

**VARIACIÓN ESPACIAL DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS
MEDIANTE SIG.**

**CAICEDO MONTAÑEZ ROBERTH ALEXANDER
MANRIQUE RINCON WILLIAM HARBey**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS DE AQUINO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
TUNJA – BOYACA
2014**

**VARIACIÓN ESPACIAL DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS
MEDIANTE SIG.**

CAICEDO MONTAÑEZ ROBERTH ALEXANDER

MANRIQUE RINCON WILLIAM HARBEY

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

Director:

NÉSTOR IVÁN ROJAS GAMBA
Ingeniero civil magister en geotecnia

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS DE AQUINO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

TUNJA – BOYACA

2014

Nota de aceptación

Jurado

Tunja, 27 De Mayo De 2014

HOJA DE FIRMAS

Autores:

Caicedo Montañez Roberth Alexander

Manrique Rincón William

Visto bueno, Tutor de Trabajo de grado:

Ing. M.Sc. Néstor Iván Rojas Gamba

AGRDECIMIENTOS

Primordialmente le agradecemos a Dios por brindarnos la oportunidad de poder aprender de todas y cada una de las personas que estuvieron con nosotros durante este proceso para optar por un título profesional, a nuestras familias que son el motor principal para cumplir de la mejor forma con nuestros deberes académicos, personales y en el futuro estarán con nosotros en los profesionales, a nuestros docentes, ingenieros, que con cada uno de sus conocimientos brindados se pudo llegar a esta meta tan anhelada, especialmente a nuestro directo responsable de que este sueño se cumpliera con broche de oro al ingeniero Néstor Rojas por su apoyo incondicional en el proceso de la elaboración del proyecto de grado y finalmente concluir con esta meta.

DEDICATORIAS

WILLIAM MANRIQUE RINCON

Este nuevo paso en mi vida primero quiero dedicárselo a mi núcleo familiar, mi mamá, mi papá y mi sobrina que son el apoyo incondicional que tuve en el proceso para llegar a cumplir con este objetivo, a mi hija MARIA FERMANDA quien siempre permaneció en mi mente como el motor de vista hacia el futuro para cada ves ser mejor y competente durante el paso por la universidad, a mi gran hermano que en el cielo está tendiéndome la mano a diario para levantarme de las derrotas y ser feliz en mis triunfos ya que él día tras día fue y será el ejemplo que siempre tuve de luchador, gran persona y ese legado es lo mejor que me dejo para no decaer, siempre fueron sus palabras de apoyo lo que me inspiraba a seguir luchando y finalmente concluir con esta etapa.

ROBERTH CAICEDO MONTAÑEZ

En esta oportunidad quiero agradecer primeramente a DIOS por darme la licencia de cumplir con esta etapa de mi vida, y por darme a mis padres y hermanos quienes fueron pieza clave en este proceso, y que no tengo como pagarles por su dedicación apoyo y comprensión; a mis compañeros, amigos y docentes que fueron importantes para el desarrollo de la vida como estudiante. De esta manera reciban todos mis más sinceros agradecimientos, porque este es el comienzo de muchas cosas mejores, infinitas gracias.....

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN.....	13
2. INTRODUCCION	14
3. PROBLEMA DE INVESTIGACION	15
3.1. Descripción de la problemática	15
3.1.2. Localización y ubicación -.....	16
3.1.3. Características de la Subcuenca Rio De Piedras	20
3.2. Preguntas de investigación.....	39
3.3. Justificación	40
3.3.1. Impacto social	40
3.3.2. Impacto económico	41
3.3.3. Impacto ambiental	41
3.4. Objetivos	42
3.4.1. Objetivo general	42
3.4.2. Objetivos específicos.....	42
4. REVISION BIBLIOGRAFICA Y ESTADO DEL ARTE	43
4.1. Marco conceptual	43
4.1.1. Obtención de muestras y exploración manual	43
4.1.2. Parámetros geotécnicos preliminares.....	44
4.1.3. Sistema de información geográfica sig.	45
4.1.4. Dimensión espacial de los datos en un SIG.	49
4.1.5. Realización de ensayos de laboratorio	52
4.1.5. Clasificación de suelos – AASHTO y sistema unificado SUCS	60
4.2. Estado del arte	62
5. METODOLOGIA.....	66
5.1. Recopilación de información.....	66
5.2. Puntos de la exploración	66
5.3. Exploración geotécnica.....	68
5.4. Ensayos de laboratorio	68

5.5. Elaboración de mapas en ArcGis	69
6. ANALISIS DE RESULTADOS.....	72
6.1. DISEÑO DE LA EXPLORACIÓN	72
6.2. Recopilación de información primaria y secundaria	73
6.3. Análisis de resultados para ensayos de laboratorio	76
6.3.1. Límites de Atterberg	76
6.3.2. Estratigrafía de los puntos de exploración	77
6.3.3. Permeabilidad	80
6.3.4. Fases	81
6.3.5. Porcentajes de humedad.....	81
6.4. Análisis de resultados de la cartografía	82
6.4.1. Validación cruzada IDW	83
6.4.2. Mapas de cada parámetro geotécnico.....	88
7. CONCLUSIONES	102
8. RECOMENDACIONES.....	103
10. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	108
11. ANEXOS.....	110

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación.....	19
Figura 2. Geomorfológico.....	22
Figura 3. Patrón de drenaje.....	26
Figura 4. Geológico.....	28
Figura 5. Uso del suelo.....	33
Figura 6. Peso específico.....	89
Figura 7. Gravedad específica.....	90
Figura 8. Relación de vacíos.....	92
Figura 9. Índice de plasticidad.....	93
Figura 10. Permeabilidad in situ.....	94
Figura 11. Permeabilidad en laboratorio.....	96
Figura 12. Porosidad.....	98
Figura 13. Saturación.....	99
Figura 14. Humedad.....	100
Figura 15. Acueductos.....	101

CONTENIDO DE GRAFICAS

Grafica 1. Localización en Boyacá de la subcuenca Rio De Piedras.	16
Grafica 2. Localización Subcuenca Rio De Piedras	18
Grafica 3. Relación entre fases del suelo.....	44
Grafica 4. Esquema relación de fases del suelo.	55
Grafica 5. Permeámetro de Cabeza Variable	59
Grafica 6. Pasos para llegar a un parámetro geotécnico en el programa ArGis.	69
Grafica 7. Pasos para el análisis de superficie en el programa ArGis.	70
Grafica 8. Pasos para la realización de polígonos en el programa ArGis.....	70
Grafica 9. Resultado final de los parámetros geotécnicos en ArcGis.	71
Grafica 10. Diseño de la exploración	73
Grafica 11. Validación cruzada IDW para Porosidad (n)	84
Gráfica 12. Validación cruzada IDW para Saturación (S).....	84
Gráfica 13. Validación cruzada IDW para gravedad específica (Gs).....	85
Gráfica 14. Validación cruzada IDW para Humedad (W)	85
Gráfica 15. Validación cruzada IDW para Peso específico	86
Gráfica 16. Validación cruzada IDW para índice de plasticidad (IP): solo analizamos 24 de 24.....	86
Gráfica 17. Validación cruzada IDW para K IN SITU (Kinsitu): 18 DE 18.....	87
Gráfica 18. Validación cruzada IDW para K LAB. (Klab.)	87
Gráfica 19. Validación cruzada IDW para Relación de vacíos (e)	88

CONTENIDO DE FORMULAS

Fórmula 1. Determinación de humedad del suelo	53
Fórmula 2. Determinación Del Límite Líquido.	53
Fórmula 3. Límite Plástico E Índice De Plasticidad.	54
Fórmula 4. Determinación de la gravedad específica de los suelos.	56
Fórmula 5. Formula K en laboratorio – Cabeza Variable	58

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación AASHTO para suelo.....	60
Tabla 2. Cuadro general de clasificación SUCS	61
Tabla 3. Resultados de laboratorios información primaria y secundaria.	74
Tabla 4. Recopilación, resultados de laboratorios información primaria y secundaria, (<i>continuación tabla 3</i>)	74
Tabla 5. Clasificación de suelos AASHTTO	76
Tabla 6. Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS, para sondeos.	77
Tabla 7. Valores obtenidos de límites lugar Julio Higuera.....	78
Tabla 8. Estratigrafía Julio Higuera	78
Tabla 9. Valores obtenidos de límites Cortadera Chiquita	79
Tabla 10. Estratigrafía Cortadera Chiquita.....	79
Tabla 11. Valores obtenidos de límites Escuela El Cedro	79
Tabla 12. Estratigrafía Escuela El Cedro ICBF	80
Tabla 13. Resultados de ensayos de permeabilidad.....	80
Tabla 14. Valores típicos del coeficiente de permeabilidad en suelos.....	81
Tabla 15. Resultados obtenidos en la relación de fases	81
Tabla 16. Resultados obtenidos del ensayo de humedad.....	82
Tabla 17. Rango de permeabilidad de los suelos en m/s de acuerdo con su textura.....	96

1. RESUMEN

El estudio trata en determinar una caracterización geotécnica básica de la zona de estudio, que comprende la subcuenca Rio de Piedras y un respectivo análisis espacial por medio de la ayuda de un software. Una problemática que se generó es no conocer la importancia y el cuidado que hay que tener con el suelo de esta zona. Con la investigación realizada se dan a conocer las características y propiedades de los suelos presentes dentro de la subcuenca ya que la variabilidad puede ser notable en los diferentes lugares donde se realizaron las exploraciones, durante el desarrollo del proyecto, se van realizando los métodos de estudio ya sea en el sitio de la exploración o en laboratorio para con esto llegar a los valores correctos, los cuales son expuestos a lo largo del trabajo. Esta investigación se desarrolló ubicando cada uno de los puntos mediante el patrón de drenaje para localizar los sitios más críticos y saber dónde es apropiado realizar los apiques correspondientes, aunque el estudio se enfocó en el nivel superior del perfil estratigráfico, con el fin de abarcar las 15 microcuencas presentes al interior de la subcuenca Rio de Piedras.

Se realizó una búsqueda de información cartográfica y descriptiva de la zona de estudio y de su entorno regional, con el fin de obtener la información necesaria para el diseño de la exploración geotécnica. La base fundamental provino del POMCA de la cuenca del rio Chicamocha (CORPOBOYACÁ) y de los planes de ordenamiento territorial de los municipios de Cómbita, Sotaquirá y Tuta.

Con la información cartográfica que se obtuvo, se generó una base de datos geográfica, de la cual se procedió a unificar la georreferenciación de las diferentes capas vectoriales y generar otras capas. Así mismo se realizaron en el programa ArGIS los diferentes mapas donde nos muestra cada una de las características del suelo en los puntos donde se realizaron las perforaciones, de las cuales estudiantes de la UPTC y SANTO TOMAS, nos facilitaron información secundaria para realizar nuestro análisis y que así fueran más exactos.

2. INTRODUCCION

La variabilidad del suelo y sus propiedades son una condición que no se puede determinar fijamente ya que intervienen diferentes factores como el clima, la estratigrafía del suelo y procesos de formación al transcurrir el tiempo y el tipo de uso que se esté implementando allí.

En la zona de estudio la capacidad de infiltración puede permitir una circulación de agua entre la superficie y el subsuelo de forma constante, lo cual puede indicar una variación a la hora de tomar las muestras de suelo las cuales se verán reflejadas en los resultados de laboratorios.

Se tomaron 25 diferentes puntos para lograr hallar el valor de los parámetros geotécnicos más importantes que para nuestro caso son: Peso específico, gravedad específica, relación de vacíos, índice de plasticidad, permeabilidad in situ, permeabilidad en laboratorio, porosidad, saturación y humedad.

Se trabajaron las 15 microcuencas de la subcuenca Río de Piedras, igualmente se realizaron 25 apiques de los cuales 3 son de información primaria y 22 son de información secundaria. A través de la información suministrada se pudo identificar los aspectos más sobresalientes para realizar un trabajo completo, y una exploración bien detallada, como lo es el patrón de drenaje para dar una formación geológica realmente representativa.

La información recopilada se lleva a un sistema de información geográfico, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en cada uno de los puntos y se desarrolla un estudio espacial que corresponde a la Subcuenca.

Es de mucha importancia para la zona que cubre la subcuenca, la cual abarca tres municipios del departamento de Boyacá (Tuta, Combita Y Sotaquirá), tener en cuenta dentro de esta un estudio espacial y puntual para determinar las características geotécnicas del suelo.

3. PROBLEMA DE INVESTIGACION

3.1. Descripción de la problemática

En el departamento de Boyacá se presenta una gran variedad de formaciones geológicas que dan origen a numerosos tipos de suelos, que en su mayoría no se conoce la importancia o el adecuado aprovechamiento de cada tipo de suelo ni las capacidades que presenta o los parámetros que se pueden encontrar, tanto en cantidad como en beneficencia para una comunidad.

En la zona de estudio se determinaron áreas de protección, conservación y recuperación del medio ambiente y los recursos naturales, donde no es permitido ubicar estructuras de asentamientos humanos; igualmente se adoptan como zonas de reserva las áreas de páramo y sub páramo, bosque alto andino, zonas de infiltración y recarga de acuíferos, áreas periféricas a nacimientos, pantanos, humedales, y causes de agua, que si la comunidad no tiene claro esto se podría generar un desequilibrio en el ecosistema.

Es por esto que se realizó una exploración dentro de la subcuenca Rio de Piedras para conocer los parámetros geotécnicos que se presentan y analizar cada uno de estos por medio de ensayos de laboratorio y el análisis espacial demostrando así como se pueden clasificar, para que fin y que cuidado se debe tener en cualquier punto de esta subcuenca a la hora de hacer un trabajo de construcción, o cualquier tipo de trabajo de investigación; en qué cantidad y porcentaje se encuentran, para lograr dar unos resultados reales, concisos y verdaderamente confiables.

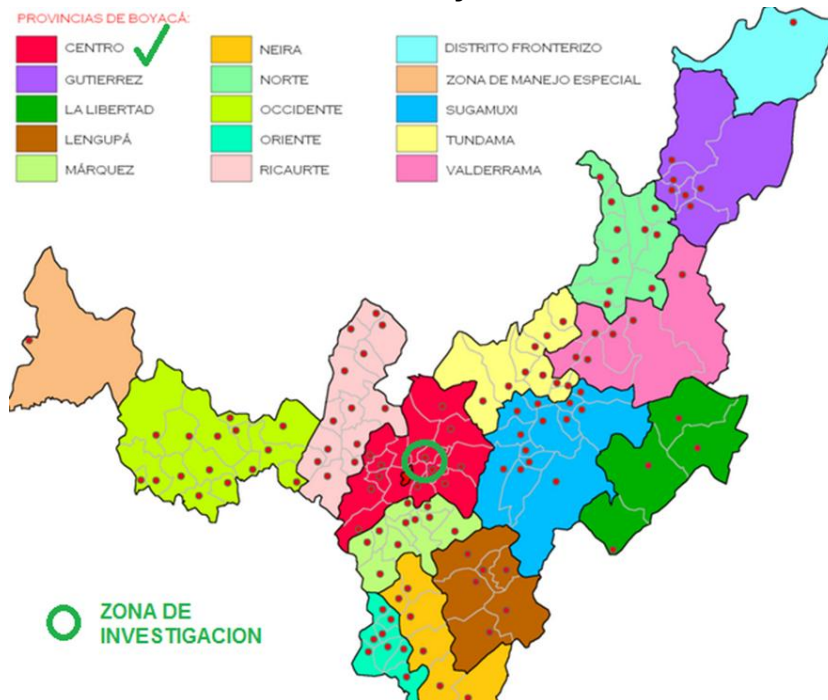
Toda esta información será útil y practica para la comunidad interesada de este sector, la cual abarca tres municipios: Combita, Tuta y Sotaquirá. Además de estos estudios básicos que se van a elaborar también se cuenta con información adicional como la base del POMCA de la Cuenca del Rio Chicamocha y los planes de ordenamiento territorial de los municipios.

Esto se hace para poder determinar las condiciones que presenta el suelo en la zona de estudio y poder obtener finalmente sus características con el fin de evaluar y definir posibles problemas futuros en la Subcuenca Rio de Piedras.

3.1.2. Localización y ubicación ^{1,2}

En la provincia centro del departamento de Boyacá se encuentran ubicados los municipios de Combita, Sotaquirá y Tuta (ver gráfica 1), en donde se realizó la exploración geotécnica en los diferentes punto por donde fluye la subcuenca Rio de Piedras la cual pertenece a la cuenca del rio Chicamocha.

Grafica 1. Localización en Boyacá de la subcuenca Rio De Piedras.



Fuente. Mapas Boyacá, Modificada por los autores.

La subcuenca Rio de Piedras se encuentra ubicada en la zona nororiental del municipio de Combita, al suroccidental con el municipio de Sotaquirá y al noroccidente con el municipio de Tuta. El área total que comprende la subcuenca

¹ Esquema de Ordenamiento Territorial Sotaquirá, Tuta y Combita Boyacá 2003 - 2011

² CORPOBOYACA - POMCA de Rio de Piedras, Tunja, 2008

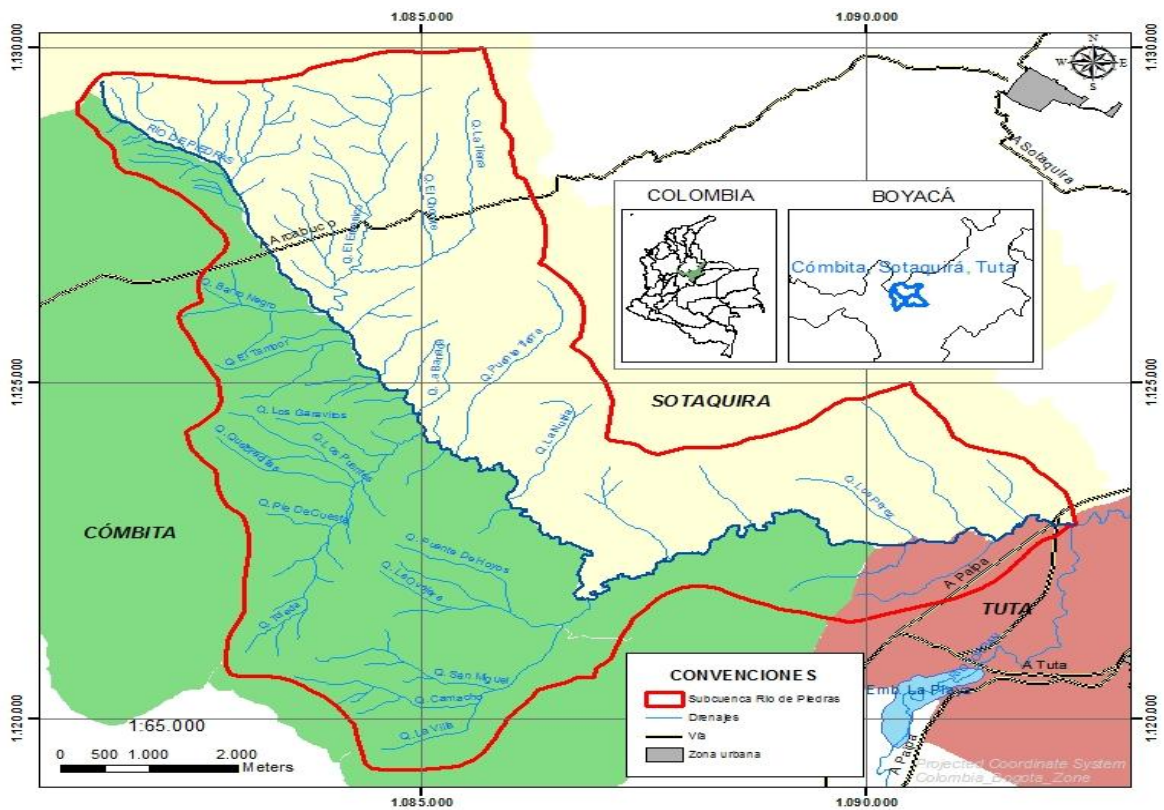
es de 5407.6 ha, de las cuales el municipio de Tuta cuenta con un 8.6% del porcentaje de la zona de estudio el cual en área representa 448.831 ha, en el municipio de Sotaquirá en porcentaje es del 47.7% que en área es 2579.42 ha y finalmente para el municipio de Combita abarca un 43.7% el cual representa 2363.12 ha.

La Cuenca alta del río Chicamocha drena aproximadamente la tercera parte del departamento de Boyacá. Esta cuenca tiene un área aproximada de 1536 km², de los cuales 367 km² son de la subcuenca del río Jordán y 441 km² del subcuenca del río Tuta.

La cuenca presenta una elevación media de 2950 msnm y una pendiente media de 1.10%.

En el departamento de Boyacá, la degradación de los suelos cuya vulnerabilidad se incrementa a medida que se intensifica el uso de la tierra por actividades agropecuarias la cuenca del río Chicamocha la cual drena aproximadamente la tercera parte del departamento de Boyacá es fuente importante de agua, energía, diversidad biológica y es susceptible de erosión acelerada de los suelos, desprendimiento de tierra, un rápido empobrecimiento de la diversidad genética y del hábitat presente en la zonas de páramo y sub páramo que tenemos en la parte de la subcuenca referente al municipio de Sotaquirá, igualmente la capacidad de infiltración que tiene la subcuenca debe ser manejada adecuadamente, por lo cual se requiere de la generación, desarrollo sustentable y de la promoción del aprovechamiento integrado de las cuencas hidrográficas.

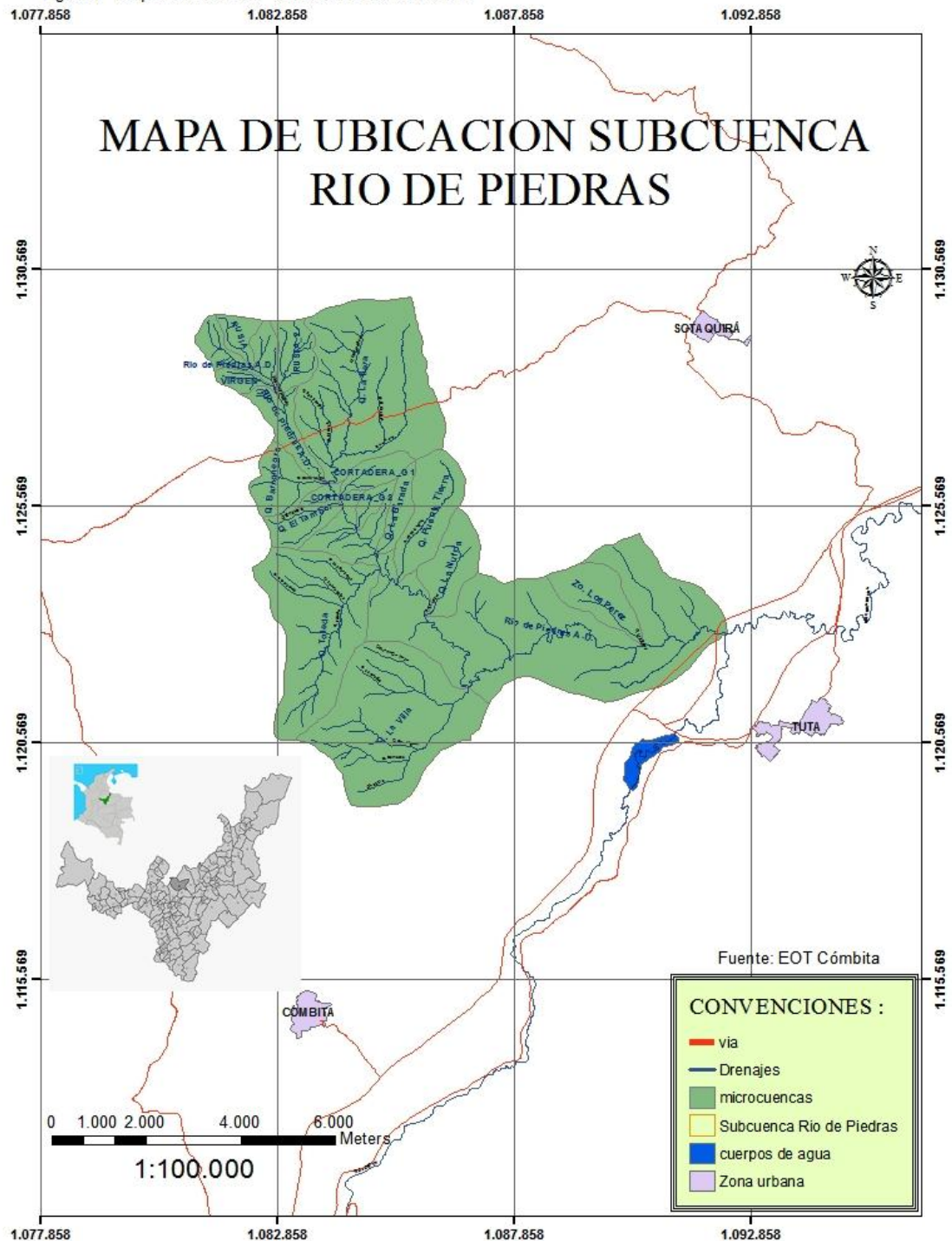
Grafica 2. Localización Subcuenca Rio De Piedras



FUENTE: CORPOBOYACA. REGLAMENTACIÓN DEL MANEJO Y USO DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS AGUAS, RIO DE PIEDRAS. 10 DE NOVIEMBRE 2008. 255 P. ELABORÓ: ING. NÉSTOR IVÁN ROJAS. (DIRECTOR TRABAJO DE GRADO).

En la (figura 1), se muestra la ubicación general de la subcuenca, junto con el nombre de las principales microcuencas que se ramifican de la esta, la cual fue realizada en el programa ArcGis elaborada por los autores.

Figura 1 - Mapa de Ubicacion - Subcuenca Rio de Piedras



3.1.3. Características de la Subcuenca Rio De Piedras³

En mayor parte la subcuenca corresponde al municipio de Sotaquirá, el resto está compartido entre los Municipios de Tuta y Combita; a continuación se describe el área correspondiente a Sotaquirá; limita al norte con la microcuenca del Rio Vargas y la microcuenca de la quebrada el Chiste, al occidente con la microcuenca del río el Valle y al sur con los municipios de Cómbita y Tuta.

Nace en la cordillera Oriental de los Andes a una altitud de 3.600 m.s.n.m. en territorio compartido con el Municipio de Cómbita, recibe aguas del drenaje de la laguna Mortecinera y cañadas que drenan humedales con abundante vegetación de páramo, todas estas aguas confluyen en un gran cañón estrecho cubierto con vegetación nativa sobre un lecho rocoso, el caudal desciende a través de un paisaje de vertientes y laderas para finalmente verter sus aguas al río Chicamocha.

Sus principales afluentes son: la quebrada La Fiera, que a su vez recibe los caudales de las quebradas el Encenillo, San Agustín, el Guate, la Nutria, punta de Hernández, el Chorote; la Leona, Molinas , Teatinos, las Mercedes y Carbonera, estas del área de Sotaquirá y del de territorio del Municipio de Cómbita las quebradas Barronegro, Toledo y sus afluentes Piedecuesta, Quebraditas, los Puentes, Toma de los Garavito; La Viña y sus afluentes las quebrada Puente de Hoyos, la Ovejera, San Miguel, Camacho y del Municipio de Tuta pequeñas cañadas.

De su caudal se abastece los Municipios de Cómbita y Oicatá al igual que el acueducto de Bosigas y otras las cuales toman el agua a una altitud de 3.100 m.s.n.m. en el sitio de la bocatoma, aguas abajo muy cerca a la desembocadura de la Quebrada la Villa, se toman las aguas para el acueducto de la vereda de Rio de Piedras (Municipio de Tuta) que beneficia a 180 familias. También son

³ Esquema de Ordenamiento Territorial Cómbita Boyacá 2001; Esquema de Ordenamiento Territorial Sotaquirá Boyacá 2003 – 2011; Esquema de Ordenamiento Territorial Tuta Boyacá 2004 - 2013

utilizadas para riego de cultivos y praderas a través de canales naturales (tomas) que benefician a familias de las veredas Catoba (sector Llano Grande), Cortadera Chiquita, Cortadera Grande, Montevargas, Cedro, Bosigas Sur y para acuicultura en la producción de trucha arco iris en estanque, especialmente en la vereda de Llano grande y Cortadera Grande. De esta subcuenca se desprenden en forma de ramificación una variedad de micro cuencas en su trayecto por los tres municipios por donde esta pasa donde están Quebrada la fiera, Quebrada Barronegro, Quebrada el Tambor, Quebrada la Barada, Quebrada Puente Tierra, Quebrada la Nutria, Quebrada Zo Pérez, Quebrada La Villa, Quebrada La Pera, Quebrada Rusia, Quebrada Rusia 2, Quebrada Cortadera 1, Quebrada Cortadera 2, Quebrada Toleda. Al igual parte de la vereda Regencia municipio de Tuta, captación para el Barne, acueductos compartidos con Cómbita y Tuta.

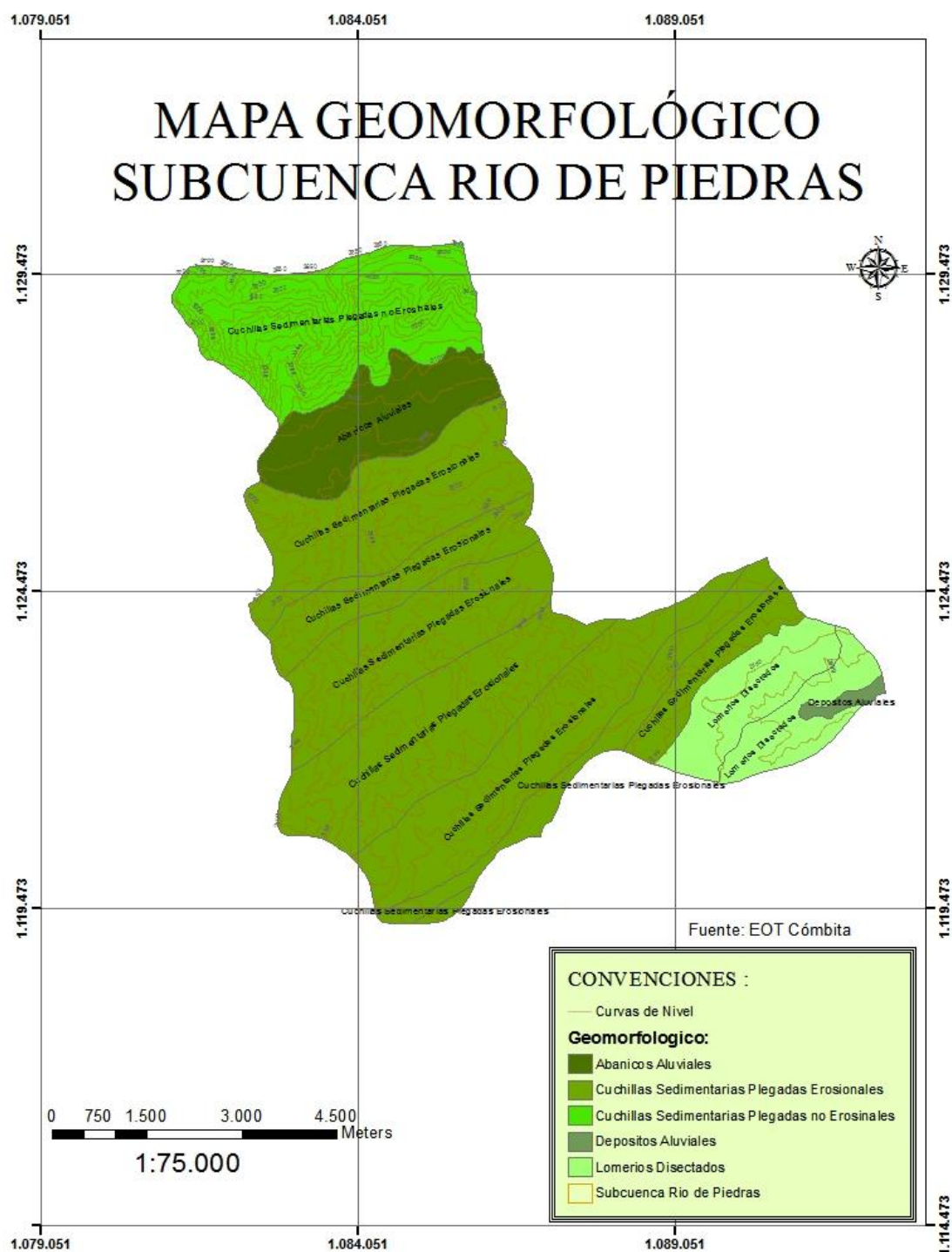
3.1.3.1. Geomorfología⁴

La zona que corresponde a la subcuenca río de piedras la cual se encuentra delimitada en la gráfica de la geomorfología (ver figura 2), muestra unas características del lugar las cuales sirven para determinar los puntos y realizar los estudios puntuales para hallar las características en la investigación.⁵ Para el sector que pertenece al municipio de sotaquirá. La topografía es quebrada un 70%, ondulado y semiondulado, un 25% y 5% plana; a pesar de esto no se presentan procesos erosivos, deslizamientos o derrumbes.

La información geomorfológica en la subcuenca, a partir de la información existente de la región en los EOTS, muestra una variación muy amplia en la caracterización y definición de las unidades geomorfológicas.

⁴ CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE BOYACÁ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-Centro de Estudios Económicos Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Investigaciones Ambientales Formulación del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha.

Figura 2 - Mapa Geomorfológico Subcuenca Río de Piedras



Abanicos aluviales

Geoforma determinada exclusivamente por los principales cauces, que han diseminado sus cargas de aluviones en territorio de los municipios de Paipa y Duitama, probablemente en el periodo Holoceno medio a superior. La fuente de los sedimentos son areniscas de grano fino y arcillolitas limosas, además de cenizas volcánicas, a partir de los cuales se han generado unos suelos maduros cuya pedogénesis se ha tomado como indicadora de la probable edad del paisaje. La topografía es muy plana, a ligeramente inclinada, recortada superficialmente por pequeñas corrientes intermitentes que han configurado un patrón de drenaje distributivo. La base del abanico se confunde gradualmente con el plano de inundación del río Chicamocha.

Cuchillas sedimentarias plegadas erosionales (SPE)

Las unidades de cuchillas y laderas denudacionales o erosionales están ligadas a la meteorización y erosión de las rocas; se presenta en formaciones de mediana y baja resistencia, compuestas por lutitas, arcillolitas y algunas areniscas del Cretácico poco resistentes a los fenómenos superficiales. En la zona de estudio se encuentra las Formaciones Guaduas, Fómeque, areniscas de Socha, Arcillas de Socha, etc., clasificadas como de mediana resistencia, y subordinadas a los fenómenos exógenos. La unidad está compuesta por formas de ladera de erosión y lomas.

Cuchillas sedimentarias plegadas no erosionales (SPNE)

Las unidades de montaña de cuchillas sedimentarias plegadas no erosionales, se presentan en rocas de alta resistencia, donde los procesos denudativos son secundarios y las geoformas se deben a procesos estructurales principalmente. En esta clasificación se incluyen las montañas y cuchillas, cuya altura y forma es originada por plegamiento de las rocas superiores de la corteza terrestre, conservando algunos rasgos de sus estructuras originales. Para la zona de estudio se clasificaron las formaciones de Areniscas como de alta resistencia

como el caso de las Formaciones Arcabuco, La Rusia, sin embargo, la segunda presenta algunos miembros de mediana resistencia que inciden en las geoformas y unidades de paisaje de la zona. La unidad de montañas y colinas estructurales está compuesta por laderas estructurales, crestas y cuevas.

Depósitos aluviales (FA1)

Las unidades de origen deposicional, son geoformas originadas por procesos de denudación y acumulación de material, las cuales se diferencian según el tipo de transporte que genera el proceso de acumulación de los materiales. Está representada por los depósitos Cuaternarios de origen coluvial y aluvial, compuestos por materiales provenientes de la erosión de las rocas preexistentes y depositadas en las zonas bajas por acción del agua y la pendiente. Se destacan los depósitos asociados al valle aluvial del río Chicamocha y su sistema fluvial aportante. Se incluyen de manera general los depósitos glaciares que se han reportado en las zonas de páramo como en el de la formación Rusia al norte de la cuenca, y al sur en el sector de Pesca.

Lomeríos disectados (SD)

La unidad geomorfológica de Lomeríos disectados, corresponde a lomas o colinas convexas generalmente redondeadas y de relieves tabulares niveladas en sus cumbres, y que no sobrepasan la cota de 2650 m.s.n.m., ubicados a lado y lado del cauce actual del río Chicamocha, en algunos casos actuando como límite del lecho como en el caso de la vía a Tuta, embalse del Chulo donde aflora esta unidad a orillas del cauce. Cada conjunto de lomas se deriva de una estructura sedimentaria subhorizontal del Terciario Superior equivalente a las formaciones Bogotá y Tilatá del cuaternario, constituido por sedimentos arcillosos, arenosos y ligeramente conglomeráticos con aspecto general de peneplanicie que han sido fuertemente disectadas por la erosión

3.1.3.2. Patrón de drenaje⁶

Para poder identificar el patrón de drenaje en el sector, es de suma importancia contar con la topografía del lugar lo cual permite tener un mayor conocimiento acerca de los porcentajes de inclinación del terreno, por otro lado es muy importante tener en cuenta la cartografía hidrográfica para con esta poder analizar el comportamiento de descarga de una unidad hidrográfica también llamada cuenca.

Al momento de identificar este factor se realizan las respectivas divisiones y/o subdivisiones a las que haya lugar en el sentido de la investigación, en este caso ésta división se hace partiendo de la cuenca principal que es la del río Chicamocha, de la cual se desprende la subcuenca río de piedras y a su vez diversas microcuencas, que son las que abarcan en gran parte a la misma.

La zona de estudio está comprendida en un área de 5407 Ha. Las cuales comprenden toda la subcuenca de Río de Piedras, ésta presenta un patrón de drenaje de tipo SUBPARALELO, ya que durante el recorrido se forma un curso tributario y se ramifica formando así ángulos agudos directamente relacionados con el cauce principal. También se observa que a ésta subcuenca le aportan caudales las cuencas del Río Suarez y la cuenca alta del Río Chicamocha los cuales se unen más adelante en el Departamento de Santander para conformar el Río Sogamoso que vierte sus aguas al Río Magdalena, el aporte a la cuenca del Río Suárez la hace Río el Valle que nace en el Municipio de Cúmbita en la Laguna la Colorada a una altitud de 3500 m.s.n.m. con el nombre del Río Verde y al entrar es territorio Sotaquireño toma el nombre de Río el Valle, este recoge gran cantidad de agua de la zona occidental del Municipio, conformada por las microcuencas del Río Valle, Río Avendaño y la quebrada Blanca, las cuales drenan sus aguas a lo largo de la vereda de Avendaños, para luego unirse en el cañón del río el Valle y llegar a territorio del Municipio de Gámbita donde toma el nombre de Río Ubaza y

⁶ Rojas, Néstor. (2014). Estimación de parámetros para el modelo de balance hídrico de Thomas, a partir de caracterización geotécnica. Tunja.

sus aguas pasan por los Municipios de Gámbita, Toguí y San José de Pare hasta llegar al Rio Suarez.

Figura 3 - Mapa de Patron de Drenaje Subcuenca Rio de Piedras



La red hidrográfica del río de piedras posee un patrón de drenaje paralelo a subparalelo en sentido occidente-oriente, de otra parte, la subcuenca del río Sotaquirá y sus afluentes conforman un patrón de drenaje subdendrítico en sentido occidente- oriente. Estos drenan vertiginosamente hacia la zona plana a través de uno de los afluentes más importantes del río Sotaquirá, la Quebrada Honda (ver figura 3).

3.1.3.3. Geología⁷

(Ver figura 4)

Formación paja

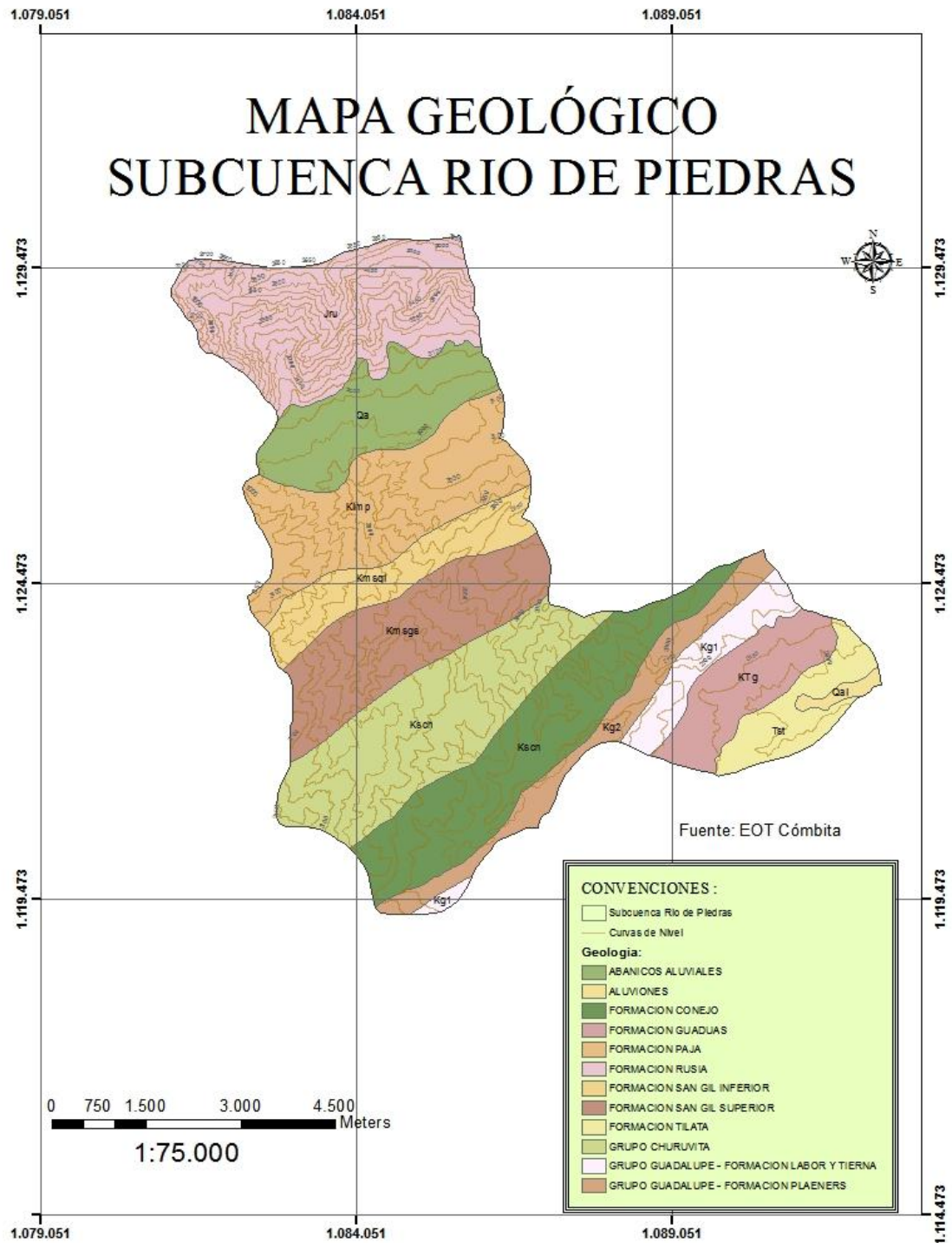
Aflora en el flanco occidental de la cuenca, en la continuación sur del sinclinal de los Medios, en la cuenca el río Piedras, y en el municipio de Motavita. La Formación Paja está compuesta por shales negros a gris oscuro intercalados con arcillolitas abigarradas y en menor proporción con capas delgadas de areniscas de grano fino. Esta unidad suprayace a la Formación Ritoque (Hauteriviano superior) y se ubica estratigráficamente bajo la Formación San Gil inferior (Albiano inferior) y su edad es Barremiano-Aptiano.

Formación San Gil inferior (Kmsgi)

Aflora en el flanco occidental de la cuenca, en la continuación sur del sinclinal de los Medios, en la cuenca el río Piedras, y en el municipio de Motavita. La Formación San Gil inferior está compuesta principalmente por calizas cristalinas de color gris claro a oscuro, intercaladas con arcillolitas y shales negros y en menor proporción areniscas cuarzosas de grano fino a medio. Según Hubach (en Renzoni, 1967) la Formación San Gil inferior corresponde al Albiano inferior y se correlaciona con parte de la Formación Tibasosa.

⁷ CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE BOYACÁ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia- Centro de Estudios Económicos Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Investigaciones Ambientales Formulación del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha.

Figura 4 - Mapa de Geológico Subcuenca Río de Piedras



Formación San Gil superior (Kmsgsgs)

Aflora en el flanco occidental de la cuenca, en la continuación sur del sinclinal de los medios, en la cuenca el río de Piedras y en el municipio de Motavita. Está conformada en su mayoría por arcillolitas y shales de color negro y presenta algunas interlaminaciones de areniscas cuarzosas; infrayace concordantemente al Grupo Churuvita y se encuentra estratigráficamente por encima de la Formación San Gil inferior. Según Renzoni (1967), la edad de esta unidad es Albiano superior y se correlaciona con el techo de la Formación Tibasosa y parte de la base de la Formación Une.

Grupo Churuvita (Ksch)

Las rocas de este Grupo afloran de manera restringida en los alrededores de la Ciudad de Duitama y al suroriente del área urbana de Paipa, expuesta a manera de parches en estructuras de plegamiento muy intenso y que parcialmente han sido afectadas por las intrusiones de las rocas andesíticas de Paipa asociadas al volcanismo terciario cuaternario.

Está conformada por areniscas cuarzosas, lutitas negras, calizas en proporciones variables y limolitas silíceas hacia el tope de la Formación. La edad del Grupo Churuvita es Cenomaniano -Turoniano con base en sus relaciones estratigráficas; suprayace a la Formaciones San Gil superior y Une (Cenomaniano) e infrayace a la Formación Conejo (Coniaciano - Santoniano). Está compuesta en la base por areniscas cuarzosas con intercalaciones de shales negros y algunas capas de caliza; en la parte superior no se encuentran las areniscas, y la sucesión está compuesta por limolitas silíceas, shales y algunos niveles calcáreos.

Formación Conejo (Kscn)

Las rocas de esta formación afloran de manera amplia al sur de la Ciudad de Duitama y en los alrededores del Lago Sochagota, al suroriente del área urbana de Paipa, expuesta a manera de parches en estructuras de plegamiento muy intenso y que parcialmente han sido afectadas por las intrusiones de las rocas

andesíticas de Paipa asociadas al volcanismo terciario cuaternario. Suprayace al Grupo Churuvita y se ubica estratigráficamente bajo la Formación Plaeners del Grupo Guadalupe, está compuesta principalmente por shales carbonosos y silíceos de color gris oscuro a negro, con algunas intercalaciones de areniscas silíceas de grano fino. Niveles de lutitas de color grisáceo oscuro y algunos niveles de areniscas cuarzosas (con alto contenido de cuarzo). Su edad es Coniaciano-Santoniano según Renzoni, (1967); en este mismo trabajo se menciona un segmento superior arenoso con intercalaciones de niveles calcáreos y arcillosos, que según los autores podría corresponder a la Formación Arenisca Dura en la cuenca de la Sabana de Bogotá.

Grupo Guadalupe

Formación plaeners (Kg2)

Afloran al suroriente de Paipa en el sector de El Durazno, y en los alrededores de la ciudad de Duitama; al oriente de Iza, Cuitiva y en los alrededores del Lago de Tota, parte más oriental de la Cuenca. Esta compuesta principalmente por limolitas silíceas, niveles de chert, shales y arcillolitas caoliníticas y en menor proporción, capas de fosforitas y areniscas cuarzosas. Se encuentra estratigráficamente encima de la formación Conejo y bajo la formación Labor y Tierna del Grupo Guadalupe. La edad de esta unidad se estima como Campaniano debido a su posición estratigráfica y los fósiles reportados en Renzoni, (1967).

Formación labor y tierna (Kg1)

Afloran al suroriente de Paipa en el sector de El Durazno, y en los alrededores de la Ciudad de Duitama; al oriente de Iza, Cuitiva y en los alrededores del Lago de Tota, parte más oriental de la Cuenca. La Formación Labor y Tierna está ubicada estratigráficamente sobre la formación Plaeners y bajo la Formación Guaduas, transicional entre el Cretácico y el Terciario. Está compuesta por una predominancia de shales de color gris con intercalaciones de areniscas de grano

medio a grueso y hacia el tope, una predominancia de cuarzoarenitas en capas gruesas muy similares a la Formación Tierna del Grupo Guadalupe en la Sabana de Bogotá. La edad de esta se calcula como Maastrichtiano por su relación estratigráfica. Tiene gran importancia en las unidades de trabajo por su importancia como fuente de materiales para construcción.

Formación guaduas (TKg)

La Formación Guaduas aflora ampliamente al oriente de la cuenca, especialmente al oriente de las Poblaciones de Tota, Cuitiva e Iza, formando valles amplios y colinas suaves al igual que en el valle del río Pesca, donde en sus laderas esta unidad es activamente explotada en sus minas de carbón. De igual manera se encuentra expuesta en los alrededores de Paipa y al sur en los alrededores del municipio de Motavita y Tunja

Formación Tilatá (Tst)

Aflora ampliamente en la parte central de la cuenca en lo que se conoce como el bajo estructural, en la depresión del Chicamocha entre las ciudades de Tunja y Duitama y en gran parte de la porción centro-occidental del área de estudio. Litológicamente está compuesta por capas de gravas y conglomerados macizos con clastos de andesitas en el sector de Olitas al sur de Paipa, intercaladas con arcillolitas vari-coloreadas, areniscas silíceas de grano fino a grueso color blanco a gris rojizo; y algunos niveles carbonosos delgados; su contacto inferior es discordante sobre todas las formaciones ubicadas entre la Formación Bogotá y la Formación Une. Su edad es Plio-Pleistoceno según Van Der Hammen, (1958), y no aflora sobre las secuencias terciarias expuestas en los afloramientos en los alrededores de Sogamoso. Esta unidad se diferencian muy bien a lo largo de la cuenca del río Chicamocha, y por la vía que de Tunja conduce a Duitama, siendo claramente diferenciable por su contacto neto entre los niveles arcillosos inferiores y las gravas y conglomerados. Con relación a la unidad estratigráfica Formación Bogotá, La Formación Tilatá presenta un ambiente fluvial predominante y generalmente se confunde con los niveles medios de arcillolitas rojizas que se

exponen en los alrededores de Tunja aunque se diferencia claramente por su ambiente de depósito y la flora encontrada que determina la edad Plioceno - Pleistoceno. Por sus características litológicas la Formación Bogotá y las Formaciones Tilatá, se relacionan por su utilidad en la industria de la construcción de los niveles arcillosos disectados por la presencia de ambientes fluviales en la cuenca alta del río Chicamocha. Tienen escasa vegetación en donde se concentran las explotaciones mineras con chircales para producción de ladrillos, que ayudado con el alto grado de cárcavamiento por la erosión y tuboficación, impide que se forme una buena capa vegetal, siendo imposible el desarrollo de cultivos en estas zonas donde afloran estas unidades.

Abanicos aluviales (Qa)

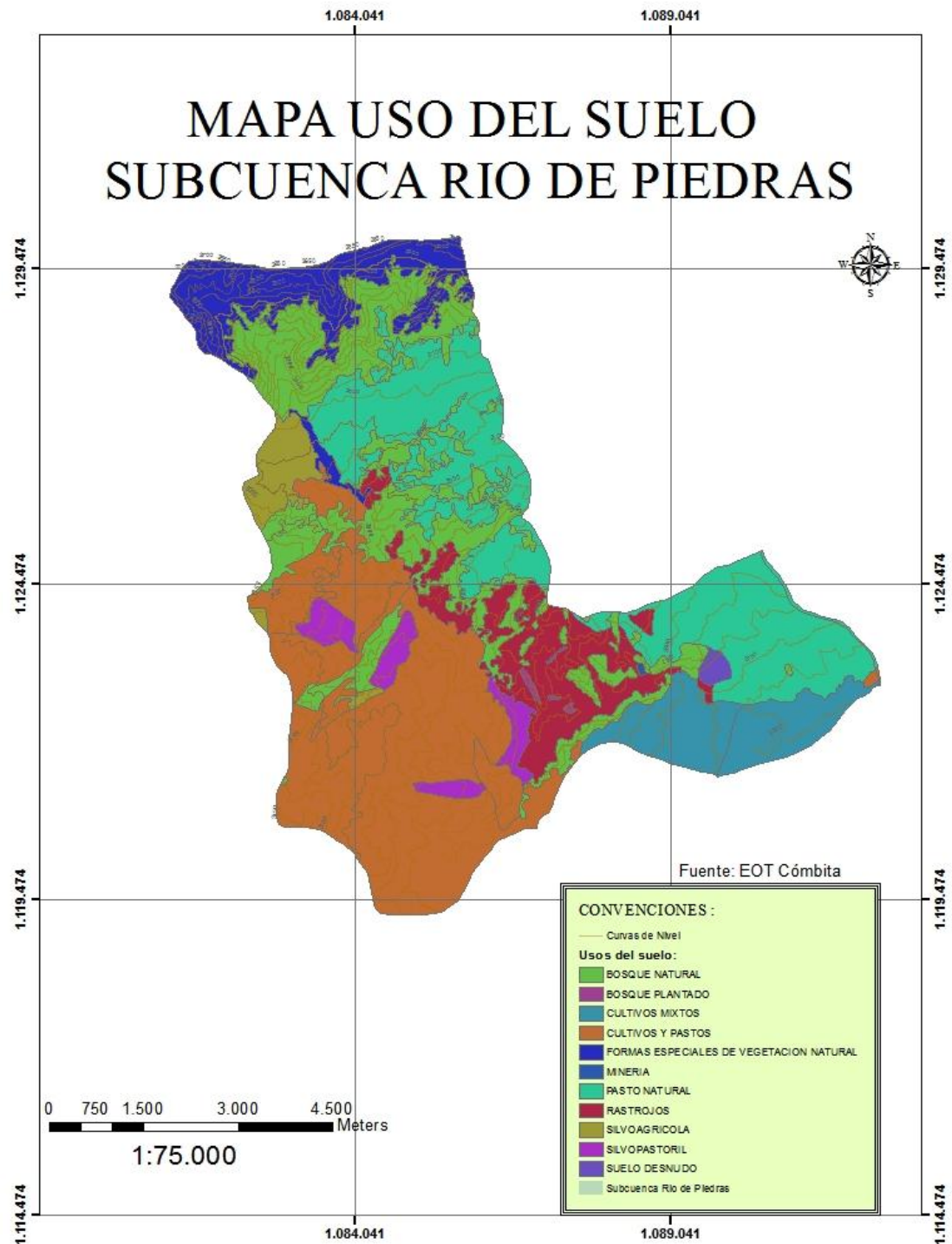
Este tipo de depósitos están ubicados en el Piedemonte provenientes de la erosión de las rocas Jurásicas y Cretácicas de la Serranía de Arcabuco y páramo de la Rusia, depositados en los alrededores de la ciudad de Duitama, asociados a los ríos Suba y Chiticuy que corresponden a depósitos fluviales en zonas de grandes cambios de pendiente en los que tanto la energía de la corriente que transporta la carga sedimentaria como la pendiente, disminuyen y dan paso a una acumulación de materiales de grano grueso (tipo grava) principalmente. La Ciudad de Duitama se ubica sobre grandes depósitos de abanicos aluviales del sistema fluvial de la unidad de trabajo del río Surba.

3.1.3.4. Suelo⁸

En la zona de estudio que comprende a los municipios de Combita, Tuta y Sotaquirá, el suelo es básicamente utilizado para labores de agricultura y pastoreo, además en el trayecto se presentan lugares de reserva natural, bosques nativos y humedales. (Ver figura 5).

⁸ CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE BOYACÁ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia- Centro de Estudios Económicos Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Investigaciones Ambientales Formulación del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha.

Figura 5 - Mapa de Uso de Suelo Subcuenca Río de Piedras



Las zonas de estudio de acuerdo a sus planes de ordenamiento territorial, determina zonas de conservación, protección y/o recuperación del medio ambiente y los recursos naturales. Además lo define como el constituido por las zonas y áreas de terrenos que por sus características geográficas paisajísticas o ambientales, o por formar parte de las zonas de utilidad pública para la ubicación de infraestructuras para la provisión de servicios públicos domiciliarios o de las áreas de amenazas y riesgo no mitigable para la localización de asentamientos humanos, debe ser catalogada como zona de protección, conservación y reserva.

Igualmente se adoptan como áreas de reserva para las zonas de los municipios que pertenecen a la subcuenca, las áreas de páramo, sub páramo, bosque alto andino, zonas de infiltración y recarga de acuíferos, áreas periféricas a nacimientos, pantanos, humedales, lagunas y cauces de agua, que se encuentran en la subcuenca. Estas áreas se describen a continuación:

Área de preservación de páramo y subpáramo

Dados los usos actuales en el Municipio, se definieron como las áreas que debido a su fragilidad e importancia hídrica deben preservarse y/o recuperarse. Las áreas descritas corresponden a la parte alta del ramal cordillerano que atraviesa el municipio de sur a norte, desde los límites con Cómbita hasta los límites con Paipa, en la vereda Carrizal, que es un ecosistema estratégico. Son áreas destinadas básicamente a la preservación con el fin de garantizar la intangibilidad y la perpetuación de los recursos naturales dentro de los espacios específicos. En estas áreas los recursos naturales deben mantenerse ajenos a las alteraciones humanas, a fin de que se puedan conservar a perpetuidad la riqueza biótica y ecosistémica.

Los Usos de ésta unidad son los siguientes.

Uso principal: Protección integral de los recursos naturales.

Usos compatibles: Recreación contemplativa, rehabilitación ecológica e investigación controlada.

Usos condicionados: Agropecuarios tradicionales ya existentes bajo régimen de gradualidad hasta su prohibición en un máximo de tres (3) años, aprovechamiento persistente de productos forestales secundarios para cuya obtención no se requiera cortar los árboles, arbustos o plantas; infraestructura básica para usos compatibles, vías y captación de acueductos.

Usos Prohibidos: Agropecuarios intensivos, industriales, minería, urbanización, institucional y otros usos y actividades, como la quema, tala y caza que ocasionen deterioro ambiental.

Franja de amortiguamiento de páramo.

Dado el uso actual de la franja, ésta área se definió como de amortiguamiento de páramo y conservación de bosque alto andino. Uso principal: Actividades orientadas a la protección integral de los recursos naturales.

Usos compatibles: Recreación contemplativa, rehabilitación ecológica e investigación controlada.

Usos condicionados: Agropecuarios tradicionales, aprovechamiento forestal de especies foráneas, captación de acueductos y vías.

Usos prohibidos: Institucionales, agropecuario mecanizado, recreación masiva y parcelaciones con fines de construcción de vivienda campestre, minería y extracción de materiales de construcción.

Áreas de bosque alto andino y protección de fauna.

Son aquellas áreas boscosas silvestres, que por su naturaleza, bien sea de orden biológico, genético, estético, socioeconómico o cultural, ameriten ser protegidas y conservadas y que al momento no se les ha creado una categoría de manejo y administración. Es aquel territorio que asociado al concepto de Ecosistema

Estratégico, dada su diversidad ecosistémica, se debe proteger con fines de conservación, investigación y manejo de la fauna silvestre.

Uso principal: Recuperación y conservación forestal y recursos conexos. Conservación de fauna con énfasis en especies endémicas y en peligro de extinción.

Usos compatibles: Recreación contemplativa, rehabilitación ecológica e investigación y establecimiento de plantaciones forestales protectoras, en áreas desprovistas de vegetación nativa. Repoblamiento con especies propias del territorio, rehabilitación ecológica, recreación contemplativa e investigación controlada.

Usos condicionados: Construcción de vivienda del propietario, infraestructura básica para el establecimiento de usos compatibles, aprovechamiento persistente de especies foráneas y de productos forestales secundarios para cuya obtención no se requiera cortar los árboles, arbustos, o plantas en general. Caza y pesca previa obtención de los permisos respectivos, construcción de instalaciones relativas al uso compatible, extracción de ejemplares para investigación, zootecnia y extracción genética.

Usos prohibidos: Agropecuarios, industriales, urbanos, institucionales, minería, loteo para fines de construcción de viviendas y otras que causen deterioro ambiental como la quema y tala de vegetación nativa y la caza.

Áreas de infiltración y recarga de acuíferos.

Son aquellas que permiten la infiltración, circulación o tránsito de aguas entre la superficie y el subsuelo. En general la cobertura vegetal del bosque, sustentada sobre areniscas, rocas fracturadas o suelos formados sobre movimientos en masa, son áreas potenciales de recarga, al igual que los aluviones de grandes valles interandinos.

Uso principal: Forestal Protector con especies nativas.

Uso compatible: Actividades agrosilviculturales, recreación contemplativa y vivienda campesina con máximo de ocupación de 5%.

Uso condicionado: Institucional, equipamiento comunitario, aprovechamiento forestal de especies exóticas.

Uso prohibido: Plantación de bosques con especies foráneas, explotaciones agropecuarias bajo invernadero, parcelaciones con fines de construcción de vivienda, zonas de expansión urbana, extracción de materiales, aprovechamiento forestal de especies nativas.

Áreas periféricas a nacimientos, cauce de ríos, quebradas, Lagunas, pantanos y humedales en general.

Son franjas de suelo ubicadas paralelamente a los cauces de agua o en la periferia de los nacimientos y cuerpos de agua y su ancho será, según concertación MUNICIPIOS-CORPOBOYACÁ.

Uso principal: Conservación de suelos y restauración de la vegetación adecuada para la protección de los mismos.

Usos compatibles: Recreación pasiva o contemplativa.

Usos condicionados: Captación de aguas o incorporación de vertimientos, siempre y cuando no afecten el cuerpo de agua ni se realice sobre los nacimientos; construcción de infraestructura de apoyo para acueductos, distritos de riego y actividades de recreación, embarcaderos, puentes y obras de adecuación, desagüe de instalaciones de acuicultura y extracción de material de arrastre.

Usos prohibidos: Usos agropecuarios, industriales, urbanos y suburbanos, loteo y construcción de viviendas, minería, disposición de residuos sólidos, tala y rocería de la vegetación.

Áreas de reforestación con especies nativas y exóticas.

Su fin es proteger los recursos naturales renovables; deben ser conservadas con bosque nativo o sustituto pero pueden ser objeto de usos productivos, sujetos al mantenimiento del efecto protector.

Uso Principal: Establecimiento de plantaciones forestales con fines protectores y conservación de cuerpos de agua, en el caso de las rondas de los cauces.

Usos Compatibles: Recreación pasiva, o contemplativa, rehabilitación ecológica, construcción de obras de captación de aguas o de incorporación de vertimientos siempre que el usuario tenga concesión o permiso vigente, concedido por CORPOBOYACA, en el caso de las rondas de los cauces.

Usos Condicionados: Infraestructura de servicios, vivienda del propietario y/o celador y aprovechamiento forestal de las plantaciones establecidas.

Usos Prohibidos: Agropecuarios tradicionales o intensivos, minería, industriales, urbanización, institucionales, quema, caza, tala o rocería de la vegetación adecuada para la protección de cuerpos de agua, usos urbanos y suburbanos, loteo y construcción de viviendas, disposición de residuos sólidos y otros usos que ocasionen deterioro ambiental,

3.1.3.5. Clima

En la zona de estudio se presenta un clima uniforme durante el recorrido de los puntos de estudio para la realización de la investigación, el clima que se presentó durante las exploraciones fue húmedo el cual juega un papel muy importante para el momento del análisis de los resultados de laboratorios.

3.2. Preguntas de investigación

- ¿Qué importancia tiene realizar un análisis espacial geotécnico mediante un SIG, identificando parámetros básicos preliminares en la zona delimitada por la subcuenca Rio de Piedras, teniendo en cuenta las condiciones topográficas y geológicas que se presentan?
- ¿Qué aporte se le puede dar a la comunidad de la zona de investigación para su beneficio con base a los parámetros estudiados?
- ¿Cuál es el procedimiento adecuado para observar la tendencia espacial de un fenómeno geotécnico y así poder realizar el análisis de los resultados?
- ¿Qué importancia tiene tanto para nosotros como para los municipios el estudio de caracterización geotécnica de la subcuenca Rio de Piedras?

3.3. Justificación

La realización de esta investigación en base a la variabilidad espacial de los parámetros geotécnicos, da lugar al procesamiento de la información brindada por los diferentes grupos que realizaron las exploraciones junto con la información primaria para poder determinar las diferencias que presenta el suelo en la zona que abarca la subcuenca Rio de Piedras.

Esta investigación se realiza con el fin de determinar las condiciones físicas del suelo para poder saber con mayor claridad el comportamiento de este y de antemano poder brindarle a la comunidad de la zona una información más puntual, en el que se manejan distintas actividades relacionadas con el agro y la ganadería para el beneficio propio.

Las diferentes actividades se realizan por medio de la exploración manual para la toma de muestras, las cuales son llevadas al laboratorio para determinar los valores de cada uno de los puntos explorados, obteniendo los resultados se da paso a la recopilación de estos para generar una base de datos la cual fue elaborada por el ingeniero magister Néstor Iván Rojas, quien facilitó esta información para así realizar la digitalización en el programa ArGis y determinar la variabilidad espacial del lugar.

3.3.1. Impacto social

La investigación de los parámetros geotécnicos básicos es importante en el aspecto social ya que los resultados obtenidos al final se pueden utilizar como información para futuros estudios que se realicen, brindando información de las características estudiadas en este sector. Es de suma importancia tener en cuenta las actividades agropecuarias, ganaderas y el papel que juega la subcuenca Rio de Piedras con el sector y sus alrededores ya que es la fuente principal de abastecimiento de agua.

Igualmente al subir esta información al SIG los entes gubernamentales pueden tener acceso a estos datos para darle una mayor utilización y ofrecerla a la comunidad interesada de este sector o de igual forma para estudios futuros para el desarrollo de la esta.

3.3.2. Impacto económico

Como impacto económico se puede decir que va a estar aportando a la comunidad tanto natural como institucional una gran ayuda para su estudio, consulta o guía al momento de requerirlo y lo más importante sin ningún tipo de costo.

De igual manera se obtendrán los datos necesarios para la comunidad que diariamente trabaja en este sector ya sea en el campo de la ganadería o agricultura e incluso para un futuro una construcción vial, ya se contarán con datos de cada interés o necesidad.

3.3.3. Impacto ambiental

La subcuenca de Río de Piedras tiene importantes fuentes hídricas, zonas de erosión y zonas húmedas y secas, es por esto que se debe saber cómo manejar cada situación, a la hora de hacer un trabajo para no generar cambios bruscos en el hábitat que se tiene presente.

De acuerdo a lo anterior se dio paso a determinar los puntos de exploración, donde se encontraron tipos de suelo arcillosos y orgánicos, de igual manera se apreció que en el terreno de estudio se presentaban procesos geomorfológicos de erosiones de tipo moderadas y ligeras, también se presentan erosiones no naturales ya que son causadas por el hombre.

3.4. Objetivos

3.4.1. Objetivo general

Determinar de forma general la variación espacial de parámetros geotécnicos básicos mediante el uso de SIG, a partir de datos puntuales de exploración de la subcuenca río de piedras.

3.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar el valor de cada parámetro geotécnico representativo dentro de cada microcuenca, a través de métodos de exploración manual y realizar los respectivos análisis de laboratorio.
- Utilizar la base de datos suministrada para realizar los análisis espaciales de cada parámetro, digitalizándolos por medio del programa ArGis.
- Definir el procedimiento para observar la tendencia espacial de un parámetro geotécnico y realizar análisis de los resultados tanto de laboratorio como cartograficos.
- Determinar por el método IDW, haciendo una validación cruzada los resultados de exactitud de los parámetros a evaluar.

4. REVISION BIBLIOGRAFICA Y ESTADO DEL ARTE

4.1. Marco conceptual

Este trabajo se fundamenta básicamente en la obtención de datos puntuales a partir de una caracterización geotécnica preliminar básica, incluyendo el análisis de los suelos de una subcuenca para con esta información hacer su modelación, es necesario tener en cuenta la importancia de caracterizar los materiales y reconocer los diferentes factores que intervienen en el sitio de las exploraciones.

De esta manera se puede concluir que el proceso sirve para hallar las propiedades de un suelo y se pueden dividir en 2 etapas: la etapa de exploración y la etapa de caracterización para llegar a determinar los valores de los 25 puntos explorados a través del proceso de investigación en la zona de estudio.

4.1.1. Obtención de muestras y exploración manual⁹

Para la obtención de las muestras es utilizado el método de exploración directa, haciendo apiques con barreno helicoidal y posteadora, seguidamente se recupera el material alterado para con éste realizar los laboratorios de: humedad, límites, granulometría, gravedad específica, para el material inalterado se utilizan tubos Shelby y cuchara partida con el fin de elaborar los diagramas de fases.

Esta exploración se realiza básicamente haciendo una excavación con barreno y barra para conseguir una primera profundidad alrededor de 80cm, seguidamente se procede a hincar un toma muestras que va en el extremo del tubo guía, se dan golpes, mediante una pesa de 140 lb aproximadamente, en caída libre a una altura de 75cm la cual se mueve a lo largo de la guía, que es un tubo que va sujeto a una zapata afilada de acero para un buen manejo al momento de iniciar la perforación.

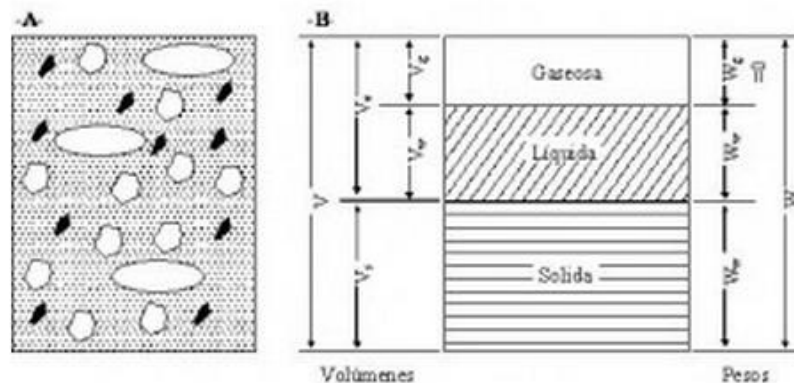
⁹ Norma I.N.V.E. 105,122,125,126,128,130 - 07

Estas perforaciones se fueron realizando por intervalos de 1.20m., hasta finalmente llegar a una profundidad de 5m. Se tomaron las respectivas muestras en cada intervalo para sacar 3 muestras por sondeo y obtener un total final de 75 muestras.

4.1.2. Parámetros geotécnicos preliminares¹⁰

Para definir los parámetros geotécnicos básicos que se investigaron en la zona de trabajo debemos iniciar por la identificación del suelo, ya que sabemos que estos están constituidos por un conjunto de partículas minerales las cuales constan de materia orgánica en un bajo porcentaje en la mayoría de los casos, entre estas partículas se encuentran vacíos los cuales pueden estar ocupados por agua o en caso diferente por aire, por lo tanto nos podemos dar cuenta que el suelo está formado por tres fases, solidas que son las partículas, liquida que hace referencia al agua y gaseosa que es el componente del aire.

Grafica 3. Relación entre fases del suelo.



Relaciones entre las fases de un suelo: -A- Elementos del suelo natural; -B- División de un elemento en fases

Fuente. DAS, Braja M. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Ciudad de México: International Thomson Editores, 2001. pág. 608.

¹⁰ DAS, Braja M. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Ciudad de Mexico : International Thomson Editores, 2001. pág. 608.

Dentro de los parámetros del estado del suelo se presentan: la humedad (W), en la cual se determina en el W_s que son las partículas sólidas y W_w que define el peso del agua que contiene la masa del suelo estudiada, esta se expresa en porcentaje dependiendo de la cantidad de humedad que se obtenga en la muestra y el resultado al obtener el peso del suelo seco.

La densidad es la que en ocasiones resulta útil llamarla como la densidad seca del material.

El volumen total del suelo teniendo en cuenta que se presentan variaciones en la humedad del terreno.

El grado de saturación del suelo ya que este puede tener una humedad variable definida por el grado de la humedad de saturación.

La porosidad es la que se define como el cociente entre el volumen que ocupan los poros y el volumen total del suelo (n).

El coeficiente de permeabilidad se divide en permeabilidad in situ y en laboratorio el cual se denota con el símbolo (k).

La relación de vacíos (e), que define el cociente entre el volumen que ocupan los poros y el volumen que ocupan las partículas sólidas.

Con esto se describen los parámetros geotécnicos básicos a tener en cuenta al momento de un estudio puntual de un suelo, para determinar con los respectivos ensayos de laboratorio, una descripción técnica y puntual de los mismos.

4.1.3. Sistema de información geográfica sig.¹¹

Este sistema de información es una integración de datos geográficos los cuales están en este software para así poder capturar, almacenar, manipular y desplegar imágenes detalladas con la información necesaria a partir de coordenada y bases de

¹¹ GUSTAVO D. Buzai, análisis espacial con sistemas de información geográfica, (2004).

datos, los SIG son herramientas que nos permiten crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

Esta tecnología de los sistemas nos dan paso a la información geográfica la cual en nuestro caso fue utilizada para la investigación de la variación espacial y por medio de bases de datos obtenidas determinar los parámetros geotécnicos del lugar donde se realizó la investigación para el trabajo de grado.

La creación de datos

La teledetección es una de las principales fuentes de datos para los SIG. En la imagen artística una representación de la constelación de satélites RapidEye.

Las modernas tecnologías SIG trabajan con información digital, para la cual existen varios métodos utilizados en la creación de datos digitales. El método más utilizado es la digitalización, donde a partir de un mapa impreso o con información tomada en campo se transfiere a un medio digital por el empleo de un programa de Diseño Asistido por Ordenador (DAO o CAD) con capacidades de georreferenciación.

Dada la amplia disponibilidad de imágenes orto-rectificadas (tanto de satélite y como aéreas), la digitalización por esta vía se está convirtiendo en la principal fuente de extracción de datos geográficos. Esta forma de digitalización implica la búsqueda de datos geográficos directamente en las imágenes aéreas en lugar del método tradicional de la localización de formas geográficas sobre un tablero de digitalización.

La representación de los datos

Los datos SIG representan los objetos del mundo real (carreteras, el uso del suelo, altitudes). Los objetos del mundo real se pueden dividir en dos abstracciones: objetos discretos (una casa) y continuos (cantidad de lluvia caída, una elevación). Existen dos formas de almacenar los datos en un SIG: raster y vectorial.

Los SIG que se centran en el manejo de datos en formato vectorial son más populares en el mercado. No obstante, los SIG raster son muy utilizados en estudios que requieran la generación de capas continuas, necesarias en fenómenos no discretos; también en estudios medioambientales donde no se requiere una excesiva precisión espacial (contaminación atmosférica, distribución de temperaturas, localización de especies marinas, análisis geológicos, etc.).

Raster

Un tipo de datos raster es en esencia, cualquier tipo de imagen digital representada en mallas. El modelo de SIG raster o de retícula se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización. Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor. Se trata de un modelo de datos muy adecuado para la representación de variables continuas en el espacio.

Interpretación cartográfica vectorial (izquierda) y raster (derecha) de elementos geográficos.

Cualquiera que esté familiarizado con la fotografía digital reconoce el píxel como la unidad menor de información de una imagen. Una combinación de estos píxeles creará una imagen, a distinción del uso común de gráficos vectoriales escalables que son la base del modelo vectorial. Si bien una imagen digital se refiere a la salida como una representación de la realidad, en una fotografía o el arte transferidos a la computadora, el tipo de datos raster reflejará una abstracción de la realidad. Las fotografías aéreas son una forma de datos raster utilizada comúnmente con un sólo propósito: mostrar una imagen detallada de un mapa base sobre la que se realizarán labores de digitalización. Otros conjuntos de datos raster podrán contener información referente a las elevaciones del terreno (un Modelo Digital del Terreno), o de la reflexión de la luz de una particular longitud de onda (por ejemplo las obtenidas por el satélite LandSat), entre otros.

Los datos raster se compone de filas y columnas de celdas, cada celda almacena un valor único. Los datos raster pueden ser imágenes (imágenes raster), con un valor de color en cada celda (o píxel). Otros valores registrados para cada celda puede ser un valor discreto, como el uso del suelo, valores continuos, como temperaturas, o un valor nulo si no se dispone de datos. Si bien una trama de celdas almacena un valor único, estas pueden ampliarse mediante el uso de las bandas del raster para representar los colores RGB (rojo, verde, azul), o una tabla extendida de atributos con una fila para cada valor único de células. La resolución del conjunto de datos raster es el ancho de la celda en unidades sobre el terreno.

Los datos raster se almacenan en diferentes formatos, desde un archivo estándar basado en la estructura de TIFF, JPEG, etc. a grandes objetos binarios (BLOB), los datos almacenados directamente en Sistema de gestión de base de datos. El almacenamiento en bases de datos, cuando se indexan, por lo general permiten una rápida recuperación de los datos raster, pero a costa de requerir el almacenamiento de millones registros, con un importante tamaño de memoria. En un modelo raster cuanto mayor sean las dimensiones de las celdas, menor es la precisión o detalle (resolución) de la representación del espacio geográfico.

Vectorial

En un SIG, las características geográficas se expresan con frecuencia como vectores, manteniendo las características geométricas de las figuras.

Representación de curvas de nivel sobre una superficie tridimensional generada por una malla TIN.

En los datos vectoriales, el interés de las representaciones se centra en la precisión de localización de los elementos geográficos sobre el espacio y donde los fenómenos a representar son discretos, es decir, de límites definidos. Cada una de estas geometrías está vinculada a una fila en una base de datos que describe sus atributos. Por ejemplo, una base de datos que describe los lagos puede contener datos sobre la batimetría de estos, la calidad del agua o el nivel de

contaminación. Esta información puede ser utilizada para crear un mapa que describa un atributo particular contenido en la base de datos. Los lagos pueden tener un rango de colores en función del nivel de contaminación. Además, las diferentes geometrías de los elementos también pueden ser comparadas. Así, por ejemplo, el SIG puede ser usado para identificar aquellos pozos (geometría de puntos) que están en torno a 2 kilómetros de un lago (geometría de polígonos) y que tienen un alto nivel de contaminación.

4.1.4. Dimensión espacial de los datos en un SIG.¹²

Los elementos vectoriales pueden crearse respetando una integridad territorial a través de la aplicación de unas normas topológicas tales como que "los polígonos no deben superponerse". Los datos vectoriales se pueden utilizar para representar variaciones continuas de fenómenos. Las líneas de contorno y las redes irregulares de triángulos (TIN) se utilizan para representar la altitud u otros valores en continua evolución. Los TIN son registros de valores en un punto localizado, que están conectados por líneas para formar una malla irregular de triángulos. La cara de los triángulos representa, por ejemplo, la superficie del terreno.

Para modelar digitalmente las entidades del mundo real se utilizan tres elementos geométricos: el punto, la línea y el polígono.

Puntos

Los puntos se utilizan para las entidades geográficas que mejor pueden ser expresadas por un único punto de referencia. En otras palabras: la simple ubicación. Por ejemplo, las localizaciones de los pozos, picos de elevaciones o puntos de interés. Los puntos transmiten la menor cantidad de información de estos tipos de archivo y no son posibles las mediciones. También se pueden utilizar para representar zonas a una escala pequeña. Por ejemplo, las ciudades en un mapa del mundo estarán representadas por puntos en lugar de polígonos.

¹² ArcGis- ArcMap, 2010-desktop resource center.

Líneas o polilíneas

Las líneas unidimensionales o polilíneas son usadas para rasgos lineales como ríos, caminos, ferrocarriles, rastros, líneas topográficas o curvas de nivel. De igual forma que en las entidades puntuales, en pequeñas escalas pueden ser utilizados para representar polígonos. En los elementos lineales puede medirse la distancia.

Polígonos

Los polígonos bidimensionales se utilizan para representar elementos geográficos que cubren un área particular de la superficie de la tierra. Estas entidades pueden representar lagos, límites de parques naturales, edificios, provincias, o los usos del suelo, por ejemplo. Los polígonos transmiten la mayor cantidad de información en archivos con datos vectoriales y en ellos se pueden medir el perímetro y el área.

Conversión de datos raster-vectorial

Los SIG pueden llevar a cabo una reestructuración de los datos para transformarlos en diferentes formatos. Por ejemplo, es posible convertir una imagen de satélite a un mapa de elementos vectoriales mediante la generación de líneas en torno a celdas con una misma clasificación determinando la relación espacial de estas, tales como proximidad o inclusión. Al proceso inverso de conversión de datos vectorial a una estructura de datos basada en un matriz raster se le denomina rasterización.

Dado que los datos digitales se recogen y se almacenan en ambas formas, vectorial y raster, un SIG debe ser capaz de convertir los datos geográficos de una estructura de almacenamiento a otra.

Arctoolbox

La ventana ArcToolbox muestra la etiqueta de caja de herramientas.

3d Analyst Tools

Los instrumentos interactivos sobre la barra de tareas de Analista de 3D en ArcMap pueden ser usados sobre una TIN (red Triangular Irregular), el terreno data set, tramar o superficie:

- Crea Contornos.
- Crean el Camino Más escarpado.
- Crean la Línea de Vista.
- Interpolan el Punto.
- Interpolan la Línea.
- Interpolan el Polígono.

Idw

Es un promedio de distancia ponderado, el promedio no puede ser mayor que el más alto o menos que la entrada más baja. Por lo tanto, esto no puede crear cantos o valles si estos extremos ya no han sido probados (Watson y Philip 1985).

Raster Surface

Ayudan en la conversión de su superficie tramada en datos de rasgo de vector o un archivo dataset basado. La trama es convertida en datos de rasgo que contiene vector datos basados extraídos de la trama.

Data Managementtools

Herramientas de gestión para empezar a crear las conversiones de figuras a polígonos.

Feature To Polygon

Nos permite realizar la acción de convertir una figura a polígono, con todos los atributos correspondientes.

Spacial Join

Este método es útil para añadir datos de paquete con coordenadas.

Overlay

Una operación de velo es mucho más que una combinación simple de trabajo de línea; Todos los atributos de los rasgos que participan en el velo son completados.

4.1.5. Realización de ensayos de laboratorio

Estos se realizan de acuerdo a los parámetros para cada uno de los laboratorios a realizar que son límites, donde se desea calcular el índice de plasticidad (I_p), permeabilidad del suelo in-situ (k in-situ) y en laboratorio (k lab.); Fases, que comprende gravedad específica (G_s), relación de vacíos (e), porosidad (n); saturación (S), peso específico (γ), humedad (ω), los cuales se realizaron de la siguiente manera para los puntos de exploración, teniendo en cuenta que en siete (7) puntos no fue posible realizar el K in situ.

Saturación y humedad¹³

La saturación (S) y el porcentaje de humedad (ω), son valores que permanentemente tienden a cambiar en un suelo que dependiendo de las condiciones climáticas que presente la zona de estudio.

En cuanto a lo anteriormente nombrado este ensayo tiene por finalidad, determinar el contenido de humedad de una muestra de suelo. El contenido de humedad de una masa de suelo, está formado por la suma de sus aguas libre, capilar e higroscópica.

La importancia del contenido de agua que presenta un suelo representa junto con la cantidad de aire, una de las características más importantes para explicar el comportamiento de este (especialmente en aquellos de textura más fina), como por ejemplo cambios de volumen, cohesión, estabilidad mecánica.

El método tradicional de determinación de la humedad del suelo en laboratorio, es por medio del secado a horno, donde la humedad de un suelo es la relación

¹³ Cfr. INVIAS. INV E-127-07, Bogotá: INVIAS, 2007

expresada en porcentaje entre el peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas, o sea:

Fórmula 1. Determinación de humedad del suelo

$$w = (W_w / W_s) * 100 (\%)$$

Dónde:

w = contenido de humedad expresado en %

Ww = peso del agua que existe en el suelo

Ws = peso de las partículas sólidas

Determinación de los límites de Atterberg.

Los suelos que poseen algo de cohesión, según su naturaleza y cantidad de agua, pueden presentar propiedades que lo incluyan en el estado sólido, semi-sólido, plástico o semi-líquido. El contenido de agua o humedad límite al que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro.

El método usado para medir estos límites se conoce como método de Atterberg y los contenidos de agua o humedad con los cuales se producen los cambios de estados, se denominan límites de Atterberg. Ellos marcan una separación arbitraria, pero suficiente en la práctica, entre los cuatro estados mencionados anteriormente.

Límite líquido (LL). Humedad de un suelo re moldeado, límite entre los estados líquido y plástico, expresado en porcentaje, este se trabajó bajo la norma (I.N.V. E – 125 – 07).

Fórmula 2. Determinación Del Límite Líquido.

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Masa del agua}}{\text{Masa del suelo secado al horno}} \times 100$$

Fuente I.N.V. E – 125 – 07

- Límite plástico (LP). Humedad de un suelo re moldeado, límite entre los estados plástico y semi-sólido, expresado en porcentaje.

Fórmula 3. Límite Plástico E Índice De Plasticidad.

$$L.P = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de suelo seco al horno}} \times 100$$

Fuente I.N.V. E – 125 – 07

- Límite de contracción (LC). Humedad máxima de un suelo para la cual una reducción de la humedad no causa una variación del volumen del suelo, expresado en porcentaje.

Además, se define el índice de plasticidad (IP) como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico (IP = LL - LP).¹⁴

En este ensayo se estableció los límites Líquido, plástico e índice de plasticidad de los 3 puntos de exploración definidos. El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico. Por su parte el límite plástico de un suelo es el contenido más bajo de agua, en el cual el suelo permanece en estado plástico. El índice de plasticidad de un suelo es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el material está en un estado plástico. Este índice corresponde a la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo.¹⁵

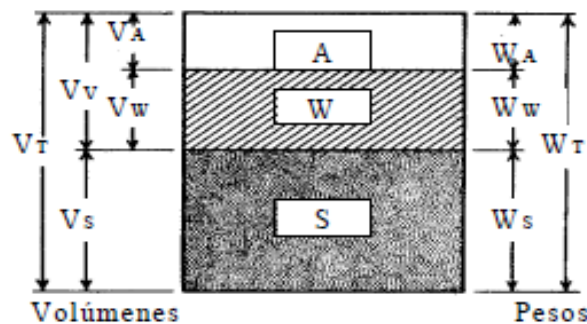
¹⁴ WEB / MANUAL PA LABORATORIOS DE GEOTECNIA, PARA DOCENCIA

¹⁵ Cfr. INVIAS. INV E-126-07, Bogotá: INVIAS, 2007, Cfr. INVIAS. INV E-128-07, Bogotá: INVIAS, 2007.

Fases ¹⁶

Para este ensayo se consideró tomar en el laboratorio de mecánica de suelos las muestras en la primera profundidad de cada punto para así determinar el peso de las muestras húmedas, el peso de las muestras secadas al horno y la gravedad específica de las partículas que conforman el suelo (ver grafica 4).

Grafica 4. Esquema relación de fases del suelo.



Fuente. Mecánica de Suelos, Juárez Badillo, 2005

Se miden los valores del peso del suelo seco (W_s) y del suelo saturado (W_t), asumiendo el peso del aire ($W_a=0$), se restan y se obtiene el peso del agua (W_w), posteriormente con la relación del peso del suelo seco (W_s) y la gravedad específica del suelo, se obtiene el Volumen del Suelo seco (V_s), posteriormente como la densidad del agua 1 g/cm^3 , se obtiene que el peso del agua es igual al volumen de agua ($V_w=W_w$), teniendo los valores de Volumen del agua (V_w) y volumen del suelo Seco (V_s) se halla el volumen del aire (V_a) mediante la resta de ambos. Después de elaborar el esquema de fases del suelo, se procede a solucionar relaciones de volumen: η , e , S , V_a , w , Y_d suelo seco, Y_t suelo húmedo. Para determinar la gravedad específica del suelo utilizando la fórmula 3 -, la cual rige la norma (I.N.V.E – 128 – 07).

¹⁶ Cfr. INVIAS. INV E-125-07, Bogotá: INVIAS, 2007

Fórmula 4. Determinación de la gravedad específica de los suelos.

$$G_{s_{20^{\circ}C}} = \frac{W_s \times K}{W_s + W_a - W_b}$$

donde:

K = factor de corrección basado en la densidad del agua a 20°C, para expresar la gravedad específica a 20°C, $K=(\delta w_{Tx}/\delta w_{20^{\circ}C})$. Ver Tabla 1,

W_a = masa del picnómetro más agua a la temperatura del ensayo de gravedad específica (t_x), en gramos (obtenida como se indica en la Sección 5.5),

W_s = masa del suelo seco (g) y

W_b = masa del picnómetro + agua + suelo (g), a la temperatura de ensayo.

Fuente I.N.V. E – 128 – 07

Permeabilidad¹⁷

El coeficiente de permeabilidad (k) es la velocidad que tarda un flujo de agua en atravesar una porción de suelo, está ligado a la ley de Darcy es extremadamente variable según el tipo de suelo.

Este dato cuya determinación correcta es de fundamental importancia para la elaboración de una caracterización geotécnica adecuada. Hay varios procedimientos para la determinación de la permeabilidad de un suelo: unos directos, así llamados porque se basan en pruebas cuyo objetivo fundamental es la medición de tal coeficiente: otros indirectos, proporcionados, en forma secundaria, por pruebas y técnicas que primariamente persiguen otros fines.

Directos:

- 1) Permeámetro de Carga Constante (Suelos Granulares)
- 2) Permeámetro de Carga Variable (Suelos Finos)
- 3) Prueba directa de los suelos del lugar (In situ)

¹⁷ Cfr. JUAREZ, Eulalio. Mecánica de Suelos, Tomo 1, Fundamentos de Mecánica de Suelos, México, D.F. , Ed Limusa, 2005 , PP 197

Indirectos:

- 1) Cálculo a partir de la curva granulométrica
- 2) Cálculo a partir de la prueba de consolidación
- 3) Prueba directa de los suelos en el lugar

Teniendo en cuenta lo anterior se realizamos los ensayos de permeabilidad in situ y permeabilidad en laboratorio teniendo en cuenta que no en todos los lugares de exploración se pudo realizar el ensayo de permeabilidad in situ por falta de agua para el relleno de la excavación.

- Permeabilidad in situ

La permeabilidad in-situ ($k_{in-situ}$), se estableció realizando pozos cuadrados de 40 cm de lado por 40 cm de profundidad aproximadamente, los cuales se llenaron con agua hasta observar que el descenso en el nivel fuera constante, es decir hasta cuando se considerara que la zona se había saturado para luego tomar un nivel de referencia y registrar los niveles de descenso de la lámina de agua y los tiempos para cada uno, al graficar el valor en centímetros que desciende el agua, contra el tiempo que tarda de bajar su nivel, se puede establecer la permeabilidad del suelo como la pendiente en la parte asintótica de la gráfica.

- Permeabilidad en laboratorio

La permeabilidad en laboratorio (k_{lab}), se realizó mediante el ensayo de cabeza variable para la mayoría de muestras (material fino) y en algunos puntos se estableció a través del ensayo de cabeza constante (material granular). De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar que la permeabilidad in-situ es notablemente mayor a la permeabilidad en laboratorio, lo cual se puede explicar teniendo en cuenta que en el terreno existe la presencia de grietas y fisuras que favorecen el flujo del agua a través del suelo, así mismo se observó la dificultad de representar las condiciones reales del suelo en el ensayo de permeabilidad en laboratorio, sin embargo en todos los ensayos se procuró

generar una compactación de las muestras de suelo que lograra un peso específico muy cercano al del terreno. Los valores de k in-situ variaron entre 6×10^{-6} m/s y 0,11 m/s y los de k en laboratorio entre 1×10^{-6} m/s y $1,4 \times 10^{-3}$ m/s. En la siguiente tabla se muestra una interpretación de los valores de k de acuerdo con la textura del suelo.

El procedimiento que se utilizó para obtener el coeficiente de permeabilidad (K) en el laboratorio, ver figura 11, fue el de Permeámetro de cabeza variable. En este tipo de equipo se mide la cantidad de agua que atraviesa a una muestra de suelo, por diferencia de niveles en un tubo alimentador.

Fórmula 5. Formula K en laboratorio – Cabeza Variable

$$K = \frac{Ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \times L}{(t_2 - t_1) \times A}$$

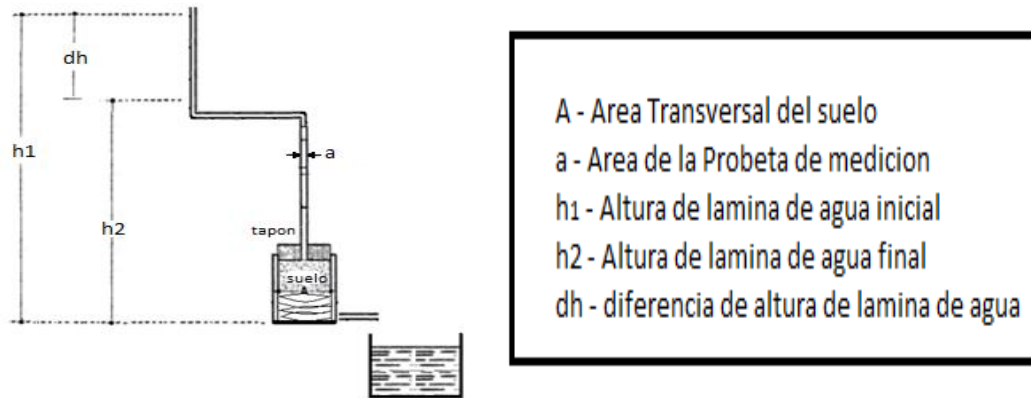
Fuente: JUAREZ, Eulalio. Mecánica de Suelos, Tomo 1.

Dónde:

- K= coeficiente de permeabilidad
- H1= cabeza inicial
- H2= cabeza final
- L= longitud de la muestra
- T1= tiempo inicial (0)
- T2= tiempo final
- A= área transversal de la muestra

Grafica 5. Permeámetro de Cabeza Variable

Dónde:



Fuente: JUAREZ, Eulalio. Mecánica de Suelos, Tomo 1

Cabe resaltar, que para el ensayo de permeabilidad, bien sea cabeza constante o variable, es importante que la muestra sea inalterada, para poder realizar una caracterización lo más cercana posible al suelo natural.

Peso específico¹⁸

Un suelo está constituido por tres fases: la sólida, la líquida y la gaseosa. Lo anterior se traduce a que la parte sólida de un suelo lo conforman partículas minerales y el agua adsorbida, la parte líquida la conforma el agua y finalmente la parte gaseosa que está constituida por aire o algún otro gas. Cuando un suelo está constituido por las tres fases mencionadas en los párrafos anteriores, se dice que es un suelo parcialmente saturado, si es que sus oquedades están ocupadas por aire y agua. Cuando las oquedades de un suelo están completamente ocupadas por el agua entonces se dice que se trata con un suelo saturado.

¹⁸ Cfr. INVIAS. INV E-127-07, Bogotá: INVIAS, 2007

4.1.5. Clasificación de suelos – AASHTO y sistema unificado SUCS

Se clasifico cada una de las muestras de los 3 sondeos de exploración, en todas las profundidades por ambos sistemas de clasificación.

Clasificación AASHTO

La siguiente tabla se utiliza para clasificar un suelo granular o limoarcilloso utilizando un cuadro de clasificación general

Tabla 1. Clasificación AASHTO para suelo

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
Clasificación de grupo	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...		...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

Fuente. Mecánica de Suelos, Juárez Badillo, 2005

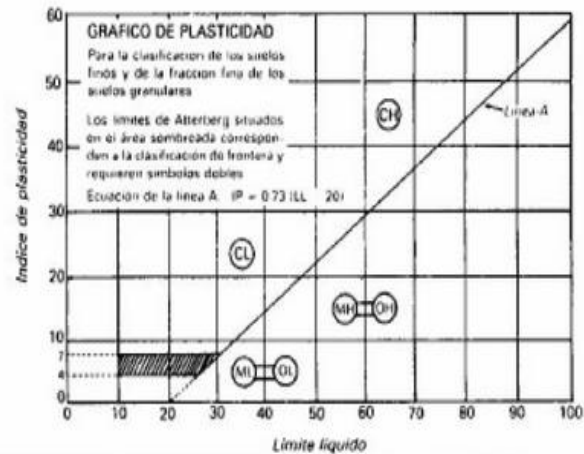
Como indica el método, se tiene en cuenta el porcentaje que pasa por el tamiz 200 clasificando un grupo respectivo para las muestras.

Método Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS)

En la tabla 2 se utiliza para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo, este sistema de clasificación se puede aplicar en la mayoría de los materiales sin consolidar representándose mediante un símbolo.

Tabla 2. Cuadro general de clasificación SUCS

DIVISION PRINCIPAL	SÍMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN
SUELOS DE GRANOS GRUESOS 50% o más es retenido en el tamiz No. 200	GRAVAS 50% o más de la fracción gruesa es retenido en el tamiz No. 4	GRAVAS LIMPIAS	GW Gravas bien gradadas y mezclas de arena y grava con pocos finos o sin finos
		GP	Gravas y mezclas de gravas y arenas mal gradadas con pocos finos o sin finos
		GM	Gravas limosas, mezclas de grava - arena y limo
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava - arena y arcilla
	ARENAS Mas del 50% de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 4	ARENAS LIMPIAS	SW Arenas y arenas gravosas bien gradadas con pocos finos o sin finos
		SP	Arenas y arenas gravosas mal gradadas con pocos finos o sin finos
		SM	Arenas limosas, mezclas de arena limo
		SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla
	ARENAS Mas del 50% de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 4	ARENAS CON FINOS	Clasificación basada en el porcentaje de finos Menos del 5% pasa por el tamiz No. 200 GP, SW, SP Mas del 12% pasa por el tamiz No. 200 GM, GC, SM, SC 15% a 12% pasa por el tamiz No. 200 Para clasificación de frontera se necesitan símbolos dobles
			$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Mayor que 4 $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} D_{60}}$ Entre 1 y 3 Si los criterios para GW no se cumplen Límites de Atterberg localizados bajo la línea "A" o índice de plasticidad inferior a 4. Límites de Atterberg sobre la línea "A" e índice de plasticidad superior a 7. Si los límites de Atterberg se localizan en el área sombreada se debe clasificar utilizando símbolos dobles.
SUELOS DE GRANOS FINOS 50% o más pasa por el tamiz No. 200	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido de 50% o inferior	ML	Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, suelos sin mucha arcilla
		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad
	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido superior a 50%	MH	Limos inorgánicos, arenas finas o limos micáceos o de diatomeas limos elásticos
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas
		DH	Arcillas orgánicas de plasticidad alta o media
			$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Superior a 6 $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} D_{60}}$ Entre 1 y 3 Si no se cumplen los criterios para SW Límites de Atterberg localizados bajo la línea "A" o índice de plasticidad inferior a 4. Límites de Atterberg sobre la línea "A" e índice de plasticidad superior a 7. Para los límites de Atterberg localizados en el área sombreada se debe clasificar utilizando símbolos dobles.
Suelos altamente orgánicos	PT	Turba, estiércol y otros suelos altamente orgánicos	Para la identificación visual y manual, véase ASTM norma D 2488



Fuente. Mecánica de Suelos, Juárez Badillo, 2005

4.2. Estado del arte

CARACTERIZACION GEOTECNICA PREMILINAR – SUELOS DE TUNJA SECTOR 2 (2001)¹⁹

Los autores de este proyecto tuvieron en cuenta los estudio e investigaciones elaboradas por la NSR-98 del mapa de amenaza sísmica en el que se observó que la ciudad de Tunja se encontraba en zona de amenaza sísmica alta, se hizo necesario la realización del estudio de microzonificación sísmica de los suelos de Tunja, en el que observaron que era necesario dicho estudio para poblaciones de más de 100.000 habitantes y en zonas de amenaza sísmica alta e intermedia en el cual se adelantó por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y más específicamente por la Escuela de Ingeniería Civil. Estos estudios previos se ubicaron en un mapa escala 1:3000 y fueron ordenados, de acuerdo con sus coordenadas en dirección Sur-Norte y superpuesta al mapa geológico y geotécnico, lo cual permitió establecer y definir las zonas que presentaron un comportamiento similar. Este proyecto se apoyó en una base de datos que contaba con la información obtenida de 90 estudios de suelos, cada uno de los cuales con su número total de barrenos y las características específicas para cada uno. También se ubicaron con sus respectivas coordenadas los ocho SEV, la perforación y tres perfiles estratigráficos obtenidos a partir de estudios realizados por la empresa SERAQA.

(ARTICULO) EL ESPACIO GEOGRAFICO Y EL ANALISIS ESPACIAL NORMA IVONE PEÑA – MARZO DE 2013²⁰

En este artículo se encuentra información valiosa acerca de las formas de poder realizar un buen estudio espacial buscando describir los componentes que contiene el suelo por medio de la investigación de la historia y el funcionamiento

¹⁹ Cfr. MONTES, Alexandra -VILLATE, Julián, Caracterización geotécnica preliminar - suelos de Tunja Sector 2, Tunja, Trabajo de grado ingeniero Civil UPTC, 2001

²⁰ EL ESPACIO GEOGRAFICO Y EL ANALISIS ESPACIAL (ARTICULO) – NORMA IVONE PEÑA – MARZO DE 2013

actual del lugar donde se realizó la investigación, incluyendo los diferentes fenómenos que puedan alterar y modificar el medio natural y social en el que se desenvuelve este trabajo.

La localización espacial implica definir previamente las coordenadas de lugar en el espacio y la posición del elemento en nuestro caso definir los puntos de exploración mediante la ubicación espacial para ubicarlos en un mapa, definiendo una escala para su buena observación, seguido de esto se puede identificar las diferentes variables que se consideran relevantes para el buen desarrollo de las actividades referentes al manejo del sistema de información geográfico.

En este trabajo también se muestra el análisis espacial con el objetivo de proporcionar una descripción de las relaciones entre los diferentes estudios de laboratorios, para su descripción con los diferentes atributos para finalmente lograr el concepto de las diferentes variables estudiadas en el lugar de la investigación.

ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LA ZONA CENTRO DEL MUNICIPIO DE SOGAMOSO POR MEDIO DE UN SIG (UPTC)

Escuela de Ingeniería Geológica. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.²¹

En este trabajo se habla de la zonificación y microzonificación de la zona urbana de Sogamoso en el departamento de Boyacá, donde se emplearon herramientas del sistema de información geográfico SIG, el cual se basó en la recopilación y análisis de la información disponible proveniente de estudios de suelos realizados por diversas firmas consultoras en la ciudad, en el proceso detallado empleado para la obtención del mapa de zonificación geotécnica.

²¹ ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LA ZONA CENTRO DEL MUNICIPIO DE SOGAMOSO POR MEDIO DE UN SIG(UPTC) Escuela de Ingeniería Geológica. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Con la recopilación y análisis de estudios de suelos es posible tener una concepción general inicial de las características de los suelos con la cual identificar vacíos de información y planificar nuevas exploraciones. Igualmente, cuando la información disponible es compilada y organizada apropiadamente, se convierte en un valioso complemento para la determinación y caracterización de unidades geotécnicas. Llegar a la organización de datos en una base adecuada, sin embargo, requiere un gran esfuerzo organizativo que parte desde la identificación de fuentes hasta el análisis de los datos. En este informe se describen en detalle ambas actividades y los resultados encontrados para la ciudad de Sogamoso.

Zonificación geotécnica

Descripción y análisis de la información: en esta etapa definen las zonas de comportamiento homogéneo, de acuerdo a la información recopilada y a la obtenida a partir de los ensayos.

Representación gráfica de la zonificación: consiste en la realización de los mapas de zonificación, de acuerdo al análisis hecho a la información obtenida.

ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA EL MODELO DE BALANCE HÍDRICO DE THOMAS, A PARTIR DE CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA. CASO ESTUDIO CUENCA RIO DE PIEDRAS, BOYACÁ Ingeniero M.Cs. Néstor Iván Rojas Gamba (2014)²²

Se realiza la caracterización geotécnica básica de materiales de una cuenca, determinando sus propiedades índice y de permeabilidad in situ y en laboratorio, a partir de la recuperación de muestras de suelo producto de un diseño de exploración, éstas se ensayaron y analizaron, lo que permitió establecer una correlación entre parámetros hidrológicos, establecidos por calibración, y

²² CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE UNA CUENCA PARA CORRELACIÓN CON PARÁMETROS DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO DE THOMAS Ingeniero M.Cs. Néstor Iván Rojas Gamba (2014)

geotécnicos del suelo. El estudio se enfoca en los parámetros del modelo hidrológico que tienen mayor relación con el tipo de suelo y cuya acción no se desarrolla a profundidades considerables, de acuerdo a la metodología y alcance del proyecto. Se toma como caso estudio la subcuenca de Rio de Piedras, localizada en los municipios de Cóbbita, Sotaquirá y Tuta en la parte central del departamento de Boyacá, la cual hace parte de la cuenca del Chicamocha.

ANÁLISIS ESPACIAL CON SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, GUSTAVO D. BUZAI (2004).²³

El concepto considera que el conjunto de entidades de un mismo tipo se reparten de una determinada manera sobre el espacio geográfico. Estas pueden ser puntos, líneas o polígonos (áreas) con diferentes atributos asociados en sistema vectorial, o localizaciones dispersas que representan puntos y zonas con clases similares contiguas en sistema raster. Manchas de entidades geográficas puntuales pueden ser transformadas como áreas de diferente forma y extensión. Las transformaciones en el formato espacial de las entidades (de raster a vectorial y de vectorial a raster) en sistema SIG se realizan con motivo de buscar la mayor aptitud en el posterior Análisis Espacial.

El concepto considera el estudio de las semejanzas encontradas al comparar distintas distribuciones espaciales.

La forma de comparación más clara y directa es el análisis visual que se puede realizar con posterioridad a la superposición cartográfica de ambas distribuciones. A través de este procedimiento, una distribución espacial A se puede superponer a una distribución espacial B y de esa manera verificar su grado de asociación en base a una proporción de correspondencia. Cuanto más grande sea la superficie de superposición mayor será la asociación existente entre ellas.

²³ ANÁLISIS ESPACIAL CON SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, GUSTAVO D. BUZAI (2004).

5. METODOLOGIA

De acuerdo con los parámetros definidos y con la propuesta de trabajo presentada para dar cumplimiento al proyecto de investigación, se procede a realizar el desarrollo de cada una de las actividades planteadas de acuerdo al cronograma: el muestreo, el análisis de resultados en el laboratorio, la tabulación de los datos obtenidos y posteriormente dar los resultados para cada muestra de suelo y así tener un buen seguimiento de estos ítems, para finalmente cumplir con los objetivos propuestos desde el inicio del proyecto.

5.1. Recopilación de información

Tras encontrar la información cartográfica y descriptiva de la zona de estudio donde se facilitaron los datos necesarios para conocer y tener claro la ubicación de los puntos para el diseño de la exploración geotécnica, como se había mencionado, la base fundamental provino del POMCA de la cuenca del río Chicamocha (CORPOBOYACÁ) y de cada uno de los planes de ordenamiento territorial de los municipios involucrados: Cómbita, Sotaquirá y Tuta.

Con esta información cartográfica se consolidó en una base de datos geográfica, en la cual se unificó la georreferenciación de las diferentes capas vectoriales y así generar otras capas a partir de la información obtenida, en la tabla de detalles se encontro el contenido de la base de datos geográfica producto de la recopilación de información la cual fue tomada por nosotros ubicando 4 puntos de exploración y el resto de información fue brindada por otros grupos tanto de la UPTC, como de la USTA para completar la información y que sea más puntual para cumplir los objetivos, cada capa cuenta con atributos o información descriptiva asociada a la información geográfica.

5.2. Puntos de la exploración

De acuerdo con la información obtenida en la base de datos se dio lugar a la investigación para determinar de esta manera el diseño para la exploración

geográfica, de tal forma que las muestras obtenidas tuviesen una representación de la formación geológica, teniendo en cuenta que el estudio tuvo un enfoque hacia el nivel superior estratigráfico, así mismo se observó la gran necesidad de tener en cuenta el patrón de drenaje para conocer los sitios más críticos, en este caso los 25 puntos donde se realizaron los apiques, para finalmente abarcar las 15 microcuencas que se encuentran el lugar de estudio a lo largo de la subcuenca Rio de Piedras.

La decisión del número de exploraciones a realizar y la determinación de los lugares donde se llevaron a cabo fue gracias a las características más relevantes de la subcuenca y al patrón de drenaje anteriormente mencionado, igualmente a la información obtenida de la base de datos del SIG de la subcuenca Rio de Piedras, donde se identificaron dos formaciones importantes para el tener en cuenta que son la formación Conejo y el Grupo Churuvita, aparte de estas dos formaciones se encuentra dos que son secundarias Grupo Guadalupe y la formación Labor y Tierna.

Con respecto a que se trabajó superficialmente es decir que las excavaciones que se realizaron en los puntos estuvieron alrededor de 5 m, aproximadamente, lo que lleva a concluir que estas hacen parte de los suelos llamados depositados, los cuales no pertenecen a las formaciones geológicas.

Teniendo las formaciones geológicas presentes en la subcuenca se dio lugar a determinar y escoger en que puntos se realizarían cada una de las excavaciones, teniendo en cuenta la accesibilidad, el patrón de drenaje.

Nota: las muestras que se obtuvieron en algunos de los puntos escogidos previamente para su investigación y elaboración de las pruebas de laboratorio y algunos in situ, son muestras tomadas de depósitos aluviales y suelos transportados, la exploración consideró 25 puntos con profundidades de hasta 5m., recuperación de muestras alteradas e inalteradas y pruebas de permeabilidad in-situ con perforaciones o pozos.

Ya analizados los diferentes parámetros para determinar finalmente los puntos de exploración se determinaron 25 puntos en total para abarcar todo el terreno del estudio referente a la subcuenca Rio de Piedras, estos fueron trabajados por los subgrupos que componen el grupo principal del proyecto de investigación geotécnica del CIUSTA y como información secundaria nos fue suministrada por estudiantes de la UPTC.

5.3. Exploración geotécnica

Una vez definidos los parámetros de geología, geomorfología y topografía, es necesario establecer, de manera preliminar, las características físicas y mecánicas de los suelos que conforman el área de estudio, para esto es necesario elegir la metodología de exploración apropiada para el estudio.

Un suelo está definido como un agregado natural de partículas discretas o granos, consecuencia de la alteración y descomposición de las rocas. En la mayor parte de los trabajos de exploración realizados, se encontraron en mayor porcentaje materiales arcillosos, limosos, arenosos y orgánicos, de no ser así se vería la necesidad de implementar medios mecánicos para la perforación, a pesar que es más práctico trabajar con medios mecánicos por tiempo y facilidad, pero hay que tener en cuenta la capacidad económica para utilizar estos medios prácticos, accesibilidad y clase de material; se concluyó que el método apropiado y más conveniente para desarrollar la caracterización geotécnica en esta zona, sería el método de exploración directa con perforación manual.

5.4. Ensayos de laboratorio

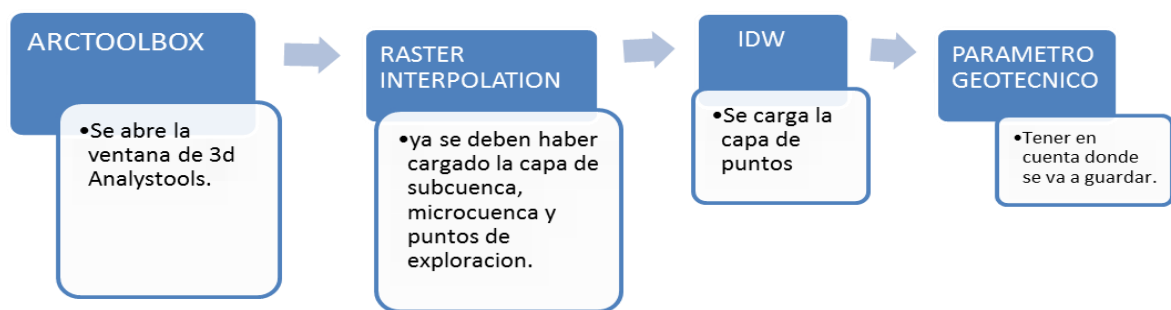
Estos se realizan de acuerdo a los parámetros para cada uno de los laboratorios a realizar, donde se desea calcular: límites de atterberg, el índice de plasticidad (I_p), permeabilidad del suelo in-situ (k in-situ) y en laboratorio (k lab.); Fases, que comprende gravedad específica (G_s), relación de vacíos (e), porosidad (n); saturación (S), peso específico (γ), humedad (ω), los cuales se realizaron de la

siguiente manera para los puntos de exploración, teniendo en cuenta que en siete (7) puntos no fue posible realizar el K in situ.

5.5. Elaboración de mapas en ArcGis

Para el desarrollo o trabajo en el programa lo primero que se realiza es utilizar la herramienta Arctoolbox, acá se abre la ventana de 3d Analyst tools, con esta herramienta se va a generar un raster de interpolación para generar el “IDW” donde se necesitan como datos simplemente haber cargado los puntos de exploración como se muestra en la gráfica 6.

Grafica 6. Pasos para llegar a un parámetro geotécnico en el programa ArGis.

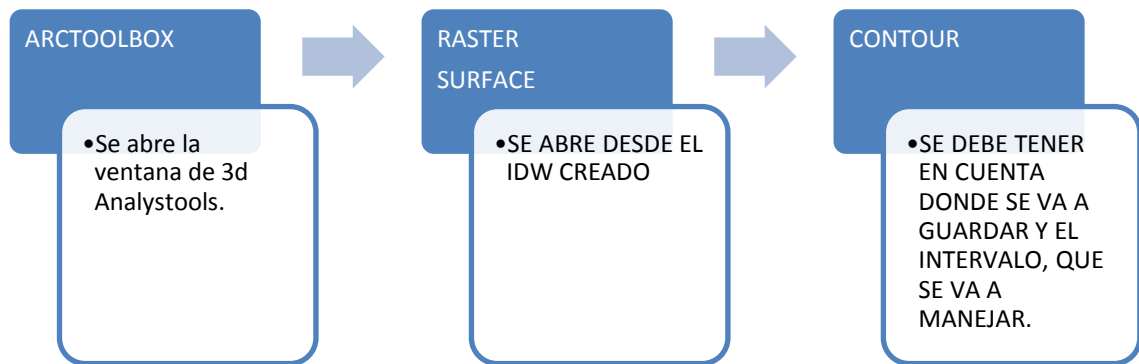


Fuente: Autores.

Contour

En el siguiente paso se desea realizar un análisis de superficie “contour” que son las poli líneas de contorno o líneas isovalores, mostrando la variación del parámetro dentro de la subcuenca; desde el mismo sitio de Arctools se desprende la ventana “raster Surface” y se abre la opción contour (ver grafica 7).

Grafica 7. Pasos para el análisis de superficie en el programa ArGis.

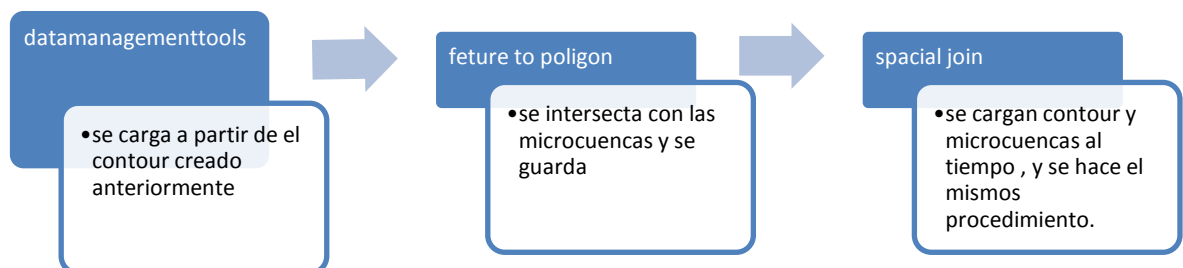


Fuente: Autores.

Feature To Poligon

En este punto lo que hace es crear unos polígonos con la herramienta “data managementtools” y la opción “feature to poligon”, con respecto a las líneas isovalores, para poder transferir los datos de cada parámetro de las líneas de isodatos a polígonos y este a su vez con las microcuencas, esta trasferecia de datos se realiza a través de un “spacial join”, que se encuentra en la herramienta “Analystools”, opción “overlay”, que es la herramienta encargada de realizar esta transferencia de atributos de cada parámetro(ver grafica 8).

Grafica 8. Pasos para la realización de polígonos en el programa ArGis.



Fuente: Autores.

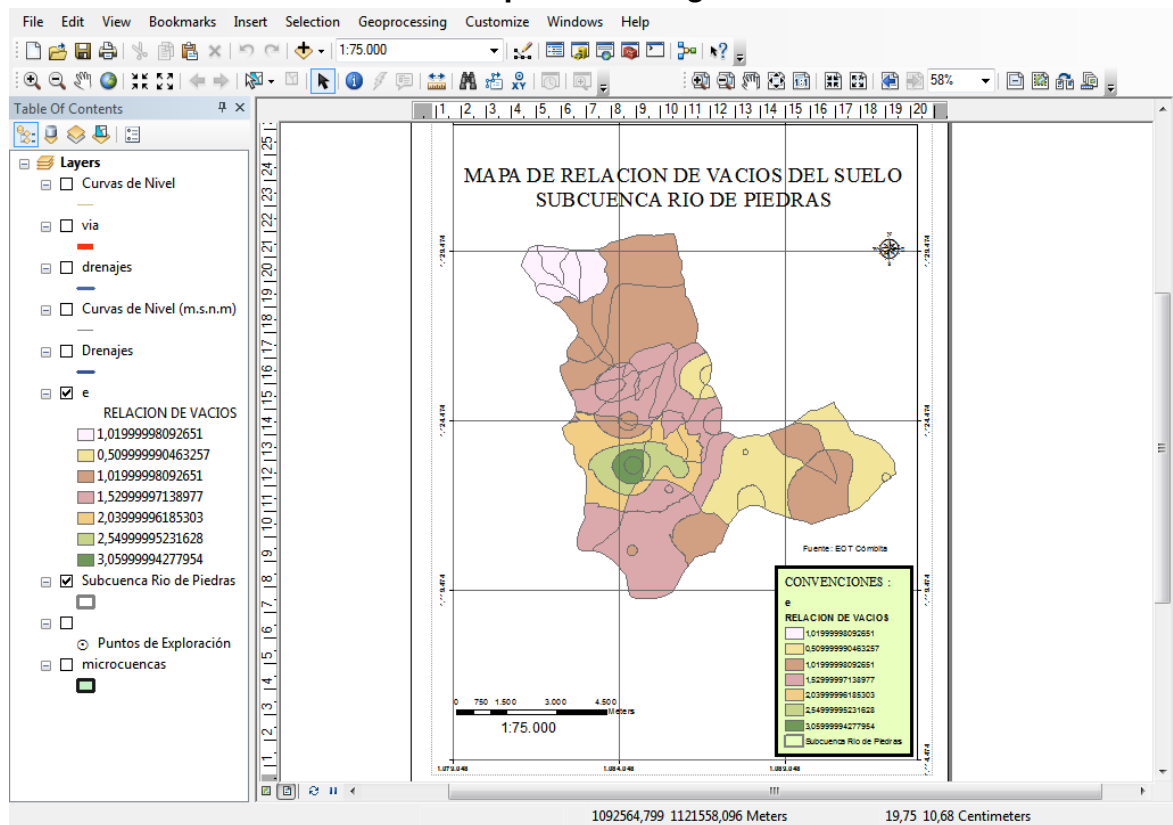
Intersección

Este es el último paso y realiza con la misma herramienta anterior, opción overlay y se selecciona “intersect”, que es lo que se quiere hacer intersectar los polígonos “feature to Poligon” con los atributos de cada parámetro actualizados y las Microcuencas, se guarda con el nombre del parámetro que se está trabajando para obtener el resultado final.

Resultado final

Se realiza la salida grafica al mapa adicionando las características necesarias de cada parámetro y de esta manera se puede conocer la información específica de cada caso como el valor, el nombre del propietario del terreno donde se hizo el apique, el área y el nombre de la microcuenca, etc. (Ver grafica 9).

Grafica 9. Resultado final de los parámetros geotécnicos en ArcGis.



Fuente: Autores.

Finalmente se tiene el mapa completo, se va a la tabla de atributos de la capa de intersección donde se extraen los valores a una tabla de Excel y se procede a realizar el cálculo del valor ponderado de cada parámetro, para cada una de las microcuencas, multiplicando el valor del parámetro por su área de influencia y dividiendo la suma de esta operación en el total del área de estas mismas.

Este resultado es el más importante para conocer en qué porcentaje se presenta el valor del parámetro dentro de cada microcuenca y cada punto de exploración.

6. ANALISIS DE RESULTADOS

Para este trabajo de investigación se dio lugar al cumplimiento de los objetivos planteados desarrollando las diferentes actividades necesarias para cumplir con estos.

Se realizó la exploración geotécnica, para la elaboración de laboratorios de cada uno de los puntos previamente identificados para establecer el análisis preliminar geotécnico en la zona de estudio.

Teniendo ya los diferentes resultados de laboratorio, elaboramos por medio del sistema de información geográfico ArcGis los mapas de análisis espacial, para permitirnos saber con mayor puntualidad la determinación de la variación espacial de los parámetros geotécnicos de la subcuenca Rio de Piedras.

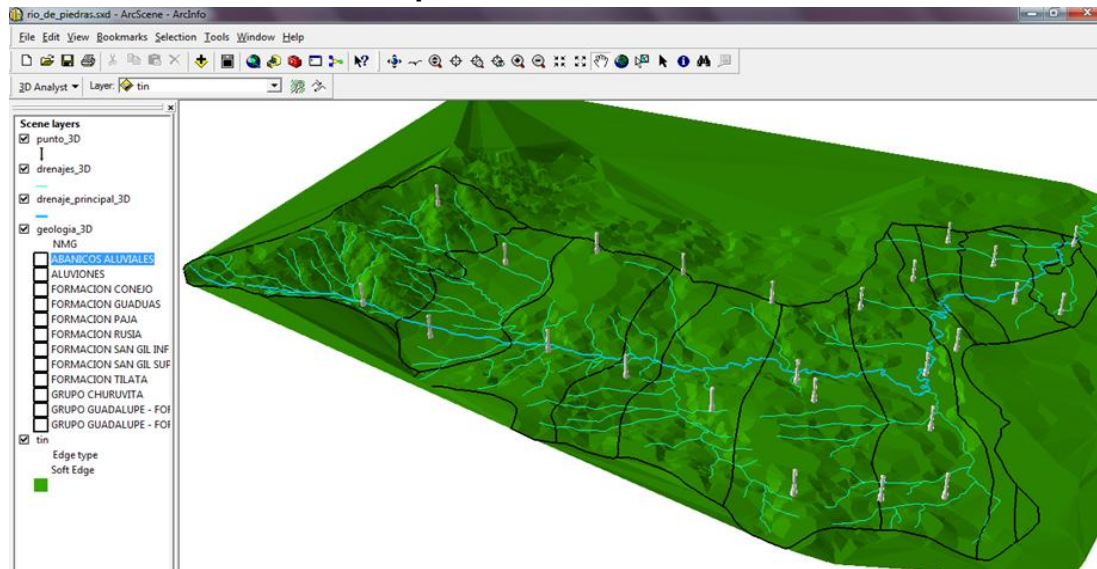
6.1. DISEÑO DE LA EXPLORACIÓN²⁴

Con la información contenida en la base de datos se diseñó la exploración geotécnica de tal forma que las muestras de suelo fueran representativas de la formación geológica, aunque el estudio se enfocó en el nivel superior del perfil estratigráfico, así mismo se tuvo en cuenta el patrón de drenaje con el fin de

²⁴ CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE UNA CUENCA PARA CORRELACIÓN CON PARÁMETROS DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO DE THOMAS Ingeniero M.Cs. Néstor Iván Rojas Gamba (2014)

abarcar las 15 microcuencas presentes al interior de la subcuenca de Río de Piedras. (Ver grafica 10.)

Grafica 10. Diseño de la exploración



Fuente: Néstor Iván Rojas

La exploración consideró 25 puntos con profundidades de hasta 5 m, recuperación de muestras alteradas e inalteradas y pruebas de permeabilidad in-situ con perforaciones o pozos donde nosotros trabajamos 3 de estas exploraciones directamente recalcando que las otra son de información secundaria por otros grupos de investigación de la CIUSTA y de la UPTC.

6.2. Recopilación de información primaria y secundaria

En las tablas 3 y 4, se observa la información primaria la cual se encuentra resaltada en negrita que fue trabajada por los autores, además se muestra la información secundaria brindada por los estudiantes de ingeniería de vías y civil de la UPTC, los estudiantes de Ingeniería civil de la SANTO TOMAS y por el magíster ING. Néstor Iván Rojas. Donde se resumen los resultados de los diferentes ensayos de laboratorios realizados por cada uno de los diferentes grupos. Esta información fue vital para el desarrollo del proyecto ya que con esta

se creó la base de datos geográfica, que se utilizó en el programa ARGIS, para la determinación de la variación espacial de los parámetros geotécnicos.

Toda la información secundaria de cada grupo se obtuvo realizando los procedimientos básicos establecidos en la norma técnica colombiana para el desarrollo adecuado de los laboratorios en cada uno de los parámetros geotécnicos.

Tabla 3. Resultados de laboratorios información primaria y secundaria.

Punto	Propietario	Realizó	k in situ	Fecha	n	S	w	Gs
01	CARLOS VARGAS	UPTC-VIAS	SI	01/03/2013	0,52	0,29	0,12	2,65
02	CAMPO ELIAS SALAS	UPTC-CIVIL	SI	02/03/2013	0,56	0,95	0,31	2,90
03	HUGO SALAS (1)	NESTOR	NO	02/03/2013	0,46	0,92	0,21	2,64
04	HUGO SALAS (2)	NESTOR	NO	02/03/2013	0,20	0,45	0,03	2,53
05	CARLOS NEIRA	UPTC-CIVIL	SI	04/03/2013	0,33	0,98	0,09	2,80
06	VICTOR SANDOVAL	UPTC-CIVIL	NO	05/03/2013	0,44	0,90	0,30	2,66
07	SANTOS BARON (1)	UPTC-VIAS	SI	08/03/2013	0,50	0,51	0,19	2,70
08	GLADYS HERNANDEZ	UPTC	SI	09/03/2013	0,68	0,36	0,30	2,60
09	JOSE GERARDINO GONZALEZ	UPTC	SI	09/03/2013	0,77	0,43	0,53	2,66
10	SANTOS BARON (2)	TESISTAS USTA	SI	09/03/2013	0,57	0,46	0,85	2,70
11	JUAN MORA	TESISTAS UPTC	SI	09/03/2013	0,56	0,71	0,31	2,90
12	JOSE AVELINO RIAÑO (1)	TESISTAS USTA	SI	09/03/2013	0,45	0,20	0,25	2,60
13	FLA. HERNANDEZ RIAÑO	TESISTAS USTA	NO	09/03/2013	0,60	0,58	0,32	2,30
14	ECEHOMO RUIZ	UPTC-CIVIL	SI	16/03/2013	0,45	0,85	0,26	2,73
15	JOSE AVELINO RIAÑO (2)	TESISTAS UPTC	NO	16/03/2013	0,65	0,99	0,64	2,90
16	EVILACIO BENITEZ (1)	TESISTAS UPTC	SI	16/03/2013	0,45	0,85	0,26	2,73
17	EL ROSAL	TESISTAS UPTC	SI	16/03/2013	0,45	0,85	0,26	1,80
18	HECTOR OTALORA	TESISTAS UPTC	SI	16/03/2013	0,57	0,77	0,36	2,90
19	SEGUNDO LOPEZ	TESISTAS USTA	SI	17/03/2013	0,60	0,70	0,40	2,60
20	PERFIL ROCA "HOSPITAL"	TESISTAS USTA	NO	17/03/2013	0,27	0,49	0,07	2,61
21	EVILACIO BENITEZ 2	TESISTAS USTA	SI	17/03/2013	0,64	0,89	0,73	2,40
22	JULIO HIGUERA	TESISTAS USTA	SI	17/03/2013	0,33	0,97	0,19	2,57
23	HOGAR BUENAVISTA	TESISTAS USTA	NO	17/03/2013	0,46	0,86	0,43	2,60
24	HOGAR (ESCUELA EL CEDRO)	TESISTAS USTA	SI	17/03/2013	0,54	0,48	0,22	2,57
25	FORMACION RUSIA	NESTOR	SI	23/03/2013	0,41	0,92	0,25	2,60

Fuente Autores

Tabla 4. Recopilación, resultados de laboratorios información primaria y secundaria, (continuación tabla 3)

Punto	e	y seco (gr/cm3)	y (gr/cm3)	y sat (gr/cm3)	LI	Lp	lp	lc	ll	k insitu (m/s)	k lab (m/s)
01	1,09	1,27	1,42	1,79	0,47	0,28	0,19	1,84	-0,84	2,5E-02	8,5E-04
02	1,29	1,29	1,82	1,85	0,44	0,31	0,13	1,00	0,00	2,4E-02	8,0E-04
03	0,87	1,41	1,84	1,88	0,38	0,28	0,10	1,65	-0,65		4,9E-06
04	0,14	2,21	2,27	2,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		3,5E-06
05	0,50	1,80	2,10	2,10	0,45	0,22	0,23	1,57	-0,57	1,1E-01	1,4E-03
06	0,80	1,47	1,80	1,90	0,33	0,24	0,09	0,33	0,67		1,7E-08
07	0,99	1,36	1,61	1,86	0,53	0,48	0,05	6,80	-5,80	2,0E-05	2,2E-05
08	2,17	0,82	1,06	1,50	0,24	0,11	0,13	-0,46	1,46	3,5E-04	2,7E-04
09	3,31	0,62	0,94	1,39	0,86	0,64	0,22	1,50	-0,50	3,0E-04	2,0E-04
10	1,31	1,17	1,43	1,74	0,51	0,34	0,17	-2,00	3,00	1,0E-05	2,0E-06
11	1,26	1,28	1,68	1,84	0,49	0,34	0,15	1,20	-0,20	6,0E-05	3,0E-05
12	0,83	1,42	1,51	1,87	0,26	0,20	0,06	0,17	0,83	3,0E-04	2,0E-04
13	1,50	0,92	1,27	1,52	0,42	0,34	0,08	1,25	-0,25		9,5E-06
14	0,83	1,48	1,85	1,93	0,55	0,34	0,21	1,38	-0,38	2,0E-05	2,2E-05
15	1,87	1,01	1,65	1,66	0,73	0,50	0,23	0,39	0,61		1,6E-06
16	0,83	1,48	1,86	1,92	0,30	0,26	0,04	1,00	0,00	1,0E-05	2,0E-06
17	0,83	1,48	1,86	1,93	0,54	0,34	0,20	1,40	-0,40	2,0E-05	2,3E-05
18	1,35	1,24	1,68	1,81	0,48	0,37	0,11	1,09	-0,09	6,0E-05	3,1E-05
19	1,47	1,05	1,47	1,65	0,49	0,39	0,10	0,90	0,10	2,5E-02	8,7E-04
20	0,37	1,90	2,04	2,17	0,25	0,19	0,06	3,02	-2,02		7,6E-07
21	1,76	0,76	2,00	2,30	0,69	0,60	0,09	-0,44	1,44	7,3E-05	4,0E-05
22	0,50	1,71	2,04	2,05	0,33	0,25	0,08	1,75	-0,75	6,7E-03	6,0E-04
23	0,84	1,41	1,80	1,87	0,45	0,41	0,04	0,50	0,50		7,7E-07
24	1,19	1,17	1,43	1,72	0,42	0,23	0,19	1,05	-0,05	2,4E-03	4,0E-04
25	0,70	1,51	1,89	1,92	0,60	0,49	0,11	3,18	-2,18	6,0E-06	1,0E-06

Fuente Autores

6.3. Análisis de resultados para ensayos de laboratorio

Puntos de exploración y laboratorios realizados.

Las exploraciones se realizaron en 3 puntos específicos como información primaria que fueron, Julio Higuera, Cortadera Chiquita y Escuela El Cedro, en los cuales para cada uno de estos puntos se realizaron los laboratorios de:

- Límites de Atterberg
- Permeabilidad en laboratorio
- Permeabilidad in situ
- Fases (Gs, n, e, s, Y)
- (%) Humedad.

6.3.1. Límites de Atterberg

Se realizaron los ensayos de laboratorio de límites para obtener los parámetros de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, seguido se realizó la clasificación del suelo por clasificación AAHSTO (TABLA 5), para los tres casos de exploración realizados como información principal.

Tabla 5. Clasificación de suelos AASHTO

PUNTO DE EXPLORACION	PROF. (m)	CLASIFICACION AAHSTO			
		IP < 10 (LIMO)		IL > 11(ARCILLA)	
		LL < 40 (A-4)	LL > 41 (A-5)	LL < 40 (A-6)	LL > 41 (A-7-5)
Julio Higuera	2,0 - 2,60	SUELOS LIMOSOS			
	3,10 - 3,70	SUELOS LIMOSOS			
	3,7 - 4,0	SUELOS LIMOSOS			
Cortadera Chiquita	1,40 - 2,30		SUELOS LIMOSOS		
	2,50 - 2,90				SUELOSARCILLOSO
	3,10 - 3,60			SUELOSARCILLOSO	
Escuela El Cedro	1,2 - 1,8				SUELOSARCILLOSO
	2,50 - 3,10			SUELOSARCILLOSO	
	3,10 - 3,70			SUELOSARCILLOSO	

Fuente: Autores

6.3.2. Estratigrafía de los puntos de exploración

La estratigrafía de los puntos explorados como información primaria a la investigación nos da paso a conocer por medio de las clasificaciones SUCS (ver tabla 6), que en todos los estratos de los puntos explorados en su totalidad tanto de información primaria como de información secundaria los suelos del primer perfil menos a 2 metros son limos orgánicos, ahora para la segunda y terceras estratigrafía como información primaria encontramos arcillas inorgánicas y orgánicas de los grupos OL, CL Y ML, para este caso. (Ver tablas 8, 10,12).

Tabla 6. Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS, para sondeos.

PUNTO DE EXPLORACION	PROFUNDIDAD	SITEMA UNIFICADO	
		PASA TAMIZ 40	
		L (limite liquido < 50)	H (limite liquido > 50)
JULIO HIGUERA	2,0 - 2,60	OL	
	3,10 - 3,7	CL	
	3,7 - 4	ML	
CORTADERA CHIQUITA	1,4 - 2,3	OL	
	2,5 - 2,9	ML	
	3,1 - 3,6	CL	
ESCUELA EL CEDRO	1,2 - 1,8	OL	
	2,5 - 3,1	CL	
	3,1 - 3,7	ML	

Fuente: Autores

Para la realización de la clasificación por el SUCS (tabla 6), se observa que los valores no son mayores a 50 donde encontramos suelos limo orgánico (OL), es razonable ya que es el suelo más superficial encontrado debido a la producción agrícola como actividad frecuente en el lugar de las perforaciones, en las siguientes muestras superior a 2,5 m se encontraron suelos CL arcilla inorgánica y finalmente en las ultimas muestras se encontraron suelos de tipo ML (limo inorgánico) este de mediana a alta calidad.

A continuación en la tabla 7 se muestran los valores obtenidos en el ensayo de límites para el punto julio higuera, seguido se relaciona en la tabla 8 el perfil estratigráfico obtenido de las muestras de la exploración.

Punto Julio Higuera.

Tabla 7. Valores obtenidos de límites lugar Julio Higuera

JULIO HIGUERA			
MUESTRA	1	2	3
LIMITE LIQUIDO %	33,43	25,5	31,89
LIMITE PLASTICO %	25,1	16,9	29,54
INDICE PLASTICO %	8,33	8,6	2,34
PROFUNDIDAD (m)	2 - 2,60	3,10 - 3,70	3,70 - 4

Fuente: Autores

Tabla 8. Estratigrafía Julio Higuera

JULIO HIGUERA		
CAPA	PROFUNDIDAD (m)	TONALIDAD
capa vegetal	0,2	
limo organico grupo OL	2,0 - 2,6	CAFÉ OSCURO
arcilla inorganica grupo CL	3,10 - 3,7	CAFÉ CLARO
arcilla inorganica grupo ML	3,7 - 4	COLOR ABANO

Fuente Autores

Punto Cortadera Chiquita.

Para el análisis de muestras en laboratorio De Hogar Buena Vista – Cortadera Chiquita, se llegó a la conclusión que según resultados nos da que en un 70% de los datos son suelos arcillosos y un 30% de suelos limosos (ver tabla 9).

Tabla 9. Valores obtenidos de límites Cortadera Chiquita

HOGAR BUENA VISTA - CORTADERA CHIQUITA			
MUESTRA	1	2	3
LIMITE LIQUIDO %	44,79	43,8	44,81
LIMITE PLASTICO %	40,69	32,6	39,45
INDICE PLASTICO %	4,1	11,2	5,36
PROFUNDIDAD (m)	1,4 - 2,30	2,50 - 2,90	3,10 - 3,60

Fuente: Autores

Tabla 10. Estratigrafía Cortadera Chiquita

CORTADERA CHIQUITA		
CAPA	PROFUNDIDAD (m)	TONALIDAD
capa vegetal	0,2	
limo organico grupo OL	1,4 - 2,3	CAFÉ OSCURO
arcilla inorganica combinada con organicas grupo CL	2,5 - 2,9	CAFÉ CLARO
arcilla inorganica grupo ML	3,1 - 3,6	COLOR ABANO CON BETAS AMARILLAS

Fuente Autores

Punto Escuela El Cedro Icbf.

En el caso de hogar Escuela El Cedro, los resultados obtenidos y analizados según clasificación, observamos que son suelos arcillosos teniendo en cuenta los valores finales vistos en la (tabla 11).

Tabla 11. Valores obtenidos de límites Escuela El Cedro

HOGAR ESCUELA EL CEDRO ICBF			
MUESTRA	1	2	3
LIMITE LIQUIDO %	42,31	35,41	39,69
LIMITE PLASTICO %	22,81	20,65	21,41
INDICE PLASTICO %	19,5	14,75	18,28
PROFUNDIDAD (m)	1,2 - 1,80	2,50 - 3,10	3,10 - 3,70

Fuente: Autores

Tabla 12. Estratigrafía Escuela El Cedro ICBF

ESCUELA EL CEDRO ICBF		
CAPA	PROFUNDIDAD (m)	TONALIDAD
capa vegetal	0,2	
limo organico grupo OL	1,2 - 1,8	CAFÉ OSCURO
arcilla inorganica combinada con organicas grupo CL	2,5 - 3,1	CAFÉ CLARO CON BETAS AMARILLAS
arcilla inorganica grupo ML	3,1 - 3,7	COLOR ABANO CON BETAS AMARILLAS

Fuente Autores.

6.3.3. Permeabilidad

Para realizar la permeabilidad en laboratorio se elaboró el ensayo de cabeza variable con el fin de obtener el coeficiente de permeabilidad K, donde nos muestra que teniendo en cuenta los valores obtenidos en los puntos de exploración existe presencia de arenas finas y arenas limosas, según la Mecánica De Suelos De Juárez Vadillo ver tabla 8, teniendo en cuenta que los valores están entre: 10^{-4} – 10^{-6} (ver tabla 13).

Tabla 13. Resultados de ensayos de permeabilidad

PERMEABILIDAD K - Kin situ	K EN LABORATORIO	K in situ
JULIO HIGUERA	0,000004 - 0,0000004	0,04 - 0,0166667 - 0,013333 - 0,006667
HOGAR BUENA VISTA - CORTADERA CHIQUITA	0,000077 - 0,00000077	N/A
HOGAR ESCUELA EL CEDRO ICBF	0,000004 - 0,0000004	0,01166667

Fuente: Autores

Para el punto de cortadera chiquita no se realizó el ensayo del k in situ ya que no se encontró una fuente de abastecimiento de agua para poder realizar el respectivo ensayo, vemos que los resultados del K y el K in situ no son similares ya que las muestras con las que se realizó el ensayo de permeabilidad en el laboratorio sufrieron alteraciones al compactarlas en el permeámetro y la

compactación in situ no fue la misma, sin embargo tenemos los valores típicos de los coeficientes de permeabilidad (Ver tabla 14).

Tabla 14. Valores típicos del coeficiente de permeabilidad en suelos

Tipo de suelo	K (m/s)	Observaciones
Gravas	> 1	
Arenas Gruesas	$1 - 10^{-3}$	Se observa drenar mediante bombeo
Arenas medias	$10^{-3} - 10^{-4}$	
Arenas finas	$10^{-4} - 10^{-5}$	
Arenas limosas	$10^{-5} - 10^{-6}$	
Turba	$3 \text{ a } 8 \times 10^{-5} - 10^{-9}$	
Limos y arcillas meteorizadas, muestras inalteradas de limos y arcillas yeceras	$10^{-6} - 10^{-9}$	Practicamente impermeables
Terraplen compacto impermeable	$10^{-8} - 10^{-10}$	
Arcillas no meteorizadas	$10^{-9} - 10^{-11}$	

Fuente: Mecánica De Suelos, Juárez Badillo, 2005

6.3.4. Fases

Estos laboratorios se realizaron a partir de muestras sin alterar, de la cuales se obtuvieron los siguientes valores.

Tabla 15. Resultados obtenidos en la relación de fases

FASES	GRAVEDAD ESPECIFICA (Gs)	RELACION DE VACIOS (e)	POROCIDAD (n)	SATURACION (s)	PESO ESPECIFICO (Y)
JULIO HIGUERA	2,57	0,6	0,33	0,97	2,04
HOGAR BUENA VISTA - CORTEDERA CHIQUITA	2,6	0,84	0,46	0,86	1,8
HOGAR ESCUELA EL CESDRO ICBF	2,57	1,19	0,54	0,48	1,43

Fuente: Autores

6.3.5. Porcentajes de humedad

La realización de estos ensayos del porcentaje de humedad, utilizamos un numero de capsula para estos del mismo valor obteniendo el mayor porcentaje de humedad para estas muestras relacionándolos obtuvimos valores semejantes en los tres puntos de estudio realizando 3 sondeos en total. (Ver tabla 16). Y tener en

cuenta los resultados obtenidos en laboratorio, estos se encuentran en: (anexos 1. Laboratorios de información primaria.)

Tabla 16. Resultados obtenidos del ensayo de humedad.

PUNTO DE EXPLORACION	Nº SONDEO	Nº MUESTRA	PROF. (m)	Wcap (g)	Wcap + mh (g)	Wcap + ms (g)	W (%)
Julio Higuera	1	1	2,0 - 2,60	11,17	31,92	25,24	47,45
	1	2	3,10 - 3,70	7,4	33,29	30,19	13,6
	1	3	3,7 - 4,0	8,4	39,92	36,62	11,69
Cortadera Chiquita	2	1	1,40 - 2,30	11,17	31,92	25,24	47,45
	2	2	2,50 - 2,90	7,4	33,29	30,19	13,6
	2	3	3,10 - 3,60	8,4	39,92	36,62	11,69
Escuela El Cedro	3	1	1,2 - 1,8	11,17	31,92	25,24	47,45
	3	2	2,50 - 3,10	7,4	33,29	30,19	13,6
	3	3	3,10 - 3,70	8,4	39,92	36,62	11,69

Fuente: Autores

6.4. Análisis de resultados de la cartografía

Se considera una distribución espacial cuando el conjunto de las entidades de un mismo tipo se reparten de una determinada forma sobre el espacio geográfico, ya sean líneas, puntos o polígonos (cuando se trata de áreas), con sus respectivos atributos asociados en un sistema vectorial; o cuando se presentan localizaciones dispersas que representan puntos y zonas con clases similares continuas llamados raster, se puede presentar transformaciones en el formato espacial de raster a vectorial y de vectorial a raster dentro de un SIG para buscar una mayor aptitud en el posterior análisis espacial.

Dentro de todo este procedimiento para llegar a la construcción de un plano cartográfico es necesario la asociación e interacción espacial para obtener un diagnostico espacial integral de la planificación mediante el apoyo del SIG.

6.4.1. Validación cruzada IDW

Validación cruzada

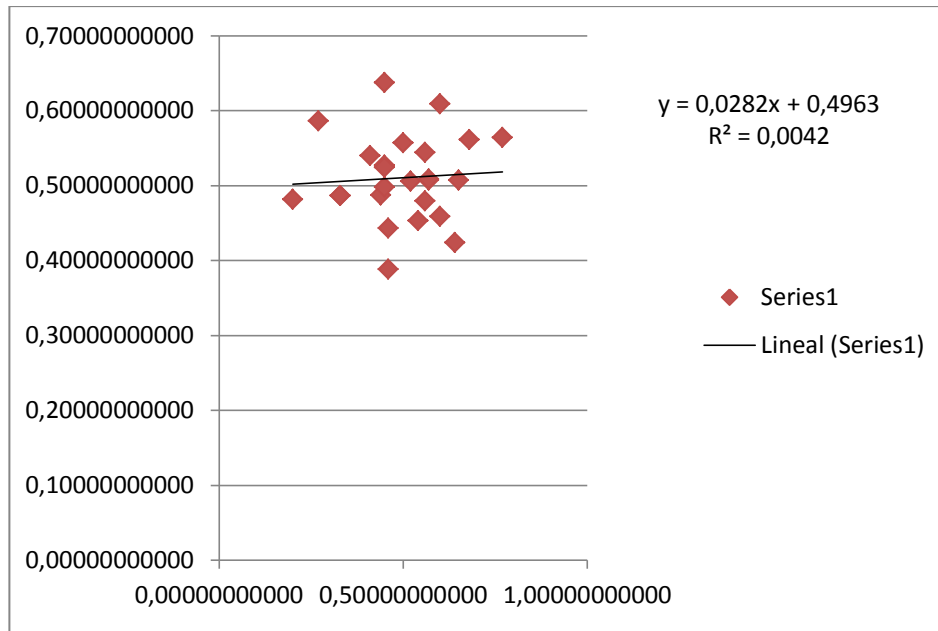
La Validación cruzada utiliza la idea de eliminar una ubicación de datos y predecir los datos asociados utilizando los datos del resto de las ubicaciones para, a continuación, repetir este proceso con el resto de las ubicaciones. Así, puede comparar el valor previsto para el valor observado y obtener información útil acerca de algunas de sus decisiones sobre el modelo.

La interpolación IDW implementa explícitamente el supuesto de que las cosas que están cerca entre sí son más parecidas que las que están más alejadas. Pondera los puntos más cercanos a la ubicación de predicción superior a los más alejados, de ahí el nombre de distancia inversa ponderada. (IDW inverse distance weighting).

En las siguientes graficas podemos observar la proyección de la línea de tendencia que tienen los parámetros geotécnicos y los valores del error cuadrado que se generan con el método de interpolación IDW a través de la validación cruzada, entre los valores observados y proyectados, de igual manera vemos una gran inexactitud para la mayoría de los casos debido a los pocos apiques que se realizaron y la distancia entre cada uno de estos, ya que el tipo de suelo y la estratigrafía de la subcuenca es muy variable y también muy grande se necesitan hacer los sondeos mucho más cercanos entre sí.

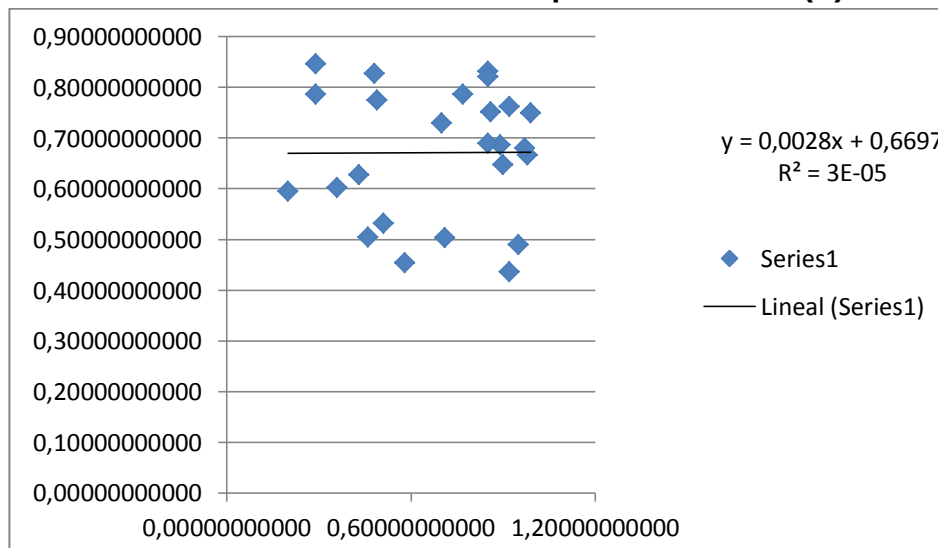
Al graficar en la tabla de Excel, los valores de los parámetros geotécnicos proyectados contra los realizados, se proceden a generar una línea de tendencia para cada uno de estos (**ver tablas 11 a la 19**), a pesar de la gran variabilidad a lo largo de la exploración. A esto se debe recomendar que en un futuro para una exploración similar se deba realizar un mayor número de sondeos y más cercanos entre sí, para que los resultados finalmente tengan más precisión con la línea de tendencia en cada parámetro geotécnico estudiado.

Grafica 11. Validación cruzada IDW para Porosidad (n)



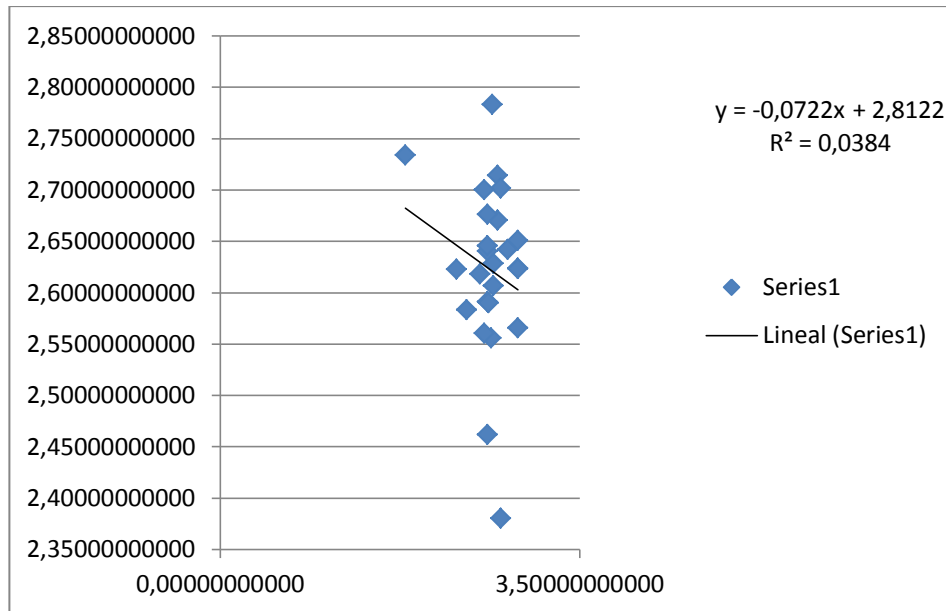
Root Mean Square = 0,13717639010117413

Gráfica 12. Validación cruzada IDW para Saturación (S)



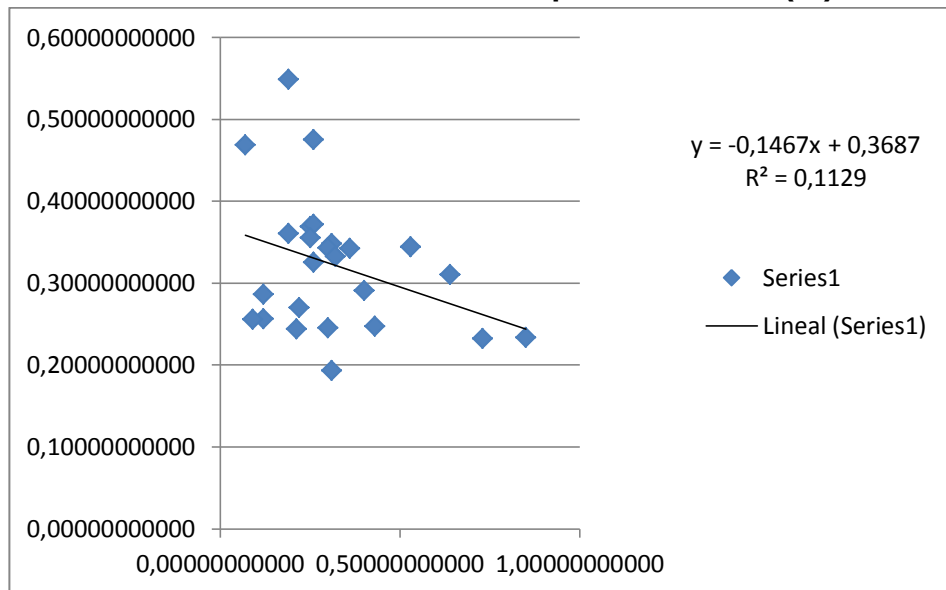
Root Mean Square= 0,2777137920859729

Gráfica 13. Validación cruzada IDW para gravedad específica (Gs)



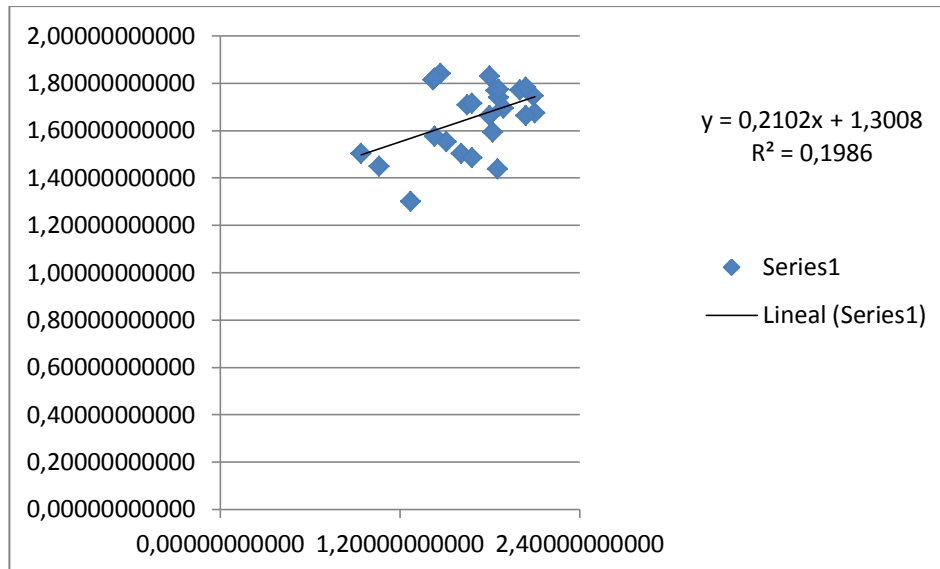
Root Mean Square= 0,25046663353868154

Gráfica 14. Validación cruzada IDW para Humedad (W)



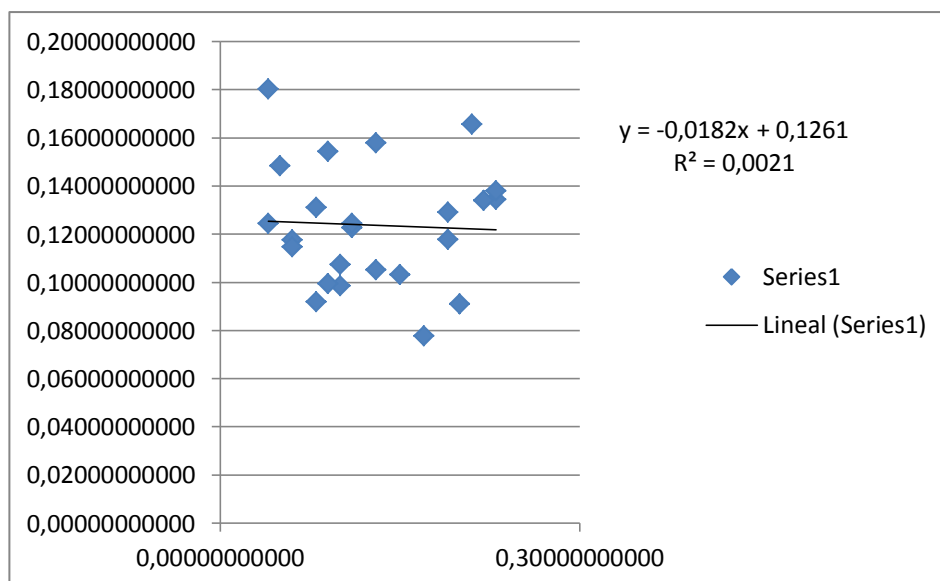
Root Mean Square= 0,22966263888734723

Gráfica 15. Validación cruzada IDW para Peso específico



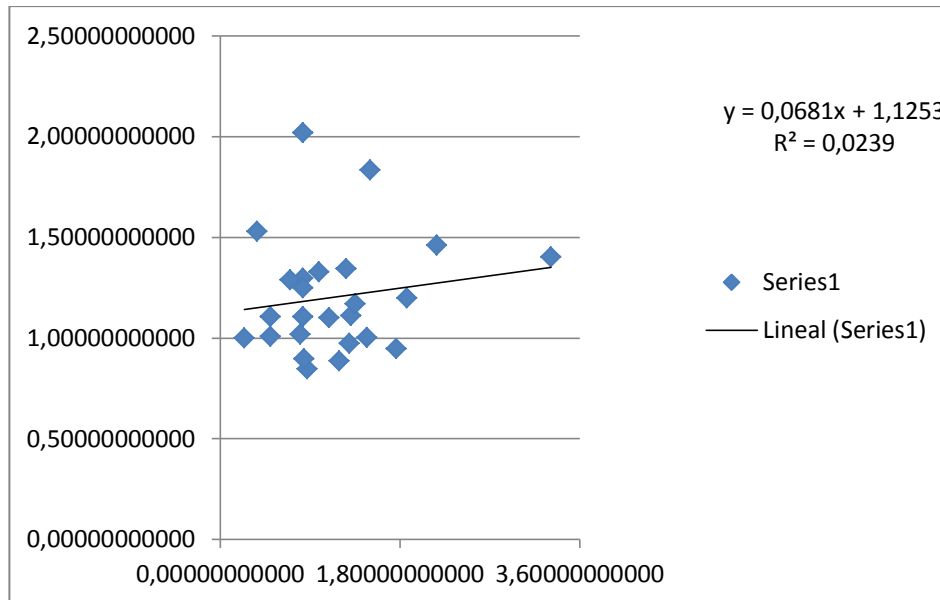
Root Mean Square = 0,2726803823923857

Gráfica 16. Validación cruzada IDW para índice de plasticidad (IP): solo analizamos 24 de 24



Root Mean Square= 0,06772853408118022

Gráfica 19. Validación cruzada IDW para Relación de vacíos (e)



Root Mean Square = 0,6572480526753167

6.4.2. Mapas de cada parámetro geotécnico.

A continuación se presenta los mapas finales de cada parámetro geotécnico básico que se realizó en este proyecto con sus características y rangos evaluados de la subcuenca Rio de Piedras, a través del programa ArcGis.

- En el peso específico del suelo (γ). (ver figura 6). Se observaron valores entre 0,96 gr/cm³ y 1,93 gr/cm³ los valores más bajos son típicos de material orgánico (Geotecnia Básica) y arcillas blandas (Terzaghi y Peck 1969), en general y teniendo en cuenta los valores de peso específico seco (γ_d) y saturado (γ_{sat}) se observa que corresponden a materiales arcillosos de consistencia blanda a dura.
- El ensayo de gravedad específica (G_s). (Ver figura 7). se realizó con el picnómetro calibrando los resultados de acuerdo a la temperatura del agua, se obtuvieron valores desde 1,82 hasta 2,745 lo que indica la presencia de suelos orgánicos ($G_s < 2$) y de arenas y limos arcillosos ($2,67 < G_s < 2,90$).

Figura 6 - Mapa de Peso Especifico del Suelo Subcuenca Rio de Piedras

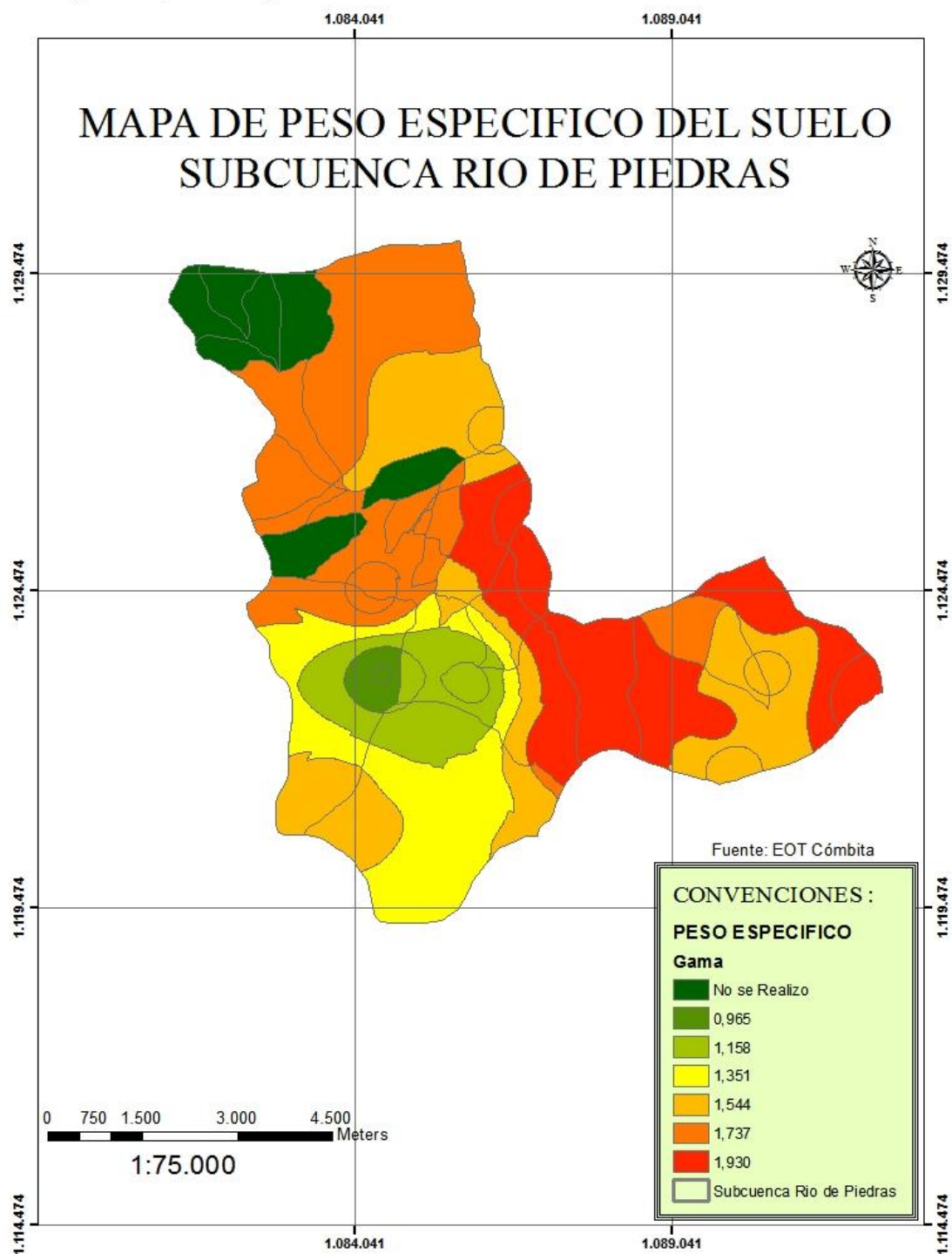
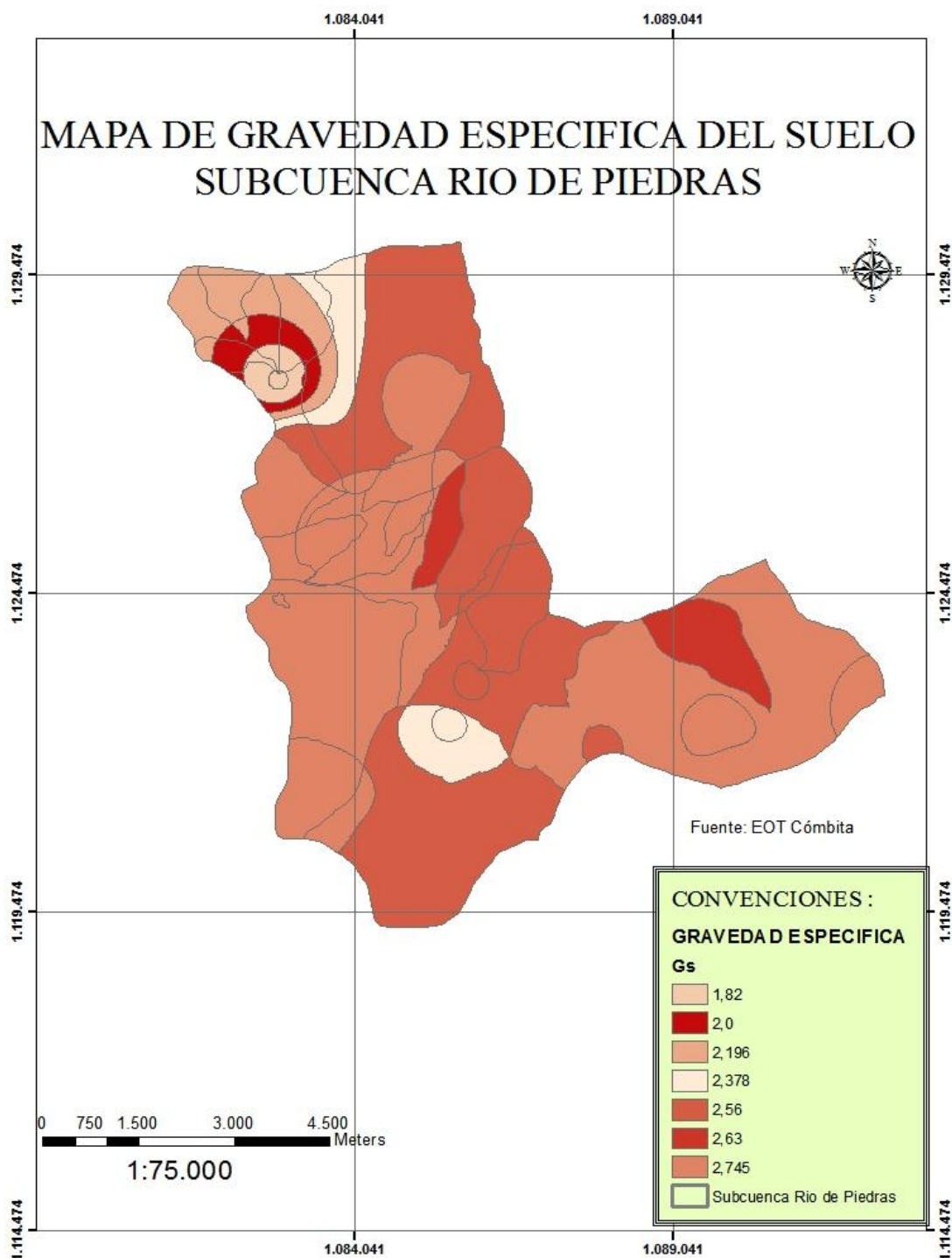
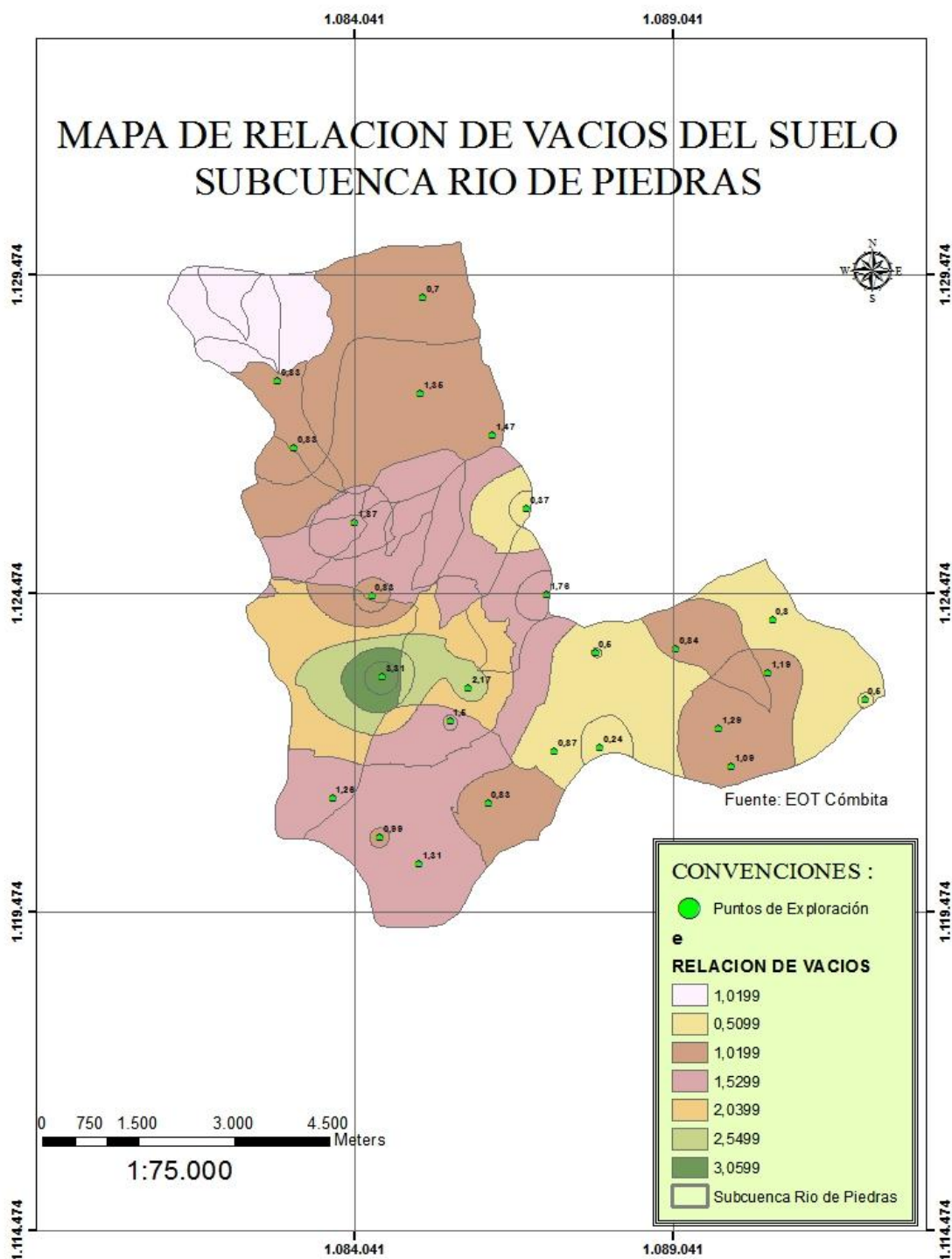


Figura 7 - Mapa de Gravedad Especifica del Suelo Subcuenca Rio de Piedras



- En la relación de vacíos (e) (ver figura 8). Se encontraron valores de 0,509 hasta 3,05, lo cual se puede considerar relativamente baja y típica de materiales arcillosos (Terzaghi y Peck, 1969) o de arenas compactas con finos para los valores más bajos (B. Das).
- En cuanto a los resultados de plasticidad, el límite líquido (LI), establecido por el ensayo de la cazuela de Casagrande, varió desde 25,5% hasta 44,86%, para la mayoría de los suelos es menor al 50%, sin embargo se pueden encontrar valores mucho más altos (A. Covo, 2003). El índice plasticidad (I_p) (ver figura 9). Está entre 2,34% y 19,5%, se puede considerar bajo, con pocos problemas asociados a su uso (O. Ramírez).
- La permeabilidad del suelo in-situ (k in-situ) (ver figura 10), se estableció realizando pozos cuadrados de 40 cm de lado por 40 cm de profundidad aproximadamente, los cuales se llenaron con agua hasta observar que el descenso en el nivel fuera constante, es decir hasta cuando se considerara que la zona se había saturado para luego tomar un nivel de referencia y registrar los niveles de descenso de la lámina de agua y los tiempos para cada uno, al graficar la distancia que desciende el agua contra el tiempo que tarda de bajar el nivel, se puede establecer la permeabilidad del suelo como la pendiente la parte asintótica de la fotografía 1, este parámetro arroja valores desde 0,01 m/s hasta 0,109 m/s, para cada uno de los parámetros se van a generar grandes diferencias debido a la distancia entre cada sondeo con respecto al área de la subcuenca, lo que implica que no se puede realizar una análisis más detallado.

Figura 8 - Mapa de Relacion de Vacios del Suelo Subcuenca Rio de Piedras



MAPA DE INDICE DE PLASTICIDAD DEL SUELO
SUBCUENCA RIO DE PIEDRAS

Fuente: EOT Cóbbita

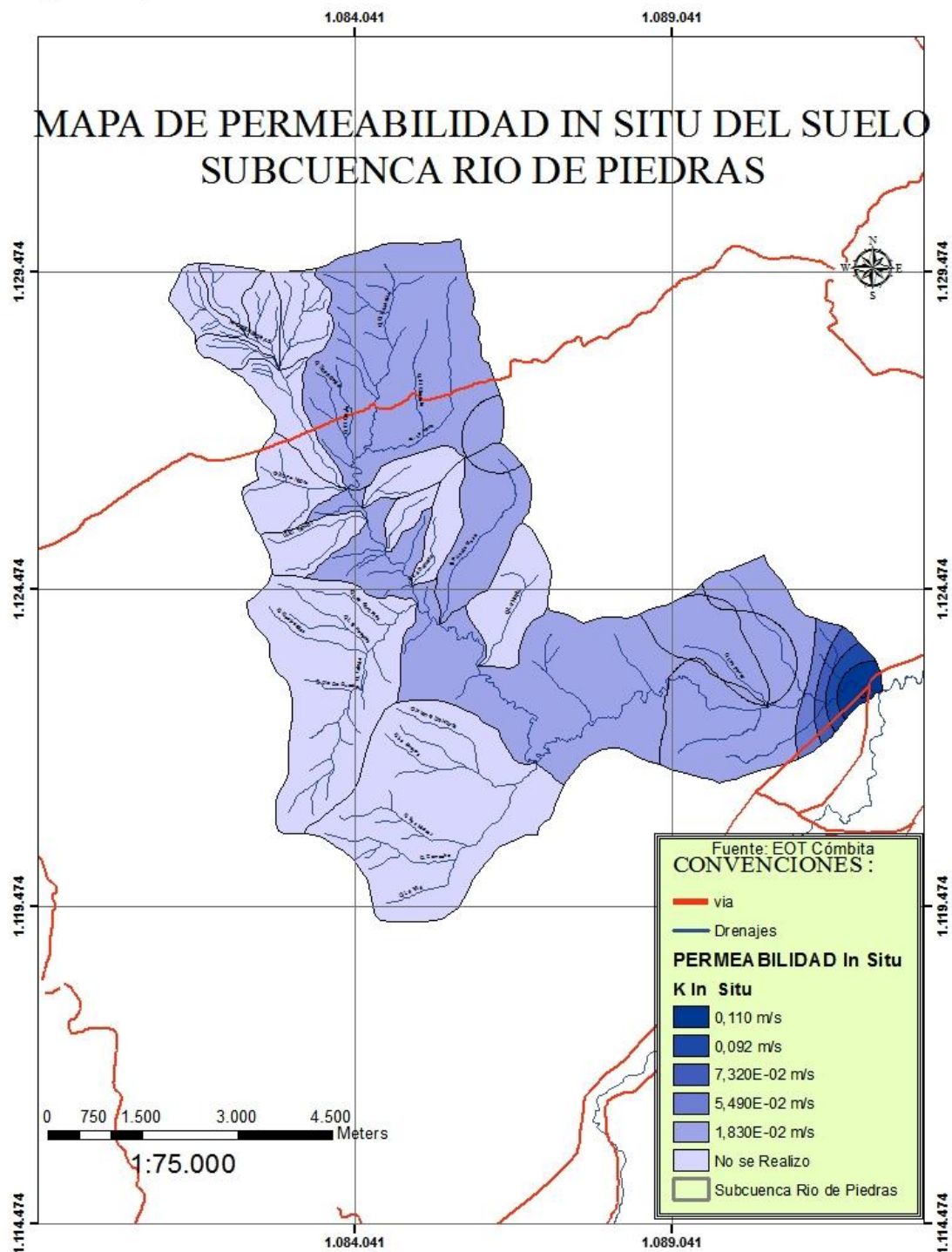
CONVENCIONES :

- via
- Puntos de Exploración

INDICE DE PLASTICIDAD I.P.

- 0,221
- 0,190
- 0,158
- 0,126
- 9,480E-02
- 6,320E-02
- Subcuenca Río de Piedras

Figura 10 - Mapa de Permeabilidad In Situ del Suelo Subcuenca Rio de Piedras



Fotografía. Realización de pozo 40x40. Para medir permeabilidad in-situ.



Fuente. Autores

- La permeabilidad en laboratorio (k_{lab}) (ver figura 11), se realizó mediante el ensayo de cabeza variable para la mayoría de muestras (material fino) y en algunos puntos se estableció a través del ensayo de cabeza constante (material granular). De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar que la permeabilidad in-situ es notablemente mayor a la permeabilidad en laboratorio, lo cual se puede explicar teniendo en cuenta que en el terreno existe la presencia de grietas y fisuras que favorecen el flujo del agua a través del suelo, así mismo se observó la dificultad de representar las condiciones reales del suelo en el ensayo de permeabilidad en laboratorio, sin embargo en todos los ensayos se procuró generar una compactación de las muestras de suelo que lograra un peso específico muy cercano al del terreno, cuyos resultados varían entre 0,28 m/s y 0,75 m/s como se observa en la figura 11, ya que las muestras han sido alteradas, En la tabla 17 se muestra una interpretación de los valores de k de acuerdo con la textura del suelo y comparando estos valores se concluye que en este suelo el material va de arenas gruesas a finas.

Figura 11 - Mapa de Permeabilidad en Laboratorio del Suelo Subcuenca Río de Piedras

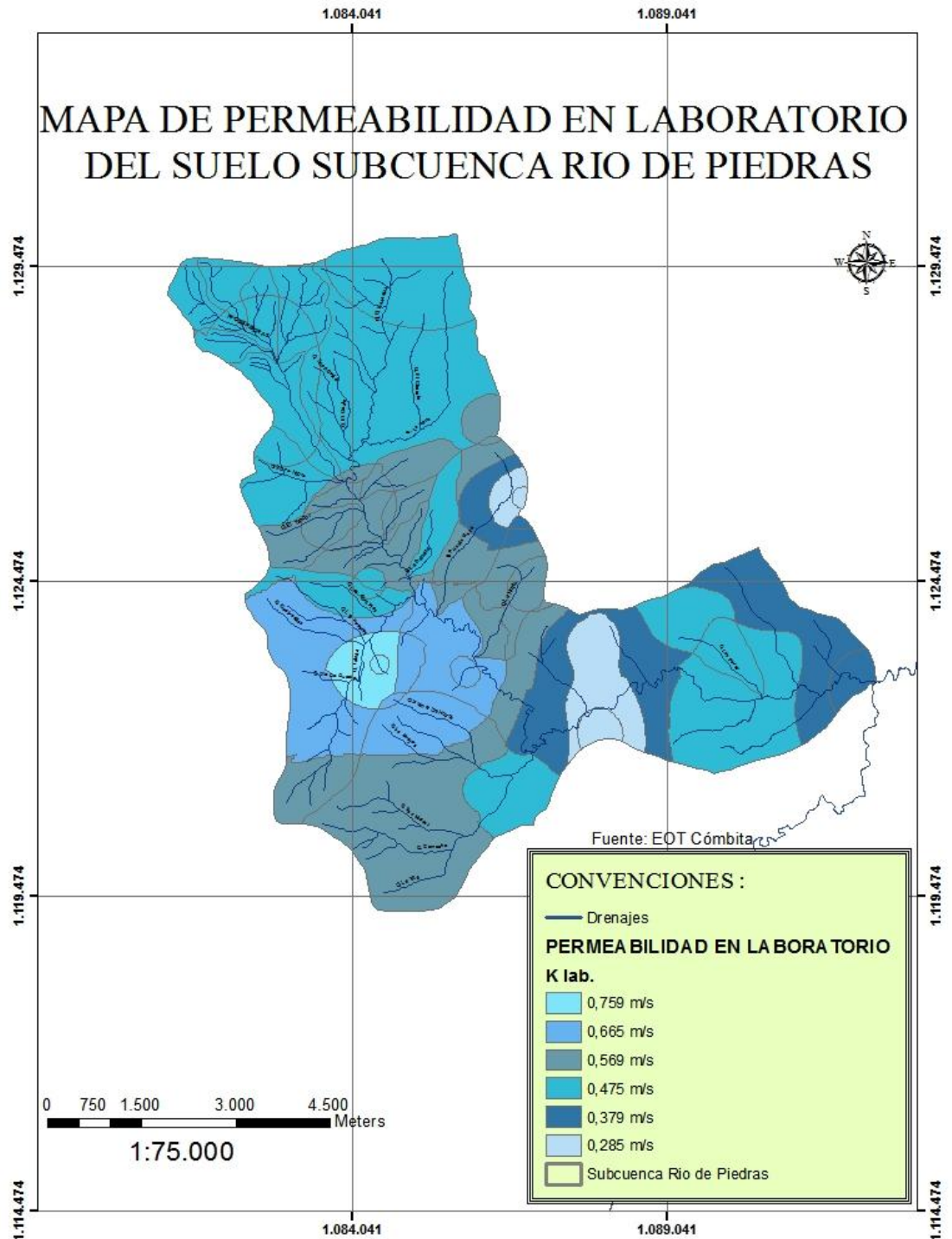


Tabla 17. Rango de permeabilidad de los suelos en m/s de acuerdo con su textura.

Muy Permeable	Sobre 1×10^{-1}	Gravas Gruesa
Mediana Permeabilidad	De 1×10^{-1} a 1×10^{-1}	Arenas Gruesas a Finas
Baja Permeabilidad	De 1×10^{-3} a 1×10^{-3}	Arenas Limosas y Limos
Muy Baja Permeabilidad	De 1×10^{-5} a 1×10^{-5}	Limos Finos Gruesos
Impermeable	Menor que 1×10^{-5}	Arcillas

Fuente: PhD Álvaro Ignacio Covo.

- La porosidad (n) (ver figura 12). Arrojó valores entre 0,27 y 0,74, lo que corresponde a valores típicos y relativamente bajos, los valores de estas relaciones de fase pueden indicar una tendencia a permeabilidades bajas.
- La saturación (S) y la humedad (ω) (ver figuras 13 y 14), Son valores cambiantes en un suelo que dependen de las condiciones ambientales a las que se encuentra expuestos, especialmente la lluvia, para la zona de estudio fueron encontrados valores de S desde 23% hasta 95% con suelos saturados y niveles freáticos muy cercanos a la superficie, algo similar se encontró para la humedad con valores desde 20% hasta 77%. Aproximadamente.
- En la (figura 15), se muestra que dentro de la subcuenca se encuentran 6 fuentes de abastecimiento o bocatomas para el uso y servicio de los acueductos interveredales de la región, por lo cual se debe tener en cuenta el uso adecuado ya que esta subcuenca es de gran importancia en el manejo de recursos hídricos de la zona siendo parte del abastecimiento del embalse de la playa.

Figura 12 - Mapa de Porosidad del Suelo Subcuenca Rio de Piedras

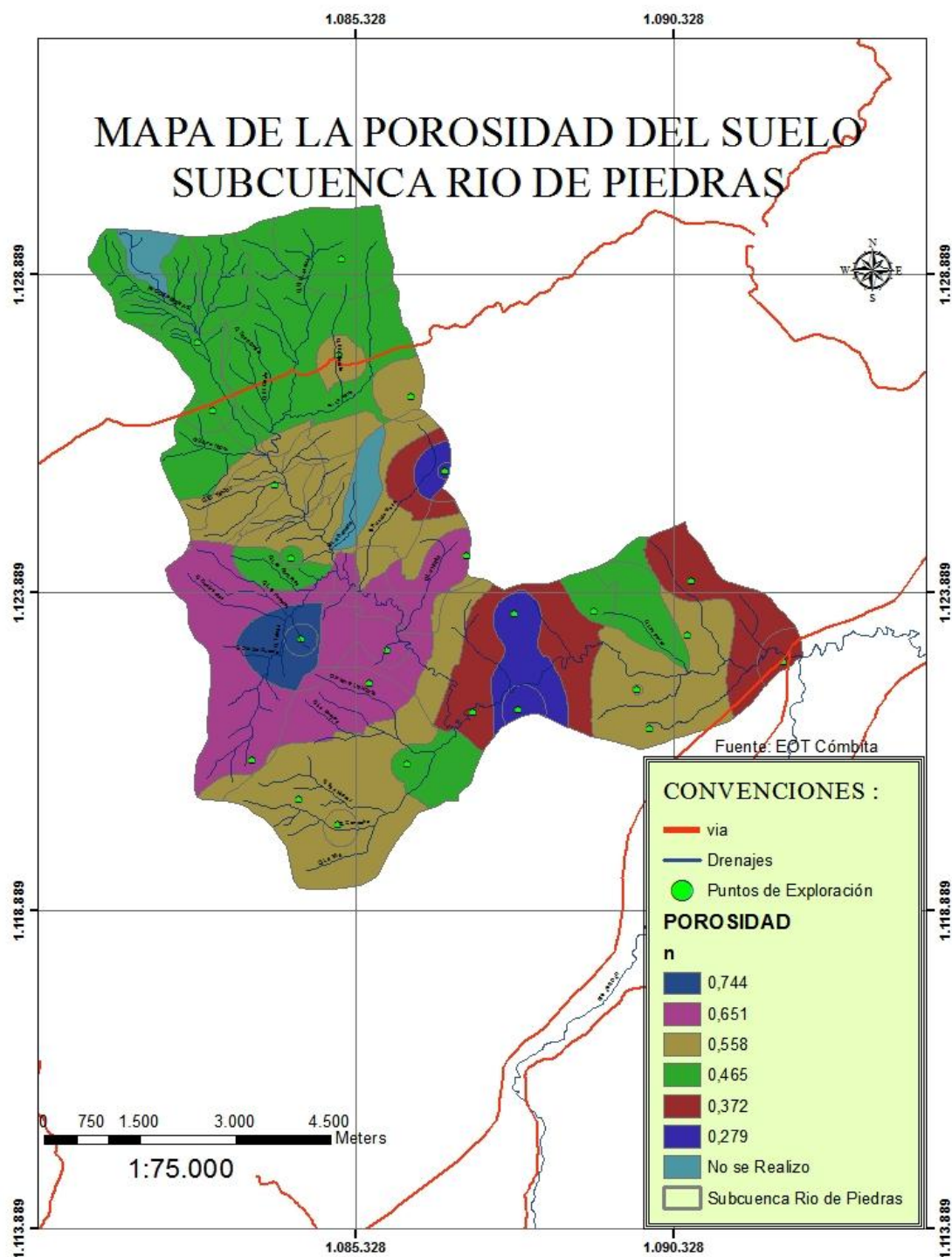


Figura 13 - Mapa de Saturacion del Suelo Subcuenca Rio de Piedras

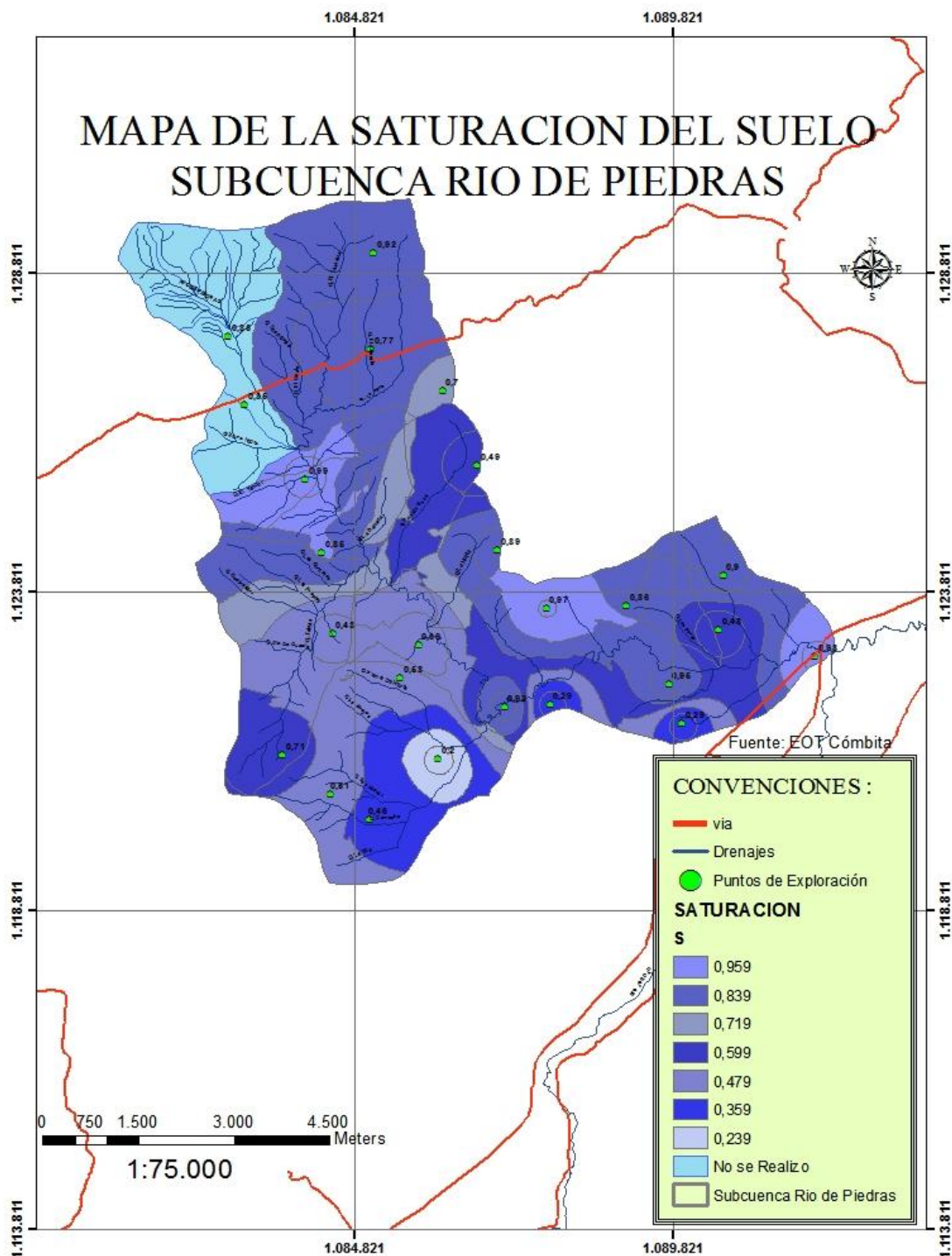
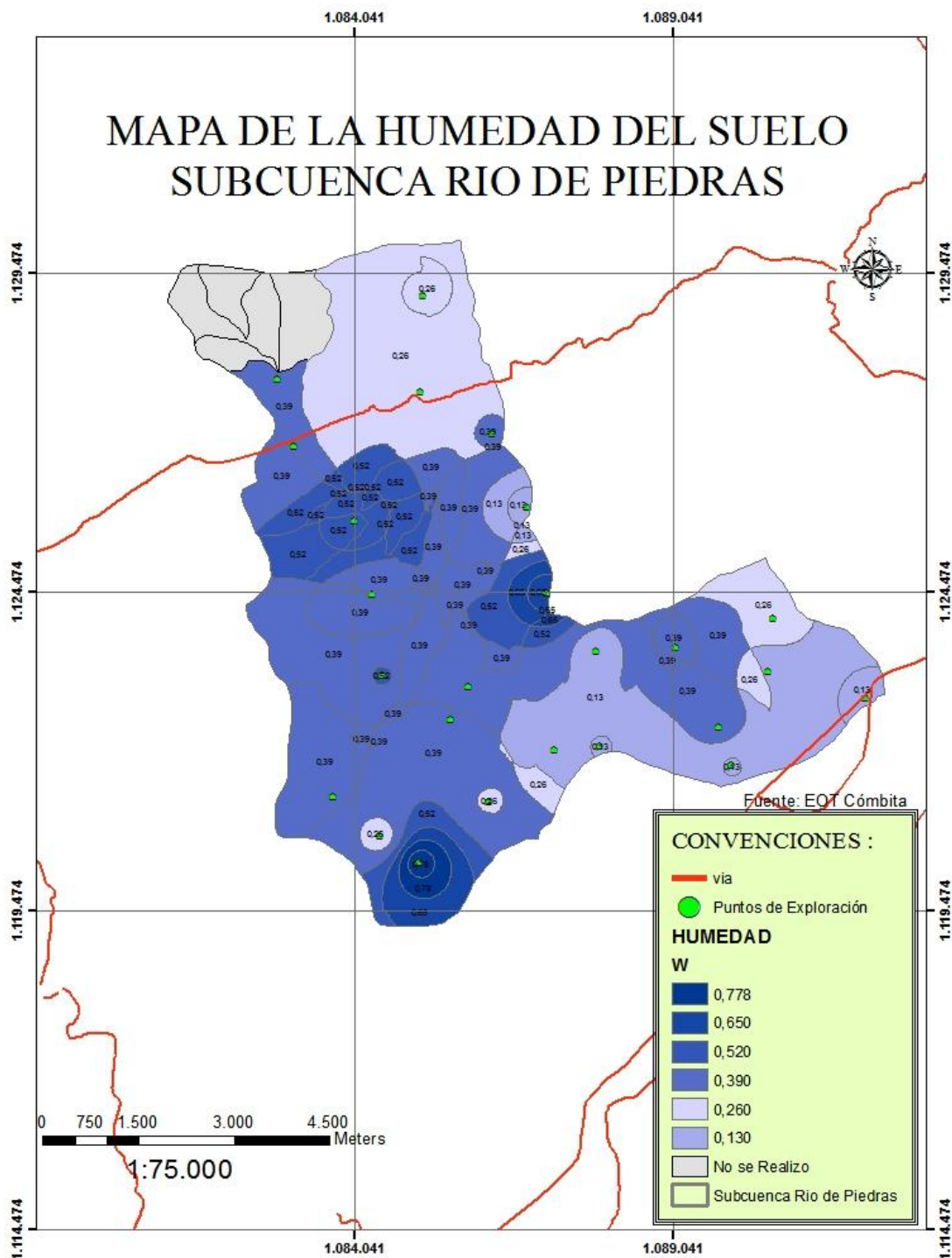


Figura 14 - Mapa de Humedad del Suelo Subcuenca Rio de Piedras



7. CONCLUSIONES

- Al llegar a los resultados de laboratorio se puede definir que la zona de estudio presenta suelos diferentes en pocas distancias, es decir la variabilidad del terreno es notoria en cuanto a los diferentes parámetros estudiados.
- A lo largo de la subcuenca se presenta material organico como lo muestran los resultados en el programa ArcGis de los parámetros de peso específico y gravedad específica, con valores entre 0.96 - 1.93 y 1.82 – 2.74 respectivamente.
- De acuerdo a la relación de vacíos se presentan valores típicos y relativamente bajos de material arcilloso, un índice de plasticidad bajo y de igual manera baja permeabilidad en la mayoría de los sondeos realizados.
- Se realizaron los estudios y análisis de los parámetros dentro de la subcuenca, teniendo como informacion primaria los 3 puntos Cortadera Chiquita, Julio Higuera y Escuela el Cedro.
- La subcuenca rio de piedras presenta un porcentaje de saturación alto y niveles freáticos muy cercanos a la superficie.
- Cabe resaltar que con la exploración que se hizo, hablar de una caracterización completa y detallada es difícil por lo que para cada microcuenca solo se realizaron entre tres y cuatro apiques, que son importantes pero que se podrían densificar, para aumentar el grado de precisión y veracidad en los resultados.

- Se observa la inexactitud que se presenta en las gráficas de validación cruzada por el método IDW, debido al distanciamiento generado entre cada punto de exploración, por lo que no se pueden obtener datos precisos de cada parámetro.
- El promedio ponderado que se obtiene al final del procedimiento permite hacer la respectiva comparación de un valor en una microcuenca específica, de manera que sea este dato el de mayor relevancia en este trabajo.
- Durante el desarrollo de la investigación se vio que la subcuenca Rio de Piedras es muy importante para el abastecimiento de agua interveredal y que es un gran aporte a una de las principales fuentes hídricas de este sector del departamento.

8. RECOMENDACIONES

- Para un próximo estudio se recomienda realizar más puntos de exploración para obtener resultados puntuales y tener información más clara y precisa del lugar de estudio.
- Es de suma importancia saber que en el programa utilizado para el estudio de variabilidad espacial ArGis, se pueden hacer validaciones cruzada por dos métodos distintos al trabajado, como son kriging y spline, los cuales pueden arrojar información más precisa para de esta forma poder compararlos y escoger el más cercano a la línea de tendencia de las gráficas la cual es de 45°.

- El cuidado de esta subcuenca y su manejo adecuado es importante ya que la esta hace parte importante de las necesidades de abastecimiento de agua en la zona.
- Con los resultados obtenidos en este trabajo se puede dar información de las condiciones y comportamientos del suelo para su producción agrícola, ganadera y zonas de reserva natural, para su protección y buen uso.

9. GLOSARIO

APARATO DE CASAGRANDE: Llamado también cazuela de Casagrande; instrumento utilizado en la determinación del límite líquido, consiste en un recipiente de bronce en forma de sector esférico montado sobre un bastidor diseñado y construido para controlar su caída, desde una altura de 1 cm, sobre una base de caucho duro.

APIQUE: Excavación utilizada para examinar detalladamente el subsuelo y obtener muestras inalteradas y cuyas dimensiones en planta son aproximadamente iguales entre sí y menores que su profundidad.

GEOMORFOLOGIA: Es la ciencia que tiene como objeto el estudio de las formas de la superficie terrestre enfocado a describir, entender su génesis y entender su actual comportamiento.

ÍNDICE DE LIQUIDEZ: Conocido también como índice de consistencia o consistencia relativa medida de la consistencia de un suelo con su contenido de humedad natural, dada por la relación entre: (a) la diferencia entre el contenido natural de agua y el límite plástico, y (b) el índice de plasticidad.

BARRENO: Herramienta utilizada para perforar el terreno en operaciones de sondeo, para voladuras, o para la instalación de anclajes.

CLASIFICACIÓN UNIFICADA DE SUELOS: Clasificación geotécnica de suelos, desarrollada inicialmente por A. Casagrande que se basa en sus características de granulometría y de plasticidad. (Norma ASTM D2487). En esta clasificación todos los suelos resultan ubicados en uno de 15 grupos, cada uno de los cuales es designado por dos letras que indican sus características relevantes así:

G: Grava.

S: Arena.

M: Limos, finos no plásticos o de baja plasticidad.

C: Arcillas, finos plásticos.

Pt: Turba.

O: Orgánico.
W: Bien gradado.
P: Mal gradado.
L: Límite líquido menor que 50.
H: Límite líquido mayor que 50

CLIMA DEL SUELO: Conjunto de condiciones de temperatura, humedad y presión en el interior del suelo.

EROSIÓN: Conjunto de procesos en los que los materiales de la corteza terrestre son removidos y transportados de un lugar a otro, por agentes naturales o antrópicos.

ESTUDIO GEOTÉCNICO PRELIMINAR: Es el que se ejecuta con el objeto de determinar las características geotécnicas predominantes en un terreno para establecer sus condiciones generales de aprovechamiento y adecuación, o para orientar el desarrollo de un proyecto de construcción aún no definido.

GRAVEDAD ESPECÍFICA: Relación numérica entre a) el peso en el aire de un volumen dado de un cuerpo a una temperatura dada, y b) el peso en el aire de un volumen igual de agua destilada a la misma temperatura.

GEOLOGIA: Ciencia que estudia la composición y estructura interna de la Tierra, y los procesos por los cuales ha ido evolucionando a lo largo del tiempo geológico

EXPLORACION: Es la actividad de viajar con el propósito de descubrir, sean pueblos o espacios desconocidos, vías de comunicación, rutas de comercio, bases estratégicas, esclavos recursos naturales (tierras fértiles, minerales metálicos o energéticos, de uso industrial o suntuario, etc.), por motivos económicos, militares, ideológicos o por el mero conocimiento.

DRENAJE: En ingeniería y urbanismo, es el sistema de tuberías, sumideros o trampas, con sus conexiones, que permite el desalojo de líquidos, generalmente pluviales, de una población.

MAPA: es una representación gráfica y métrica de una porción de territorio generalmente sobre una superficie bidimensional, pero que puede ser también esférica como ocurre en los globos terráqueos.

CUENCA: Territorio drenado por un único sistema de drenaje natural. Drena sus aguas al mar a través de un único río o vierte sus aguas a un único lago endorreico.

PLASTICIDAD: es la propiedad mecánica de un material inelástico, natural, artificial, biológico o de otro tipo, de deformarse permanente e irreversiblemente cuando se encuentra sometido a tensiones por encima de su rango elástico, es decir, por encima de su límite elástico.

PERMEABILIDAD: Es la capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna.

POLIGONO: Es una figura plana compuesta por una secuencia finita de segmentos rectos consecutivos que cierran una región en el espacio.

SUELO: El suelo es una mezcla de minerales, materia orgánica, bacterias, agua y aire, se forma por la acción de la temperatura, el agua, el viento, los animales y las plantas sobre las rocas.

TUBO SHELBY: Tubo de pared delgada utilizado para obtener muestras inalteradas de suelos cohesivos. Sus dimensiones típicas son 5 a 7.5 cm de diámetro, 30 a 60 cm de longitud, 1.4 mm de espesor de pared. La muestra de suelo se obtiene en el suelo por presión o percusión.

TAMIZ: Instrumento utilizado para separar las partículas de suelo según su tamaño. Consiste en un recipiente cilíndrico cuyo fondo lo forma una malla de alambre o cobre de acero inoxidable.

SUELO ORGÁNICO: Mezcla de arena, limo o arcilla, o una combinación de estas con materia orgánica. Término genérico aplicado a un suelo que tiene abundante materia orgánica.

DISECCION: Término usado para describir el trabajo realizado por los agentes erosivos sobre un determinado paisaje.

DEPOSICIONAL: Sucesión cronológica aparente de la formación de los minerales.

DENUDACION: La denudación es, en último análisis, la destrucción de las formas del relieve más saliente por el efecto conjugado de los diversos agentes erosivos.

10. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

CÓMBITA. CONSEJO MUNICIPAL. Decreto (16 de abril, 1999). Esquema de Ordenamiento Territorial. Cómbita, 1999.

CORPOBOYACA. Reglamentación del manejo y uso del recurso hídrico de las aguas, Río de Piedras. 10 de noviembre 2008. 255 p.

DAS, Braha M. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Ciudad de México : *International Thomson* Editores, 2001. pág. 608.

JUÁREZ, Eulalio y RICO, Alfonso. Mecánica de suelos. Fundamentos de la mecánica de suelos. México, D.F., 2005. Tomo 1. 629 p. ISBN 968-18-0069-9.

MOLINA, José-Luis, et al.. *Geomatic Methods at the service of water resources modelling*. En: *Journal of Hydrology*. Noviembre, 2013. no. 509, p. 150-162.

SOTAQUIRA CONSEJO MUNICIPAL, Esquema de Ordenamiento Territorial Sotaquirá Boyacá 2003 – 2011

TUTA CONSEJO MUNICIPAL, Esquema de Ordenamiento Territorial Tuta Boyacá 2004 – 2013

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE BOYACÁ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia- Centro de Estudios Económicos Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Investigaciones Ambientales Formulación del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha.

GUSTAVO D. Buzai, análisis espacial con sistemas de información geográfica, (2004).

Cfr. MONTES, Alexandra -VILLATE, Julián, Caracterización geotécnica preliminar - suelos de Tunja Sector 2, Tunja, Trabajo de grado ingeniero Civil UPTC, 2001

EL ESPACIO GEOGRAFICO Y EL ANALISIS ESPACIAL (ARTICULO) – NORMA IVONE PEÑA – MARZO DE 2013

ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LA ZONA CENTRO DEL MUNICIPIO DE SOGAMOSO POR MEDIO DE UN SIG (UPTC) Escuela de Ingeniería Geológica. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE UNA CUENCA PARA CORRELACIÓN CON PARÁMETROS DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO DE THOMAS Ingeniero M.Cs. Néstor Iván Rojas Gamba (2014).

ArcGis- ArcMap, 2010-desktop resource center.

11. ANEXOS

RESULTADOS DE LABORATORIOS

PUNTO JULIO HIGUERA FASES

Localización:			Sotaquira (Boyaca)			
Cliente:			JULIO HIGUERA			
Fecha:			17/03/2013			
VOLUMEN			PESO			
28,37	9,50	0,30	AIRE		0,00	57,79
		9,19	AGUA		9,19	
	18,88		SUELO		48,59	
Vs =	Ws/Gs =	18,8762				
				(gr)	(cm)	(cm2)
						(cm3)
e			0,50	Wanillo	65,84	
n			0,33	Wanillo+Wmh al inicio	121,905	
S			0,97	Wanillo+Wmh al final	123,625	
γ			2,04	WMseca+anillo	114,43	
γd			1,71	%Humedad	18,92	
γsat			2,05	diametro anillo		5
				h anillo		2,1
				h muestra		1,445
				h piedra porosa		0,655
				Area muestra		19,635
				Vol Muestra		28,37

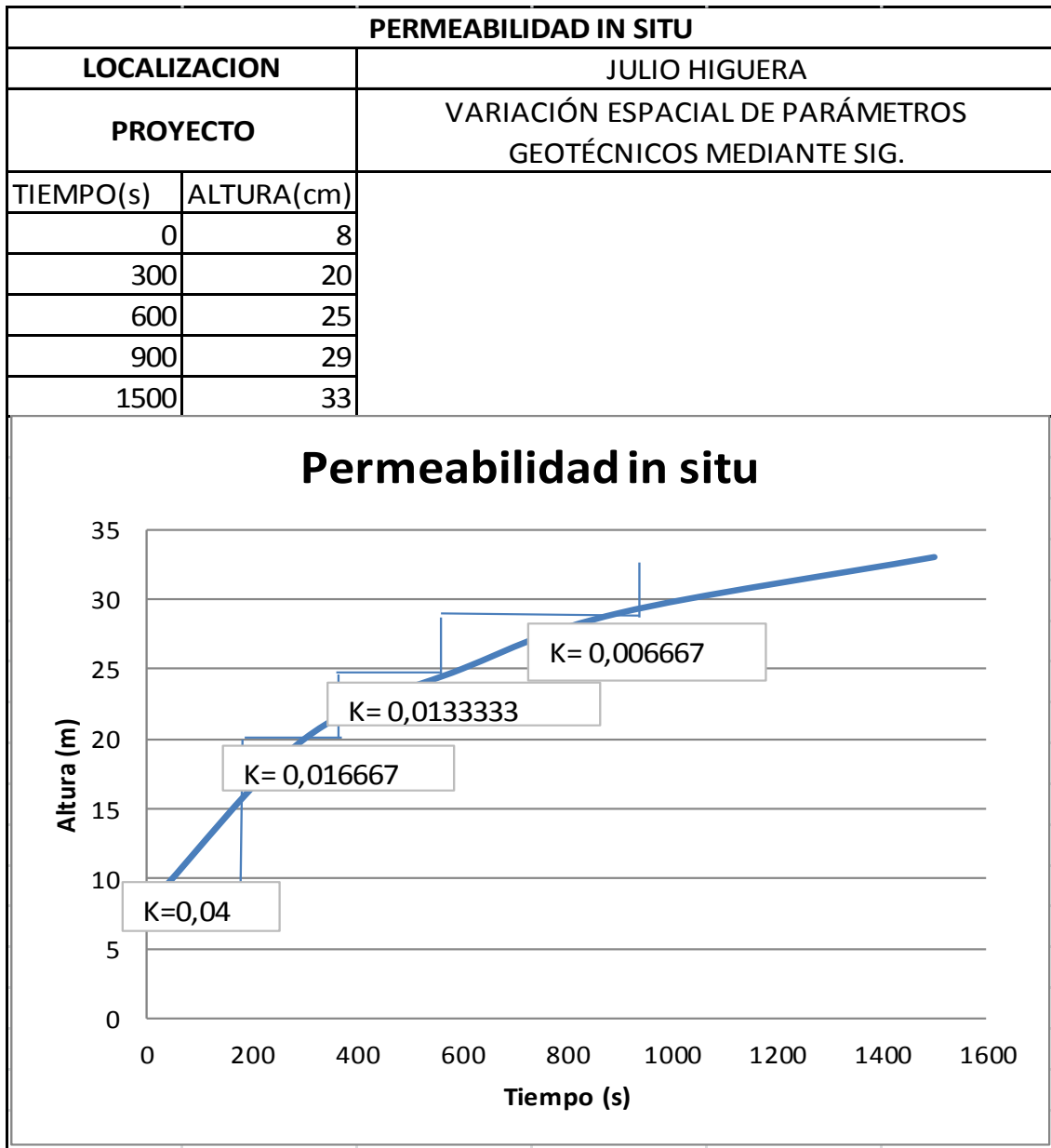
Fuente. Autores.

RESULTADO K EN LABORATORIO

Proyecto:	VARIACIÓN ESPACIAL DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS MEDIANTE SIG.		
Localización:	Sotaquira (Boyaca)		
Cliente:	JULIO HIGUERA		
Fecha:	17/03/2013		
PERMEABILIDAD EN LABORATORIO			
DATOS			
PESO MUESTRA (gr)	389,5		
DIAMETRO INTERNO (cm)	6,3		
AREA (cm^2)	31,17		
ALTURA CILINDRO (cm)	8,1		
VOLUMEN (cm^3)	252,50		
CABEZA h (m)	1		
diametro menor (cm)	1		
area menor (cm2)	3,141592654		
h1 (cm)	100		
h2 (cm)	82,3		
t1 (seg)	0		
t2 (seg)	265		
K=	6,0E-04	Cm/seg	
	6,0E-06	cm/seg	

Fuente. Autores.

RESULTADO K IN SITU



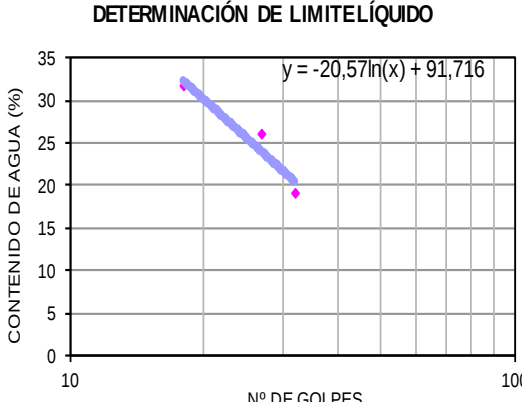
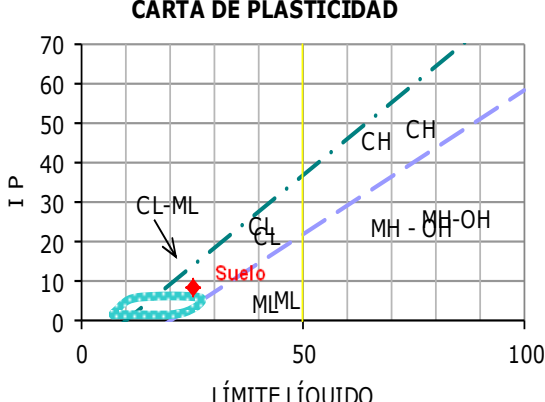
Fuente. Autores.

RESULTADO LIMITES

LIMITES DE ATTERBERG							
PROYECTO:		VARIACIÓN ESPACIAL DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS MEDIANTE SIG.					
LOCALIZACIÓN:		JULIO HIGUERA					
CLIENTE:		JULIO HIGUERA					
LABORATORISTA:		PABLO IBARRA			FECHA:	17/03/2013	
HUMEDAD NATURAL							
Nº Sondeo	Nº Muestra	Prof. (m)	Nº Recipiente	Wcap (g)	Wcap + mh (g)	Wcap + ms (g)	W(%)
1	1	2,0-2,60	JULIO	11,17	31,92	25,24	47,45
LÍMITE LÍQUIDO							
DETERMINACIÓN Nº				1	2	3	
RECIPIENTE Nº				3	11	24	
PESO RECIPIENTE (g)				10,60	10,84	11,05	
PESO RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO (g)				28,09	26,96	30,33	
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO (g)				23,49	22,98	25,60	
NÚMERO DE GOLPES				18	25	31	
CONTENIDO DE AGUA (%)				35,68	32,79	32,50	
LÍMITE PLÁSTICO							
DETERMINACIÓN Nº				1	2		
RECIPIENTE Nº				39	6		
PESO RECIPIENTE (g)				4,37	6,38		
PESO RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO (g)				13,39	12,63		
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO (g)				11,55	11,40		
CONTENIDO DE AGUA (%)				25,66	24,53		
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO				CARTA DE PLASTICIDAD			
LÍMITE LÍQUIDO:		33,43		ÍNDICE DE LIQUEZ		2,6824	
LÍMITE PLÁSTICO:		25,10		COMPORTAMIENTO		Flujo Viscoso	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:		8,33					

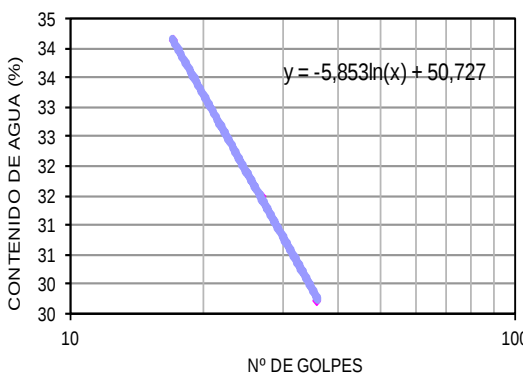
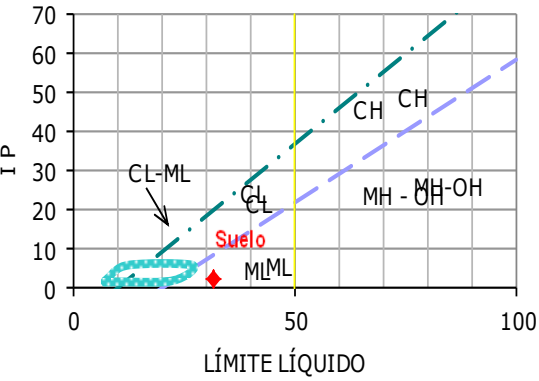
Fuente. Autores.

Continuación...

LÍMITES DE ATTERBERG								
PROYECTO:		VARIACIÓN ESPACIAL DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS MEDIANTE SIG.						
LOCALIZACIÓN:		JULIO HIGUERA						
CLIENTE:		JULIO HIGUERA						
LABORATORISTA:		PABLO IBARRA			FECHA:		17/03/2013	
HUMEDAD NATURAL								
Nº Sondeo	Nº Muestra	Prof. (m)	Nº Recipiente	Wcap (g)	Wcap + mh (g)	Wcap + ms (g)	W(%)	
1	2	3,10-3,70	P	7,40	33,29	30,19	13,60	
LÍMITE LÍQUIDO								
DETERMINACIÓN Nº				1	2	3		
RECIPIENTE Nº				1	27	81		
PESO RECIPIENTE (g)				11,01	11,09	11,06		
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)				27,35	26,31	23,90		
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)				23,42	23,17	21,85		
NÚMERO DE GOLPES				18	27	32		
CONTENIDO DE AGUA (%)				31,67	25,99	18,99		
LÍMITE PLÁSTICO								
DETERMINACIÓN Nº				1	2			
RECIPIENTE Nº				10	179			
PESO RECIPIENTE (g)				4,36	4,35			
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)				15,34	12,87			
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)				13,29	12,03			
CONTENIDO DE AGUA (%)				22,93	10,87			
DETERMINACIÓN DE LIMITELÍQUIDO 				CARTA DE PLASTICIDAD 				
LÍMITE LÍQUIDO:		25,50		ÍNDICE DE LIQUEZ		-0,3833		
LÍMITE PLÁSTICO:		16,90		COMPORTAMIENTO		Semisólido		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:		8,60						

Fuente. Autores.

Continuación...

LÍMITES DE ATTERBERG								
PROYECTO:		VARIACIÓN ESPACIAL DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS MEDIANTE SIG.						
LOCALIZACIÓN:		JULIO HIGUERA						
CLIENTE:		JULIO HIGUERA						
LABORATORISTA:		PABLO IBARRA			FECHA:		17/03/2013	
		HUMEDAD NATURAL						
Nº Sondeo	Nº Muestra	Prof. (m)	Nº Recipiente	Wcap (g)	Wcap + mh (g)	Wcap + ms (g)	W(%)	
1	3	3,7-4,0	M 61	8,40	39,92	36,62	11,69	
LÍMITE LÍQUIDO								
DETERMINACIÓN Nº				1	2	3		
RECIPIENTE Nº				84	90	0.1		
PESO RECIPIENTE (g)				11,00	11,23	10,98		
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)				22,97	27,12	25,86		
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)				19,92	23,32	22,45		
NÚMERO DE GOLPES				17	27	36		
CONTENIDO DE AGUA (%)				34,13	31,48	29,72		
LÍMITE PLÁSTICO								
DETERMINACIÓN Nº				1	2			
RECIPIENTE Nº				MJ	D55			
PESO RECIPIENTE (g)				5,92	6,17			
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)				16,49	20,69			
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)				13,76	17,86			
CONTENIDO DE AGUA (%)				34,83	24,25			
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO 				CARTA DE PLASTICIDAD 				
LÍMITE LÍQUIDO:		31,89		ÍNDICE DE LIQUEZ		-7,6183		
LÍMITE PLÁSTICO:		29,54		COMPORTAMIENTO		Semisólido		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:		2,34						

Fuente. Autores.

HOGAR BUENA VISTA – CORTADERA CHIQUITA

Nota: en este punto no se realizó *k in situ* por la dificultad de contar con agua para el relleno de la excavación

RESULTADO DE FASES

Proyecto:		VARIACIÓN ESPACIAL DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS MEDIANTE SIG.			
Localización		Sotaquira (Boyaca)			
Cliente:		HOGAR BUENAVISTA CORTADERA CHIQUITA		Fecha:	17/03/2013
CURVA DE CALIBRACIÓN DEL MATRAZ					
Matraz N°:		6			
Temperatura (°C)		Peso Matraz + Agua (g)			
21,0		652,7			
36,0		649,9			
47,0		642,3			

Fuente: el autor.

Proyecto:			VARIACIÓN ESPACIAL DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS MEDIANTE SIG.						
Localización:			Sotaquira (Boyacá)						
Cliente:			HOGAR BUENAVISTA CORTADERA CHIQUITA						
Fecha:			17/03/2013						
VOLUMEN					PESO				
28,37	12,97	1,83	AIRE		0,00	51,15			
		11,15	AGUA		11,15				
	15,40		SUELO		40,01				
Vs =		Ws/Gs =	15,399298						
						(gr)	(cm)	(cm2)	(cm3)
e		0,84		Wanillo		65,84			
n		0,46		Wanillo+Wmh al inicio		116,827			
S		0,86		Wanillo+Wmh al final		116,991			
γ		1,80		WMseca+anillo		105,845			
γd		1,41		%Humedad		27,86			
γsat		1,87		diametro anillo			5		
				h anillo			2,1		
				h muestra			1,445		
				h piedra porosa			0,655		
				Area muestra				19,635	
				Vol Muestra					28,37

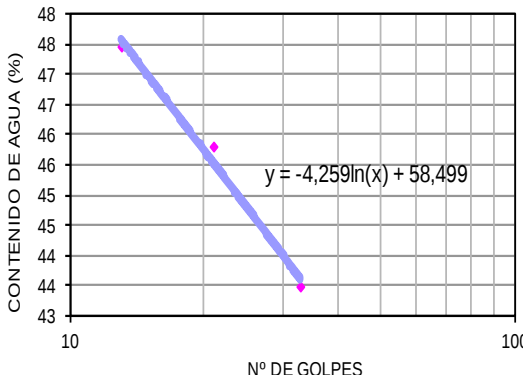
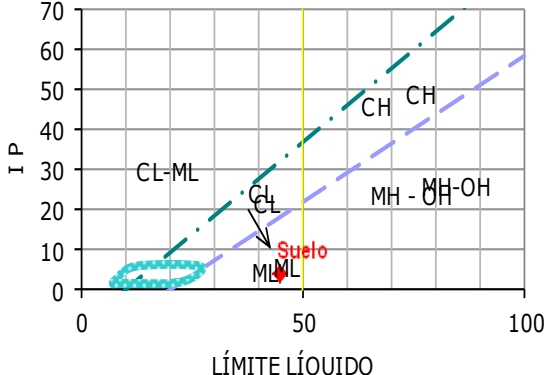
Fuente. Autores.

RESULTADO K EN LABORATORIO

Proyecto:	VARIACIÓN ESPACIAL DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS MEDIANTE SIG.	
Localización:	Sotaquirá (Boyacá)	
Cliente:	HOGAR BUENAVISTA CORTADERA CHIQUITA	
Fecha:	17/03/2013	
PERMEABILIDAD EN LABORATORIO		
DATOS		
PESO MUESTRA (gr)	321,8	
DIAMTRO INTERNO (cm)	6,3	
AREA (cm^2)	31,17	
ALTURA CILINDRO (cm)	8,2	
VOLUMEN (cm^3)	255,61	
CABEZA h (m)	1,05	
diámetro menor (cm)	1	
area menor (cm2)	3,141592654	
h1 (cm)	100	
h2 (cm)	91,5	
t1 (seg)	0	
t2 (seg)	950	
K=	7,7E-05	cm/seg
	7,7E-07	m/seg

Fuente. Autores.

RESULTADO LIMITES

LIMITES DE ATTERBERG								
PROYECTO:		VARIACIÓN ESPACIAL DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS MEDIANTE SIG.						
LOCALIZACIÓN:		CORTADERA CHIQUITA						
CLIENTE:		HOGAR BUENA VISTA						
LABORATORISTA:		PABLO IBARRA			FECHA:		17/03/2013	
HUMEDAD NATURAL								
Nº Sondeo	Nº Muestra	Prof. (m)	Nº Recipiente	Wcap (g)	Wcap + mh (g)	Wcap + ms (g)	W(%)	
1	1	1,40	JULIO	11,17	31,92	25,24	47,45	
LÍMITE LÍQUIDO								
DETERMINACIÓN Nº				1	2	3		
RECIPIENTE Nº				JULIO	DAVID	3XX		
PESO RECIPIENTE (g)				11,17	10,84	6,25		
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)				31,92	25,80	24,98		
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)				25,24	21,10	19,30		
NUMERO DE GOLPES				13	21	33		
CONTENIDO DE AGUA (%)				47,45	45,79	43,47		
LÍMITE PLÁSTICO								
DETERMINACIÓN Nº				1	2			
RECIPIENTE Nº				2	LPD5.4			
PESO RECIPIENTE (g)				4,32	4,30			
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)				11,17	11,76			
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)				9,19	9,60			
CONTENIDO DE AGUA (%)				40,74	40,64			
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO 				CARTA DE PLASTICIDAD 				
LÍMITE LÍQUIDO:		44,79		ÍNDICE DE LIQUEZ		1,6488		
LÍMITE PLÁSTICO:		40,69		COMPORTAMIENTO		Flujo Viscoso		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:		4,10						

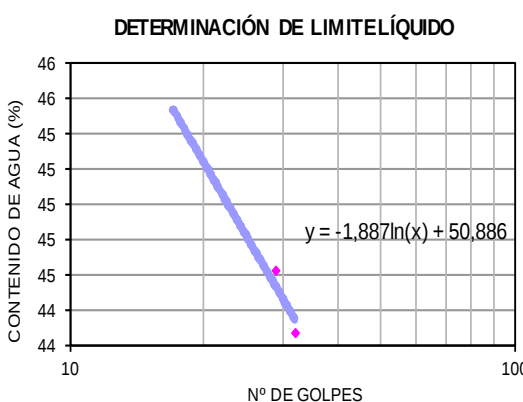
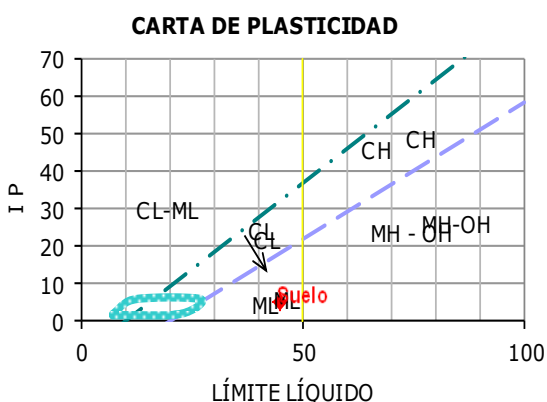
Fuente. Autores.

Continuación...

LÍMITES DE ATTERBERG							
PROYECTO:		VARIACIÓN ESPACIAL DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS MEDIANTE SIG.					
LOCALIZACIÓN:		CORTADERA CHIQUITA					
CLIENTE:		HOGAR BUENAVISTA					
LABORATORISTA:		PABLO IBARRA			FECHA:		17/03/2013
HUMEDAD NATURAL							
Nº Sondeo	Nº Muestra	Prof. (m)	Nº Recipiente	Wcap (g)	Wcap + mh (g)	Wcap + ms (g)	W(%)
1	2	2,50-2,90	P	7,40	33,29	30,19	13,60
LÍMITE LÍQUIDO							
DETERMINACIÓN Nº				1	2	3	
RECIPIENTE Nº				25	31	26	
PESO RECIPIENTE (g)				7,20	7,09	7,15	
PESO RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO (g)				30,22	26,96	35,07	
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO (g)				22,95	20,86	26,83	
NÚMERO DE GOLPES				15	26	33	
CONTENIDO DE AGUA (%)				46,18	44,33	41,89	
LÍMITE PLÁSTICO							
DETERMINACIÓN Nº				1	2		
RECIPIENTE Nº				1	8		
PESO RECIPIENTE (g)				4,30	4,31		
PESO RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO (g)				12,74	14,71		
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO (g)				10,72	12,09		
CONTENIDO DE AGUA (%)				31,42	33,79		
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO				CARTA DE PLASTICIDAD			
LÍMITE LÍQUIDO:		43,80		ÍNDICE DE LIQUEZ:		-1,6968	
LÍMITE PLÁSTICO:		32,60		COMPORTAMIENTO:		Semisólido	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:		11,20					

Fuente. Autores.

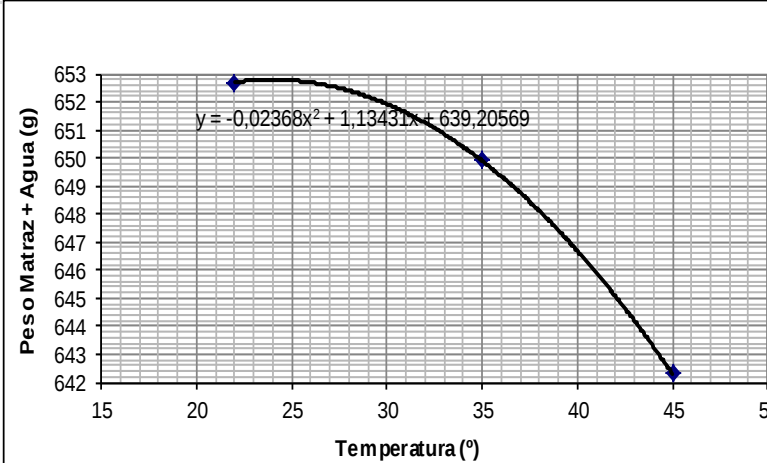
Continuación...

LÍMITES DE ATTERBERG								
PROYECTO:		VARIACIÓN ESPACIAL DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS MEDIANTE SIG.						
LOCALIZACIÓN:		CORTADERA CHIQUITA						
CLIENTE:		HOGAR BUENAVISTA						
LABORATORISTA:		PABLO IBARRA			FECHA:		17/03/2013	
HUMEDAD NATURAL								
Nº Sondeo	Nº Muestra	Prof. (m)	Nº Recipiente	Wcap (g)	Wcap + mh (g)	Wcap + ms (g)	W(%)	
1	3	3,10-3,60	M 61	8,40	39,92	36,62	11,69	
LÍMITE LÍQUIDO								
DETERMINACIÓN Nº				1	2	3		
RECIPIENTE Nº				75	83	28		
PESO RECIPIENTE (g)				6,02	6,11	7,26		
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)				34,99	22,93	29,65		
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)				25,93	17,74	22,78		
NÚMERO DE GOLPES				17	29	32		
CONTENIDO DE AGUA (%)				45,53	44,63	44,27		
LÍMITE PLÁSTICO								
DETERMINACIÓN Nº				1	2			
RECIPIENTE Nº				222	79			
PESO RECIPIENTE (g)				4,11	4,31			
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)				14,65	17,03			
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)				11,69	13,41			
CONTENIDO DE AGUA (%)				39,03	39,87			
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO 				CARTA DE PLASTICIDAD 				
LÍMITE LÍQUIDO:		44,81		ÍNDICE DE LIQUIDEZ		-5,1738		
LÍMITE PLÁSTICO:		39,45		COMPORTAMIENTO		Semisólido		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:		5,36						

Fuente: el autor.

PUNTO HOGAR ESCUELA EL CEDRO ICBF

RESULTADO DE FASES

Proyecto:	VARIACIÓN ESPACIAL DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS MEDIANTE SIG.		
Localización	Sotaquira (Boyaca)		
Cliente:	HOGAR ICBF EL CEDRO	Fecha:	17/03/2013
CURVA DE CALIBRACIÓN DEL MATRAZ			
Matraz N°:	6		
Temperatura (°C)	Peso Matraz + Agua (g)		
22,0	652,7		
35,0	649,9		
45,0	642,3		
ENSAYO			
	S1M1		
Profundidad:	1.2-1.8		
Prueba N°:	1		
Peso Matraz + Suelo +Agua (g)	699,30		
Temperatura de ensayo, T1 (°C)	39,0		
Peso del Matraz + Agua a T1 (g)	647,4		
Platón N°	26		
Peso del Platón (g)	71,0		
Peso del Platón + Suelo Seco (g)	156,0		
Peso del Suelo Seco (Ws) g	85,0		
Peso del mismo volumen de Agua (g)	33,1		
Peso específico a T1° (g)	2,57		
Peso específico Corregido a 20 °C (g)	2,57		

Fuente. Autores.

Proyecto:			CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA CUENCA RIO DE PIEDRAS			
Localización:			Sotaquira (Boyaca)			
Cliente:			HOGAR EL CEDRO			
Fecha:			17/03/2013			
VOLUMEN					PESO	
255,61	138,87	72,80	AIRE		0,00	366,40
		66,07	AGUA		66,07	
	116,74		SUELO		300,33	
Vs =	Ws/Gs =	116,74135				

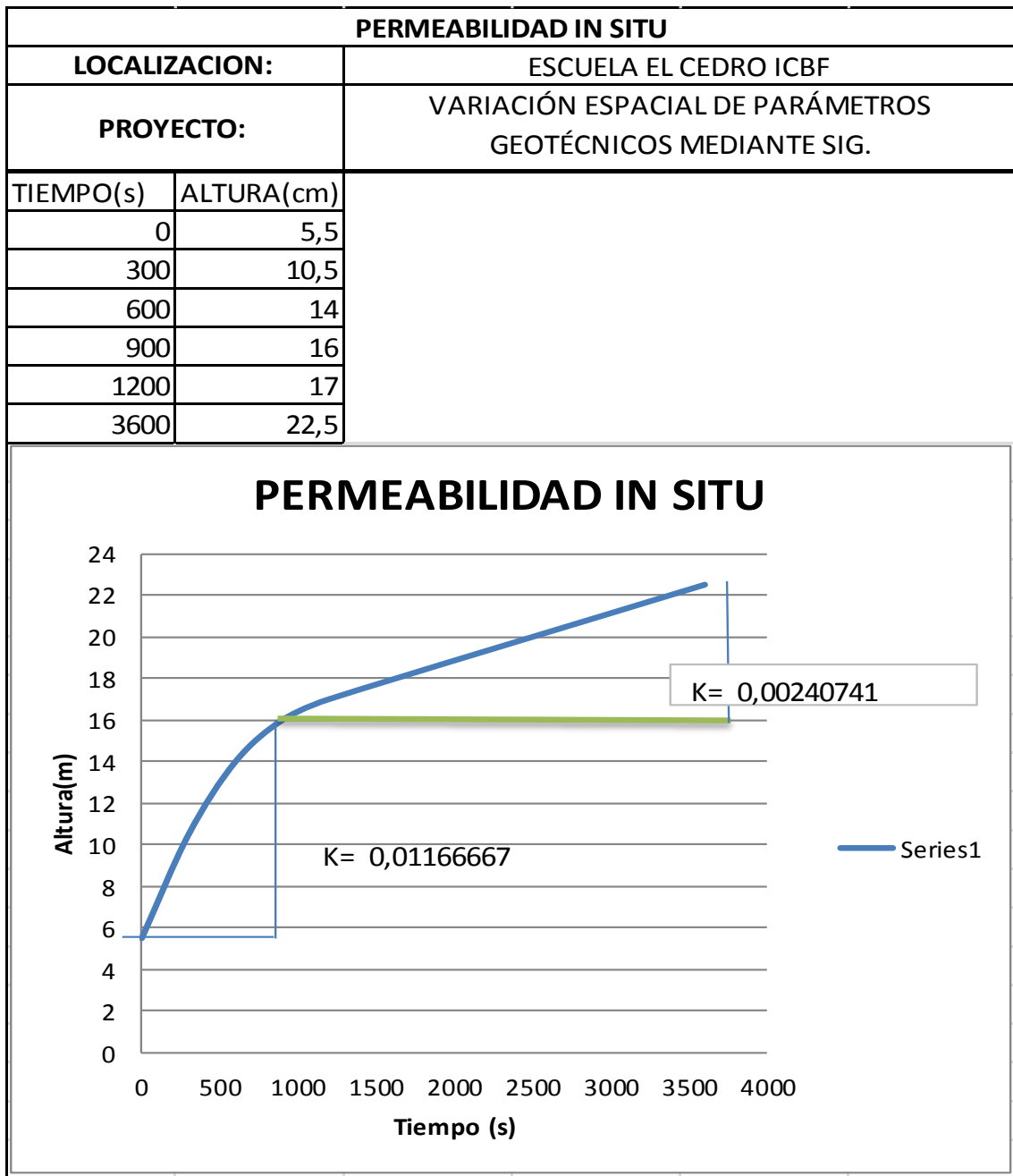
Fuente. Autores.

RESULTADO K EN LABORATORIO

Proyecto:	VARIACIÓN ESPACIAL DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS MEDIANTE SIG.		
Localización:	Sotaquira (Boyaca)		
Cliente:	HOGAR ESCUELA EL CEDRO		
Fecha:	17/03/2013		
PERMEABILIDAD EN LABORATORIO			
DATOS			
PESO MUESTRA (gr)	366,4		
DIAMETRO INTERNO (cm)	6,3		
AREA (cm^2)	31,17		
ALTURA CILINDRO (cm)	8,2		
VOLUMEN (cm^3)	255,61		
CABEZA h (m)	1		
diametro menor (cm)	1		
area menor (cm2)	3,141592654		
h1 (cm)	100		
h2 (cm)	89,9		
t1 (seg)	0		
t2 (seg)	220		
K=	4,0E-04	cm/seg	
	4,0E-06	m/seg	

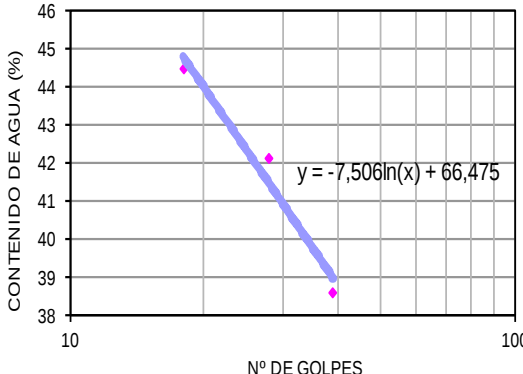
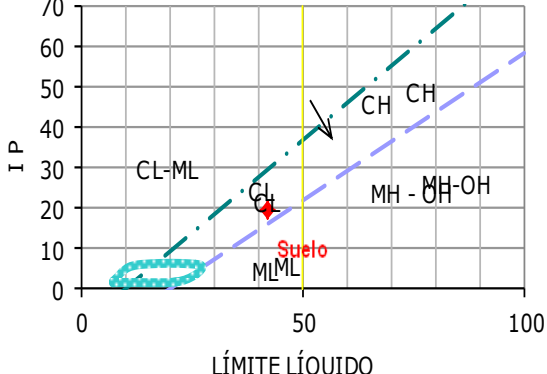
Fuente. Autores.

RESULTADO K IN SITU



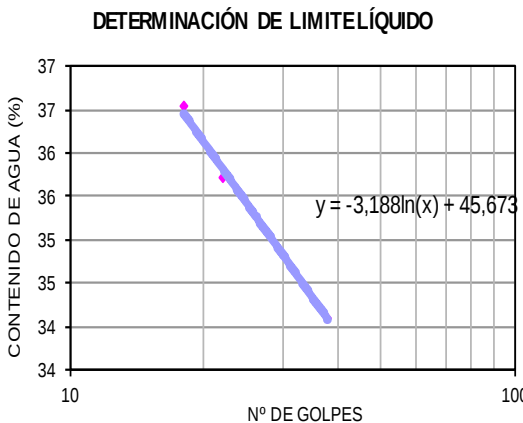
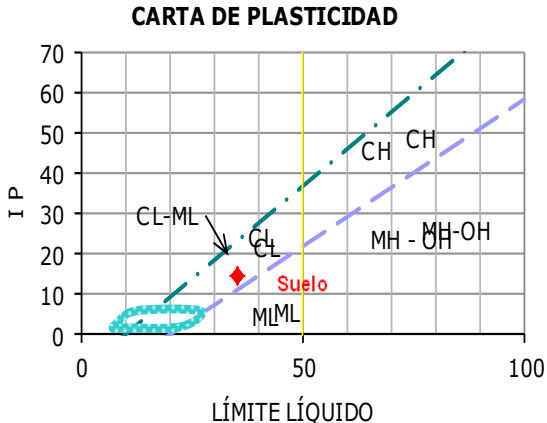
Fuente. Autores.

RESULTADO LIMITES

LIMITES DE ATTERBERG							
PROYECTO:		VARIACIÓN ESPACIAL DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS MEDIANTE SIG.					
LOCALIZACIÓN:		HOGAR ICBF EL CEDRO					
CLIENTE:		ESCUELA EL CEDRO					
LABORATORISTA:		PABLO IBARRA			FECHA:	17/03/2013	
HUMEDAD NATURAL							
Nº Sondeo	Nº Muestra	Prof. (m)	Nº Recipiente	Wcap (g)	Wcap + mh (g)	Wcap + ms (g)	W(%)
1	1	1,2-1,8	JULIO	11,17	31,92	25,24	47,45
LÍMITE LÍQUIDO							
DETERMINACIÓN Nº				1	2	3	
RECIPIENTE Nº				P	2	A2	
PESO RECIPIENTE (g)				11,05	10,84	10,99	
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)				25,99	28,05	28,98	
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)				21,39	22,95	23,97	
NÚMERO DE GOLPES				18	28	39	
CONTENIDO DE AGUA (%)				44,50	42,13	38,60	
LÍMITE PLÁSTICO							
DETERMINACIÓN Nº				1	2		
RECIPIENTE Nº				4	1		
PESO RECIPIENTE (g)				6,19	6,28		
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)				24,26	22,64		
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)				20,88	19,62		
CONTENIDO DE AGUA (%)				23,04	22,58		
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO				CARTA DE PLASTICIDAD			
							
LÍMITE LÍQUIDO:		42,31		ÍNDICE DE LIQUEZ:		1,2633	
LÍMITE PLÁSTICO:		22,81		COMPORTAMIENTO		Flujo Viscoso	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:		19,50					

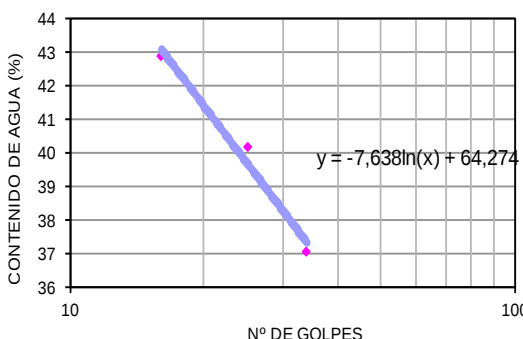
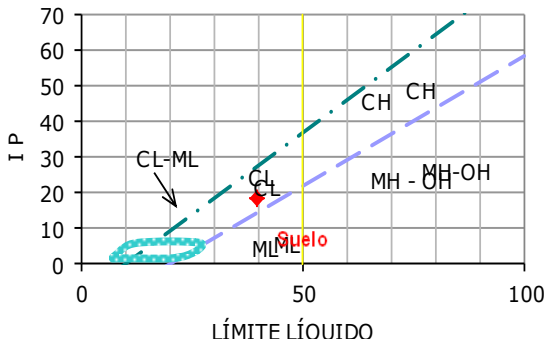
Fuente. Autores.

Continuación...

LÍMITES DE ATTERBERG							
PROYECTO:		VARIACIÓN ESPACIAL DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS MEDIANTE SIG.					
LOCALIZACIÓN:		HOGAR ICBF EL CEDRO					
CLIENTE:		ESCUELA EL CEDRO					
LABORATORISTA:		PABLO IBARRA			FECHA:		17/03/2013
HUMEDAD NATURAL							
Nº Sondeo	Nº Muestra	Prof. (m)	Nº Recipiente	Wcap (g)	Wcap + mh (g)	Wcap + ms (g)	W(%)
1	2	2,50-3,10	P	7,40	33,29	30,19	13,60
LÍMITE LÍQUIDO							
DETERMINACIÓN Nº				1	2	3	
RECIPIENTE Nº				16	D53	25	
PESO RECIPIENTE (g)				11,02	10,84	11,00	
PESO RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO (g)				29,61	27,62	25,54	
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO (g)				24,64	23,20	21,84	
NÚMERO DE GOLPES				18	22	38	
CONTENIDO DE AGUA (%)				36,53	35,72	34,10	
LÍMITE PLÁSTICO							
DETERMINACIÓN Nº				1	2		
RECIPIENTE Nº				A1.77	38		
PESO RECIPIENTE (g)				4,37	4,35		
PESO RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO (g)				12,34	16,72		
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO (g)				10,99	14,58		
CONTENIDO DE AGUA (%)				20,41	20,89		
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO 				CARTA DE PLASTICIDAD 			
LÍMITE LÍQUIDO:		35,41	ÍNDICE DE LIQUEZ		-0,4779		
LÍMITE PLÁSTICO:		20,65	COMPORTAMIENTO		Semisólido		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:		14,75					

Fuente. Autores.

Continuación...

LÍMITES DE ATTERBERG								
PROYECTO:		VARIACIÓN ESPACIAL DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS MEDIANTE SIG.						
LOCALIZACIÓN:		HOGAR ICBF EL CEDRO						
CLIENTE:		ESCUELA EL CEDRO						
LABORATORISTA:		PABLO IBARRA			FECHA:		17/03/2013	
HUMEDAD NATURAL								
Nº Sondeo	Nº Muestra	Prof. (m)	Nº Recipiente	Wcap (g)	Wcap + mh (g)	Wcap + ms (g)	W(%)	
1	3	3,10-3,70	M 61	8,40	39,92	36,62	11,69	
LÍMITE LÍQUIDO								
DETERMINACIÓN Nº				1	2	3		
RECIPIENTE Nº				1	26	3		
PESO RECIPIENTE (g)				11,08	10,95	11,00		
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)				29,66	25,39	29,97		
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)				24,08	21,25	24,84		
NÚMERO DE GOLPES				16	25	34		
CONTENIDO DE AGUA (%)				42,89	40,19	37,05		
LÍMITE PLÁSTICO								
DETERMINACIÓN Nº				1	2			
RECIPIENTE Nº				40	25			
PESO RECIPIENTE (g)				4,10	4,25			
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)				12,83	14,82			
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)				11,31	12,94			
CONTENIDO DE AGUA (%)				21,19	21,64			
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO 				CARTA DE PLASTICIDAD 				
LÍMITE LÍQUIDO:		39,69		ÍNDICE DE LIQUIDEZ		-0,5317		
LÍMITE PLÁSTICO:		21,41		COMPORTAMIENTO		Semisólido		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:		18,28						

Fuente. Autores.

ANEXOS FOTOGRAFICOS

LIMITES DE ATTENBERG

Campana Casagrande – Límite Líquido y Plástico



GRAVEDAD ESPECÍFICA

Picnómetro – Gravedad Específica



Fuente: Autores

EXPLORACION MANUAL



EXPLORACION MANUAL



ANEXOS RESULTADOS DE CARTOGRAFIA DE LOS PARAMETROS

RELACION DE VACIOS (e)	MICROCUCENCA	TIPO	AREA	REL. DE VACIOS * AREA	REL. DE VACIOS PONDERADO
1,020	Q. Barronegro	Quebrada	951283,09	970308,7292	1,025
1,020	Q. Barronegro	Quebrada	428063,46	436624,7216	
1,530	Q. Barronegro	Quebrada	13990,94	21406,13845	
1,530	Q. El Tambor	Quebrada	6938,39	10615,73297	1,530
1,530	Q. El Tambor	Quebrada	563097,46	861539,1052	
1,530	Q. El Tambor	Quebrada	405031,72	619698,5209	
1,530	Q. La Barada	Quebrada	1581,79	2420,131589	1,530
1,530	Q. La Barada	Quebrada	767616,09	1174452,596	
1,020	Q. La fiera	Quebrada	4847744,09	4944698,883	1,022
1,020	Q. La fiera	Quebrada	3982902,97	4062560,953	
1,530	Q. La fiera	Quebrada	36138,86	55292,45493	
0,510	Q. La Nutria	Quebrada	129982,77	66291,21034	1,589
0,510	Q. La Nutria	Quebrada	397,17	202,5565228	
1,530	Q. La Nutria	Quebrada	342370,99	523827,5976	
1,530	Q. La Nutria	Quebrada	780172,57	1193664,014	
2,040	Q. La Nutria	Quebrada	1618,76	3302,269848	
2,040	Q. La Nutria	Quebrada	457622,82	933550,5441	
1,020	Q. La Villa	Quebrada	75321,64	76828,07204	1,430
1,020	Q. La Villa	Quebrada	29,97	30,56686713	
1,020	Q. La Villa	Quebrada	982,75	1002,400525	
1,020	Q. La Villa	Quebrada	1680254,28	1713859,329	
1,530	Q. La Villa	Quebrada	5020688,06	7681652,593	
1,530	Q. La Villa	Quebrada	42012,46	64279,06464	
1,530	Q. La Villa	Quebrada	1108899,78	1696616,637	
2,040	Q. La Villa	Quebrada	167503,72	341707,5845	
1,020	Q. nn	Quebrada	1092016,56	1113856,868	1,203
1,020	Q. nn	Quebrada	586452,48	598181,5204	
1,020	Q. nn	Quebrada	397004,03	404944,1019	
1,530	Q. nn	Quebrada	85781,46	131245,6278	
1,530	Q. nn	Quebrada	673287,26	1030129,486	
1,530	Q. nn	Quebrada	47394,45	72513,50842	
1,530	Q. nn	Quebrada	354488,25	542367,0048	
0,510	Q. Puente Tierra	Quebrada	146193,67	74558,77064	1,138
0,510	Q. Puente Tierra	Quebrada	734145,46	374414,1773	
1,530	Q. Puente Tierra	Quebrada	365867,22	559776,8392	
1,530	Q. Puente Tierra	Quebrada	1045854,91	1600157,975	
1,020	Q. Toleda	Quebrada	92684,72	94538,41377	2,037
1,020	Q. Toleda	Quebrada	583130,96	594793,5644	
1,530	Q. Toleda	Quebrada	1276363,41	1952835,982	
1,530	Q. Toleda	Quebrada	30149,41	46128,59675	
2,040	Q. Toleda	Quebrada	2509715,43	5119819,381	
2,550	Q. Toleda	Quebrada	1068257,38	2724056,259	
3,060	Q. Toleda	Quebrada	215958,93	660834,3141	
3,060	Q. Toleda	Quebrada	561826,15	1719187,979	
0,510	Rio de Piedras A.D.	Rio	1266417,12	645872,7201	0,983
0,510	Rio de Piedras A.D.	Rio	441413,82	225121,0426	
0,510	Rio de Piedras A.D.	Rio	45252,92	23078,98737	
0,510	Rio de Piedras A.D.	Rio	19112,22	9747,232546	
0,510	Rio de Piedras A.D.	Rio	4473795,00	2281635,407	
0,510	Rio de Piedras A.D.	Rio	3320552,07	1693481,524	
1,020	Rio de Piedras A.D.	Rio	2840150,70	2896953,659	
1,020	Rio de Piedras A.D.	Rio	154199,13	157283,1144	
1,020	Rio de Piedras A.D.	Rio	138298,63	141064,602	
1,020	Rio de Piedras A.D.	Rio	1031931,48	1052570,09	
1,530	Rio de Piedras A.D.	Rio	1087825,55	1664373,058	
1,530	Rio de Piedras A.D.	Rio	8627,44	13199,97537	
1,530	Rio de Piedras A.D.	Rio	1023439,23	1565861,999	
1,530	Rio de Piedras A.D.	Rio	14263,43	21823,04693	
1,530	Rio de Piedras A.D.	Rio	7963,06	12183,48716	
1,530	Rio de Piedras A.D.	Rio	2268,84	3471,320729	
1,530	Rio de Piedras A.D.	Rio	585662,75	896063,9939	
2,040	Rio de Piedras A.D.	Rio	584900,39	1193196,768	
2,040	Rio de Piedras A.D.	Rio	637386,03	1300267,478	
2,550	Rio de Piedras A.D.	Rio	127798,13	325885,214	
2,550	Rio de Piedras A.D.	Rio	879078,88	2241651,097	
1,020	Zo. Los Perez	Zanjon	434347,26	443034,1996	1,020
1,020	Zo. Los Perez	Zanjon	1272266,34	1297711,645	

GAMA	MICROCUCENCA	TIPO	AREA	GAMA*AREA	GAMA PONDERADO
1,74	Q. Barronegro	Quebrada	1051049,90	1825673,664	1,737
1,74	Q. La Barada	Quebrada	68255,83	118560,3833	
1,74	Q. La Barada	Quebrada	25362,05	44053,88502	
1,74	Q. La Barada	Quebrada	376519,13	654013,7286	
1,74	Q. La fiera	Quebrada	342287,58	594553,5308	1,737
1,74	Q. La fiera	Quebrada	23605,15	41002,14963	
1,74	Q. La fiera	Quebrada	1148893,80	1995628,51	
1,74	Q. La fiera	Quebrada	1092016,56	1896832,747	
1,74	Q. La fiera	Quebrada	5408549,14	9394649,793	
1,16	Q. La Nutria	Quebrada	749,81	868,2822405	1,787
1,16	Q. La Nutria	Quebrada	355444,35	411604,5511	
1,16	Q. La Nutria	Quebrada	76804,71	88939,85844	
1,93	Q. La Nutria	Quebrada	2261591,10	4364870,968	
1,35	Q. La Nutria	Quebrada	270432,60	365354,455	
1,54	Q. La Nutria	Quebrada	237599,63	366853,8355	
1,35	Q. La Nutria	Quebrada	331736,12	448175,5257	
1,54	Q. La Nutria	Quebrada	120857,65	186604,2213	
1,54	Q. La Nutria	Quebrada	338383,14	522463,5721	
1,93	Q. La Nutria	Quebrada	500888,11	966714,0836	
1,93	Q. La Nutria	Quebrada	625690,22	1207582,168	
1,93	Q. La Nutria	Quebrada	415782,17	802459,6242	
1,93	Q. La Nutria	Quebrada	1102702,67	2128216,233	
1,54	Q. La Villa	Quebrada	1243048,47	1919266,868	1,385
1,74	Q. La Villa	Quebrada	101265,77	175898,6366	
1,54	Q. La Villa	Quebrada	1156460,39	1785574,88	
1,54	Q. La Villa	Quebrada	801801,50	1237981,543	
1,35	Q. La Villa	Quebrada	4623726,12	6246654,311	
1,16	Q. La Villa	Quebrada	28467,82	32965,73589	
1,16	Q. La Villa	Quebrada	1297383,00	1502369,498	
1,35	Q. La Villa	Quebrada	276393,65	373407,8375	
1,16	Q. La Villa	Quebrada	239840,04	277734,7589	
0,97	Q. La Villa	Quebrada	671591,09	648085,4237	
1,54	Q. La Villa	Quebrada	592370,28	914619,7236	
1,16	Q. La Villa	Quebrada	1161814,05	1345380,662	
1,16	Q. La Villa	Quebrada	1183349,62	1370318,851	
1,93	Q. La Villa	Quebrada	1405292,99	2712215,564	
1,35	Q. La Villa	Quebrada	1885154,97	2546844,494	
1,74	Q. nn	Quebrada	404,26	702,1948972	1,703
1,74	Q. nn	Quebrada	1,52	2,639271261	
1,54	Q. nn	Quebrada	397004,03	612974,2323	
1,74	Q. nn	Quebrada	1266417,12	2199766,526	
1,74	Q. nn	Quebrada	586452,48	1018667,954	
1,74	Q. Puente Tierra	Quebrada	240793,84	418258,9043	1,572
1,74	Q. Puente Tierra	Quebrada	417478,13	725159,5049	
1,74	Q. Puente Tierra	Quebrada	110925,90	192678,2839	
1,54	Q. Puente Tierra	Quebrada	283970,84	438450,9874	
1,54	Q. Puente Tierra	Quebrada	759068,72	1172002,123	
1,54	Q. Puente Tierra	Quebrada	30364,79	46883,23472	
1,54	Q. Puente Tierra	Quebrada	316015,71	487928,2692	
1,54	Q. Puente Tierra	Quebrada	3142221,07	4851589,431	
0,97	Q. Toleda	Quebrada	71420,89	68921,16338	1,724
1,74	Q. Toleda	Quebrada	183558,33	318840,8116	
1,74	Q. Toleda	Quebrada	1208086,68	2098446,543	
1,74	Q. Toleda	Quebrada	345707,10	600493,2363	
1,74	Q. Toleda	Quebrada	975067,58	1693692,376	
1,74	Q. Toleda	Quebrada	1429803,39	2483568,473	
1,54	Rio de Piedras A.D.	Rio	384036,08	592951,7133	1,774
1,93	Rio de Piedras A.D.	Rio	566297,67	1092954,54	
1,54	Zo. Los Perez	Zanjon	140651,20	217165,4555	1,747
1,54	Zo. Los Perez	Zanjon	252997,04	390627,4433	
1,93	Zo. Los Perez	Zanjon	2034329,45	3926255,977	
1,54	Zo. Los Perez	Zanjon	2529312,61	3905258,739	
1,74	Zo. Los Perez	Zanjon	14,13	24,54727294	
1,74	Zo. Los Perez	Zanjon	332,49	577,5302944	
1,74	Zo. Los Perez	Zanjon	129,20	224,4212146	
1,74	Zo. Los Perez	Zanjon	35,92	62,39030104	
1,54	Zo. Los Perez	Zanjon	668717,91	1032500,476	
1,74	Zo. Los Perez	Zanjon	897101,16	1558264,709	
1,93	Zo. Los Perez	Zanjon	1993890,75	3848209,282	

GS	MICROCUCENCA	TIPO	AREA	AREA*GS	GS PONDERADO
2,74	Q. El Tambor	Rio	410,15	1125,87281	2,745
2,74	Q. El Tambor	Quebrada	750,69	2060,63415	
2,74	Q. El Tambor	Rio	165,28	453,683174	
2,74	Q. El Tambor	Quebrada	596433,85	1637210,85	
2,74	Q. El Tambor	Quebrada	1242525,13	3410731,33	
2,74	Q. La Barada	Quebrada	29663,63	81426,6699	2,745
2,74	Q. La fiera	Quebrada	150812,36	413979,916	2,448
2,74	Q. La fiera	Rio	31327,14	85992,9841	
2,74	Q. La fiera	Quebrada	153885,59	422415,937	
2,74	Q. La fiera	Quebrada	1467,47	4028,19309	
2,74	Q. La fiera	Quebrada	571700,51	1569317,84	
2,56	Q. La fiera	Rio	425350,98	1089749,23	
2,38	Q. La fiera	Rio	76458,66	181895,154	
2,20	Q. La fiera	Rio	62815,15	137942,082	
2,01	Q. La fiera	Rio	93696,51	188611,085	
2,01	Q. La fiera	Quebrada	7923,38	15949,7714	
1,83	Q. La fiera	Rio	390866,77	715286,152	
2,01	Q. La fiera	Rio	4573,36	9206,16788	
2,01	Q. La fiera	Quebrada	134935,64	271625,441	
2,74	Q. La fiera	Quebrada	1580290,11	4337896,17	
2,20	Q. La fiera	Quebrada	282360,72	620064,171	
2,01	Q. La fiera	Quebrada	228843,52	460662,01	
2,20	Q. La fiera	Quebrada	561932,29	1234003,38	
2,38	Q. La fiera	Quebrada	195771,99	465741,547	
2,38	Q. La fiera	Quebrada	1331644,02	3167981,05	
2,56	Q. La Nutria	Quebrada	2269,49	5814,44332	2,562
2,56	Q. La Nutria	Rio	248435,67	636492,184	
2,56	Q. La Nutria	Quebrada	231756,04	593758,974	
2,56	Q. La Nutria	Quebrada	1639047,94	4199240,89	
2,56	Q. La Nutria	Quebrada	70847,65	181511,685	
2,56	Q. La Nutria	Quebrada	2060305,22	5278502,04	2,667
2,74	Q. La Villa	Quebrada	530586,45	1456459,74	
2,74	Q. La Villa	Quebrada	1456446,29	3997944,91	
2,38	Q. La Villa	Rio	2153,30	5122,7011	
2,38	Q. La Villa	Quebrada	228512,44	543631,095	
2,56	Q. La Villa	Quebrada	6097569,81	15621974,1	
2,38	Q. La Villa	Quebrada	1239023,95	2947637,92	
2,56	Q. La Villa	Rio	2723764,22	6978284,02	
2,74	Q. La Villa	Quebrada	4842693,03	13293191,8	

2,74	Q. La Villa	Rio	8978625,13	24646325	
2,74	Q. La Villa	Rio	1413776,81	3880817,17	
2,74	Q. nn	Quebrada	372219,06	1021741,29	2,191
1,83	Q. nn	Rio	67403,47	123348,338	
1,83	Q. nn	Quebrada	1226,60	2244,67335	
1,83	Q. nn	Rio	500,53	915,964528	
1,83	Q. nn	Quebrada	1764,31	3228,69327	
2,01	Q. nn	Rio	20006,91	40273,9135	
1,83	Q. nn	Quebrada	58331,42	106746,489	
1,83	Q. nn	Quebrada	104242,16	190763,137	
1,83	Q. nn	Rio	75707,27	138544,305	
2,01	Q. nn	Quebrada	245168,76	493524,707	
2,20	Q. nn	Quebrada	91739,55	201460,051	
2,20	Q. nn	Quebrada	49615,82	108956,343	
2,01	Q. nn	Rio	314408,04	632903,395	
2,20	Q. nn	Rio	288276,09	633054,32	
2,20	Q. nn	Rio	587525,19	1290205,37	
2,20	Q. nn	Quebrada	536836,66	1178893,36	
2,63	Q. Puente Tierra	Quebrada	769197,87	2022990,41	2,576
2,74	Q. Puente Tierra	Quebrada	185900,74	510297,521	
2,56	Q. Puente Tierra	Quebrada	5375746,45	13772662,6	
2,74	Q. Toleda	Quebrada	31250,56	85782,7727	2,745
2,74	Q. Toleda	Quebrada	7696,51	21126,914	
2,74	Q. Toleda	Quebrada	375,16	1029,82188	
2,74	Q. Toleda	Quebrada	377507,88	1036259,09	
2,74	Q. Toleda	Rio	1170549,15	3213157,29	
2,56	Rio de Piedras A.D.	Rio	259041,12	663663,346	2,717
2,74	Rio de Piedras A.D.	Rio	840198,51	2306344,83	
2,74	Rio de Piedras A.D.	Rio	614301,41	1686257,29	
2,63	Zo. Los Perez	Zanjon	1706613,60	4488393,78	2,630

INDICE DE PLASTICIDAD	MICROCENSA	TIPO	AREA	I.P. * AREA	I.P. PONDERADO
0,16	Q. Barronegro	Quebrada	429205,64	67814,4879	0,100867216
0,09	Q. Barronegro	Quebrada	299780,43	28419,183	
0,06	Q. Barronegro	Quebrada	148411,35	9379,59671	
0,06	Q. Barronegro	Quebrada	286845,46	18128,6319	
0,06	Q. Barronegro	Quebrada	167465,56	10583,8229	
0,22	Q. El Tambor	Quebrada	131424,34	29071,0623	0,203939016
0,22	Q. El Tambor	Quebrada	85325,50	18873,9997	
0,19	Q. El Tambor	Quebrada	35151,61	6664,74451	
0,19	Q. El Tambor	Quebrada	225766,62	42805,3492	
0,19	Q. La Barada	Quebrada	17378,96	3295,0515	0,175452663
0,19	Q. La Barada	Quebrada	147275,74	27923,4793	
0,16	Q. La Barada	Quebrada	20320,10	3210,57637	
0,16	Q. La Barada	Quebrada	108068,17	17074,7707	
0,13	Q. La Barada	Quebrada	1808,38	228,578629	
0,19	Q. La fieria	Quebrada	3328,01	630,989788	0,160507864
0,19	Q. La fieria	Quebrada	293,77	55,6991804	
0,22	Q. La fieria	Quebrada	182523,22	40374,1335	
0,19	Q. La fieria	Quebrada	19,84	3,76122443	
0,19	Q. La fieria	Quebrada	17161,60	3253,84	
0,19	Q. La fieria	Quebrada	21614,10	4098,03223	
0,19	Q. La fieria	Quebrada	165907,52	31456,0638	
0,16	Q. La fieria	Quebrada	47493,76	7504,01336	
0,19	Q. La fieria	Quebrada	140389,99	26617,9405	
0,16	Q. La fieria	Quebrada	290874,83	45958,2216	
0,09	Q. La fieria	Quebrada	60930,01	5776,16501	
0,16	Q. La fieria	Quebrada	396688,96	62676,8524	
0,09	Q. La fieria	Quebrada	100307,54	9509,15477	
0,06	Q. La fieria	Quebrada	193425,42	12224,486	
0,09	Q. La fieria	Quebrada	65294,30	6189,89906	
0,16	Q. La fieria	Quebrada	77643,80	12267,7198	
0,19	Q. La fieria	Quebrada	357575,46	67796,3037	
0,16	Q. La fieria	Quebrada	112111,55	17713,6237	
0,19	Q. La fieria	Quebrada	312550,14	59259,5041	
0,16	Q. La fieria	Quebrada	754653,92	119235,314	
0,16	Q. La fieria	Quebrada	1116216,40	176362,183	
0,06	Q. La Nutria	Quebrada	2945125,34	186131,913	0,080657435
0,13	Q. La Nutria	Quebrada	71773,90	9072,22019	
0,09	Q. La Nutria	Quebrada	702103,93	66559,4496	
0,16	Q. La Nutria	Quebrada	333882,55	52753,4405	
0,09	Q. La Nutria	Quebrada	938287,26	88949,6278	
0,06	Q. La Nutria	Quebrada	792295,61	50073,0801	
0,09	Q. La Nutria	Quebrada	914969,65	86739,1188	

0,16	Q. La Villa	Quebrada	147588,25	23318,9424	0,124116702
0,13	Q. La Villa	Quebrada	6168,93	779,752587	
0,16	Q. La Villa	Quebrada	1014203,81	160244,194	
0,06	Q. La Villa	Quebrada	126131,43	7971,5059	
0,06	Q. La Villa	Quebrada	560343,09	35413,6816	
0,06	Q. La Villa	Quebrada	99560,30	6292,21087	
0,09	Q. La Villa	Quebrada	40894,07	3876,75786	
0,09	Q. La Villa	Quebrada	67951,65	6441,81592	
0,09	Q. La Villa	Quebrada	213974,36	20284,7688	
0,16	Q. La Villa	Quebrada	1932913,68	305400,346	
0,06	Q. La Villa	Quebrada	2522087,10	159395,897	
0,09	Q. La Villa	Quebrada	4145,01	392,946758	
0,16	Q. La Villa	Quebrada	47620,82	7524,08939	
0,16	Q. La Villa	Quebrada	486159,45	76813,1887	
0,13	Q. La Villa	Quebrada	2837129,97	358613,211	
0,09	Q. La Villa	Quebrada	3421678,61	324375,116	
0,16	Q. La Villa	Quebrada	865435,12	136738,743	
0,19	Q. La Villa	Quebrada	626311,42	118748,639	
0,19	Q. La Villa	Quebrada	1704922,39	323253,27	
0,19	Q. nn	Quebrada	116998,30	22182,8764	0,172993331
0,22	Q. nn	Quebrada	1242,00	274,731288	
0,19	Q. nn	Quebrada	11804,38	2238,11099	
0,19	Q. nn	Quebrada	175007,85	33181,4867	
0,22	Q. nn	Quebrada	64839,71	14342,5441	
0,19	Q. nn	Quebrada	180762,77	34272,6189	
0,19	Q. nn	Quebrada	12495,90	2369,22174	
0,19	Q. nn	Quebrada	24812,50	4704,4489	
0,19	Q. nn	Quebrada	8393,59	1591,42472	
0,19	Q. nn	Quebrada	304397,72	57713,8058	
0,16	Q. nn	Quebrada	80110,41	12657,4441	
0,16	Q. nn	Quebrada	46715,86	7381,10608	
0,19	Q. nn	Quebrada	373710,96	70855,5947	
0,16	Q. nn	Quebrada	287376,85	45405,5398	
0,16	Q. nn	Quebrada	596935,72	94315,8386	
0,16	Q. nn	Quebrada	539736,62	85278,3819	
0,16	Q. Puente Tierra	Quebrada	168941,17	26692,7042	0,102484667
0,19	Q. Puente Tierra	Quebrada	237412,56	45013,4192	
0,06	Q. Puente Tierra	Quebrada	81972,27	5180,64701	
0,16	Q. Puente Tierra	Quebrada	280920,94	44385,5056	
0,13	Q. Puente Tierra	Quebrada	233485,41	29512,5543	
0,13	Q. Puente Tierra	Quebrada	236204,65	29856,2659	
0,09	Q. Puente Tierra	Quebrada	6983909,86	662074,623	0,200908548
0,19	Q. Toleda	Quebrada	67187,23	12738,698	
0,19	Q. Toleda	Quebrada	345,42	65,4910958	
0,19	Q. Toleda	Quebrada	39451,05	7479,91806	
0,19	Q. Toleda	Quebrada	20,81	3,94540512	
0,19	Q. Toleda	Quebrada	2654264,12	503248,453	
0,19	Q. Toleda	Quebrada	384288,95	72861,1817	
0,22	Q. Toleda	Quebrada	459354,29	101609,164	
0,22	Q. Toleda	Quebrada	1293686,24	286163,384	0,20744645
0,19	Rio de Piedras A.D.	Rio	4152,38	787,291825	
0,09	Rio de Piedras A.D.	Rio	3695,56	350,338765	
0,09	Rio de Piedras A.D.	Rio	1916,85	181,716939	
0,22	Rio de Piedras A.D.	Rio	196296,30	43420,739	
0,19	Rio de Piedras A.D.	Rio	2712,02	514,198086	
0,22	Rio de Piedras A.D.	Rio	596524,98	131951,318	
0,09	Rio de Piedras A.D.	Rio	90099,38	8541,42117	0,133578523
0,13	Zo. Los Perez	Zanjon	1307946,05	165324,373	
0,16	Zo. Los Perez	Zanjon	235604,67	37225,5355	
0,13	Zo. Los Perez	Zanjon	197199,53	24926,0198	
0,06	Zo. Los Perez	Zanjon	180448,50	11404,3448	
0,19	Zo. Los Perez	Zanjon	2547098,91	482929,929	
0,13	Zo. Los Perez	Zanjon	398823,56	50411,2959	
0,06	Zo. Los Perez	Zanjon	399335,75	25238,0182	
0,09	Zo. Los Perez	Zanjon	382241,90	36236,5308	
0,06	Zo. Los Perez	Zanjon	492231,74	31109,0447	
0,09	Zo. Los Perez	Zanjon	94265,60	8936,37821	
0,09	Zo. Los Perez	Zanjon	1053499,67	99871,764	

K in situ	MICROCUEENCA	TIPO	AREA	Kin situ * AREA	Kin situ PONDERADO
0,00	Q. La Barada	Quebrada	401882,70	0	N.R
0,00	Q. La fieria	Quebrada	1393337,49	0	N.R
0,00	Q. La fieria	Quebrada	1172498,95	0	N.R
0,00	Q. La fieria	Quebrada	1092016,56	0	N.R
0,00	Q. La Nutria	Quebrada	1712165,09	0	N.R
0,02	Q. La Nutria	Quebrada	2032106,90	37187,5575	0,018300001
0,00	Q. La Villa	Quebrada	8095692,66	0	N.R
0,00	Q. La Villa	Quebrada	6338086,38	0	N.R
0,02	Q. La Villa	Quebrada	9515653,56	174136,466	0,018300001
0,02	Q. nn	Quebrada	397004,03	7265,17396	0,018300001
0,02	Q. nn	Quebrada	1266417,12	23175,4341	
0,02	Q. nn	Quebrada	586452,48	10732,0808	
0,02	Q. Puente Tierra	Quebrada	769197,87	14076,3215	0,018300001
0,02	Q. Puente Tierra	Quebrada	759068,72	13890,958	
0,02	Q. Puente Tierra	Quebrada	259954,35	4757,16471	
0,02	Q. Puente Tierra	Quebrada	450294,10	8240,38224	
0,02	Q. Puente Tierra	Quebrada	8416491,83	154021,805	
0,11	Q. Toleda	Quebrada	975067,58	107062,424	0,109800003
0,11	Rio de Piedras A.D.	Rio	5088,67	558,736175	0,079514838
0,11	Rio de Piedras A.D.	Rio	401940,24	44133,0401	
0,09	Rio de Piedras A.D.	Rio	324730,60	29712,8496	
0,07	Rio de Piedras A.D.	Rio	386756,93	28310,6085	
0,05	Rio de Piedras A.D.	Rio	559686,07	30726,766	
0,02	Zo. Los Perez	Zanjon	930,88	17,0350325	0,018300001
0,02	Zo. Los Perez	Zanjon	67389,05	1233,2197	
0,02	Zo. Los Perez	Zanjon	26746,95	489,46911	
0,02	Zo. Los Perez	Zanjon	749000,18	13706,7037	
0,02	Zo. Los Perez	Zanjon	47327,90	866,100644	
0,02	Zo. Los Perez	Zanjon	1631607,89	29858,4253	
0,02	Zo. Los Perez	Zanjon	25996,35	475,733296	
0,02	Zo. Los Perez	Zanjon	4215179,07	77137,7794	

K en laboratorio	MICROCUENCAS	TIPO	AREA	K LAB*AREA	K LAB PONDERADO
0,475	Q. Barronegro	Quebrada	328695,59	156130,404	0,474999994
0,570	Q. El Tambor	Quebrada	469366,48	267538,89	0,505137484
0,475	Q. El Tambor	Quebrada	1010179,91	479835,451	
0,570	Q. La Barada	Quebrada	306078,29	174464,622	0,569999993
0,570	Q. La fieria	Quebrada	54461,99	31043,3351	0,489590125
0,570	Q. La fieria	Rio	638096,19	363714,826	
0,570	Q. La fieria	Rio	11058,66	6303,43606	
0,570	Q. La fieria	Quebrada	151426,60	86313,1591	
0,570	Q. La fieria	Quebrada	101085,05	57618,479	
0,475	Q. La fieria	Rio	164671,54	78218,9807	
0,475	Q. La fieria	Rio	996768,74	473465,146	
0,475	Q. La fieria	Quebrada	315132,19	149687,79	
0,475	Q. La fieria	Quebrada	458051,41	217574,418	
0,475	Q. La fieria	Quebrada	633965,14	301133,439	
0,475	Q. La fieria	Quebrada	2700874,86	1282915,54	76,54249787
0,570	Q. La Nutria	Rio	23323,90	13294,6232	
0,570	Q. La Nutria	Quebrada	440862,83	251291,809	
0,570	Q. La Nutria	Quebrada	183259,23	104457,762	
0,570	Q. La Nutria	Quebrada	425359,84	242455,105	
0,570	Q. La Nutria	Quebrada	669815,13	381794,617	
0,380	Q. La Nutria	Quebrada	122972,62	46729,5937	
0,570	Q. La Nutria	Quebrada	646901,75	368733,994	
0,380	Q. La Nutria	Quebrada	53154,68	20198,7774	
0,285	Q. La Nutria	Quebrada	355009,58	101177,729	
0,380	Q. La Nutria	Quebrada	671409,49	255135,605	0,576801044
0,570	Q. La Villa	Quebrada	985317,22	561630,807	
0,475	Q. La Villa	Quebrada	1383650,66	657234,058	
0,475	Q. La Villa	Rio	1,47	0,69941236	
0,475	Q. La Villa	Quebrada	1603,39	761,612506	
0,570	Q. La Villa	Quebrada	5233275,95	2982967,25	
0,665	Q. La Villa	Quebrada	57376,49	38155,3631	
0,665	Q. La Villa	Quebrada	1419786,17	944157,749	
0,665	Q. La Villa	Rio	321525,77	213814,624	
0,760	Q. La Villa	Quebrada	996807,99	757574,066	
0,380	Q. La Villa	Rio	2985611,55	1134532,38	
0,570	Q. La Villa	Rio	903261,88	514859,267	
0,665	Q. La Villa	Rio	1677183,42	1115326,91	0,478904587
0,665	Q. La Villa	Quebrada	3263597,11	2170291,96	
0,570	Q. nn	Quebrada	95804,41	54608,5131	
0,570	Q. nn	Rio	631,20	359,784739	
0,475	Q. nn	Rio	3494,02	1659,66063	
0,475	Q. nn	Quebrada	385355,92	183044,059	
0,475	Q. nn	Quebrada	11648,11	5532,85212	
0,475	Q. nn	Quebrada	83305,90	39570,3023	
0,475	Q. nn	Rio	516088,63	245142,098	
0,475	Q. nn	Rio	198913,69	94484,0028	0,490615943
0,475	Q. nn	Rio	547920,77	260262,362	
0,475	Q. nn	Quebrada	503146,59	238994,625	
0,475	Q. Puente Tierra	Quebrada	2966,41	1409,04335	
0,285	Q. Puente Tierra	Quebrada	60998,80	17384,6568	
0,475	Q. Puente Tierra	Quebrada	766231,47	363959,944	
0,570	Q. Puente Tierra	Quebrada	345542,75	196959,363	
0,570	Q. Puente Tierra	Quebrada	607642,12	346356,006	
0,570	Q. Puente Tierra	Quebrada	28939,67	16495,6098	0,5359384
0,570	Q. Puente Tierra	Quebrada	382905,10	218255,904	
0,475	Q. Puente Tierra	Quebrada	5366788,73	2549224,61	
0,570	Q. Toleda	Quebrada	166,98	95,1786417	
0,760	Q. Toleda	Quebrada	73703,95	56014,9994	
0,475	Q. Toleda	Quebrada	74350,35	35316,4168	
0,475	Q. Toleda	Rio	125858,40	59782,7415	
0,475	Q. Toleda	Quebrada	944142,78	448467,814	
0,570	Q. Toleda	Quebrada	505701,10	288249,625	0,327579276
0,570	Q. Toleda	Rio	1056617,11	602271,748	
0,285	Rio de Piedras A.D.	Rio	322662,64	91958,8516	
0,665	Rio de Piedras A.D.	Rio	174825,50	116258,953	
0,380	Rio de Piedras A.D.	Rio	467955,66	177823,149	0,443819491
0,285	Rio de Piedras A.D.	Rio	1638862,17	467075,712	
0,475	Zo. Los Perez	Rio	3413468,37	1621397,46	
0,475	Zo. Los Perez	Zanjon	716377,86	340279,479	
0,475	Zo. Los Perez	Zanjon	990235,75	470361,974	0,443819491
0,380	Zo. Los Perez	Rio	2501535,48	950583,471	

POROSIDAD (n)	MICROCUENCA	TIPO	AREA	POROSIDAD (n)* AREA	POROSIDAD PONDERADA
0,465	Q. Barronegro	Quebrada	210797,96	98021,05	0,465
0,558	Q. El Tambor	Quebrada	173288,87	96695,19	0,478
0,465	Q. El Tambor	Quebrada	1058189,51	492058,13	
0,558	Q. La Barada	Quebrada	219479,19	122469,39	0,558
0,558	Q. La fieria	Quebrada	124350,02	69387,32	0,483
0,558	Q. La fieria	Quebrada	21274,47	11871,15	
0,558	Q. La fieria	Quebrada	222925,22	124392,28	
0,558	Q. La fieria	Quebrada	195769,82	109239,56	
0,465	Q. La fieria	Quebrada	193626,87	90036,50	
0,465	Q. La fieria	Quebrada	5870,63	2729,84	
0,465	Q. La fieria	Quebrada	6109,96	2841,13	
0,558	Q. La fieria	Quebrada	479467,26	267542,74	
0,465	Q. La fieria	Quebrada	54976,34	25564,00	
0,465	Q. La fieria	Quebrada	27,28	12,68	
0,465	Q. La fieria	Quebrada	951460,37	442429,07	
0,465	Q. La fieria	Quebrada	935425,40	434972,81	
0,465	Q. La fieria	Quebrada	2211059,54	1028142,69	
0,651	Q. La Nutria	Quebrada	6536,68	4255,38	0,543
0,558	Q. La Nutria	Quebrada	79393,90	44301,80	
0,558	Q. La Nutria	Quebrada	47467,76	26487,01	
0,651	Q. La Nutria	Quebrada	706948,01	460223,17	
0,558	Q. La Nutria	Quebrada	292205,40	163050,62	
0,651	Q. La Nutria	Quebrada	1073853,84	699078,87	
0,558	Q. La Nutria	Quebrada	393484,87	219564,57	
0,372	Q. La Nutria	Quebrada	113815,85	42339,50	
0,372	Q. La Nutria	Quebrada	45079,97	16769,75	
0,279	Q. La Nutria	Quebrada	341723,34	95340,82	
0,372	Q. La Nutria	Quebrada	598636,14	222692,65	
0,558	Q. La Nutria	Quebrada	962616,60	537140,09	
0,558	Q. La Villa	Quebrada	250234,60	139630,91	0,570
0,558	Q. La Villa	Quebrada	181429,21	101237,50	
0,558	Q. La Villa	Quebrada	1535,79	856,97	
0,558	Q. La Villa	Quebrada	18362,05	10246,03	
0,465	Q. La Villa	Quebrada	1150294,52	534886,95	
0,558	Q. La Villa	Quebrada	4993134,85	2786169,38	
0,651	Q. La Villa	Quebrada	117793,60	76683,63	
0,651	Q. La Villa	Quebrada	1582699,31	1030337,29	
0,651	Q. La Villa	Quebrada	548322,92	356958,24	
0,651	Q. La Villa	Quebrada	995314,37	647949,68	
0,744	Q. La Villa	Quebrada	1103099,32	820705,92	
0,372	Q. La Villa	Quebrada	2957940,34	1100353,83	
0,558	Q. La Villa	Quebrada	967008,59	539590,82	
0,651	Q. La Villa	Quebrada	4152691,07	2703401,98	
0,558	Q. nn	Quebrada	12274,29	6849,05	0,367
0,558	Q. nn	Quebrada	4999,82	2789,90	
0,558	Q. nn	Quebrada	170129,23	94932,11	
0,465	Q. nn	Quebrada	153122,21	71201,83	
0,465	Q. nn	Quebrada	156591,16	72814,89	
0,465	Q. nn	Quebrada	243881,82	113405,05	
0,465	Q. nn	Quebrada	135282,33	62906,28	
0,465	Q. nn	Quebrada	1131134,79	525977,68	
0,000	Q. nn	Quebrada	586452,48	0,00	

0,279	Q. Puente Tierra	Quebrada	38963,61	10870,85	0,439
0,000	Q. Puente Tierra	Quebrada	769197,87	0,00	
0,558	Q. Puente Tierra	Quebrada	536143,50	299168,09	
0,558	Q. Puente Tierra	Quebrada	57916,18	32317,23	
0,558	Q. Puente Tierra	Quebrada	614082,56	342658,08	
0,465	Q. Puente Tierra	Quebrada	5305559,78	2467085,32	
0,744	Q. Toleda	Quebrada	209889,47	156157,77	
0,465	Q. Toleda	Quebrada	34241,04	15922,09	0,537
0,558	Q. Toleda	Quebrada	2264,61	1263,65	
0,465	Q. Toleda	Quebrada	636109,60	295790,97	
0,465	Q. Toleda	Quebrada	80113,13	37252,61	
0,558	Q. Toleda	Quebrada	801778,72	447392,55	
0,558	Q. Toleda	Quebrada	967698,70	539975,90	
0,558	Q. Toleda	Quebrada	737590,25	411575,38	
0,558	Rio de Piedras A.D.	Rio	19536,25	10901,23	0,299
0,279	Rio de Piedras A.D.	Rio	294244,65	82094,26	
0,372	Rio de Piedras A.D.	Rio	401039,81	149186,81	
0,279	Rio de Piedras A.D.	Rio	1427282,59	398211,86	
0,558	Rio de Piedras A.D.	Rio	10,23	5,71	
0,558	Rio de Piedras A.D.	Rio	545,19	304,21	
0,558	Rio de Piedras A.D.	Rio	596,17	332,66	
0,558	Rio de Piedras A.D.	Rio	800,71	446,80	
0,465	Zo. Los Perez	Zanjon	7,89	3,67	0,484
0,558	Zo. Los Perez	Zanjon	3781936,46	2110320,65	
0,465	Zo. Los Perez	Zanjon	566,58	263,46	
0,465	Zo. Los Perez	Zanjon	482099,70	224176,36	
0,465	Zo. Los Perez	Zanjon	1223939,44	569131,84	
0,465	Zo. Los Perez	Zanjon	160628,68	74692,34	
0,372	Zo. Los Perez	Zanjon	2151396,10	800319,37	

SATURACION (s)	MICROCUENCA	TIPO	AREA	SATURACION (s) * AREA	SATURACION (s) PONDERADO
0,96	Q. El Tambor	Quebrada	694673,82	666886,8525	0,959999979
0,96	Q. El Tambor	Quebrada	153318,66	147185,9141	
0,96	Q. El Tambor	Quebrada	171226,00	164376,9568	
0,84	Q. La Barada	Quebrada	136642,27	114779,5032	0,839999974
0,84	Q. La Barada	Quebrada	474882,45	398901,2448	
0,96	Q. La fieria	Quebrada	157996,32	151676,4654	0,597203619
0,96	Q. La fieria	Quebrada	251135,47	241090,0488	
0,00	Q. La fieria	Quebrada	1393337,49	0	N.R
0,00	Q. La fieria	Quebrada	1172498,95	0	
0,84	Q. La fieria	Quebrada	3470855,44	2915518,476	0,839999974
0,00	Q. La fieria	Quebrada	1092016,56	0	N.R
0,84	Q. La fieria	Quebrada	4914985,11	4128587,367	0,839999974
0,48	Q. La Nutria	Quebrada	13352,81	6409,347907	0,744692352
0,48	Q. La Nutria	Quebrada	138647,33	66550,71754	
0,60	Q. La Nutria	Quebrada	5151,81	3091,085758	
0,84	Q. La Nutria	Quebrada	1998718,98	1678923,895	
0,60	Q. La Nutria	Quebrada	11560,89	6936,532862	
0,48	Q. La Nutria	Quebrada	707974,00	339827,5117	
0,96	Q. La Nutria	Quebrada	1436686,33	1379218,849	
0,60	Q. La Nutria	Quebrada	4322,90	2593,740235	
0,72	Q. La Nutria	Quebrada	419764,00	302230,0659	
0,84	Q. La Nutria	Quebrada	258040,30	216753,8467	
0,72	Q. La Nutria	Quebrada	44844,31	32287,90265	
0,84	Q. La Nutria	Quebrada	673891,23	566068,6143	
0,60	Q. La Nutria	Quebrada	148697,64	89218,57941	
0,60	Q. La Nutria	Quebrada	48210,90	28926,53683	
0,60	Q. La Nutria	Quebrada	439656,32	263793,7736	
0,60	Q. La Nutria	Quebrada	1758158,85	1054895,248	
0,24	Q. La Villa	Quebrada	159733,42	38336,02022	0,489306432
0,60	Q. La Villa	Quebrada	298096,18	178857,6958	
0,24	Q. La Villa	Quebrada	786438,56	188745,2502	
0,72	Q. La Villa	Quebrada	107730,10	77565,66993	
0,72	Q. La Villa	Quebrada	9259,27	6666,675837	
0,36	Q. La Villa	Quebrada	2874620,31	1034863,269	
0,60	Q. La Villa	Quebrada	1400855,39	840513,1866	
0,84	Q. La Villa	Quebrada	355096,52	298281,065	
0,48	Q. La Villa	Quebrada	4570,90	2194,032327	
0,48	Q. La Villa	Quebrada	944,24	453,2358553	
0,48	Q. La Villa	Quebrada	527,96	253,4222566	
0,48	Q. La Villa	Quebrada	3853771,70	1849810,377	
0,48	Q. La Villa	Quebrada	739,73	355,0686554	
0,48	Q. La Villa	Quebrada	612153,97	293833,8989	
0,48	Q. La Villa	Quebrada	894032,69	429135,6795	
0,60	Q. La Villa	Quebrada	3024792,92	1814875,642	
0,48	Q. La Villa	Quebrada	1812479,13	869989,961	
0,96	Q. nn	Quebrada	13170,60	12643,77255	0,84567673
0,84	Q. nn	Quebrada	265240,43	222801,9569	
0,00	Q. nn	Quebrada	397004,03	0	N.R
0,00	Q. nn	Quebrada	1266417,12	0	
0,00	Q. nn	Quebrada	586452,48	0	

0,60	Q. Puente Tierra	Quebrada	5030,44	3018,265953	0,719542457
0,72	Q. Puente Tierra	Quebrada	17,63	12,69675461	
0,72	Q. Puente Tierra	Quebrada	5123,61	3689,00182	
0,72	Q. Puente Tierra	Quebrada	303,52	218,53658	
0,72	Q. Puente Tierra	Quebrada	33914,61	24418,52107	
0,72	Q. Puente Tierra	Quebrada	1331,30	958,5357098	
0,72	Q. Puente Tierra	Quebrada	5333,10	3839,830819	
0,72	Q. Puente Tierra	Quebrada	668670,35	481442,6293	
0,72	Q. Puente Tierra	Quebrada	98875,09	71190,06147	
0,72	Q. Puente Tierra	Quebrada	19880,19	14313,73567	
0,72	Q. Puente Tierra	Quebrada	480945,37	346280,6535	
0,60	Q. Toleda	Quebrada	30361,89	18217,13344	0,792675646
0,48	Q. Toleda	Quebrada	437866,72	210176,0212	
0,72	Q. Toleda	Quebrada	1115651,48	803269,0275	
0,84	Q. Toleda	Quebrada	24974,98	20978,98218	
0,72	Q. Toleda	Quebrada	232600,33	167472,2297	
0,84	Q. Toleda	Quebrada	1515896,79	1273353,264	
0,84	Q. Toleda	Quebrada	131641,42	110578,7909	
0,84	Q. Toleda	Quebrada	127075,10	106743,0831	
0,84	Q. Toleda	Quebrada	603659,54	507073,9952	
0,96	Q. Toleda	Quebrada	759084,39	728720,9944	
0,36	Rio de Piedras A.D.	Rio	145095,93	52234,53382	0,682090219
0,36	Rio de Piedras A.D.	Rio	243419,65	87631,06889	
0,48	Rio de Piedras A.D.	Rio	397437,30	190769,8976	
0,84	Rio de Piedras A.D.	Rio	149116,56	125257,9031	
0,36	Rio de Piedras A.D.	Rio	107331,96	38639,5023	
0,36	Rio de Piedras A.D.	Rio	222761,34	80194,07942	
0,48	Rio de Piedras A.D.	Rio	419747,54	201478,8169	
0,84	Rio de Piedras A.D.	Rio	220752,62	185432,1968	
0,96	Rio de Piedras A.D.	Rio	129131,80	123966,5226	
0,96	Rio de Piedras A.D.	Rio	584935,71	561538,2645	
0,96	Rio de Piedras A.D.	Rio	57476,00	55176,95552	
0,84	Rio de Piedras A.D.	Rio	24,41	20,50740472	
0,84	Rio de Piedras A.D.	Rio	10237,23	8599,269248	
0,84	Rio de Piedras A.D.	Rio	53,52	44,95902788	
0,84	Rio de Piedras A.D.	Rio	773528,47	649763,8945	
0,60	Zo. Los Perez	Zanjon	153470,59	92082,34568	0,7902749
0,60	Zo. Los Perez	Zanjon	285066,28	171039,7601	
0,60	Zo. Los Perez	Zanjon	266130,90	159678,5304	
0,84	Zo. Los Perez	Zanjon	558469,28	469114,1771	
0,84	Zo. Los Perez	Zanjon	728542,85	611975,9772	
0,84	Zo. Los Perez	Zanjon	13264,61	11142,27533	
0,84	Zo. Los Perez	Zanjon	1396161,99	1172776,034	

HUMEDAD (W)	MICROCUENCA	TIPO	AREA	HUMEDAD (W)*AREA	HUMEDAD PONDERADA
0,39	Q. Barronegro	Quebrada	955991,57	372836,6994	0,389999986
0,52	Q. El Tambor	Quebrada	284988,39	148193,955	0,519999981
0,52	Q. El Tambor	Quebrada	43928,13	22842,62777	
0,52	Q. El Tambor	Quebrada	431468,65	224363,6906	
0,39	Q. La Barada	Quebrada	66475,00	25925,25018	0,485874983
0,39	Q. La Barada	Quebrada	52776,08	20582,6717	
0,52	Q. La Barada	Quebrada	335038,78	174220,1575	
0,52	Q. La fieria	Quebrada	69,82	36,30476521	0,445749452
0,52	Q. La fieria	Quebrada	18513,23	9626,879843	
0,52	Q. La fieria	Quebrada	66022,45	34331,6735	
0,52	Q. La fieria	Quebrada	345213,82	179511,1815	
0,52	Q. La fieria	Quebrada	400464,75	208241,6631	
0,39	Q. La fieria	Quebrada	1105822,82	431270,8832	
0,00	Q. La fieria	Quebrada	1092016,56	0	N.R
0,26	Q. La fieria	Quebrada	509853,59	132561,9283	0,385955952
0,52	Q. La fieria	Quebrada	5877,26	3056,177387	
0,52	Q. La fieria	Quebrada	653,68	339,9142616	
0,52	Q. La fieria	Quebrada	472558,65	245730,4878	
0,39	Q. La Nutria	Quebrada	221327,98	86317,90806	0,347396974
0,52	Q. La Nutria	Quebrada	204603,76	106393,9536	
0,65	Q. La Nutria	Quebrada	65588,53	42632,54445	
0,65	Q. La Nutria	Quebrada	346,10	224,9680781	
0,39	Q. La Nutria	Quebrada	28681,61	11185,82659	
0,65	Q. La Nutria	Quebrada	172348,79	112026,7077	
0,65	Q. La Nutria	Quebrada	345973,86	224882,9988	
0,39	Q. La Nutria	Quebrada	552532,71	215487,7508	
0,52	Q. La Nutria	Quebrada	798459,46	415198,9028	
0,26	Q. La Nutria	Quebrada	103997,71	27039,40367	
0,13	Q. La Nutria	Quebrada	69350,66	9015,585288	
0,13	Q. La Nutria	Quebrada	706,64	91,86382997	
0,13	Q. La Nutria	Quebrada	168831,47	21948,09062	
0,13	Q. La Nutria	Quebrada	458334,94	59583,53968	
0,39	Q. La Nutria	Quebrada	1058199,28	412697,7031	
0,78	Q. La Villa	Quebrada	138253,51	107837,7338	
0,78	Q. La Villa	Quebrada	456884,47	356369,8743	
0,65	Q. La Villa	Quebrada	1065751,03	692738,1433	
0,26	Q. La Villa	Quebrada	209608,01	54498,08	
0,52	Q. La Villa	Quebrada	821926,21	427401,6139	
0,26	Q. La Villa	Quebrada	127824,31	33234,31819	
0,39	Q. La Villa	Quebrada	1378,70	537,6921251	
0,26	Q. La Villa	Quebrada	335451,73	87217,44571	
0,39	Q. La Villa	Quebrada	20705,12	8074,995893	
0,39	Q. La Villa	Quebrada	72860,53	28415,60597	
0,39	Q. La Villa	Quebrada	4865754,18	1897644,06	
0,39	Q. La Villa	Quebrada	2283029,50	890381,4726	
0,13	Q. La Villa	Quebrada	7271099,65	945242,9204	
0,39	Q. La Villa	Quebrada	4180650,48	1630453,628	
0,39	Q. La Villa	Quebrada	717562,17	279849,2377	
0,39	Q. La Villa	Quebrada	2957937,28	1153595,495	
0,52	Q. nn	Quebrada	14067,82	7315,267751	
0,52	Q. nn	Quebrada	19874,01	10334,48314	

0,00	Q. nn	Quebrada	397004,03	0	
0,00	Q. nn	Quebrada	1266417,12	0	
0,00	Q. nn	Quebrada	586452,48	0	
0,52	Q. nn	Quebrada	62464,91	32481,75	0,519999981
0,39	Q. Puente Tierra	Quebrada	51533,71	20098,14462	0,278695664
0,39	Q. Puente Tierra	Quebrada	996,02	388,4482866	
0,39	Q. Puente Tierra	Quebrada	412930,90	161043,0439	
0,39	Q. Puente Tierra	Quebrada	351389,99	137042,0926	
0,39	Q. Puente Tierra	Quebrada	1633,13	636,9221466	
0,39	Q. Puente Tierra	Quebrada	423,49	165,1625699	
0,39	Q. Puente Tierra	Quebrada	192265,17	74983,41237	
0,26	Q. Puente Tierra	Quebrada	7745265,69	2013769,005	
0,39	Q. Puente Tierra	Quebrada	289791,99	113018,87	
0,52	Q. Toleda	Quebrada	65472,98	34045,9463	0,448144184
0,39	Q. Toleda	Quebrada	1010941,52	394267,177	
0,39	Q. Toleda	Quebrada	681393,80	265743,5712	
0,52	Q. Toleda	Quebrada	690079,20	358841,1703	
0,52	Q. Toleda	Quebrada	613849,92	319201,9486	
0,13	Rio de Piedras A.D.	Rio	58893,76	7656,188809	0,129999995
0,13	Rio de Piedras A.D.	Rio	78389,37	10190,61741	
0,13	Rio de Piedras A.D.	Rio	405406,05	52702,78481	
0,26	Zo. Los Perez	Zanjon	288662,97	75052,37044	0,322624379
0,39	Zo. Los Perez	Zanjon	82692,85	32250,21153	
0,39	Zo. Los Perez	Zanjon	373014,01	145475,4568	
0,39	Zo. Los Perez	Zanjon	1044936,63	407525,2693	
0,26	Zo. Los Perez	Zanjon	1325832,07	344716,3254	