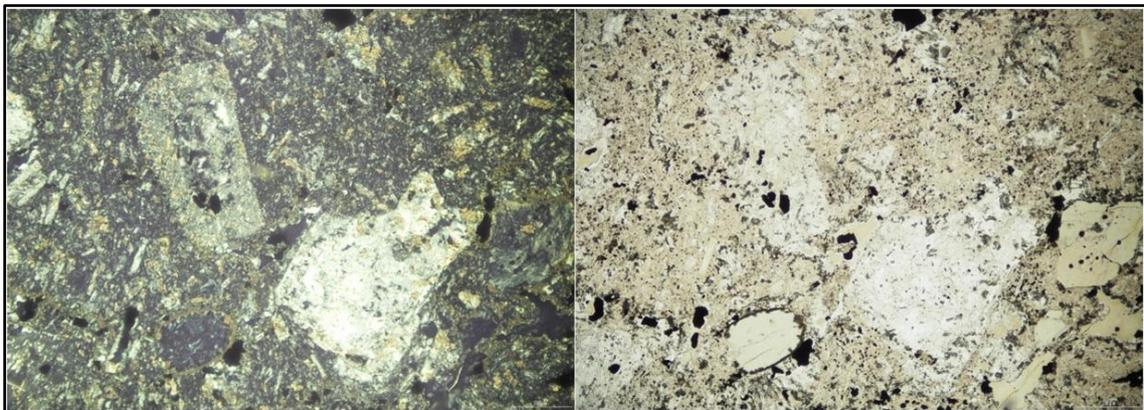


Figura 44. Muestra CCOO3 vista en microscopio en nícoles cruzados y paralelos. Villacis, J. (2020)

Plagioclasas: En la Figura 44 se identifican por tener algunos maclados polisintéticos bien desarrollados, sus bordes en algunos casos están limpios, otros ligeramente alterados a sericitas, otros corroídos y rellenos con minerales de alteración (cuarzo secundario). El relieve es moderado, algunos cristales presentan un ángulo extinción inclinado, estas plagioclasas tienen características de plagioclasas intermedias.

Ferromagnesianos: Los cristales de hornblendas son visibles por su forma y clivaje; principalmente en la matriz se encuentran junto a cloritas, de tonalidad azulada junto a los opacos. Los colores de birrefringencia son de segundo orden (colores fuertes), gran parte de los ferromagnesianos están ligeramente alterados a clorita, estos ferromagnesianos presentan clivaje poco desarrollado, en secciones se observan trazas de piroxenos.

Minerales de alteración: se observa clorita y cuarzo secundario relleno de espacios y vesículas.

La roca es verdosa, tiene muy pocos componentes ferromagnesianos (hornblendas) principalmente en la matriz, algunos están en sus bordes cloritizados. Es cohesiva, presenta minerales nocivos y que pueden provocar reactividad como la clorita y cuarzo recristalizado relleno de espacios. Es además compacta, con minerales de dureza alta, alterada, presenta importantes contenidos de plagioclasas y clorita, y sulfuros diseminados (pirita) (ver Figura 44).

Nombre de la roca: Andesita hornbléndica cloritizada.



Figura 45. Microfotografía en luz polarizada de la muestra CC003. Villacis, J. (2020)

En la Figura 45 se observó textura porfírica, con dominio de matriz; se observan fenocristales de plagioclasas meteorizados y alterados, con colores de primer orden - tonos grises-marrón o blanco. Sus formas son euhédricas a

subhédricas, maclados, con características de andesinas. En la parte superior se observan anillos de crecimiento de alteración de ferromagnesianos a clorita y en la matriz se identifican microcristales alargados de plagioclasas y ferromagnesianos.

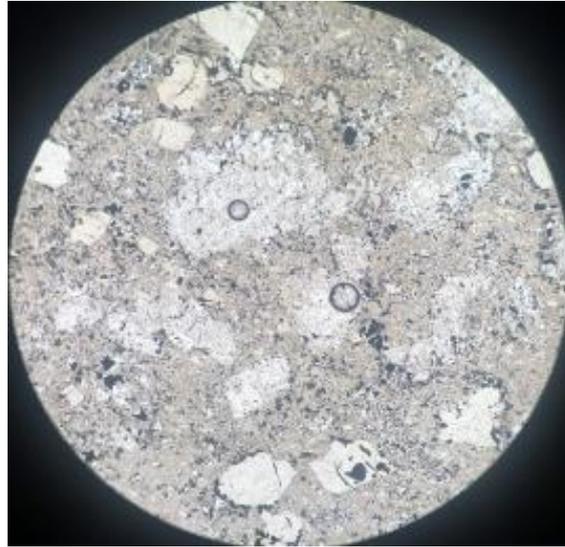


Figura 46. Microfotografía en Luz natural de la muestra CC003. Villacis, J. (2020)

En la Figura 46 se observan los minerales incoloros de plagioclasas, en sus bordes algo meteorizados, con relieve moderado, de mejor manera en la matriz y trazas de clorita con tonalidad verdosa junto a trazas de sulfuros. Magnificación X50. Los círculos en la parte central son burbujas.

4.4. Grados de Aptitud de Factores y clases

Tabla 10. Grado de Aptitudes por Factor. Villacis, J. (2020)

Factor	Clase	Ponderación
Precipitación mm/año (25%)	1800-1900	7
	1700-1800	5
	1600-1700	3
	1500-1600	1
Velocidad de Infiltración cm/h (21%)	>45,00	7
	45,00 - 30,00	5
	30,00 – 15,00	4
	<15,00	1
Litología (18%)	Andesita (Fracturada)	5
	Piro clastos	1
Textura de Suelo (14%)	Franco arenoso	7
	Franco arcillo-arenoso	5
	Franco arcilloso	3
	Arcilloso	1
Uso de Suelo (11%)	Vegetación Arbustiva y agricultura Tropical	7
	Pastos Cultivos	5
	Actividad Minera	3
	Asentamientos Humanos	1
Densidad de Drenaje Km/Km ² (7%)	<1,00	7
	1,00 – 2,00	5
	2,00 – 3,00	3
	>3,00	1
Pendiente (4%)	0° - 17°	7
	17- 27°	5
	27°-45°	4
	>45°	1

La Tabla 10 es la representación del orden jerárquico de los factores utilizados para el análisis multicriterio, obtenido de la suma lineal de las encuestas realizadas a expertos (ver Anexos 15-21) por el método matemático de Saaty

4.5. Mapa de Pendiente

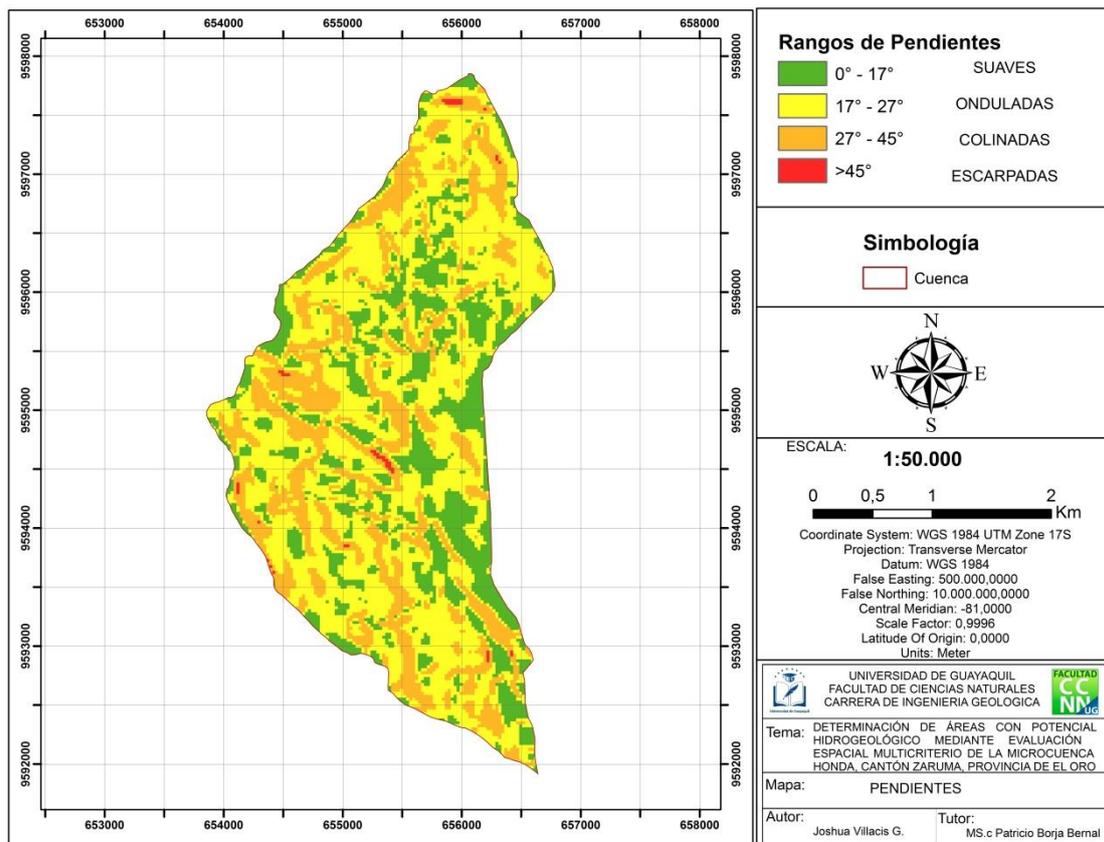


Figura 47. Mapa de Pendientes. Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)

El mapa de pendientes fue elaborado según los datos de las curvas de nivel, obtenidas y digitalizadas de las hojas topográficas del IGM, con un intervalo de 20m c/u. Los Waypoint y Track fueron tomados con el GPS+ANTENA GLONASS para disminuir los sesgos de alturas que se tienen entre líneas de nivel en los mapas topográficos.

Con la combinación entre estos puntos y líneas con valores de cota se utilizó la herramienta "Slope" en el software ArcGis 10.5, obteniendo de esta manera 4 rangos de pendientes: suaves (0°-17°), onduladas (17°-27°), colimadas (27°-45°) y escarpadas (>45). En el mapa se puede observar un predominio de terrenos ondulados, representados por el color amarillo, seguidos por los terrenos suaves y colimados con una casi nula presencia de terrenos escarpados (ver Figura 47).

4.6. Mapa de Potencial Hidrogeológico según la Pendiente.

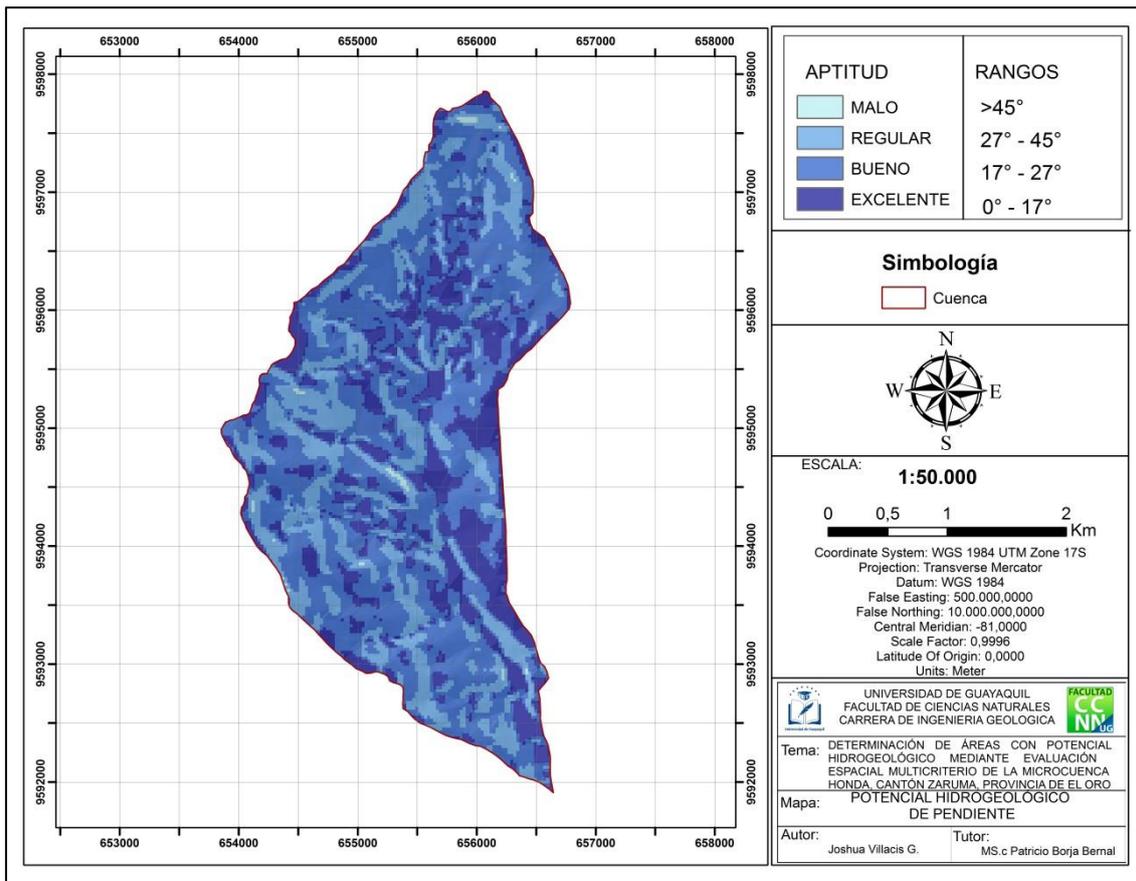


Figura 48 Mapa del Potencial Hidrogeológico según las Pendientes Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)

El mapa de potencial hidrogeológico de pendiente se realizó debido a la importancia del relieve en la formación de acuíferos, ya que al tener pendientes menos pronunciadas y relativamente suaves puede permitir la acumulación de agua aportando a la infiltración.

Por otro lado los relieves con mayor pendiente o relieves más pronunciados aportarán con la migración y desplazamiento del agua sobre la red de escorrentía superficial. En el caso del mapa de potencial hidrogeológico de pendiente se aprecian con un color azul más fuerte las zonas con una aptitud excelente, ubicadas en el flanco Este de la microcuenca. Una gran parte de la cuenca cuenta con un grado de aptitud bueno para el aporte hidrogeológico tanto en su franco S-W, W y N y en una menor medida un grado de aptitud regular (ver Figura 48).

4.7. Mapa de Densidad de Drenaje

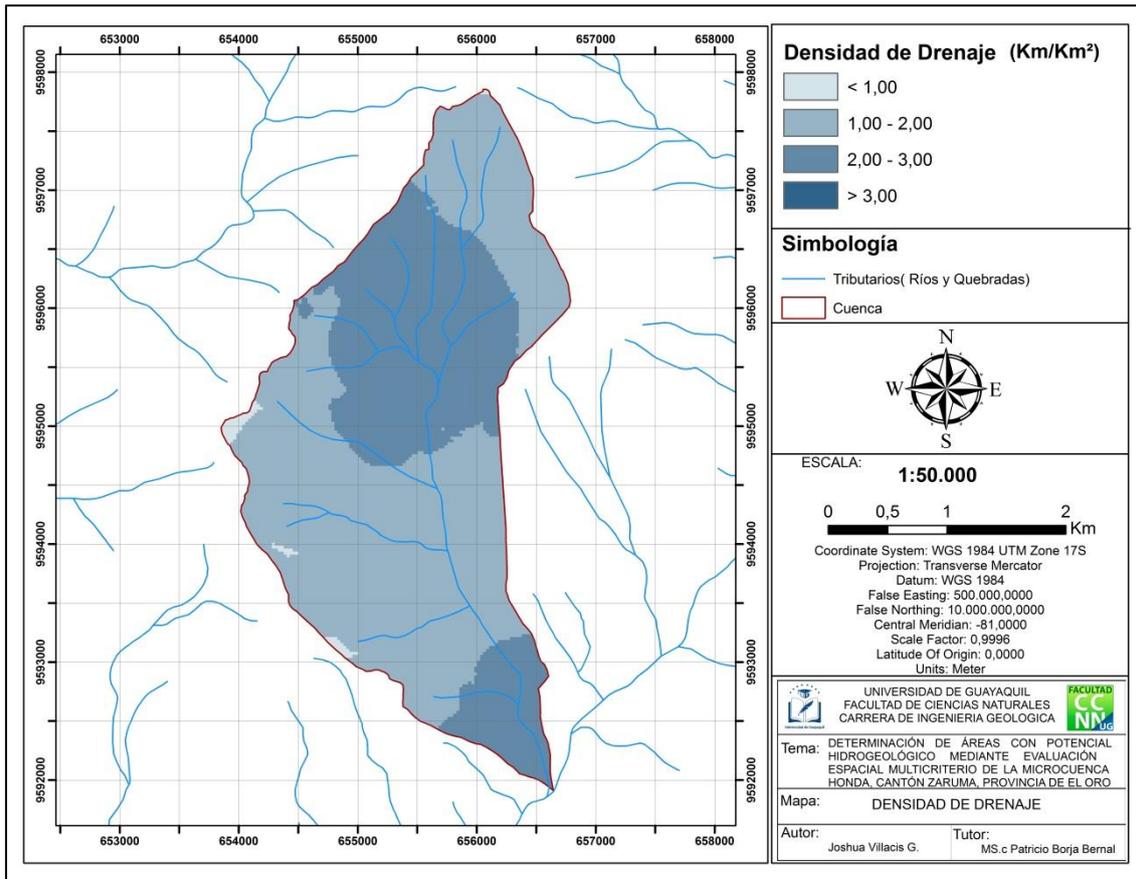


Figura 49 Mapa de la Densidad de Drenaje Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)

El mapa de densidad de drenaje se elaboró a partir de la referencia de las cartas topográficas del IGM de Zaruma, en conjunto con el mapeo de quebradas, fotografías aéreas y puntos de agua que se pudieron apreciar durante la etapa de campo. Con los datos ya recopilados, se procesaron los datos en el software ArcGis 10.5 haciendo uso de la herramienta Line Density donde la longitud total de los cauces, dividida por la superficie de la cuenca (área) nos dio como resultado la densidad de drenaje de la cuenca expresada en Km/Km².

Los rangos fueron tomados a partir de la tabla de densidad de drenaje de Delgadillo y Paéz (2008) siendo <1 baja, 1-2 moderada, 2-3 alta, >3 muy alta. En el mapa se puede evidenciar que la microcuenca presenta un predominio moderado en densidad de drenaje, seguida de densidades altas ubicadas en la zona centro-norte y al sur en la desembocadura de la microcuenca Honda

hacia el Río Amarillo, la densidad baja es casi nula y no se evidencian densidades muy altas (ver Figura 49).

4.8. Potencial Hidrogeológico según la Densidad de Drenaje

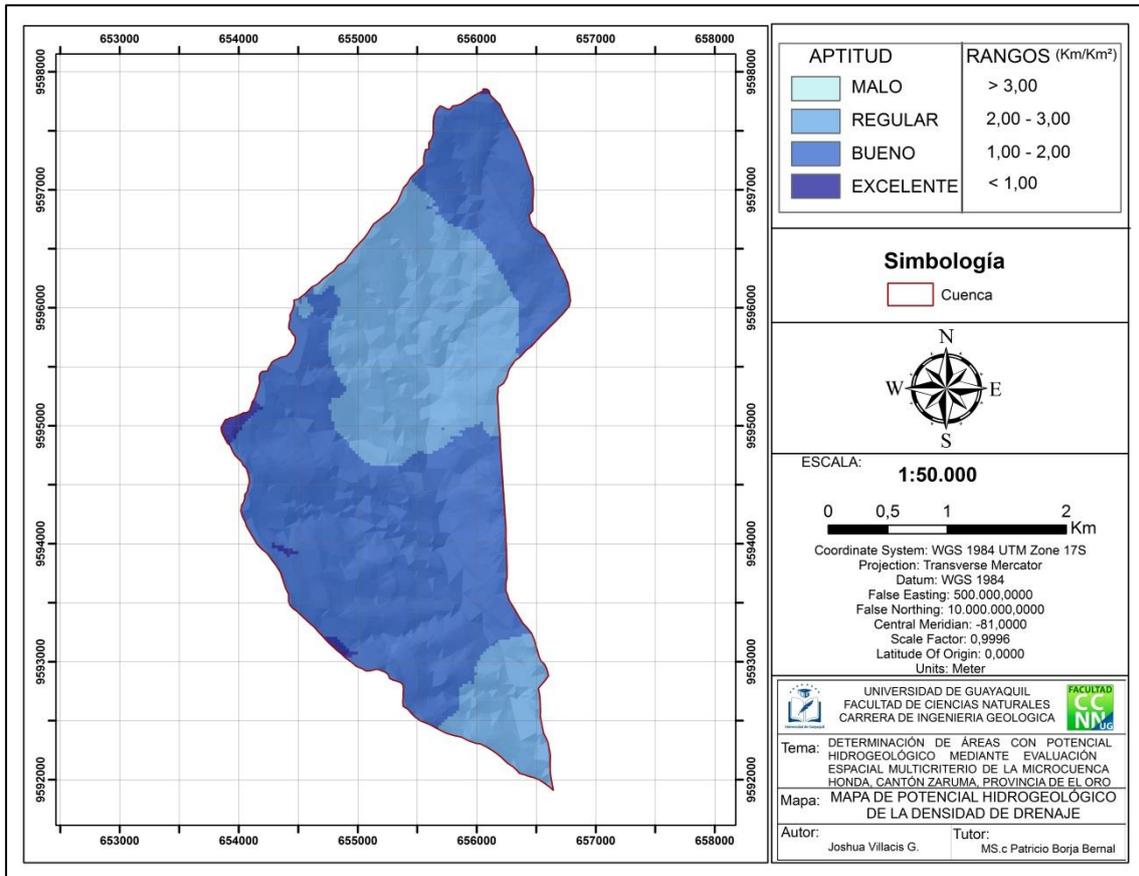


Figura 50. Mapa del Potencial Hidrogeológico según la Densidad de Drenaje. Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)

La importancia de la densidad de drenajes se relaciona con el potencial hidrogeológico que puede presentar la cuenca, debido a que mientras mayor sea la densidad de drenaje menor será la posibilidad de ocurrencia de agua subterránea, siendo que las zonas menor densidad provocan una mayor infiltración y disminuye la red de escorrentía superficial (Rahmati et al., 2015). También reflejan su influencia otros factores tales como la pendiente, geología y uso de suelo.

En el mapa se pueden observar dos grados de aptitud predominante, el potencial bueno, al tener una densidad de entre 1 a 2 km²/km² del área de la

cuenca y un área con grado de aptitud regular en la zona centro-norte y sur, representada con un color celeste oscuro (ver Figura 50).

4.9. Mapa de Uso de Suelo

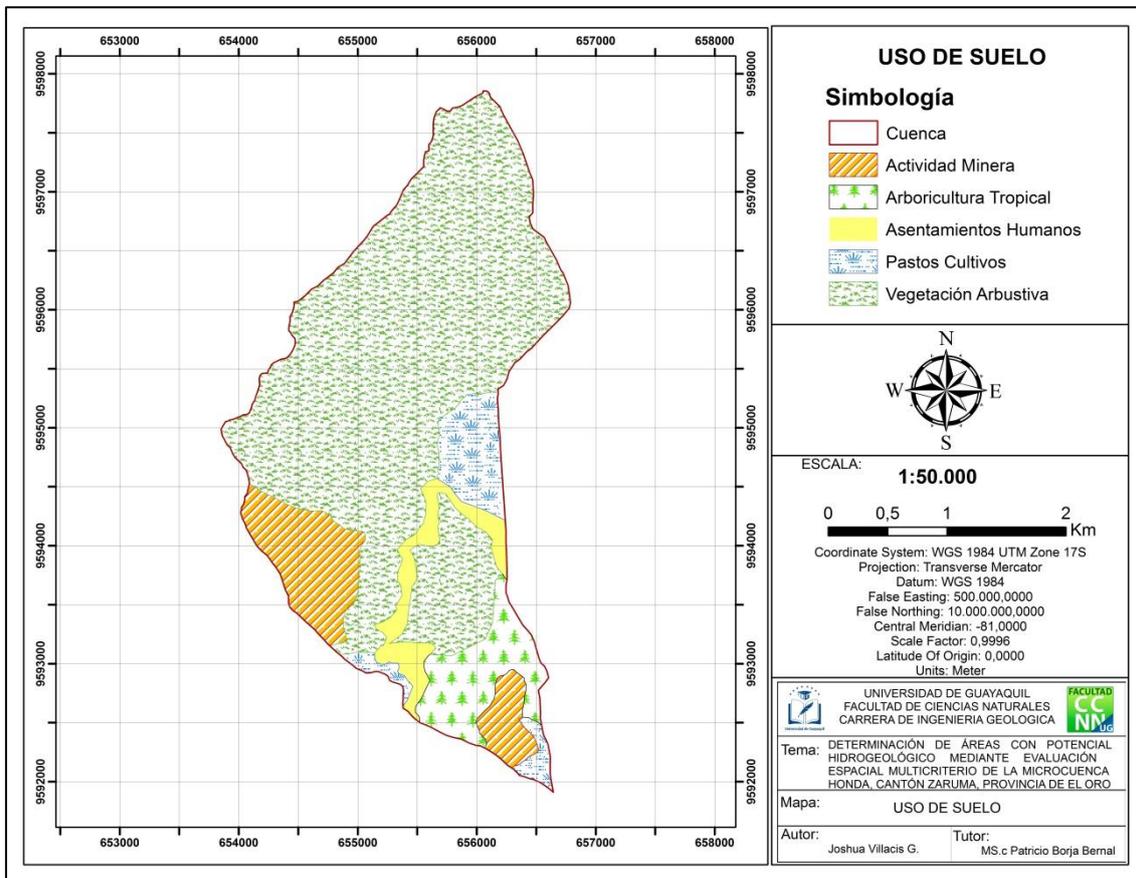


Figura 51. Mapa del Uso de Suelo. Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)

El mapa de uso de suelos se obtuvo de los datos de libre acceso de SIGTIERRAS: cobertura y uso de suelo, pero debido a la constante actividad humana en el sector se procedió a actualizar los datos mediante la fotointerpretación de imágenes Landsat 8 (Anexo 2), siendo estos corroborados en campo con toma de coordenadas en GPS y apreciación de campo.

La cobertura de suelo presente en la microcuenca Honda es de vegetación arbustiva, siendo la que mayor terreno abarca dentro de la cuenca, lo que se debe a la baja presencia de actividad minera y de cultivos. La expansión de la mancha urbana se ha desplazado a lo largo de la vía La Cocha-Roma (ver Figura 51).

4.10. Mapa de Potencial Hidrogeológico según el Uso de Suelo

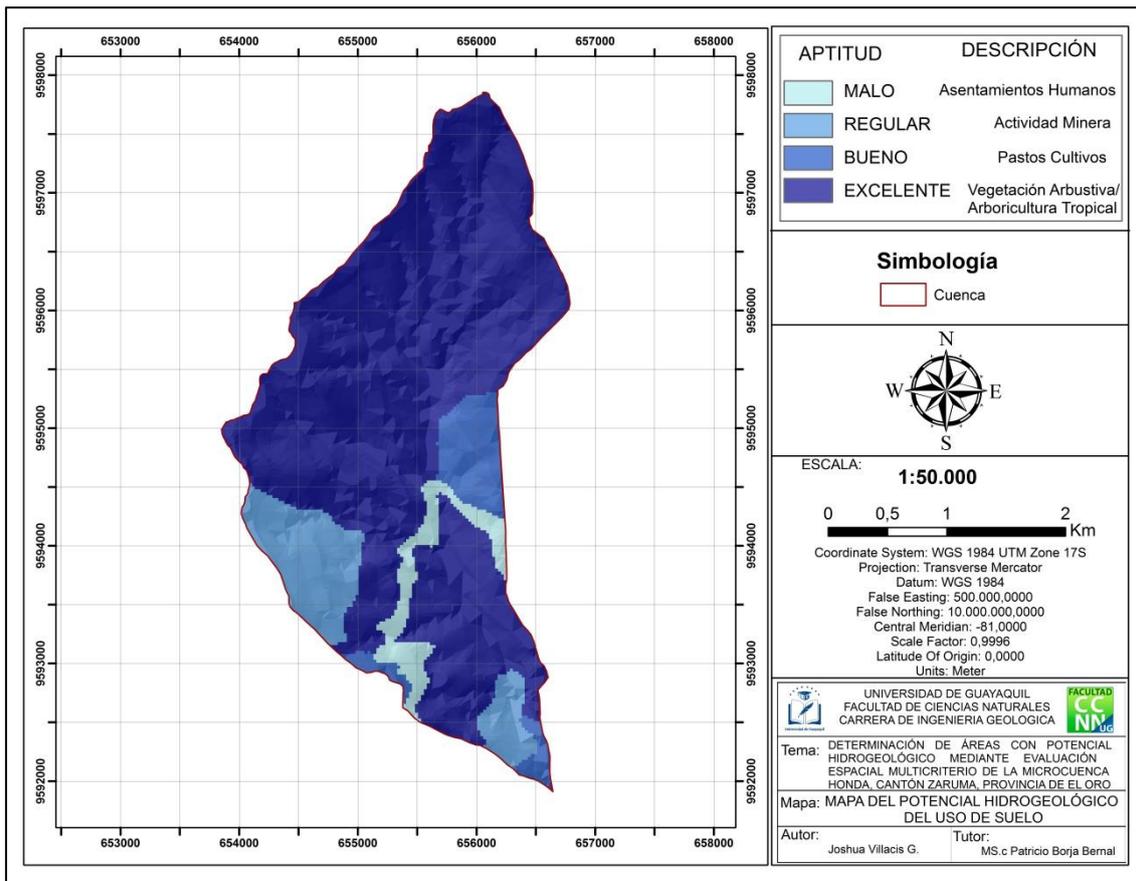


Figura 52. Mapa del Potencial Hidrogeológico según el Uso de Suelo Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)

El uso de suelo como factor se utilizó por su importancia en la entrada de agua al sistema hídrico, favoreciendo o disminuyendo la capacidad de infiltración, acumulación o migración, aportando a red de escorrentía superficial.

Tomando la referencia de diferentes autores (Masache, R., 2018 y Bravo, L., 2015) entre otros, se seleccionaron los pesos de los distintos usos superficiales y sub-superficiales dentro del área del estudio, obteniéndose un área excelente para infiltración como se observan en la Figura 52.

4.11. Mapa de Isoyetas

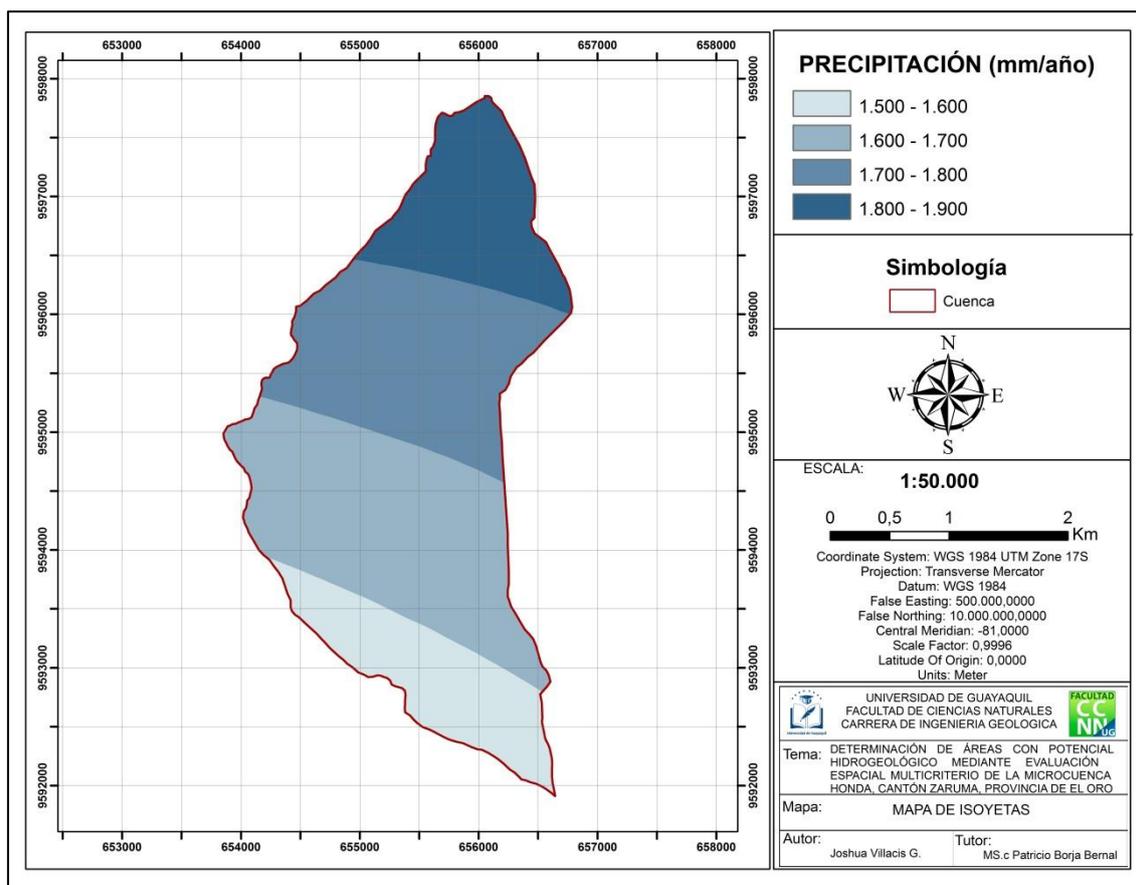


Figura 53. Mapa Isoyetas (precipitación anual) Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)

El mapa de isoyetas se realizó con datos de precipitación media anual solicitados al INHAMI, valor que se obtiene de las lluvias registradas durante los 12 meses del año, considerando los años 2009 al 2015 para la elaboración del mapa. La provincia de El Oro cuenta con un total de 35 estaciones meteorológicas de las cuales 9 estaciones se encuentran en un radio de 1 a 15 Km de distancia del área de estudio. El territorio de Zaruma alcanza una de las precipitaciones más altas de la provincia con una precipitación de 2064 mm/año.

En la Figura 53 se puede observar cómo las curvas de isoyetas indican que la precipitación aumenta en dirección S-N. Esto se puede deber también a la altitud ya que mientras mayor ésta sea, aumenta la precipitación, pues mientras las masas de aire ascienden disminuyen su temperatura y se enfrían, favoreciendo la condensación de agua y la producción de aguas lluvias. La zona

sur llega a los 720 m.s.n.m. mientras que la zona norte alcanza los 1900 m.s.n.m.

4.11. Mapa de Potencial Hidrogeológico según la Precipitación.

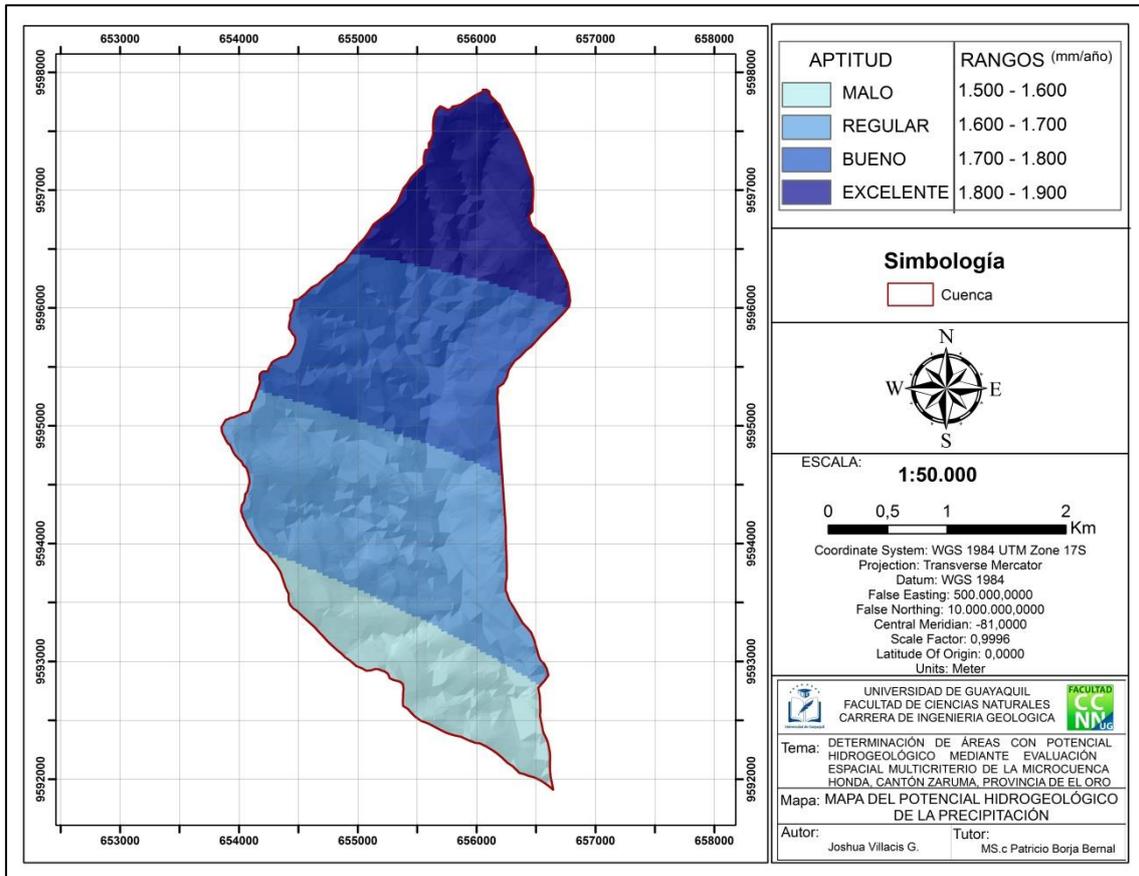


Figura 54. Mapa del Potencial Hidrogeológico según la Precipitación Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)

El mapa de potencial de precipitación se elaboró debido a que es un aporte hídrico directo sobre cuenca, que está delimitada por un sistema montañoso y elevaciones, compuestas por rocas ígneas de baja permeabilidad el cual impide que el flujo de agua de infiltre a cuencas vecinas. Las zonas de mayor altitud ubicada al norte presentan una precipitación más alta por la influencia de la altitud que se encuentra disminuyendo hacia el Sur (ver Figura 54).

4.12. Mapa de Textura de Suelo

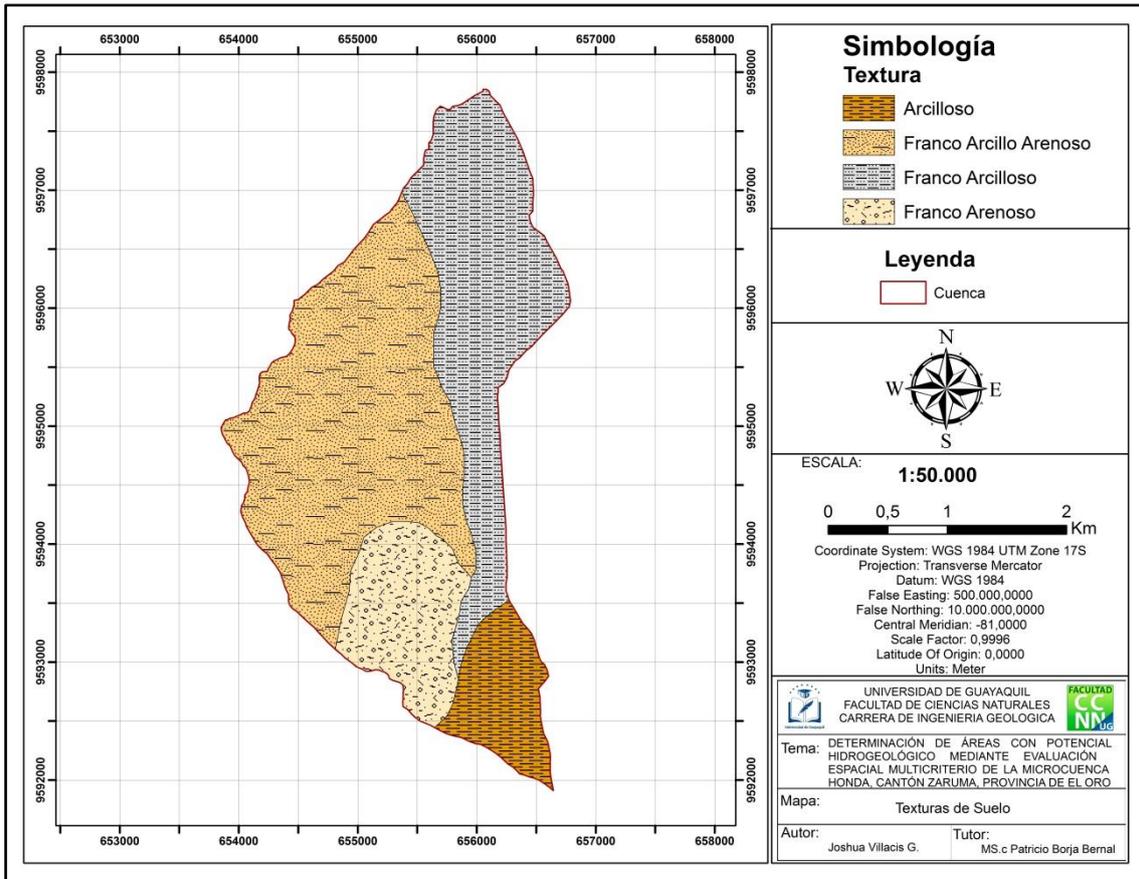


Figura 55. Mapa Textura de Suelo Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)

El mapa de textura de suelo se realizó en base a perforaciones manuales en campo y análisis en su composición textural por ensayos organolépticos en laboratorio de 11 muestras (ver Anexo 1). Para estos ensayos se decidió tomar como referente el horizonte B del suelo, al ser la zona de precipitación superpuesta sobre los horizontes de C o subsuelo.

Como se puede observar en la Figura 55 En la microcuenca se presentan 4 tipos de texturas que son: arcillosa en el sur de la microcuenca, franco arcillo-arenosa al Oeste, franco arcilloso al Este y franco arenoso al Sur-Oeste .

4.13. Mapa de potencial hidrogeológico según la Textura de Suelo

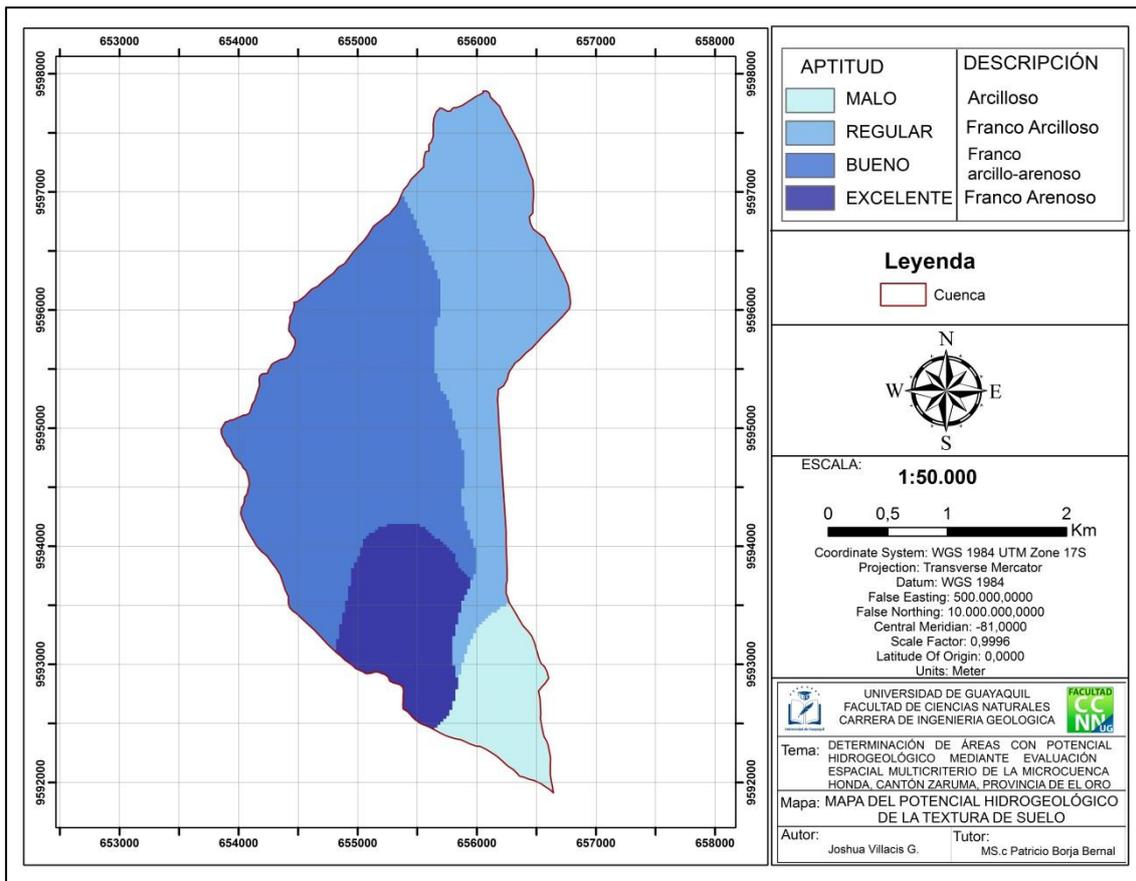


Figura 56. Mapa del Potencial Hidrogeológico de Textura de Suelo Escala 1:50000. Villacis, J., (2020)

La importancia de la textura de suelo se debe a la influencia directa que tiene con respecto a la permeabilidad, debido a que en texturas con mayor porcentaje de finos (arcilla y limos) la permeabilidad disminuirá, mientras que al tener mayor cantidad de granos gruesos (arenas) la permeabilidad aumentará. Los grados de aptitud seleccionados se basaron en la clasificación hecha por Ciancaglini-Prosap, I. (2009). En la Figura 56 se observa la distribución de los grado de aptitud siendo Excelente al sur-oeste, Bueno en el Este, Regular en el oeste y al norte y Malo al sur de la microcuenca.

4.14. Mapa Litológico

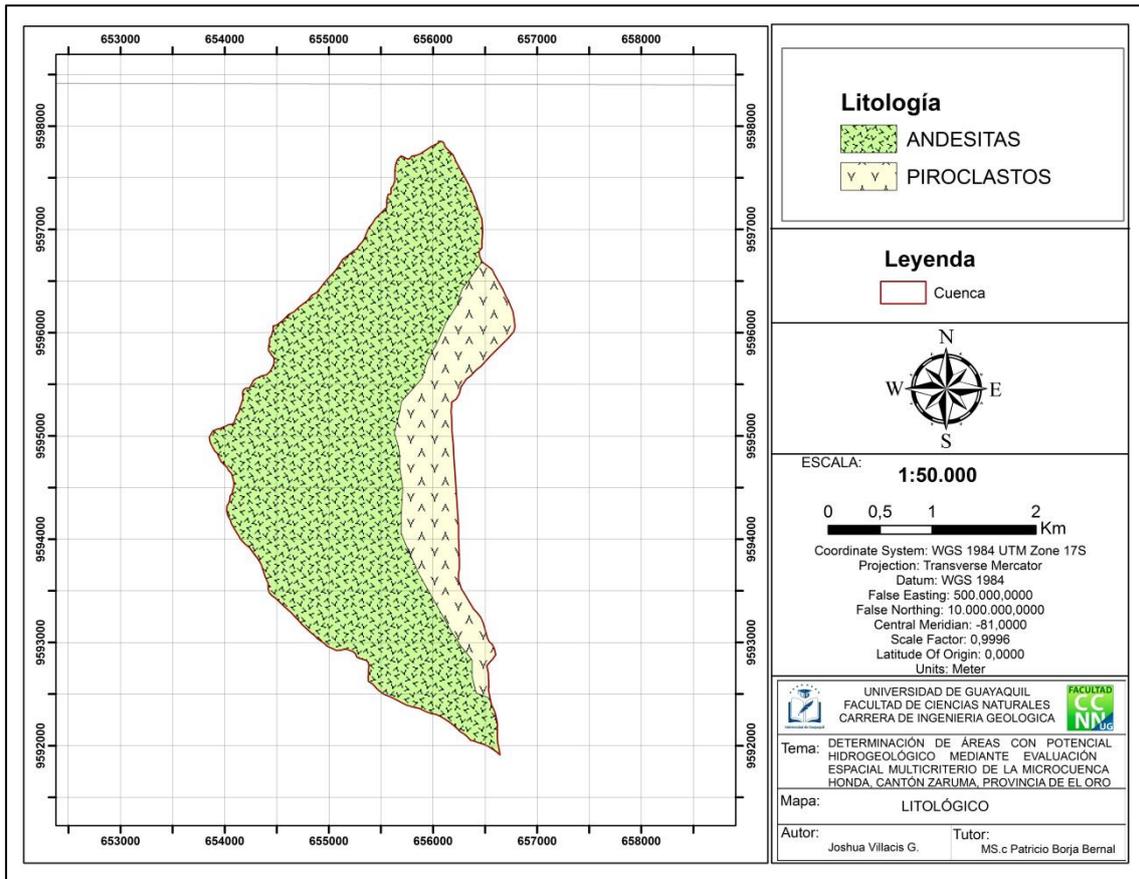


Figura 57. Mapa Litológico Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)

La elaboración del mapa litológico se realizó a partir de descripción de afloramientos y reconocimientos de roca en campo. En la Figura 57 se evidencian 2 tipos de litologías dentro de la microcuenca: rocas andesitas, que abarcan mayor extensión en el terreno y piroclastos ubicados en el flanco Este, ambas litologías pertenecen a la Unidad Portovelo del Eoceno. Los contactos fueron marcados mediante la evidencia de afloramientos en campo e interpretación de imágenes aéreas escala 1:5000.

4.15. Potencial Hidrogeológico según la Litología

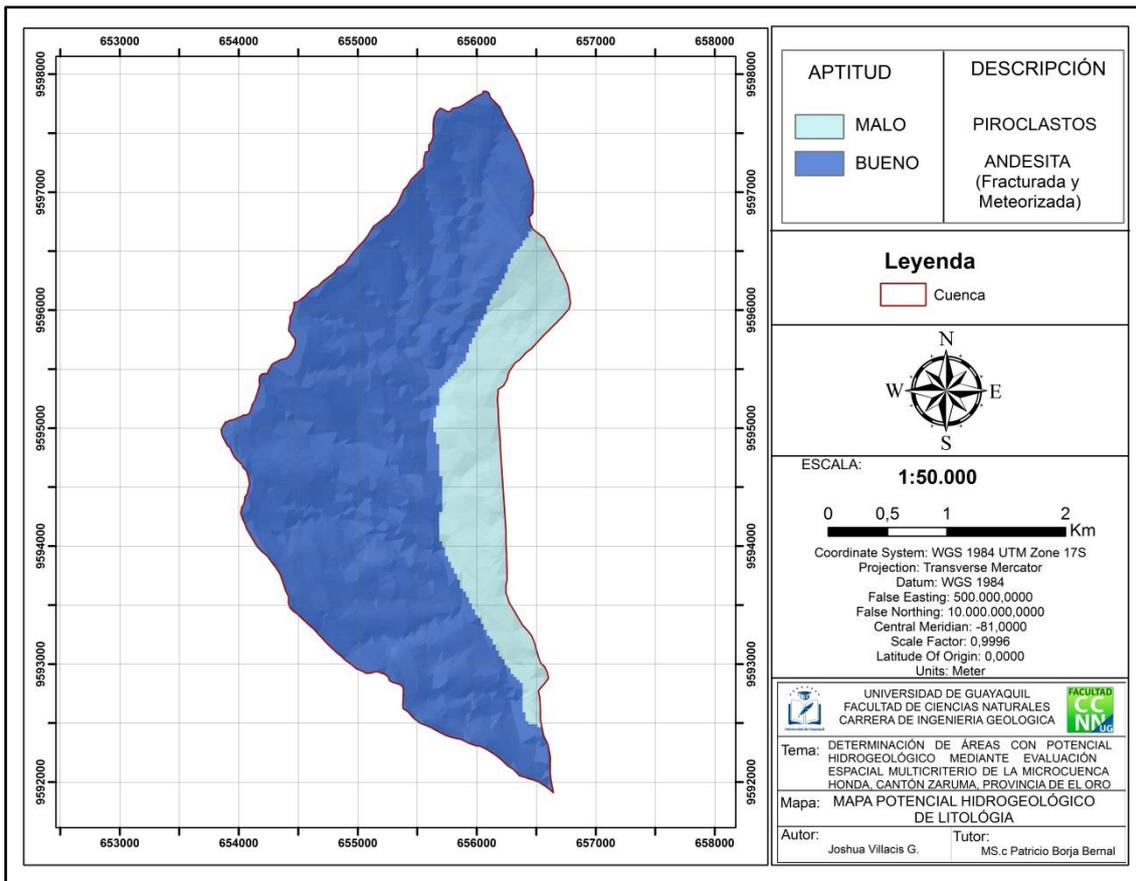


Figura 58. Mapa del Potencial Hidrogeológico según la litología Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)

El agua subterránea en la microcuenca circula sobre un sistema fisurado, donde los drenajes se emplazan a lo largo de este sistema de fallas y familias de diaclasas, por lo cual la permeabilidad de la roca depende del volumen y la porosidad de fracturas que estas presenten. A su vez la tectónica sufrida en la zona, en conjunto con los procesos de alteración, tiende a caracterizar la hidrogeología en la zona.

El Figura 58 se visualizan 2 grados de aptitud, siendo las andesitas las que presentan un mayor grado aptitud al tener un alto índice de fracturas, alteración, familias de diaclasas y con el valor agregado de haberse evidenciado surgencias de agua a partir del fracturas del macizo rocoso, mientras que a las rocas piroclásticas se las clasificó como de bajo grado debido a una menor presencia de meteorización, con presencia de alteración sílice y menor intensidad de fracturas en los afloramientos.

4.16. Mapa de la Velocidad de Infiltración

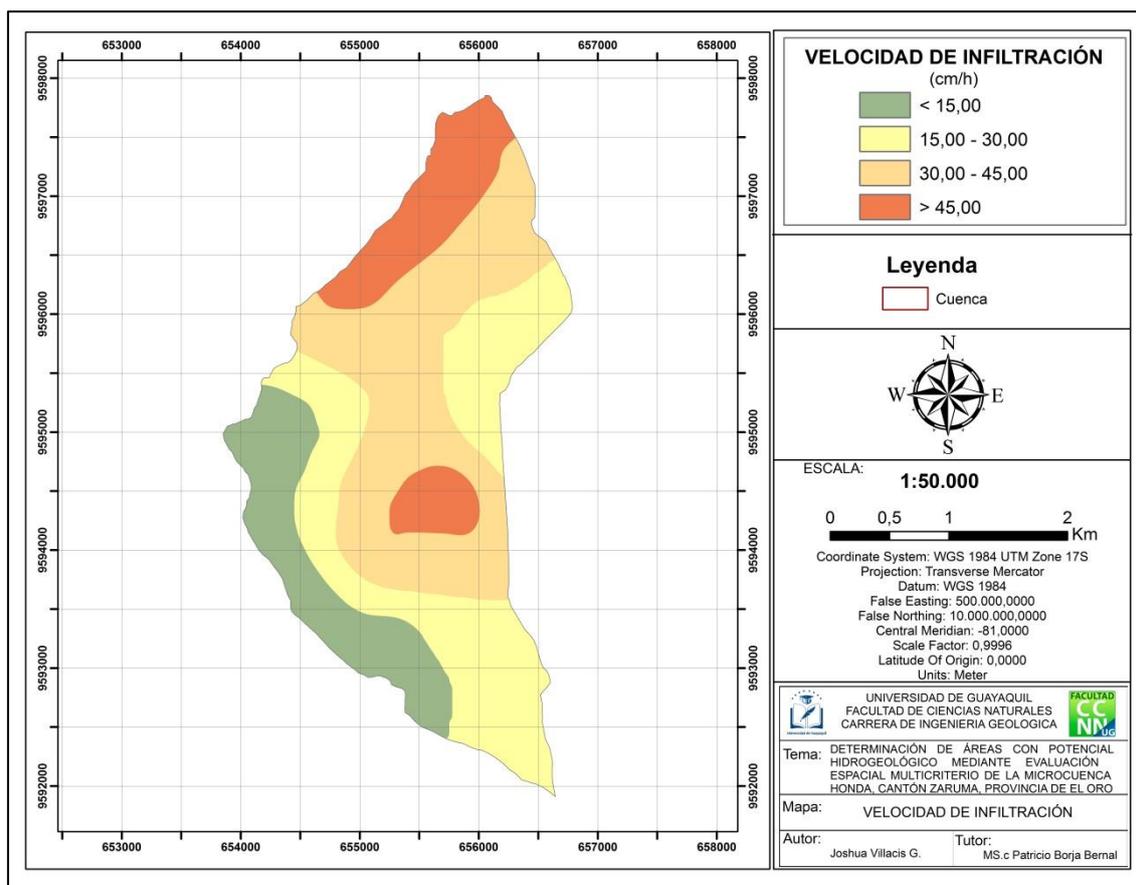


Figura 59. Mapa de Velocidad de Infiltración Instantánea Escala 1:50000.

Villacis, J. (2020)

El mapa realizado de infiltración corresponde a la velocidad de infiltración instantánea (cm/h) por el método de doble anillo y calculada con las fórmulas de Kostiakov, de 11 ensayos de infiltración realizados in-situ en la microcuenca (ver anexo 1), siendo estos interpolados por un IDW (Inverse distance weighting) y clasificados según las normas IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) en 1990 (ver Anexos 3-14).

Como se observa en la Figura 59 el mapa de velocidad de infiltración presenta velocidades menores a 15cm/h en el franco sur-oeste, siendo el área con menor capacidad, aumentando su velocidad hacia el centro de la cuenca, con velocidades que ascienden de los 15 hasta mayores de 45 cm/h. Esta tendencia de alta velocidad se mantiene en la zona céntrica y norte de la microcuenca.

4.17. Potencial Hidrogeológico según la velocidad de infiltración

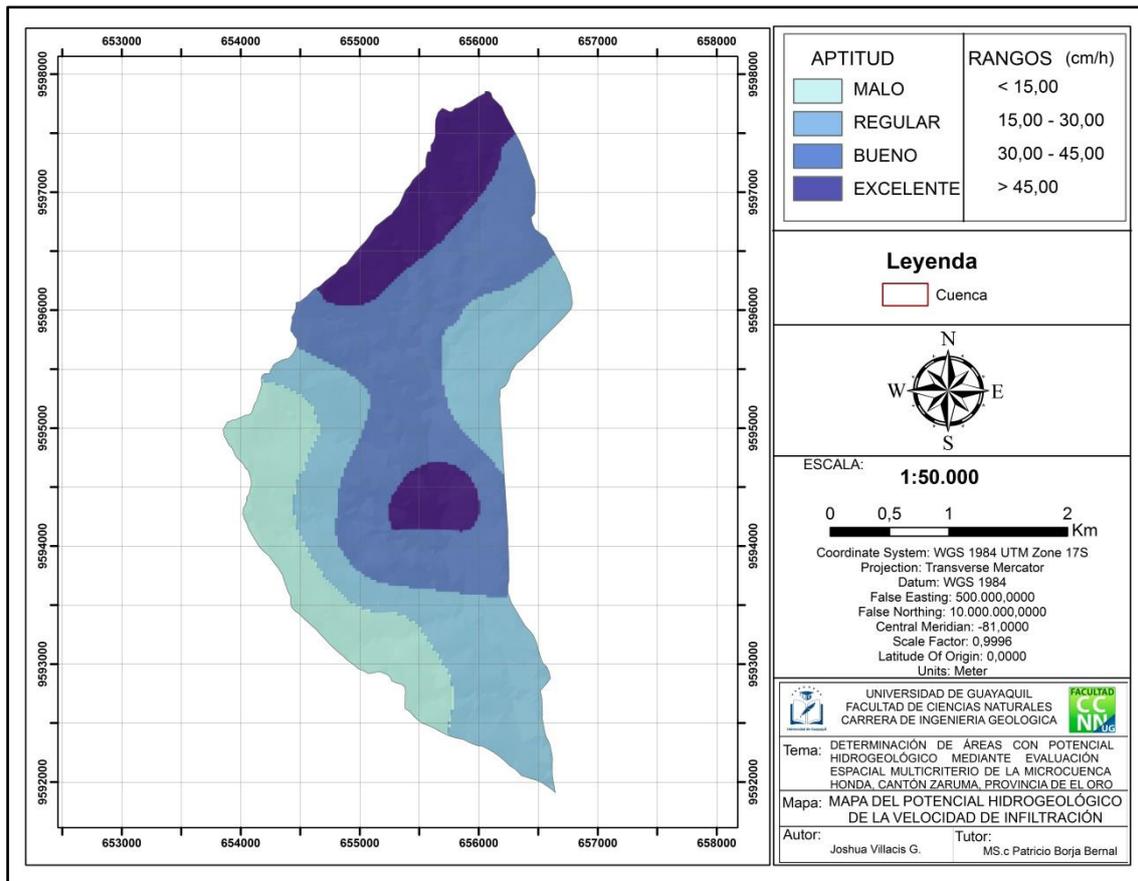


Figura 60. Mapa del Potencial Hidrogeológico según la Velocidad de Infiltración
 Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)

La importancia de la velocidad de infiltración y por el que se realizó el ensayo fue para conocer la capacidad de agua que se puede infiltrar por unidad de tiempo en el suelo en condiciones de campo e indicar el comportamiento del agua conforme vaya ingresado al suelo, ocupando los espacios porosos. Martínez (1981).

La Figura 60 muestra las zonas con un excelente potencial hidrogeológico las cuales se encuentran ubicadas en la zona noroeste y centro, seguidas de un buen potencial en la zona central, mientras las velocidades de infiltración en la microcuenca van disminuyendo hacia los flancos Este y oeste, manteniéndose regular hacia el sur. Estos cambios de velocidades pueden deberse a 4 factores: la capacidad de entrada de agua superficial, transmisión a través del suelo, capacidad de almacenamiento disponible en el suelo y características del suelo y agua.

4.18. Potencial Hidrogeológico de la Microcuenca Honda

Con la superposición de los 7 factores seleccionados se obtuvo como resultado final el Mapa de potencial hidrogeológico de la microcuenca Honda (ver Figura 61). En las 929,594 Ha del área de estudio se obtuvieron los siguientes grados de aptitud: Aptitud Mala con un 18,03% con un área de 167,566 Ha. Aptitud Regular ocupando un 34,86% con 324,104 Ha. Aptitud Buena obteniendo un 35,71% abarcando 331,975 Ha y como un Grado de aptitud Excelente se obtuvo un 11,40%, con una extensión de 105,949 Ha.

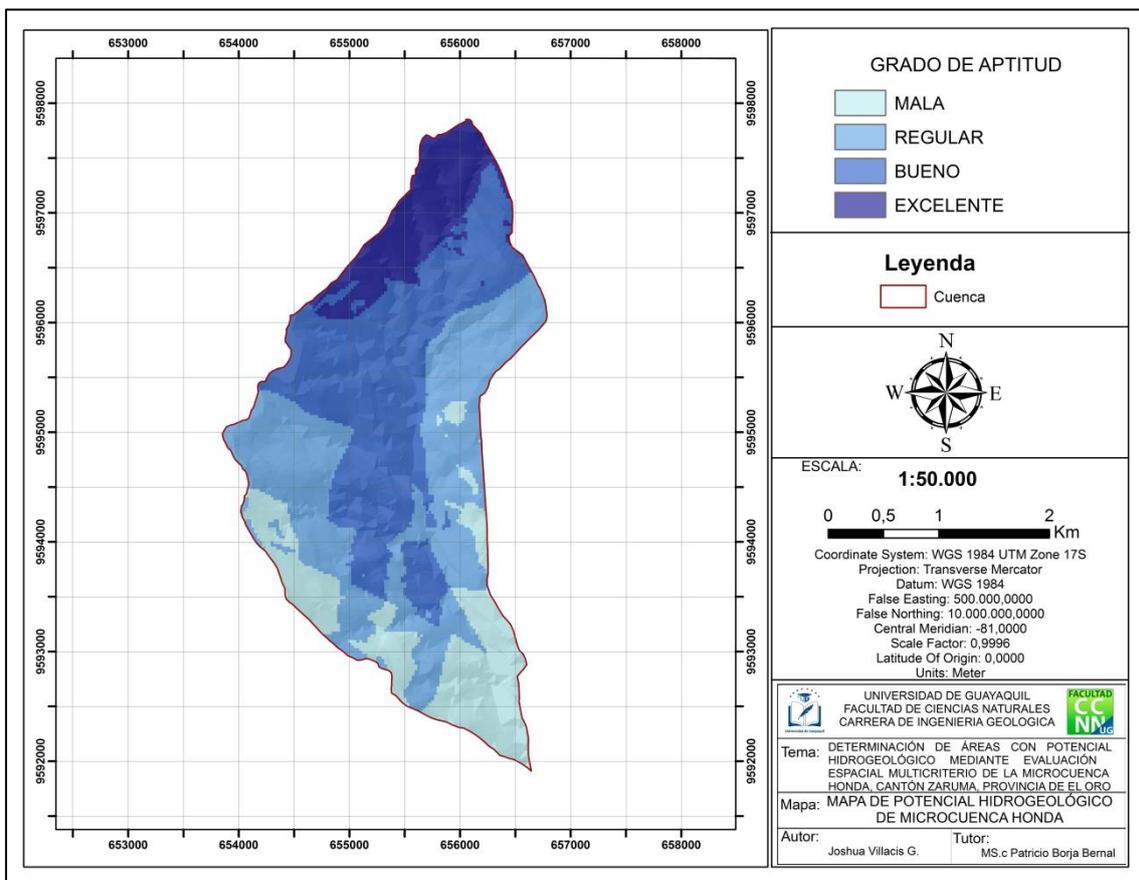


Figura 61. Mapa del Potencial Hidrogeológico de la Microcuenca Honda Escala 1:50000. Villacis, J. (2020)

CAPITULO 5:

5. Discusión

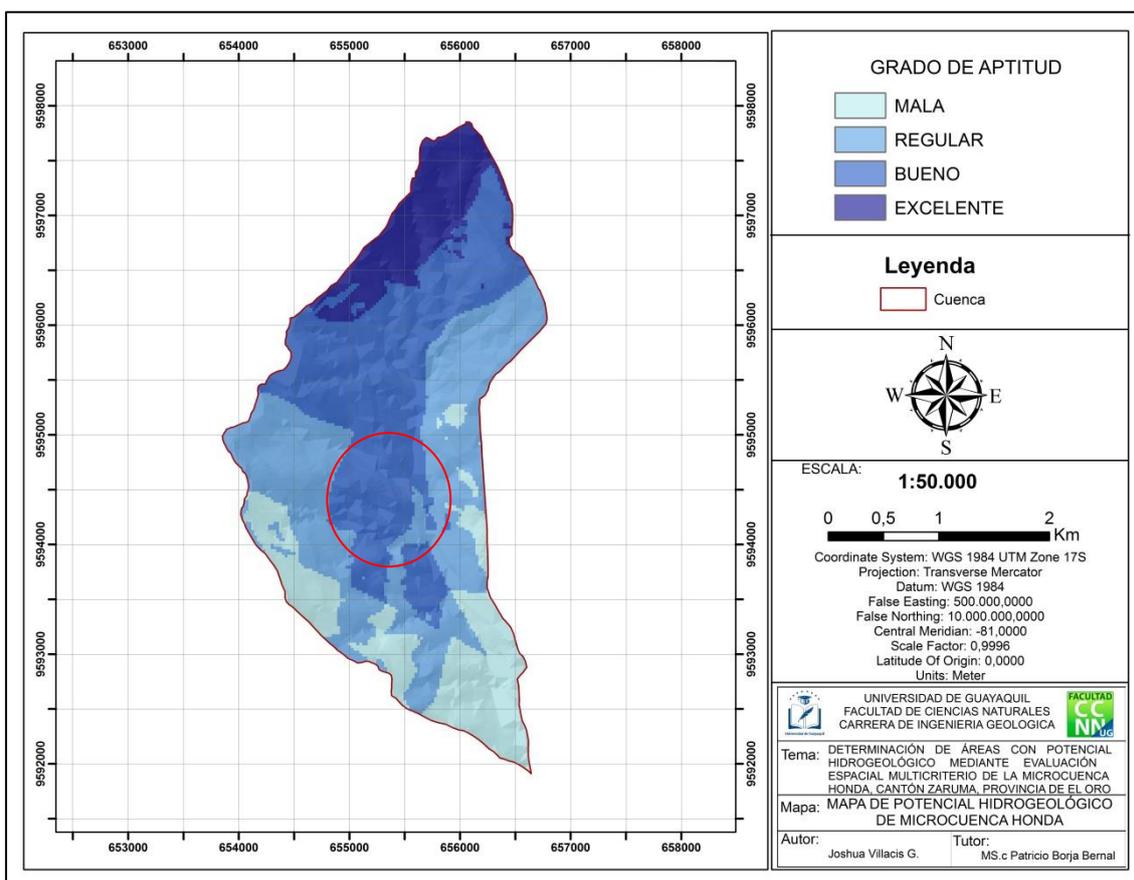


Figura 62. Selección de área para la prospección inicial de agua subterránea y surgencia de agua.

Como se muestra en la Figura 62, se seleccionó el área demarcada con un aura roja debido a las condiciones físicas y morfológicas de la cuenca, pues al ser un área con grado de aptitud BUENA y una zona céntrica donde convergen la mayor cantidad de tributarios, con evidencias de surgencias de agua del macizo rocoso, esto indicaría la cercanía del área de recarga, además de ser a su vez una zona de liberación del acuífero, lo que ayuda al aporte hídrico de la red de escorrentía superficial. La zona con grado de aptitud excelente no fue seleccionada como la más óptima debido a que el agua puede migrar a zonas más bajas (ver anexos 25 y 33) por acción del fracturamiento y considerando el comportamiento del sistema hidrogeológico de la zona. (Ver Figura 6.)

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se realizó la prospección inicial cartográfica que permite orientar los trabajos de campo a la búsqueda de recursos hídricos.
- El área de estudio se encuentra conformada por andesitas porfídicas y volcanoclastos andesíticos con alteración silíceo de la Unidad Portovelo.
- Se identificaron 4 texturas de suelo en la cuenca mediante el muestreo de Hand-Auger y ensayos organolépticos: arcillosa, franco arcillosa, franco arcillo-arenosa y franco arenosa (ver anexo 23).
- La humedad natural de los suelos en la cuenca tiene un promedio de 14,50% de saturación de agua correspondiente a 8,54 ml de agua promedio contenida en los suelos (ver anexo 22).
- Los suelos de la cuenca presentan una velocidad de infiltración de moderada a rápida, con valores desde los 7 cm/h los que permiten una mayor percolación, sobrepasando los 45 cm/h.
- La microcuenca no presenta acumulación de agua superficial o manantiales en las zonas altas, y se evidencia que además del factor de precipitación, es la migración y expulsión de agua del macizo rocoso lo que aporta una constante recarga hídrica sobre la red de esorrentía superficial o de drenaje.
- Mediante el análisis de evaluación espacial multicriterio se obtuvo un grado de aptitud en potencial hidrogeológico para la prospección de aguas subterráneas de Excelente para el 11,40% del área, y Buena para el 35,71%. Dichas áreas presentan evidencias en campo de surgencias de agua a partir del fracturamiento del macizo rocoso.

- Los factores de precipitación, velocidad de infiltración, textura de suelo, litología, uso de suelo, densidad de drenaje, pendiente permitieron de forma eficaz detectar el potencial hidrogeológico para la prospección de aguas subterráneas en la zona de estudio, mediante la modelización y uso de información cartográfica y aplicación de evaluación multicriterio.

Recomendaciones

- Realizar un modelo de evaluación multicriterio para definir el potencial hídrico superficial de la cuenca, esto debido a las surgencias y captación de agua artesanal para el uso doméstico, agrícola y ganadero.
- Debido a las actividades de minería que se extienden a lo largo de la ciudad de Zaruma se recomienda realizar estudios de calidad de agua que contiene la cuenca, sea superficial o sub-superficial.
- Determinar las velocidades de captación superficial mediante aforos volumétricos en los tributarios de la microcuenca Honda, que definan el comportamiento y aporte de agua a la red hídrica principal, lo que ayudaría a identificar las zonas con mayor expulsión de agua.
- La zonificación de áreas con potencial de recarga hidrogeológica, indicaría las zonas con perspectivas de protección y conservación ambiental para el cuidado de posibles acuíferos, lo que ayudaría a considerar el recurso hídrico en la gestión territorial de la zona.

7. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍAS

Barrigas, Z., & Pilamunga Andersson. (2017). Velocidad de infiltración del agua en el sub-suelo de las comunidades Tiquibuzo y San Jose de la comuna, pertenecientes a la parroquia chillanes, cantón chillanes, provincia de bolivar, asociado a la granulometria y a la textura de sus componentes. Tesis.

Bonilla, W. (2009). Metalogenia del Distrito Minero Zaruma-Portovelo República del Ecuador. Universidad de Buenos Aires.

Bravo, L., Sáenz, D., Alatorre, L. (2015). Identificación de áreas potenciales de recarga hídrica al acuífero cuauhtémoc (chihuahua), mediante una evaluación espacial multi-criterio.

Buytaert, W., Celleri, R., Willems, P., De Beivre, B., and Wyseure, G. (2006). "Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes." *J. Hydrol. (Amsterdam, Neth.)*, 329, 413–421.

Cox., C. (2006). Determinación de la Conductividad Hidráulica en la Zona No Saturada con el Infiltrómetro de Anillo.

Dolores D, & Gabriel, J (2018). Delimitación Hidrográfica y Caracterización Morfométrica de la Cuenca del Río Anzulón.

Donis, L. (2015). Identificación de Zonas de Recarga Hídrica en la Microcuenca del Río Negro, Ciudad de Guatemala. Guatemala de la Asunción: Universidad Rafael Landívar.

Fenton, O., Vero, S., Ibrahim, T. G., Murphy, P. N. C., Sherriff, S. C., Ó Huallacháin, D., ... INTA EEA San Juan Ing Agr Nicolás Ciancaglini-Prosap, I. (2009). R-001-Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico.

GAD ZARUMA. (2014). Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Zaruma, el oro. Recuperado de: app.sni.gob.ec/PGDOT_Zarumadiagnostico5nov2014_15-11-2014

GISSIBERICA (2014). Equipos de precisión para toma de muestras.

Hsin-Fu, Y., Cheng-Haw, L., Kuo-Chin, H., & Po-Hsun, C. (2009). Gis for the assesment of the grounwater recharge potential zone. *Environmental Geology*, 58, 185–195

IGAC, 1990, Propiedades Físicas de los suelos, Bogotá, 813 p.

INIGEMM. (2014). Proyecto "Modelo piloto para la determinación del potencial geológico-mineralógico de las zonas Zaruma y Cariamanga a escala 1:100000".

Kamel, M., Youssef, M., Hassan, M., Bagash, F., 2016, Utilization of ETM+ Landsat data in geologic mapping of wadi Ghadir-Gabal Zabara area, Central Eastern Desert, Egypt, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* (2016) 19, 343–360

Lizcano Toledo, R., Oliviera Viciado, D., Saveedra Mora, D., Machado Cuellar, L., Valencia, E., Moreno Pérez, M., & Flórez, M. (2017). Muestreo de suelos, técnicas de laboratorio e interpretación de análisis de suelos.

MAGAP SIGTIERRAS. (2016). Proyecto: Levantamiento de Cartografía Temática a escala 1:25.000 Lote 2.

Matus, O., Faustino, J., & Jiménez, F. (2009). Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Matus, O., Faustino, J., Jiménez. (2007). Metodología para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas. Validación en la subcuenca del Río JUCUAPA. Nicaragua.

Montaño, J., Collazo, M., Martinez, S., Guerequiz, R., (2000). Caracterización hidrogeológica de sistemas fisurados punta espinillo (Uruguay).

Osorio, J., & Orejuela, j., (2008). EL PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP) Y LA TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO. EJEMPLO DE APLICACIÓN. Recuperado de:

<https://www.redalyc.org/pdf/849/84920503044.pdf>

Paladines, A., & Soto, J. (2010). Geología y yacimientos minerales del Ecuador (1st ed., p. 159). Loja, Ecuador: UTPL.

Pedrero, F., Albuquerque, A., Marecos do Monte, H., Cavaleiro, V., & Alarcón, J. J. (2011). Application of GIS-based multi-criteria analysis for site selection of aquifer recharge with reclaimed water. *Resources, Conservation and Recycling*, 56(1), 105–116.

Rahman, M. A., Rusteberg, B., Uddin, M. S., Lutz, A., Saada, M. A., & Sauter, M. (2013). An integrated study of spatial multicriteria analysis and mathematical modelling for managed aquifer recharge site suitability mapping and site ranking at Northern Gaza coastal aquifer. *Journal of Environmental Management*, 124, 25–39.

Remigio H. (2000). Informe nacional sobre la gestión del agua en el Ecuador.

SAATY, T.L. (1977): A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15, 234-281

SAATY, T.L. (1987): Rank generation, preservation and reversal in the analytic hierarchy process. *Decision Science* 18, 157-177.

SAATY, T.L. (1990): An exposition of the AHP. In reply to the paper "Remarks on the analytic hierarchy process". *Management Science* 36(3), 259-268

Sáenz, A. (2015, mayo). Localización de zonas con potencial de recarga hídrica mediante infiltración natural en el acuífero Bustillos. (Tesis). Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Cuauhtémoc Chihuahua.

Sánchez, R. 2001. La toma de decisiones con múltiples criterios. Un resumen conceptual y teórico de Planificación y Gestión, Universidad Mayor de San Simón.

Schoelzel C and Friederichs P (2008) Multivariate normally distributed random variables in climate research—Introduction to the copula approach. *Nonlinear Processes in Geophysics* 15(5): 761–772.

Schosinsky, G. (2006). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un Balance de suelos. *Revista Geológica de América Latina*. Universidad de Costa Rica.

Scott D (1992) *Multivariate Density Estimation: Theory, Practice, and Visualization*. New York: Wiley, 317.

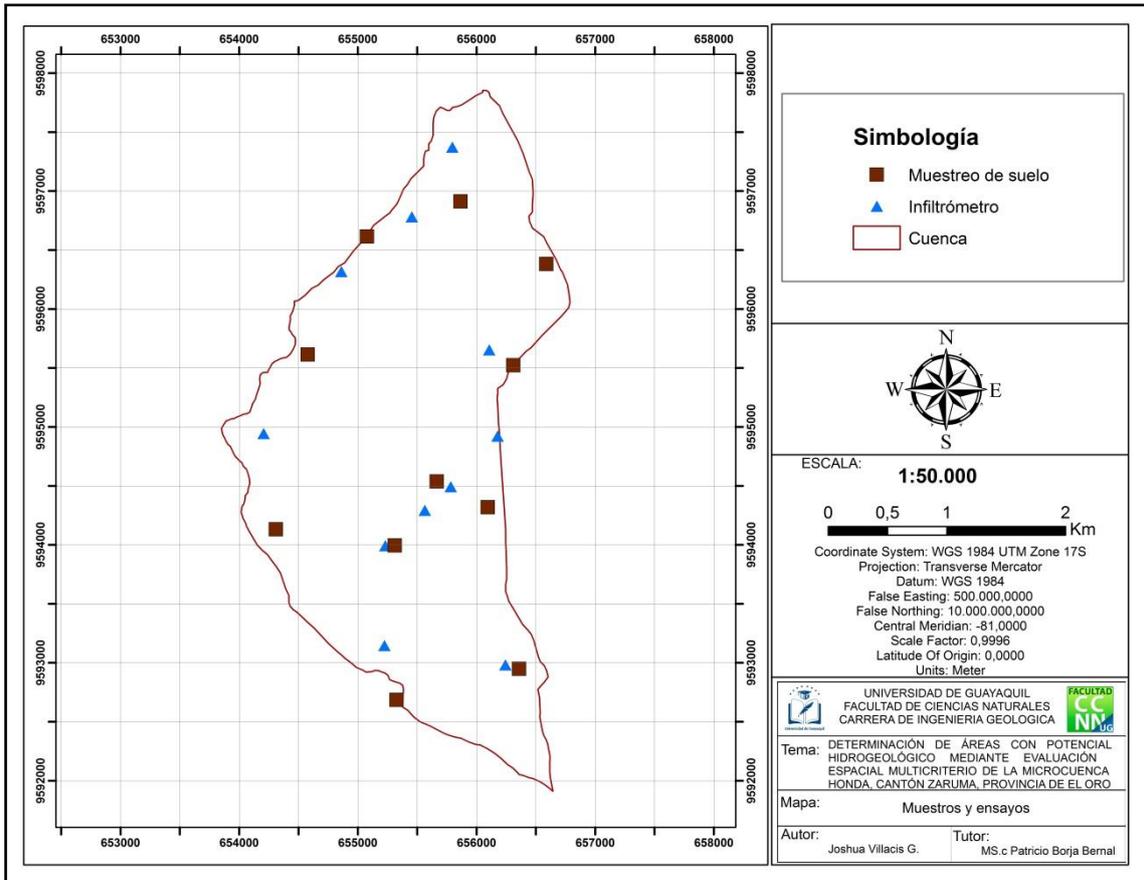
Simeone, J. (2012). Analisis de tamaño de partículas por tamizado en agregado fino y grueso y determinación de material más fino que el tamiz no. 200 (75 μm) en agregado mineral por lavado.

Teeuw, R. M. 1995. Groundwater exploration using remote sensing and a low-cost geographical information system. *Hydrogeology Journal*, 3(3), 21-30. Recuperado de:<https://doi.org/10.1007/s100400050057>.

Tutiven, J. (2017). Determinación de las asociaciones minerales con contenido de oro en la veta hidrotermal del distrito minero Zaruma-Portovelo. Tesis de Grado. Universidad de Guayaquil Recuperado de: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/34182>

VÉLEZ, M., VÉLEZ., J. 2002. Capítulo 8: Infiltración. Universidad Nacional de Colombia, Unidad de Hidráulica. Recuperado a partir de: <http://poseidon.unalmed.edu.co/materias/hidrologia.html>

8. ANEXOS

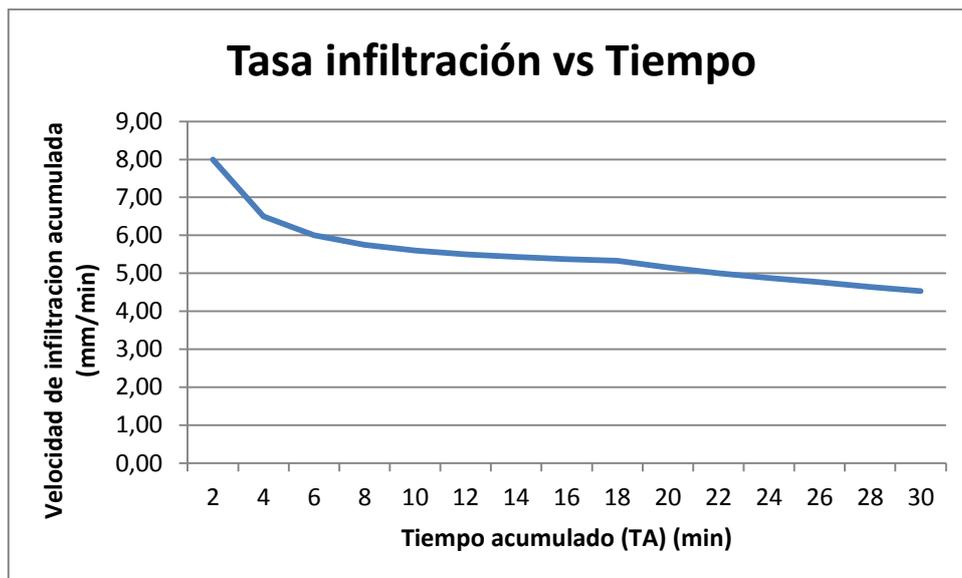


ANEXO 1. Mapa de datos reales de muestreos y ensayos de campo.



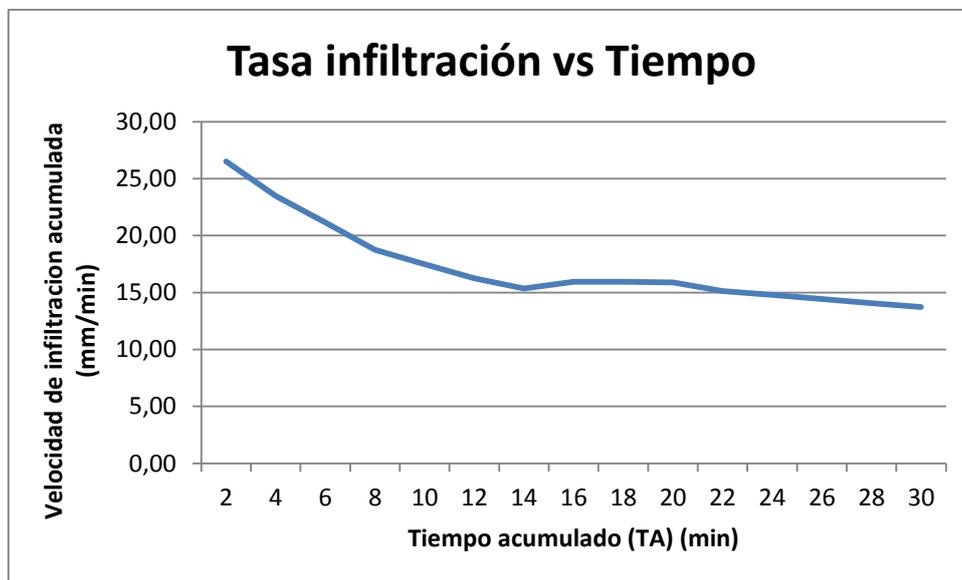
ANEXO 2. Imagen Landsat 8 ATMOSPHERIC REMOVAL con banda espectral 7, 5,3.

P1			656107	9595654			
Lectura nº (hora)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (TA) (min)	Lámina infiltrada en el intervalo (mm)	Lámina acumulada (mm)	Velocidad de infiltración acumulada (mm/min)	Velocidad de infiltración (mm/h)	velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
9:06	2	2	16	16	8,00	480,00	48,00
9:08	2	4	10	26	6,50	300,00	30,00
9:10	2	6	10	36	6,00	300,00	30,00
9:12	2	8	10	46	5,75	300,00	30,00
9:14	2	10	10	56	5,60	300,00	30,00
9:16	2	12	10	66	5,50	300,00	30,00
9:18	2	14	10	76	5,43	300,00	30,00
9:20	2	16	10	86	5,38	300,00	30,00
9:22	2	18	10	96	5,33	300,00	30,00
9:24	2	20	7	103	5,15	210,00	21,00
9:26	2	22	7	110	5,00	210,00	21,00
9:28	2	24	7	117	4,88	210,00	21,00
9:30	2	26	7	124	4,77	210,00	21,00
9:32	2	28	6	130	4,64	180,00	18,00
9:34	2	30	6	136	4,53	180,00	18,00
V.I							19,00



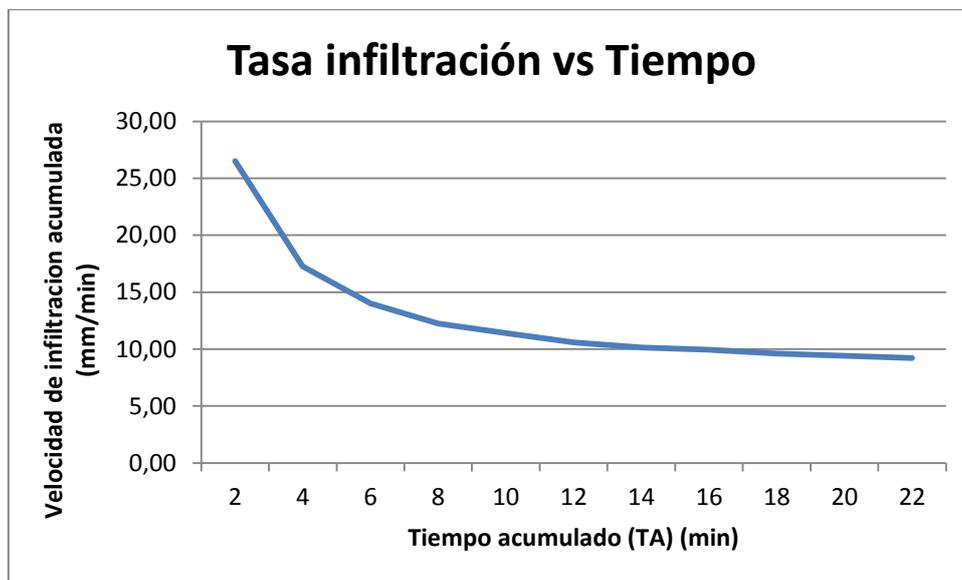
ANEXO 3. ENSAYO DE INFILTRACIÓN #1

P2		655782	9594493				
Lectura nº (hora)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (TA) (min)	Lámina infiltrada en el intervalo (mm)	Lámina acumulada (mm)	Velocidad de infiltración acumulada (mm/min)	Velocidad de infiltración (mm/h)	Velocidad de infiltración
11:43	2	2	53	53	26,50	1590,00	159
11:45	2	4	41	94	23,50	1230,00	123
11:47	2	6	33	127	21,17	990,00	99
11:49	2	8	23	150	18,75	690,00	69
11:51	2	10	25	175	17,50	750,00	75
11:53	2	12	20	195	16,25	600,00	60
11:55	2	14	20	215	15,36	600,00	60
RECARGA							0
11:57	2	16	40	255	15,94	1200,00	120
11:59	2	18	32	287	15,94	960,00	96
12:01	2	20	31	318	15,90	930,00	93
12:03	2	22	15	333	15,14	450,00	45
12:05	2	24	22	355	14,79	660,00	66
12:07	2	26	20	375	14,42	600,00	60
12:09	2	28	19	394	14,07	570,00	57
12:11	2	30	18	412	13,73	540,00	54
V.I							57,00



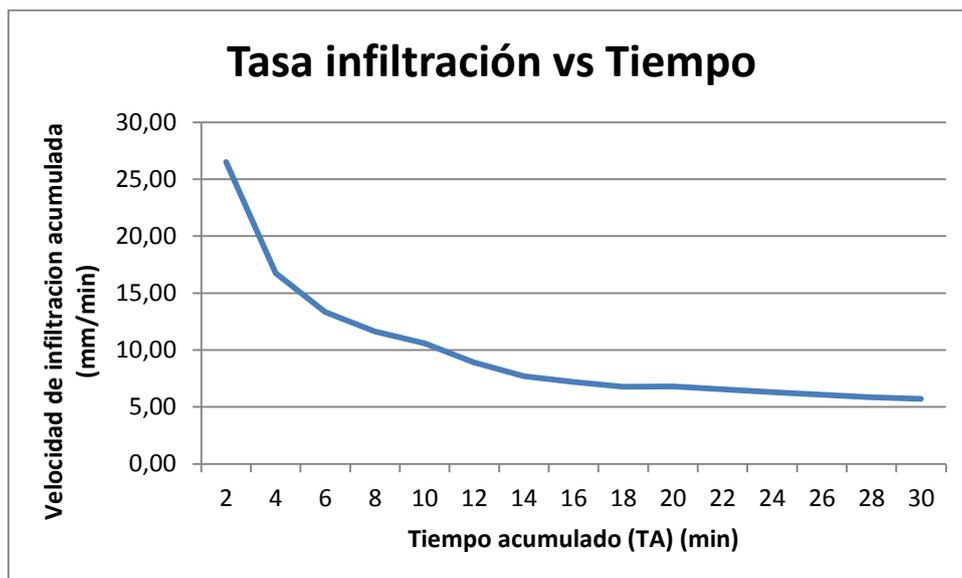
ANEXO 4. ENSAYO DE INFILTRACIÓN #2

P3			655231	9593993			
Lectura nº (hora)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (TA) (min)	Lámina infiltrada en el intervalo (mm)	Lámina acumulada (mm)	Velocidad de infiltración acumulada (mm/min)	Velocidad de infiltración (mm/h)	velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
9:33	2	2	17	53	26,50	510,00	51,00
9:35	2	4	16	69	17,25	480,00	48,00
9:37	2	6	15	84	14,00	450,00	45,00
9:39	2	8	14	98	12,25	420,00	42,00
9:41	2	10	16	114	11,40	480,00	48,00
9:43	2	12	13	127	10,58	390,00	39,00
9:45	2	14	15	142	10,14	450,00	45,00
9:47	2	16	17	159	9,94	510,00	51,00
9:49	2	18	14	173	9,61	420,00	42,00
9:51	2	20	15	188	9,40	450,00	45,00
9:53	2	22	15	203	9,23	450,00	45,00
V.I							44,00



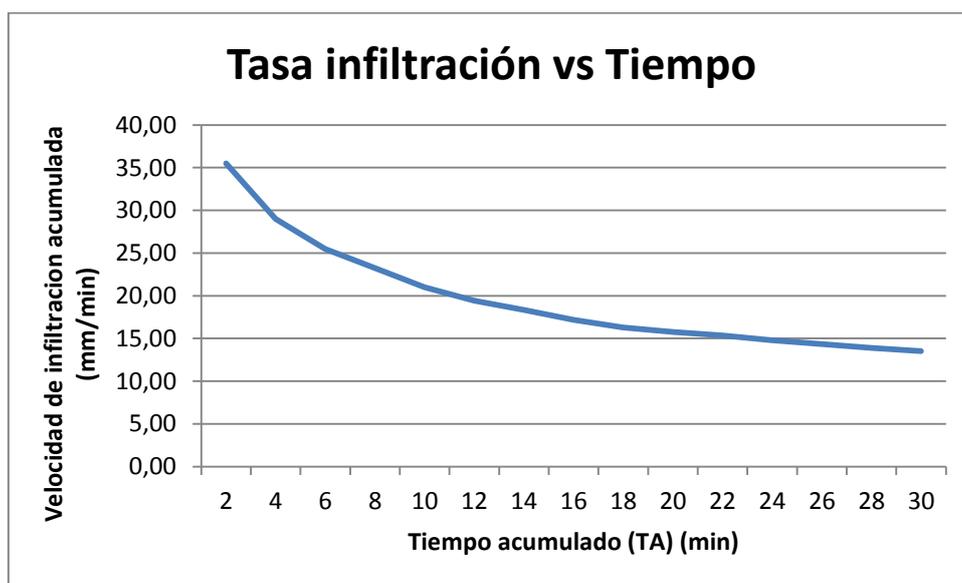
ANEXO 5. ENSAYO DE INFILTRACIÓN #3

P4			656243	9592983			
Lectura nº (hora)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (TA) (min)	Lámina infiltrada en el intervalo (mm)	Lámina acumulada (mm)	Velocidad de infiltración acumulada (mm/min)	Velocidad de infiltración (mm/h)	velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
15:38	2	2	15	53	26,50	450,00	45,00
15:40	2	4	14	67	16,75	420,00	42,00
15:42	2	6	13	80	13,33	390,00	39,00
15:44	2	8	13	93	11,63	390,00	39,00
15:46	2	10	13	106	10,60	390,00	39,00
15:48	2	12	1	107	8,92	30,00	3,00
15:50	2	14	1	108	7,71	30,00	3,00
15:52	2	16	7	115	7,19	210,00	21,00
15:54	2	18	7	122	6,78	210,00	21,00
Recarga							
16:08	2	20	14	136	6,80	420,00	42,00
16:10	2	22	8	144	6,55	240,00	24,00
16:12	2	24	7	151	6,29	210,00	21,00
16:14	2	26	7	158	6,08	210,00	21,00
16:16	2	28	6	164	5,86	180,00	18,00
16:18	2	30	7	171	5,70	210,00	21,00
V.I							20,00

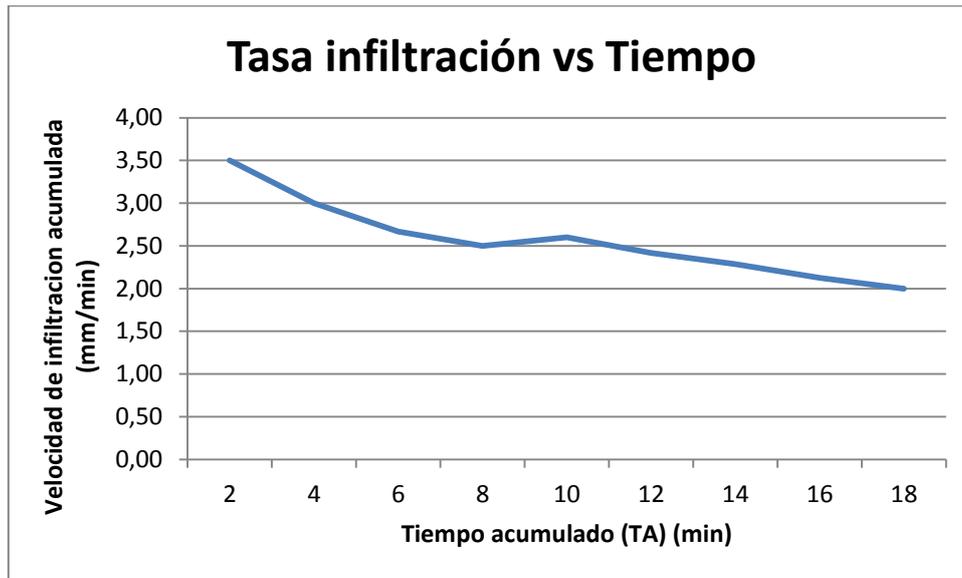


ANEXO 6. ENSAYO DE INFILTRACIÓN #4

P5		655454	9596782				
Lectura nº (hora)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (TA) (min)	Lámina infiltrada en el intervalo (mm)	Lámina acumulada (mm)	Velocidad de infiltración acumulada (mm/min)	Velocidad de infiltración (mm/h)	velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
9:12	2	2	71	71	35,50	2130,00	213,00
9:14	2	4	45	116	29,00	1350,00	135,00
9:16	2	6	37	153	25,50	1110,00	111,00
9:18	2	8	33	186	23,25	990,00	99,00
9:20	2	10	24	210	21,00	720,00	72,00
9:22	2	12	23	233	19,42	690,00	69,00
9:24	2	14	24	257	18,36	720,00	72,00
9:26	2	16	18	275	17,19	540,00	54,00
9:28	2	18	18	293	16,28	540,00	54,00
RECARGA							
9:30	2	20	22	315	15,75	660,00	66,00
9:32	2	22	23	338	15,36	690,00	69,00
9:34	2	24	17	355	14,79	510,00	51,00
9:36	2	26	18	373	14,35	540,00	54,00
9:38	2	28	16	389	13,89	480,00	48,00
9:40	2	30	17	406	13,53	510,00	51,00
V.I							51,00

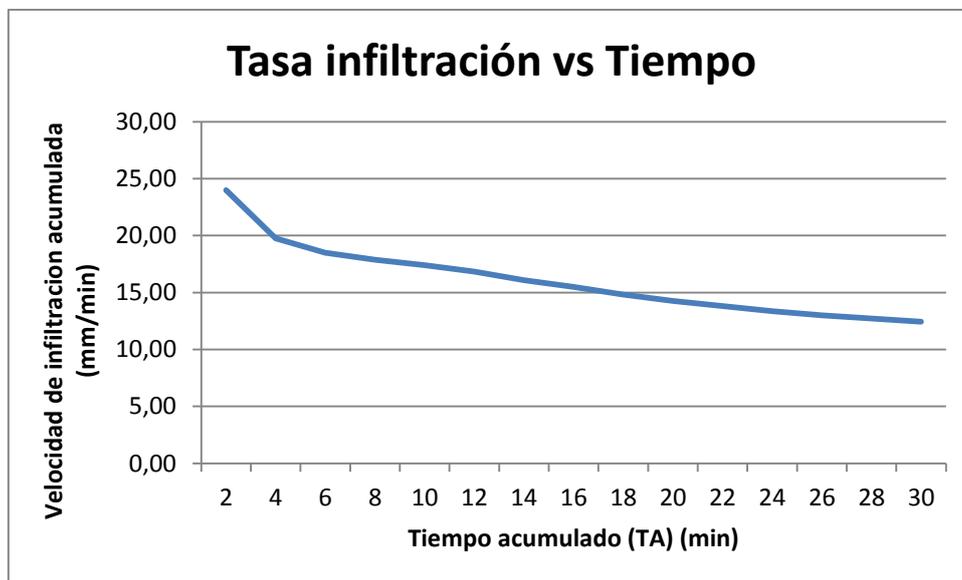


P6		654206	9594944				
Lectura nº (hora)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (TA) (min)	Lámina infiltrada en el intervalo (mm)	Lámina acumulada (mm)	Velocidad de infiltración acumulada (mm/min)	Velocidad de infiltración (mm/h)	velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
14:26	2	2	7	7	3,50	210,00	21,00
14:28	2	4	5	12	3,00	150,00	15,00
14:30	2	6	4	16	2,67	120,00	12,00
14:32	2	8	4	20	2,50	120,00	12,00
14:34	2	10	6	26	2,60	180,00	18,00
14:36	2	12	3	29	2,42	90,00	9,00
14:38	2	14	3	32	2,29	90,00	9,00
14:40	2	16	2	34	2,13	60,00	6,00
14:42	2	18	2	36	2,00	60,00	6,00
V.I							7,00



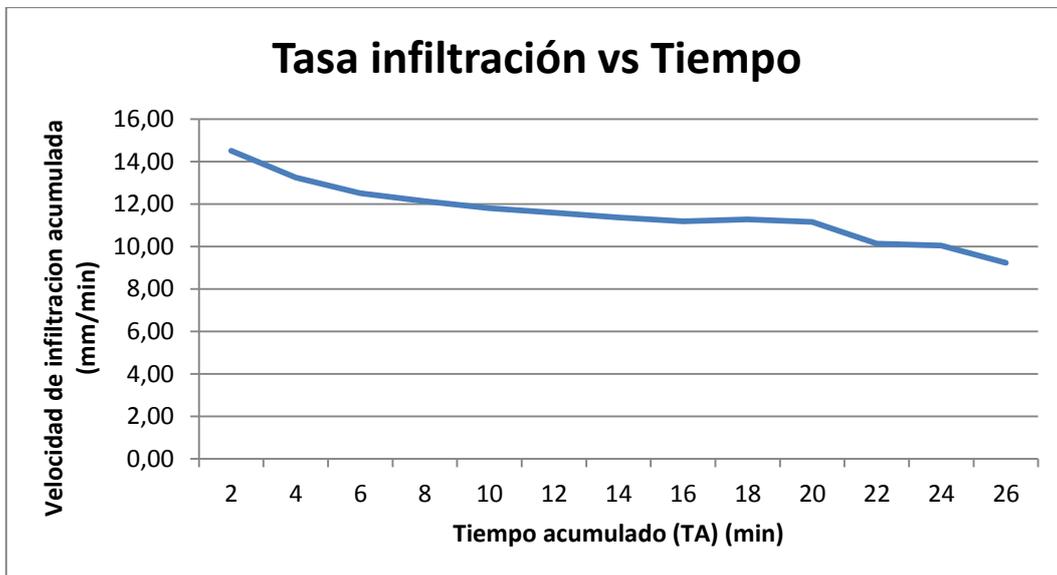
ANEXO 8. ENSAYO DE INFILTRACIÓN #6

P7		654860	9596318				
Lectura nº (hora)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (TA) (min)	Lámina infiltrada en el intervalo (mm)	Lámina acumulada (mm)	Velocidad de infiltración acumulada (mm/min)	Velocidad de infiltración (mm/h)	velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
11:41	2	2	48	48	24,00	1440,00	144,00
11:43	2	4	31	79	19,75	930,00	93,00
11:45	2	6	32	111	18,50	960,00	96,00
11:47	2	8	32	143	17,88	960,00	96,00
11:49	2	10	31	174	17,40	930,00	93,00
11:51	2	12	28	202	16,83	840,00	84,00
11:53	2	14	23	225	16,07	690,00	69,00
RECARGA							
11:55	2	16	23	248	15,50	690,00	69,00
11:57	2	18	19	267	14,83	570,00	57,00
11:59	2	20	18	285	14,25	540,00	54,00
12:01	2	22	19	304	13,82	570,00	57,00
12:03	2	24	17	321	13,38	510,00	51,00
12:05	2	26	17	338	13,00	510,00	51,00
12:07	2	28	18	356	12,71	540,00	54,00
12:09	2	30	17	373	12,43	510,00	51,00
V.I							52,00



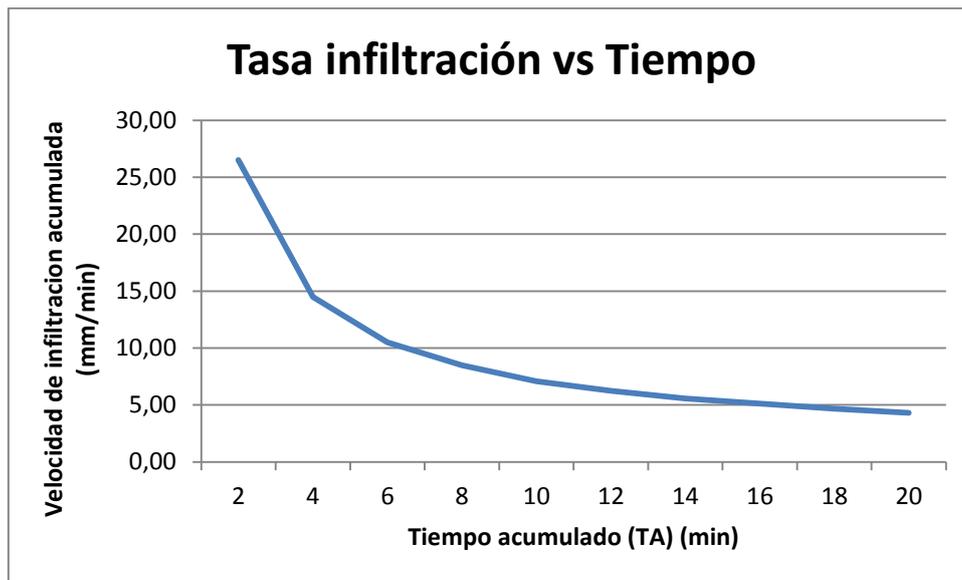
ANEXO 9. ENSAYO DE INFILTRACIÓN #7

P8	655795	9597373					
Lectura nº (hora)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (TA) (min)	Lámina infiltrada en el intervalo (mm)	Lámina acumulada (mm)	Velocidad de infiltración acumulada (mm/min)	Velocidad de infiltración (mm/h)	velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
10:02	2	2	29	29	14,50	870,00	87,00
10:04	2	4	24	53	13,25	720,00	72,00
10:06	2	6	22	75	12,50	660,00	66,00
10:08	2	8	22	97	12,13	660,00	66,00
10:10	2	10	21	118	11,80	630,00	63,00
10:12	2	12	21	139	11,58	630,00	63,00
10:14	2	14	20	159	11,36	600,00	60,00
10:16	2	16	20	179	11,19	600,00	60,00
RECARGA							
10:18	2	18	24	203	11,28	720,00	72,00
10:20	2	20	20	223	11,15	600,00	60,00
10:22	2	22	20	223	10,14	600,00	60,00
10:24	2	24	18	241	10,04	540,00	54,00
10:26	2	26	17	240	9,23	510,00	51,00
V.I							55,00



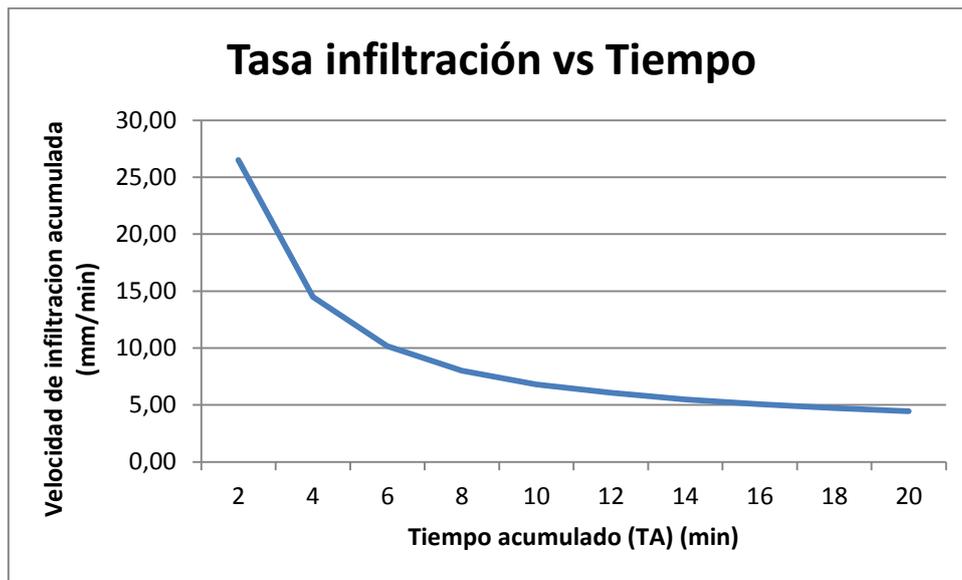
ANEXO 10. ENSAYO DE INFILTRACIÓN #8

P9	655223	9593147					
Lectura nº (hora)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (TA) (min)	Lámina infiltrada en el intervalo (mm)	Lámina acumulada (mm)	Velocidad de infiltración acumulada (mm/min)	Velocidad de infiltración (mm/h)	velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
8:15	2	2	5	53	26,50	150,00	15,00
8:17	2	4	5	58	14,50	150,00	15,00
8:19	2	6	5	63	10,50	150,00	15,00
8:21	2	8	5	68	8,50	150,00	15,00
8:23	2	10	3	71	7,10	90,00	9,00
8:25	2	12	4	75	6,25	120,00	12,00
8:27	2	14	3	78	5,57	90,00	9,00
8:29	2	16	4	82	5,13	120,00	12,00
8:31	2	18	2	84	4,67	60,00	6,00
8:33	2	20	2	86	4,30	60,00	6,00
V.I							8,00



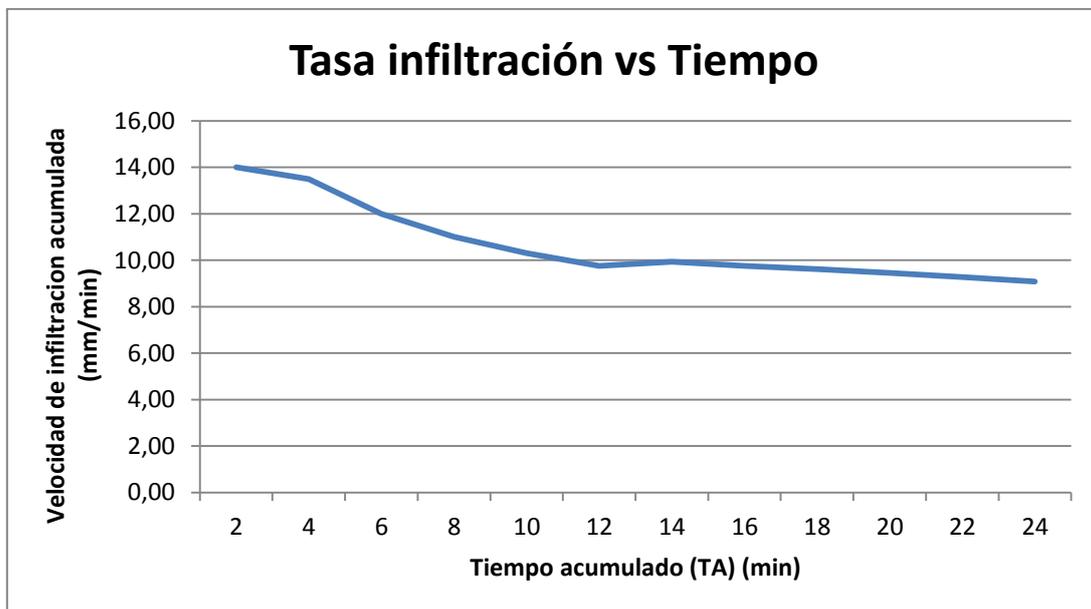
ANEXO 11 ENSAYO DE INFILTRACIÓN #9

P10	656177	9594922					
Lectura nº (hora)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (TA) (min)	Lámina infiltrada en el intervalo (mm)	Lámina acumulada (mm)	Velocidad de infiltración acumulada (mm/min)	Velocidad de infiltración (mm/h)	velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
11:07	2	2	5	53	26,50	150,00	15,00
11:09	2	4	5	58	14,50	150,00	15,00
11:11	2	6	3	61	10,17	90,00	9,00
11:13	2	8	3	64	8,00	90,00	9,00
11:15	2	10	4	68	6,80	120,00	12,00
11:17	2	12	5	73	6,08	150,00	15,00
11:19	2	14	4	77	5,50	120,00	12,00
11:21	2	16	4	81	5,06	120,00	12,00
11:23	2	18	4	85	4,72	120,00	12,00
11:25	2	20	4	89	4,45	120,00	12,00
V.I							12,00



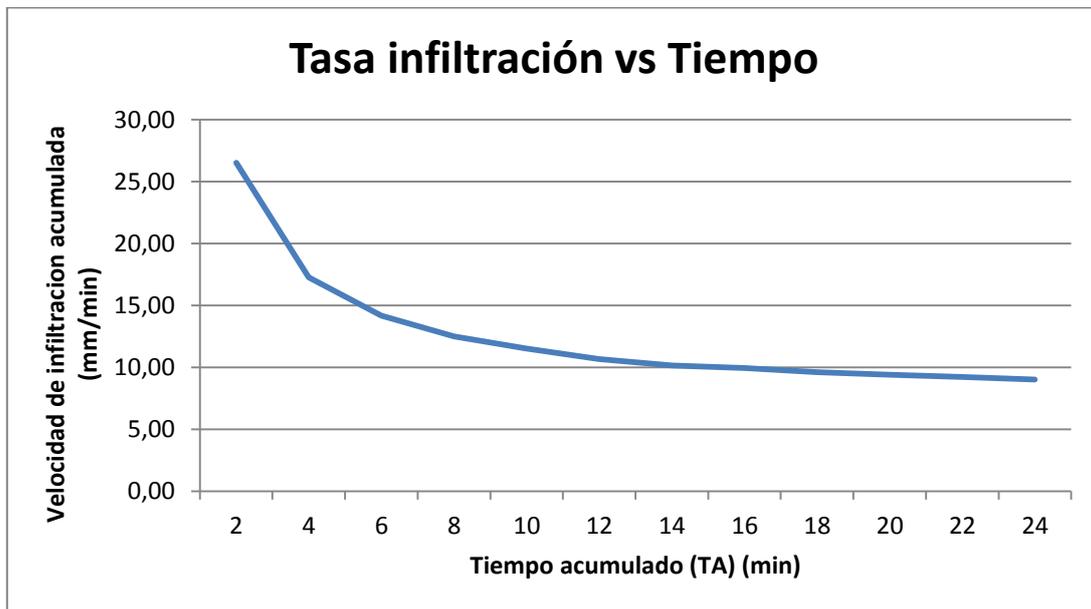
ANEXO 12. ENSAYO DE INFILTRACIÓN #10

P11	655564	9594293					
Lectura nº (hora)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (TA) (min)	Lámina infiltrada en el intervalo (mm)	Lámina acumulada (mm)	Velocidad de infiltración acumulada (mm/min)	Velocidad de infiltración (mm/h)	velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
11:02	2	2	28	28	14,00	840,00	84,00
11:04	2	4	26	54	13,50	780,00	78,00
11:06	2	6	18	72	12,00	540,00	54,00
11:08	2	8	16	88	11,00	480,00	48,00
11:10	2	10	15	103	10,30	450,00	45,00
11:12	2	12	14	117	9,75	420,00	42,00
RECARGA							
11:14	2	14	22	139	9,93	660,00	66,00
11:16	2	16	17	156	9,75	510,00	51,00
11:18	2	18	17	173	9,61	510,00	51,00
11:20	2	20	16	189	9,45	480,00	48,00
11:22	2	22	15	204	9,27	450,00	45,00
11:24	2	24	14	218	9,08	420,00	42,00
V.I							45,00



ANEXO 13 ENSAYO DE INFILTRACIÓN #11

P12			655417		9595253		
Lectura nº (hora)	Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (TA) (min)	Lámina infiltrada en el intervalo (mm)	Lámina acumulada (mm)	Velocidad de infiltración acumulada (mm/min)	Velocidad de infiltración (mm/h)	velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
7:46	2	2	18	53	26,50	540,00	54,00
7:48	2	4	16	69	17,25	480,00	48,00
7:50	2	6	16	85	14,17	480,00	48,00
7:52	2	8	15	100	12,50	450,00	45,00
7:54	2	10	15	115	11,50	450,00	45,00
7:56	2	12	13	128	10,67	390,00	39,00
7:58	2	14	14	142	10,14	420,00	42,00
8:00	2	16	17	159	9,94	510,00	51,00
8:02	2	18	14	173	9,61	420,00	42,00
8:04	2	20	15	188	9,40	450,00	45,00
8:06	2	22	15	203	9,23	450,00	45,00
8:08	2	24	13	216	9,00	390,00	39,00
V.I							43,00



ANEXO 14. ENSAYO DE INFILTRACIÓN #12

MATRIZ PAREADA								
CODIGO	CRITERIOS	C_GEO	C_PEN	C_DEN_DRE	C_INF	C_PRE	C_US_SUE	C_TEX_SUE
C_GEO	GEOLOGIA	1,00	4,00	0,33	0,50	0,20	5,00	3,00
C_PEN	PENDIENTE	0,25	1,00	0,20	0,50	0,14	2,00	0,25
C_DEN_DRE	DENSIDAD DE DRENAJE	3,00	2,00	1,00	3,00	0,33	4,00	3,00
C_INF	INFILTRACIÓN	2,00	2,00	0,33	1,00	0,50	3,00	1,00
C_PRE	PRECIPITACIÓN	5,00	7,00	3,00	2,00	1,00	7,00	7,00
C_US_SUE	USO DE SUELO	0,20	0,50	0,25	0,33	0,14	1,00	0,33
C_TEX_SUE	TEXTURA DE SUELO	0,33	4,00	0,33	1,00	0,14	3,00	1,00
C_TOTAL	TOTAL	11,78	20,50	5,45	8,33	2,46	25,00	15,58

MATRIZ NORMALIZADA									
CODIGO	CRITERIOS	C_GEO	C_PEN	C_DEN_DRE	C_INF	C_PRE	C_US_SUE	C_TEX_SUE	PROMEDIO
C_GEO	GEOLOGIA	0,08	0,20	0,06	0,06	0,08	0,20	0,19	0,12
C_PEN	PENDIENTE	0,02	0,05	0,04	0,06	0,06	0,08	0,02	0,05
C_DEN_DRE	DENSIDAD DE DRENAJE	0,25	0,10	0,18	0,36	0,14	0,16	0,19	0,20
C_INF	INFILTRACIÓN	0,17	0,10	0,06	0,12	0,20	0,12	0,06	0,12
C_PRE	PRECIPITACIÓN	0,42	0,34	0,55	0,24	0,41	0,28	0,45	0,38
C_US_SUE	USO DE SUELO	0,02	0,02	0,05	0,04	0,06	0,04	0,02	0,04
C_TEX_SUE	TEXTURA DE SUELO	0,03	0,20	0,06	0,12	0,06	0,12	0,06	0,09
C_TOTAL	TOTAL								1,00

ANEXO 15 TABLAS DE MATRIZ PAREADA POR EL METODO DE SAATY #1

MATRIZ PAREADA								
CODIGO	CRITERIOS	C_GEO	C_PEN	C_DEN_DRE	C_INF	C_PRE	C_US_SUE	C_TEX_SUE
C_GEO	GEOLOGIA	1,00	9,00	9,00	0,14	0,11	7,00	5,00
C_PEN	PENDIENTE	0,11	1,00	7,00	0,20	0,14	7,00	3,00
C_DEN_DRE	DENSIDAD DE DRENAJE	0,11	0,14	1,00	0,14	0,11	0,14	0,14
C_INF	INFILTRACIÓN	7,00	5,00	7,00	1,00	0,11	5,00	7,00
C_PRE	PRECIPITACIÓN	9,00	7,00	9,00	9,00	1,00	9,00	9,00
C_US_SUE	USO DE SUELO	0,14	0,14	7,00	0,20	0,11	1,00	5,00
C_TEX_SUE	TEXTURA DE SUELO	0,20	0,33	7,00	0,14	0,11	0,20	1,00
C_TOTAL	TOTAL	17,57	22,62	47,00	10,83	1,70	29,34	30,14

MATRIZ NORMALIZADA									
CODIGO	CRITERIOS	C_GEO	C_PEN	C_DEN_DRE	C_INF	C_PRE	C_US_SUE	C_TEX_SUE	PROMEDIO
C_GEO	GEOLOGIA	0,06	0,40	0,19	0,01	0,07	0,24	0,17	0,16
C_PEN	PENDIENTE	0,01	0,04	0,15	0,02	0,08	0,24	0,10	0,09
C_DEN_DRE	DENSIDAD DE DRENAJE	0,01	0,01	0,02	0,01	0,07	0,00	0,00	0,02
C_INF	INFILTRACIÓN	0,40	0,22	0,15	0,09	0,07	0,17	0,23	0,19
C_PRE	PRECIPITACIÓN	0,51	0,31	0,19	0,83	0,59	0,31	0,30	0,43
C_US_SUE	USO DE SUELO	0,01	0,01	0,15	0,02	0,07	0,03	0,17	0,06
C_TEX_SUE	TEXTURA DE SUELO	0,01	0,01	0,15	0,01	0,07	0,01	0,03	0,04
C_TOTAL	TOTAL								1,00

ANEXO 16 TABLAS DE MATRIZ PAREADA POR EL METODO DE SAATY#2

MATRIZ PAREADA								
CODIGO	CRITERIOS	C_GEO	C_PEN	C_DEN_DRE	C_INF	C_PRE	C_US_SUE	C_TEX_SUE
C_GEO	GEOLOGIA	1,00	2,00	2,00	0,33	3,00	1,00	2,00
C_PEN	PENDIENTE	0,50	1,00	0,17	0,20	0,14	0,50	0,25
C_DEN_DRE	DENSIDAD DE DRENAJE	0,50	6,00	1,00	0,33	0,33	0,20	0,50
C_INF	INFILTRACIÓN	3,00	5,00	3,00	1,00	9,00	0,50	1,00
C_PRE	PRECIPITACIÓN	0,33	7,00	4,00	0,11	1,00	1,00	2,00
C_US_SUE	USO DE SUELO	1,00	2,00	5,00	2,00	1,00	1,00	2,00
C_TEX_SUE	TEXTURA DE SUELO	0,50	4,00	2,00	1,00	0,50	0,50	1,00
C_TOTAL	TOTAL	6,83	27,00	17,17	4,98	14,98	4,70	8,75

MATRIZ NORMALIZADA									
CODIGO	CRITERIOS	C_GEO	C_PEN	C_DEN_DRE	C_INF	C_PRE	C_US_SUE	C_TEX_SUE	promedio
C_GEO	GEOLOGIA	0,15	0,07	0,12	0,07	0,20	0,21	0,23	0,15
C_PEN	PENDIENTE	0,07	0,04	0,01	0,04	0,01	0,11	0,03	0,05
C_DEN_DRE	DENSIDAD DE DRENAJE	0,07	0,22	0,06	0,07	0,02	0,04	0,06	0,10
C_INF	INFILTRACIÓN	0,44	0,19	0,17	0,20	0,60	0,11	0,11	0,27
C_PRE	PRECIPITACIÓN	0,05	0,26	0,23	0,02	0,07	0,21	0,23	0,16
C_US_SUE	USO DE SUELO	0,15	0,07	0,29	0,40	0,07	0,21	0,23	0,17
C_TEX_SUE	TEXTURA DE SUELO	0,07	0,15	0,12	0,20	0,03	0,11	0,11	0,12
C_TOTAL	TOTAL								1,00

ANEXO 17. TABLAS DE MATRIZ PAREADA POR EL METODO DE SAATY #3

MATRIZ PAREADA								
CODIGO	CRITERIOS	C_GEO	C_PEN	C_DEN_DRE	C_INF	C_PRE	C_US_SUE	C_TEX_SUE
C_GEO	GEOLOGIA	1,00	3,00	2,00	2,00	0,25	0,33	0,50
C_PEN	PENDIENTE	0,33	1,00	0,50	1,00	0,25	0,50	1,00
C_DEN_DRE	DENSIDAD DE DRENAJE	0,50	2,00	1,00	3,00	0,33	0,33	0,33
C_INF	INFILTRACIÓN	0,50	1,00	0,33	1,00	0,25	1,00	1,00
C_PRE	PRECIPITACIÓN	4,00	4,00	3,00	4,00	1,00	4,00	3,00
C_US_SUE	USO DE SUELO	3,00	2,00	3,00	1,00	0,25	1,00	0,33
C_TEX_SUE	TEXTURA DE SUELO	2,00	1,00	3,00	1,00	0,33	3,00	1,00
C_TOTAL	TOTAL	11,33	14,00	12,83	13,00	2,67	10,17	7,17

MATRIZ NORMALIZADA									
CODIGO	CRITERIOS	C_GEO	C_PEN	C_DEN_DRE	C_INF	C_PRE	C_US_SUE	C_TEX_SUE	PROMEDIO
C_GEO	GEOLOGIA	0,09	0,21	0,16	0,15	0,09	0,03	0,07	0,12
C_PEN	PENDIENTE	0,03	0,07	0,04	0,08	0,09	0,05	0,14	0,07
C_DEN_DRE	DENSIDAD DE DRENAJE	0,04	0,14	0,08	0,23	0,13	0,03	0,05	0,10
C_INF	INFILTRACIÓN	0,04	0,07	0,03	0,08	0,09	0,10	0,14	0,08
C_PRE	PRECIPITACIÓN	0,35	0,29	0,23	0,31	0,38	0,39	0,42	0,34
C_US_SUE	USO DE SUELO	0,26	0,14	0,23	0,08	0,09	0,10	0,05	0,14
C_TEX_SUE	TEXTURA DE SUELO	0,18	0,07	0,23	0,08	0,13	0,30	0,14	0,16
C_TOTAL	TOTAL								1,00

ANEXO 18. TABLAS DE MATRIZ PAREADA POR EL METODO DE SAATY #4

MATRIZ PAREADA								
CODIGO	CRITERIOS	C_GEO	C_PEN	C_DEN_DRE	C_INF	C_PRE	C_US_SUE	C_TEX_SUE
C_GEO	GEOLOGIA	1,00	5,00	5,00	0,50	0,33	5,00	3,00
C_PEN	PENDIENTE	0,20	1,00	3,00	0,33	0,20	0,50	0,20
C_DEN_DRE	DENSIDAD DE DRENAJE	0,20	0,33	1,00	0,20	0,20	0,25	0,33
C_INF	INFILTRACIÓN	2,00	3,00	5,00	1,00	0,33	3,00	3,00
C_PRE	PRECIPITACIÓN	3,00	5,00	5,00	3,00	1,00	5,00	3,00
C_US_SUE	USO DE SUELO	0,20	2,00	4,00	0,33	0,17	1,00	0,50
C_TEX_SUE	TEXTURA DE SUELO	0,33	5,00	3,00	0,33	0,33	2,00	1,00
C_TOTAL	TOTAL	6,93	21,33	26,00	5,70	2,57	16,75	11,03

MATRIZ NORMALIZADA									
CODIGO	CRITERIOS	C_GEO	C_PEN	C_DEN_DRE	C_INF	C_PRE	C_US_SUE	C_TEX_SUE	PROMEDIO
C_GEO	GEOLOGIA	0,14	0,23	0,19	0,09	0,13	0,30	0,27	0,19
C_PEN	PENDIENTE	0,03	0,05	0,12	0,06	0,08	0,03	0,02	0,05
C_DEN_DRE	DENSIDAD DE DRENAJE	0,03	0,02	0,04	0,04	0,08	0,01	0,03	0,03
C_INF	INFILTRACIÓN	0,29	0,14	0,19	0,18	0,13	0,18	0,27	0,20
C_PRE	PRECIPITACIÓN	0,43	0,23	0,19	0,53	0,39	0,30	0,27	0,34
C_US_SUE	USO DE SUELO	0,03	0,09	0,15	0,06	0,06	0,06	0,05	0,07
C_TEX_SUE	TEXTURA DE SUELO	0,05	0,23	0,12	0,06	0,13	0,12	0,09	0,11
C_TOTAL	TOTAL								1,00

ANEXO 19. TABLAS DE MATRIZ PAREADA POR EL METODO DE SAATY #5

MATRICES							
CODIGOS	FACTORES	1	2	3	4	5	PROMEDIO FINAL
C_GEO	GEOLOGIA	0,12	0,16	0,15	0,12	0,19	0,149
C_PEN	PENDIENTE	0,05	0,09	0,05	0,07	0,05	0,062
C_DEN_DRE	DENSIDAD DE DRENAJE	0,20	0,02	0,10	0,10	0,03	0,089
C_INF	INFILTRACIÓN	0,12	0,19	0,27	0,08	0,20	0,170
C_PRE	PRECIPITACIÓN	0,38	0,43	0,16	0,34	0,34	0,330
C_US_SUE	USO DE SUELO	0,04	0,06	0,17	0,14	0,07	0,095
C_TEX_SUE	TEXTURA DE SUELO	0,09	0,04	0,12	0,16	0,11	0,105
C_TOTAL	TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000

ANEXO 20. Tabla Promedio del Resultado de Pesos asignados por Expertos.

PESO PONDERADO METODO CLASIFICACION DE SUMA $W=(N-r+1)/\Sigma(N-r+1)$			
FACTOR	PESO SAATY	POSICIÓN JERÁRQUICA "r"	% FACTOR
PRECIPITACION	33,0%	1	25%
INFILTRACIÓN	17,0%	2	21%
GEOLOGIA	14,9%	3	18%
TEXTURA DE SUELO	10,5%	4	14%
USO DE SUELO	9,5%	5	11%
DENSIDAD DE DRENAJE	8,9%	6	7%
PENDIENTE	6,2%	7	4%
TOTAL	100,0%	28	100%
NUMERO DE FACTORES (N)		7	

ANEXO 21. Peso Ponderado por método de clasificación de suma

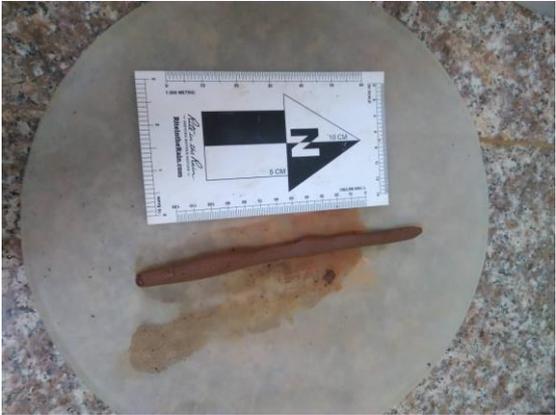
Hoja de cálculo de la humedad natural de muestras de suelo							
PERFORACIÓ N	N° Tarro	Wm	Ws	Peso del Agua (g)	W%	Profundidad(c m)	HUMEDAD %
P1	2	79,8 4	61,7 1	18,13	29,3 8	0-30	19,90
	3	78,0 0	62,4 7	15,53	24,8 6	30-43	
	21	86,7 8	72,4 5	14,33	19,7 8	43-60	

	17	84,7 7	72,0 0	12,77	17,7 4	60-80	
	3	82,6 0	71,0 5	11,55	16,2 6	80-100	
	6	85,6 9	72,5 9	13,10	18,0 5	100-120	
	23	87,7 0	73,4 3	14,27	19,4 3	120-140	
	14	83,4 6	70,7 1	12,75	18,0 3	140-165	
	18	78,2 5	67,6 9	10,56	15,6 0	165-175	
P2							
	19	62,6 8	57,0 8	5,60	9,81	0-27	9,36
	14	64,1 9	58,6 1	5,58	9,52	27-50	
	18	63,5 3	60,9 4	2,59	4,25	50-66	
	16	64,7 3	59,0 9	5,64	9,54	66-84	
	13	73,7 9	64,9 0	8,89	13,7 0	84-100	
P3							
	14	73,2 7	64,5 2	8,75	13,5 6	0-25	12,89
	13	71,8 5	63,4 4	8,41	13,2 6	25-35	
	18	73,8 3	65,4 0	8,43	12,8 9	35-55	
	17	72,2 2	63,0 5	9,17	14,5 4	55-73	
	19	72,5 3	65,8 3	6,70	10,1 8	73-77	
P4							
	20	69,0 5	59,3 0	9,75	16,4 4	0-30	15,93
	21	72,4 2	62,1 0	10,32	16,6 2	30-52	
	22	72,3 5	63,0 0	9,35	14,8 4	52-57	
	1	70,1 0	60,5 2	9,58	15,8 3	57-85	
P5							
	2	71,4 7	64,4 9	6,98	10,8 2	0-15	12,31
	23	70,8 0	61,9 5	8,85	14,2 9	15-30	
	6	77,2 8	68,4 1	8,87	12,9 7	30-45	

	3	73,9 3	66,5 1	7,42	11,1 6	45-61	
P6	1	57,7 6	48,3 9	9,37	19,3 6	0-37	16,58
	22	74,7 9	64,8 6	9,93	15,3 1	37-72	
	20	74,0 3	63,7 0	10,33	16,2 2	72-220	
	11	72,4 0	62,7 2	9,68	15,4 3	220-300	
P7	6	64,3 8	59,5 8	4,80	8,06	0-25	8,13
	23	65,9 9	61,9 0	4,09	6,61	25-85	
	3	71,7 9	65,4 3	6,36	9,72	85-115	
P8	20	56,5 6	46,0 6	10,50	22,8 0	0-32	18,75
	22	74,3 0	63,9 5	10,35	16,1 8	32-91	
	11	77,0 5	65,7 0	11,35	17,2 8	91-120	
P9	23	60,7 7	50,7 0	10,07	19,8 6	0-42	17,03
	6	59,3 5	50,8 6	8,49	16,6 9	42-80	
	3	57,9 4	50,5 9	7,35	14,5 3	80-100	
P10	3	66,3 6	57,9 0	8,46	14,6 1	0-30	14,27
	11	62,2 2	53,5 6	8,66	16,1 7	30-57	
	20	59,1 6	52,8 1	6,35	12,0 2	57-80	
P11	23	69,9 6	61,8 7	8,09	13,0 8	0-39	14,33
	6	59,8 0	51,6 8	8,12	15,7 1	39-80	
	20	68,1 5	59,6 7	8,48	14,2 1	80-115	
PROMEDIO TOTAL							14,50

ANEXO 22. TABLAS DE CALCULOS DE HUMEDAD NATURAL

PUNTO	X	Y	TEXTURA	FOTO
P1	655078	9596614	Franco Arcillo-Arenoso	
P2	654310	9594132	Franco arcillo-Arenoso	
P3	655666	9594537	Franco arcillo-Arenoso	

P4	655327	9592685	Franco arenoso	
P5	656095	9594319	Franco arcilloso	
P6	654578	9595614	Franco arcillo-Arenoso	

<p>P7</p>	<p>655312</p>	<p>9593994</p>	<p>Franco arenoso</p>	
<p>P8</p>	<p>655866</p>	<p>9596912</p>	<p>franco arcilloso</p>	
<p>P9</p>	<p>656589</p>	<p>9596381</p>	<p>franco arcilloso</p>	

P10	656311	9595522	franco arcilloso	
P11	656359	9592949	arcilloso	

ANEXO 23. Tabla de texturas de suelo.



ANEXO 24. Afloramiento de 3 m de ancho de volcanoclastos descubiertos por la erosión de la quebrada.



ANEXO 25. Surgencia y acumulación de agua natural proveniente del fracturamiento del macizo rocoso 655625,9594746.



ANEXO 26. . Piroclastos de textura fina con alteración silíceas.



ANEXO 27. Afloramiento de 15 metros de alto compuesto por Piroclastos con alteración silícea y sulfuros diseminados.



ANEXO 28. Rocas volcanoclásticas de textura fina con alteración silícea.



ANEXO 29. Colinas suaves observadas desde el franco este de la microcuenca Honda.



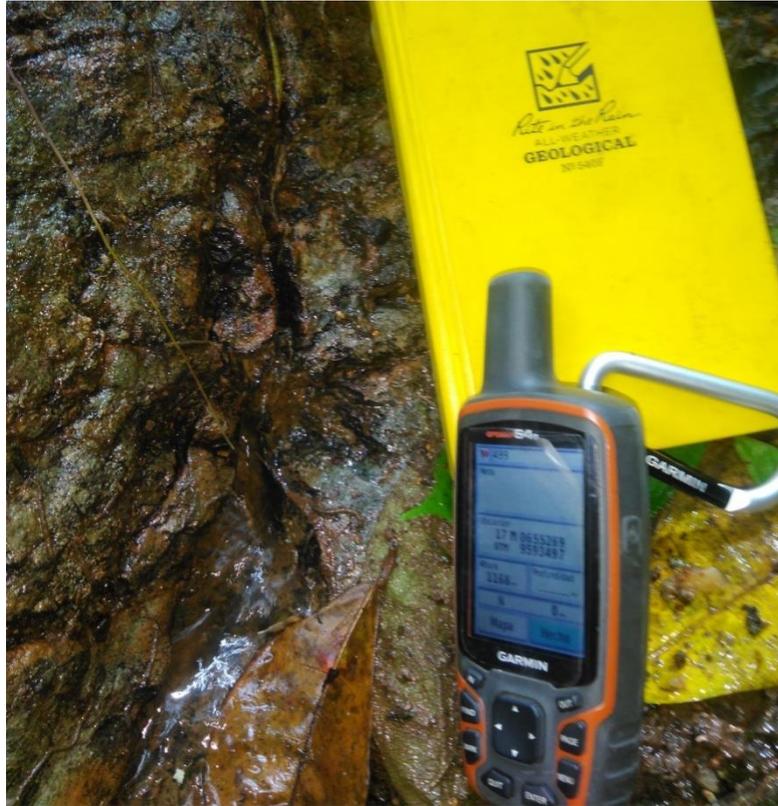
ANEXO 30. Canalización y acumulación de agua para el uso de ganadería



ANEXO 31. Salida de agua a partir del mina artesanal ubicada en el punto



ANEXO 32. Vista panorámica del relieve moderado presente en la microcuenca honda



ANEXO 33. Surgencia de agua a partir de fracturas de andesitas en el punto 655269, 9593497.



ANEXO 34. Andesitas porfídicas con la presencia de 4 familias de diaclasas 6555311, 9593990.



ANEXO 35. Perfil de suelo con evidente contraste de color por el cambio de horizonte.



ANEXO 36. Acumulación de agua por métodos de captación y canalización de nacimiento de agua



ANEXO 37. Afloramiento de andesitas porfídicas ubicadas en 656014, 9597748



ANEXO 38. Estructuras de almohadillas ubicadas en el punto 655960, 9597753.



ANEXO 39. Mina artesanal presente en las zonas altas de la cuenca.



ANEXO 40. Afloramiento de andesitas con alta meteorización y fracturamiento