

**CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N° 0205 DE 2017
CVC – UNIVALLE
MUNICIPIOS DE BOLÍVAR, ROLDANILLO Y VERSALLES**



Geología y Geomorfología para la zonificación de amenazas por inundación y movimientos en masa de la zona urbana del Municipio de Versalles

INFORME TÉCNICO



Santiago de Cali, octubre de 2018



CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N°0205
CVC – UNIVALLE
MUNICIPIOS DE BOLIVAR, ROLDANILLO Y VERSALLES



PRESENTACIÓN

Para la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC, es una gran satisfacción aportar a los municipios de Bolívar, Roldanillo y Versalles, la evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y escenarios de afectación o daño en el componente urbano municipal, en cumplimiento de la función dada por la Ley 1523 de 2012 sobre el apoyo a los municipios en el conocimiento del riesgo.

Conocedores de la importancia y responsabilidad que reviste abordar el tema del conocimiento de las amenazas y los riesgos, la CVC llevó a cabo una alianza con el Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente, OSSO, adscrito a la Universidad del Valle, con el fin de obtener los mejores resultados en estas evaluaciones. De igual forma, es necesario reconocer el aporte, contribución y compromiso de las administraciones municipales y sus propios habitantes, a lo largo de la ejecución de este estudio. Otro objetivo es fortalecer el conocimiento que tenemos de nuestro entorno para tener certeza y articular una adecuada planificación y ocupación de nuestros territorios.

Los estudios entregados son parte fundamental de la información que se requiere para que cada municipio formule su Ordenamiento Territorial de segunda generación y son evaluaciones que dan soporte para la reducción y la elaboración de planes de emergencia y contingencia.

La presente evaluación de las amenazas y riesgos deben estructuralmente permitirle al municipio reglamentar el uso del suelo en el componente urbano, de tal manera que, como lo define la política de gestión del riesgo y en esencia la constitución colombiana, se logre avanzar hacia un desarrollo sostenible, que ofrezca seguridad para la vida de los habitantes, sus bienes y medios de subsistencia, así como a toda la infraestructura del municipio.

Finalmente, la CVC con estas evaluaciones, a través de la Universidad, espera contribuir en la formación y fortalecimiento de la capacidad profesional de la región en este tipo de estudios.

Rubén Darío Materón Muñoz
Director General
CVC

AGRADECIMIENTOS

A la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y la Dirección Ambiental Regional CVC-DAR-BRUT, a la Oficina de Gestión del Riesgo del municipio por la información suministrada y el acompañamiento durante las salidas de campo por parte de su técnico Cristian Wagner; quien puso a nuestra disposición la información necesaria de lugares críticos de movimientos en masa e inundación de la zona urbana del municipio en el marco del Convenio Interadministrativo N°0205 de 2017 entre la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC y La Universidad de Valle, el cual tiene como objeto “*Aunar Esfuerzos Técnicos y Recursos Económicos para la Elaboración de los Estudios de Zonificación de Amenaza y Vulnerabilidad y Escenarios de Afectación para las Áreas Urbanas de los Municipios de Bolívar, Versalles y Roldanillo en el Valle del Cauca*”.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA – CVC

DIRECTIVOS

RUBÉN DARÍO MATERÓN MUÑOZ

Director General

MARÍA CRISTINA VALENCIA RODRÍGUEZ

Secretaria General (C)

HÉCTOR FABIO ARISTIZABAL RODRIGUEZ

Director Técnico Ambiental (C)

PAULA ANDREA SOTO QUINTERO

Directora Territorial – Dirección Ambiental Regional BRUT

SUPERVISIÓN

Yuncely Gimena Bastidas B

Ingeniería Civil

Especialista en Diseño Estructural

Líder del proyecto 5001

Arelix Andrea Ordoñez Franco

Ingeniería Ambiental

Supervisora del Convenio Interadministrativo N° 0205 de 2017 CVC-Univalle

EQUIPO TÉCNICO

Omar Alberto Chaves M

Ingeniero Civil

Alejandra María Gómez

Ingeniera Civil

Doctora (Ph. D.) en Geotecnia

María Victoria Cross Garcés

Ingeniera Agrónoma

Especialización en Educación Ambiental

UNIVERSIDAD DEL VALLE

DIRECTIVOS

EDAGAR VARELA BARRIOS

Rector

LILIANA ARIAS CASTILLO

Vicerrectora Académica

INÉS MARÍA ULLOA VILLEGAS

Vicerrectora Administrativa

CLAUDIA SANTAMARÍA GAITÁN

Vicerrector de Bienestar Universitario

JAIME RICARDO CANTERA KINTZ

Vicerrector de Investigación

ANTONIO JOSÉ ECHEVERRY PÉREZ

Secretario General

GLADYS STELLA LÓPEZ JIMÉNEZ

Decana - Facultad de Humanidades

EQUIPO TÉCNICO

ELKIN DE JESÚS SALCEDO HURTADO

Director - Observatorio Sismológico y Geofísico del Sur Occidente Colombiano - OSSO
Doctor (Ph. D.) en Física-Matemáticas

GRUPO DE GEÓLOGIA

Lina María Ospina

Geóloga.

Doctor (Ph. D.) en Ciencias de la Tierra

Sandra Yackeline Bedoya Cuervo

Geóloga.

GRUPO DE CARTOGRAFÍA Y SIG

Jhon Jairo Barona

Doctor en Ing Geográfica

Coordinador

Vanessa García Cardona

Ing. Topográfica

Danny Alexander Cocuñame Ricardo

Geógrafo

María Camila Pomeo

Est. Ingeniería Topográfica

Carlos Mauricio Mosquera Pérez



CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N°0205
CVC – UNIVALLE
MUNICIPIOS DE BOLIVAR, ROLDANILLO Y VERSALLES



Est. Ingeniería Topográfica

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1 LOCALIZACIÓN.....	16
2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	17
2.1 GEOLOGIA REGIONAL	17
2.1.1 FORMACIÓN VOLCÁNICA (Kv)	19
2.1.2 COMPLEJO ESTRUCTURAL DAGUA (Kd).....	19
2.1.3 DEPÓSITOS.....	21
2.1.3.1 CENIZAS VOLCÁNICAS – QPCV	21
2.1.3.2 TERRAZAS – QTA, CONOS – QCA Y ALUVIONES – QAL.....	21
2.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL	21
2.3 GEOLOGÍA LOCAL.....	23
2.3.1 MAPA GEOLÓGICO LOCAL	23
2.3.2 FORMACIÓN VOLCÁNICA (Kv).....	26
2.3.3 COMPLEJO ESTRUCTURAL DAGUA (Kd).....	28
2.3.4 DEPÓSITOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS (QPCV)	31
2.3.5 DEPÓSITOS ALUVIALES (QAL).....	34
2.4 GEOLOGIA ESTRUCTURAL	41
2.4.1 FALLA INFERIDA CON INDICIOS GEOMORFOLÓGICOS, PERO SIN EVIDENCIAS DE ACTIVIDAD TECTÓNICA RECIENTE	41
2.4.2 FALLA INFERIDA CON POCOS INDICIOS GEOMORFOLÓGICOS Y SIN EVIDENCIAS DE ACTIVIDAD TECTÓNICA RECIENTE	43
2.4.3 TRAZO FALLA REGIONAL SGC.....	44
2.4.4 CONTACTO FALLADO CUBIERTO Kv – Kd.....	44
2.5 MAPA DE UNIDADES GEOLOGICAS SUPERFICIALES	44
2.5.1 UNIDAD DE SUELO TRANSPORTADO (St)	44
2.6 MAPA GEOMORFOLÓGICO	46
2.6.1 FASE 1.	46
2.6.2 FASE 2	50
2.6.3 FASE3	59
2.6.4 ANÁLISIS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA GEOMORFOLOGÍA.....	61
2.7 MOVIMIENTOS EN MASA	61
CONCLUSIONES	77
REFERENCIAS.....	78
ANEXOS	80

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. MAPA DE LOCALIZACIÓN ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ROLDANILLO.	16
FIGURA 2. MAPA GEOLÓGICO PLANCHA 242 – ZARZAL (VALLE DEL CAUCA-COLOMBIA).....	18
FIGURA 3. MAPA DE ESTACIONES DE CAMPO ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE VERSALLES.	24
FIGURA 4. MAPA GEOLÓGICO DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE VERSALLES.....	25
FIGURA 5. AFLORAMIENTOS AL SW DEL ÁREA URBANA (CANCHA MUNICIPAL). A. SECUENCIA DE CENIZAS VOLCÁNICAS (QPCV) SEPARADAS POR UN HIATO (NIVEL PLÁSICO). B. DIORITA DE LA FORMACIÓN VOLCÁNICA (Kv). C. SAPROLITO ROJO DE LA FORMACIÓN VOLCÁNICA (Kv).	26
FIGURA 6. DIORITA DE COLOR GRIS VERDOSO, FRACTURADA Y CON ALTO GRADO DE METEORIZACIÓN, SECTOR DE LA CANCHA MUNICIPAL, ESTACIÓN E11.	27
FIGURA 7. SAPROLITO DE LA FORMACIÓN VOLCÁNICA (Kv), ANTIGUA PLAZA DE TOROS, ESTACIÓN E2	27
FIGURA 8. CONTACTO CONFORME ENTRE SAPROLITO DE LA FORMACIÓN VOLCÁNICA (Kv) Y CENIZAS VOLCÁNICAS (QPCV) AL SE DEL ÁREA URBANA. A. PARTE BAJA DEL BARRIO LA NEBLINA (ZONA DE EXPANSIÓN) ESTACIÓN E27. B. PARTE ALTA DEL BARRIO LA NEBLINA, ESTACIÓN E74.	28
FIGURA 9. A. VISTA GENERAL DE LA TRINCHERA REALIZADA POR LA CONSTRUCTORA, SE OBSERVA DE BASE A TECHO EL SAPROLITO ROJO DE LA FORMACIÓN VOLCÁNICA (Kv), INFRAYACIENDO LAS CENIZAS VOLCÁNICAS DE COLOR HABANO CLARO (QPCV). B. PERFIL DE METEORIZACIÓN DE LA FORMACIÓN VOLCÁNICA (Kv).....	28
FIGURA 10. A. AFLORAMIENTO DE METARENITA DEL GRUPO DAGUA (Kd) AL SUR DEL ÁREA URBANA. ESTACIÓN E55 B. DETALLE DEL DIACLASAMIENTO EN METARENITA SILÍCEA. C. CONTACTO DISCORDANTE ENTRE METARENITAS CON ALTO GRADO DE METEORIZACIÓN (Kd) Y FLUJO DE ESCOMBROS (QAL), ESTACIÓN E93.....	29
FIGURA 11. A. PERFIL DE SUELO EXPUESTO POR SOCAVAMIENTO PROVOCADO POR LA ROTURA DE TUBERÍA EN EL SECTOR NORTE DE LA QUEBRADA FUNDADORES, B. VISTA GENERAL DEL AFLORAMIENTO. C. METARENITAS MUY METEORIZADAS DEL GRUPO DAGUA. D. DETALLE DE MICROPLIEGUES EN METARENITAS. E. DETALLE DEL CONTENIDO DE GUIJOS DE CUARZO Y CHERT.....	30
FIGURA 12. A. METARENITAS SILÍCEAS CON FOLIACIÓN EN LA ZONA DEL INSTITUTO DE PROMOCIÓN SOCIAL. B. DETALLE DE LA FOLIACIÓN.	31
FIGURA 13. A. VISTA E-W DEL CONTACTO ENTRE EVENTO DE CENIZAS VOLCÁNICAS AMARILLO OCRE A LA BASE Y CENIZAS COLOR HABANO CLARO AL TECHO. EN LA CANCHA MUNICIPAL. B. CONTACTO ENTRE EVENTO DE CENIZAS VOLCÁNICAS AMARILLO OCRE A LA BASE Y CENIZAS COLOR HABANO CLARO AL TECHO. FRENTE A LA FINCA SAN JOAQUÍN, A 700M APROX. DE LA ANTIGUA PLAZA DE TOROS. C. CONTACTO ENTRE EVENTOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS, EN LA CALLE 8 COSTADO NORTE DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA CAMILO TORRES, VISTA E-W. D. CENIZAS VOLCÁNICAS AMARILLO OCRE CON ESPESOR DE 3M, VISTA N-S SECTOR DEL CEMENTERIO. E. AFLORAMIENTO DE CENIZAS VOLCÁNICAS AMARILLO OCRE, CARRERA 6 ENTRE CALLES 1 Y 2. NÓTESE LA PRESENCIA DEL NIVEL PLÁSICO (HIATO EN LA PARTE INFERIOR Y DE CONTINUIDAD LATERAL.	32
FIGURA 14. BARRIO EN CONSTRUCCIÓN LA NEBLINA. A. CONTACTO ENTRE EVENTO DE CENIZAS VOLCÁNICAS AMARILLO OCRE A LA BASE Y CENIZAS COLOR HABANO CLARO AL TOPE,	

	ESTACIÓN E73. B. E74, CONTACTO ENTRE EVENTO DE CENIZAS VOLCÁNICAS HABANO CLARO Y AMARILLO OCRE (QPCV) SUPRAYACIENDO EL SAPROLITO ROJO DE LA FORMACIÓN VOLCÁNICA (Kv). C. HIATO ENTRE CENIZAS VOLCÁNICAS COLOR HABANO CLARO Y CENIZAS VOLCÁNICAS AMARILLO OCRE, ESTACIÓN E76. D. CENIZAS VOLCÁNICAS SUPRAYACIENDO DEPÓSITO DE AVENIDA TORRENCIAL (QAL), ESTACIÓN E77.	33
FIGURA 15.	QUEBRADA LA SUIZA: A. TUBERÍA QUE TRANSPORTA LAS AGUAS DE LA QUEBRADA EN EL PASO DE LA CALLE 9. B. GEOMORFOLOGÍA DE TERRAZAS ALUVIALES, ESTACIÓN E59. C. BLOQUES MÉTRICOS QUE CONFORMAN LOS DEPÓSITOS DE FLUJO DE ESCOMBROS DE LA QUEBRADA, ESTACIÓN E21. D. FLUJO DE ESCOMBROS O AVENIDA TORRENCIAL, ESTACIÓN E21.....	34
FIGURA 16.	FLUJO DE ESCOMBROS BARRIO LOS OLIVOS SOBRE LA CALLE 9, CONFLUENCIA ENTRE LAS QUEBRADAS LA SUIZA Y QUEBRADA LA MINA, ESTACIÓN E61.....	35
FIGURA 17.	VIVIENDAS DEL BARRIO LOS OLIVOS UBICADAS EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA QUEBRADA LA MINA, ESTACIÓN E62.	35
FIGURA 18.	DEPÓSITO ALUVIAL EN LA CONFLUENCIA DE LA QUEBRADA FUNDADORES CON LA QUEBRADA MARAVÉLEZ, ESTACIÓN E51.	36
FIGURA 19.	FLUJOS DE ESCOMBROS DEPOSITADOS POR LA QUEBRADA MARAVÉLEZ. DETRÁS DEL HOSPITAL, ESTACIÓN E43.	36
FIGURA 20.	DEPÓSITOS DE ESCOMBROS DE LA QUEBRADA MARAVÉLEZ AL NE DE LA ZONA URBANA. ESTACIÓN E47.	37
FIGURA 21.	QUEBRADA MARAVÉLEZ AL ORIENTE DEL HOSPITAL: A. ZONA EROSIONADA POR TALA DE ÁRBOLES. B. GEOMORFOLOGÍA TÍPICA DE LOS DEPÓSITOS DE FLUJOS DE ESCOMBROS. C. BLOQUES MÉTRICOS QUE CONFORMAN LOS DEPÓSITOS ALUVIALES DE LA QUEBRADA. D. RESIDUOS DE TALA DE ÁRBOLES DEPOSITADOS EN EL CAUCE DE LA QUEBRADA.	37
FIGURA 22.	A. FLUJO DE CENIZAS QUE SUPRAYACE EL SAPROLITO ROJO DE LA FORMACIÓN VOLCÁNICA (Kv), DETRÁS DEL CENTRO DE INTEGRACIÓN CIUDADANA AL SE DEL ÁREA URBANA, ESTACIÓN E71. B. FLUJO DE ESCOMBROS QUE AFLORA EN LA ESTACIÓN E79. C. DEPÓSITO ALUVIAL TORRENCIAL, ESTACIÓN E80. D. DEPÓSITO DE ALUVIAL (QAL), ESTACIÓN E77.....	38
FIGURA 23.	A. FLUJO DE CENIZAS, ESTACIÓN E83. B. DETALLE DEL FLUJO DE CENIZAS. C. DEPÓSITO DE FLUJO DE CENIZAS, ESTACIÓN E85 BARRIO EL OASIS. D. DETALLE FLUJO DE CENIZAS ESTACIÓN E85.....	39
FIGURA 24.	A. FLUJO DE ESCOMBROS, ESTACIÓN E91. B. COLINA REDONDEADA CON BLOQUES MÉTRICOS. ESTACIÓN E90. C. DEPÓSITO DE FLUJO DE ESCOMBROS QUE SUPRAYACE METARENITAS DEL GRUPO DAGUA, ESTACIÓN E93, AL ESTE DEL ANTIGUO MATADERO. D. DEPÓSITO DE FLUJO DE ESCOMBROS QUE AFLORA EN LA ESTACIÓN, ESTACIÓN E56, SOBRE LA VÍA QUE CONDUCE AL ANTIGUO MATADERO.....	40
FIGURA 25.	A. BLOQUES MÉTRICOS EN FLUJO DE ESCOMBROS, EN LA LADERA NORTE DE LA QUEBRADA PATUMA, FRENTE A ANTIGUO MATADERO. ESTACIÓN E92.....	41
FIGURA 26.	ACTIVIDAD TECTÓNICA RECIENTE, AL OESTE DEL ÁREA URBANA.	42
FIGURA 27.	TRAZO DE FALLA INFERIDA CON INDICIOS GEOMORFOLÓGICOS, PERO SIN EVIDENCIAS DE ACTIVIDAD TECTÓNICA RECIENTE, AL SUR DEL ÁREA URBANA.....	42
FIGURA 28.	FALLAS INFERIDAS CON INDICIOS GEOMORFOLÓGICOS, PERO SIN EVIDENCIAS DE ACTIVIDAD TECTÓNICA RECIENTE EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	43

FIGURA 29. CAMBIO ALTIMÉTRICO, BARRIO FUNDADORES	43
FIGURA 30. MAPA DE UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	45
FIGURA 31. FOTOINTERPRETACIÓN DEL VUELO IGAC, C2787 FOTOS 22 Y 23 DEL AÑO 2010.	46
FIGURA 32. FOTOINTERPRETACIÓN DEL VUELO CVC, C1260 FOTOS 138 Y 139 DEL AÑO 1969.	47
FIGURA 33. MODELO DIGITAL DEL TERRENO.....	48
FIGURA 34. MAPA DE PENDIENTES.....	49
FIGURA 35. ESQUEMA DE JERARQUIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA PROPUESTA POR CARVAJAL (2003) CON BASE EN VELÁSQUEZ (1999), INGEOMINAS (2000).....	50
FIGURA 36. QUEBRADA FUNDADORES, SU CUENCA FUE INTERVENIDA CON RELLENO MIXTO (ALL) Y FUE URBANIZADA. VISTA SUR-NORTE.	51
FIGURA 37. VISTA DEL MUNICIPIO DESDE PATIO E BRUJAS AL NORESTE DEL MISMO. GEOFORMAS PRESENTES EN EL ÁREA URBANA MUNICIPIO DE VERSALLES. A. ORIGEN DENUDACIONAL. Y B. ORIGEN VOLCÁNICO.....	52
FIGURA 38. EJEMPLOS DE NOMENCLATURA DE ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS. CARVAJAL (2012).	53
FIGURA 39. QUEBRADA MARAVÉLEZ A. DETALLE DE BLOQUES EN DEPÓSITOS DE AVENIDA TORRENCIAL (FAT). B. GEOMORFOLOGÍA DE DEPÓSITO DE FLUJO DE ESCOMBROS O AVENIDA TORRENCIAL.	54
FIGURA 40. DEPÓSITO ALUVIAL (FA) CON BLOQUES MÉTRICOS EN LA QUEBRADA LA SUIZA. A. VISTA DESDE EL ORIENTE. B. VISTA DESDE EL NORTE.	54
FIGURA 41. QUEBRADA PATUMA A. GEOMORFOLOGÍA DE DEPÓSITO DE FLUJO DE ESCOMBROS O AVENIDA TORRENCIAL. (FAT) EN LOS ALREDEDORES DE LA PTAR. B. PEQUEÑAS TERRAZAS ALUVIALES DE LA QUEBRADA PATUMA, ESTACIÓN E86.	54
FIGURA 42. DESLIZAMIENTOS. A. CUERPO DEL DESLIZAMIENTO CANCHA MUNICIPAL (DMM). B. ESCARPE DE DESLIZAMIENTO CANCHA MUNICIPAL. C. CICATRIZ DE DESLIZAMIENTO ANTIGUO ATRÁS DEL CENTRO DE INTEGRACIÓN CIUDADANA. D. CICATRIZ DE DESLIZAMIENTO ANTIGUO AL SUR ESTE DE LA QUEBRADA MARAVÉLEZ DESARROLLADO SOBRE LADERA DE COLINA ONDULADA (DLO).....	55
FIGURA 43. LA CABECERA MUNICIPAL DE VERSALLES SE ENCUENTRA SOBRE DEPÓSITOS DE CENIZA (VZC).	56
FIGURA 44. VISTA DEL MUNICIPIO DESDE LA LADERA NORTE DE LA QUEBRADA PATUMA.....	56
FIGURA 45. APARIENCIA LLENOS MIXTOS (ALL) BARRIO FUNDADORES.....	57
FIGURA 46. A, B LLENO DE ESCOMBROS SOBRE CAUCE QUEBRADA DEL INSTITUTO DE PROMOCIÓN SOCIAL, BARRIO LOS OLIVOS, C. CAUCE SIN RELLENAR QUEBRADA ARRIBA.	58
FIGURA 47. DEPOSITACIÓN DE ESCOMBROS. A. LADERA OCCIDENTAL DE LA QUEBRADA MARAVÉLEZ, BARRIO FUNDADORES. B. LADERA OCCIDENTAL QUEBRADA FUNDADORES, AL NORTE DEL HUNDIMIENTO SOBRE LA MISMA.	58
FIGURA 48. A. CAMBIO ALTIMÉTRICO Y DE PENDIENTE, VISTA DESDE EL NORTE. B. HOMBRERA DE FALLA, VISTA AL ESTE DESDE LAS TRES CRUCES. C. HOMBRERAS DE FALLA AL NW DEL MUNICIPIO. D. SILLETA DE FALLA, AL SUR EN LA CANCHA MUNICIPAL.....	59
FIGURA 49. MAPA GEOMORFOLÓGICO.....	60
FIGURA 50. ARRIBA, FOTOGRAFÍAS DEL DESLIZAMIENTO EN EL AÑO 1997 (TOMADO DE HIDROESTUDIOS, LTDA, 2007). APARIENCIA DEL DESLIZAMIENTO EN 2018.	62
FIGURA 51. CUERPO DE DESLIZAMIENTO.	62
FIGURA 52. ESCARPE DE DESLIZAMIENTO.	63
FIGURA 53. HIATO ENTRE CENIZA AMARILLO OCRE Y CENIZA HABANA.	63

FIGURA 54. PLANO DE FALLA ENCONTRADO DETRÁS DE GRADERÍA CANCHA MUNICIPAL.	64
FIGURA 55. A. CONTACTO DISCONFORME ENTRE SAPROLITO AMARILLO OCRE Y ROCA FANERITICA DE COLOR GRIS VERDOSO. B. ROCA FANERÍTICA BÁSICA DE COLOR GRIS VERDOSO, FRACTURADA Y CON ALTO GRADO DE METEORIZACIÓN	64
FIGURA 56. A. CIRCULACIÓN DE AGUA. B. NACIMIENTOS DETRÁS DE LA GRADERÍA DE LA CANCHA MUNICIPAL.	65
FIGURA 57. A. CUERPO DE DESLIZAMIENTO QUE REMONTA GRADERÍA. B Y C. AGRIETAMIENTO DE GRADERÍA.	65
FIGURA 58. HUNDIMIENTO BARRIO GUAYABITO SOBRE QUEBRADA FUNDADORES. (A) PANORÁMICA DEL HUNDIMIENTO. (B) EVIDENCIAS DE LA PROGRADACIÓN DEL HUNDIMIENTO HACIA EL SUR; (C) HUNDIMIENTO PRINCIPAL A LA ALTURA DEL DEPÓSITO DE MADERA.	66
FIGURA 59. LITOLOGÍA EN LA CORONA DEL HUNDIMIENTO, QUEBRADA FUNDADORES. VISTA ESTE-OESTE.	66
FIGURA 60. A. VÍA CON AGRIETAMIENTO PRODUCIDO POR INESTABILIDAD DE LA LADERA. VISTA AL SUR. B. VIVIENDAS AGRIETADAS. C. VISTA SUR-NORTE DEL DESLIZAMIENTO ANTIGUO EN LA LADERA OCCIDENTAL.	67
FIGURA 61. A. VISTA E-W DE SAPROLITO EXPUESTO POR SOCAVAMIENTO OCASIONADO POR LA ROTURA DE TUBERÍA DE AGUAS NEGRAS AL NORTE DEL PUENTE DE LA CALLE 13, SOBRE LA QUEBRADA FUNDADORES. B. VISTA LATERAL DEL SOCAVAMIENTO.	68
FIGURA 62. A. ZONA EROSIVA Y DE DEPÓSITOS ANTRÓPICOS EN EL BARRIO FUNDADORES. B. DETALLE DE INESTABILIDAD EN EL MISMO LUGAR. C. DEPÓSITOS ANTRÓPICOS QUE OCASIONAN INESTABILIDAD.	69
FIGURA 63. AFLORAMIENTO DE CENIZAS VOLCÁNICAS COLOR AMARILLO OCRE, CON EROSIÓN EN MARGEN DEL TALUD	69
FIGURA 64. EROSIÓN POR TALA DE ÁRBOLES EN LA QUEBRADA MARAVÉLEZ.	70
FIGURA 65. EROSIÓN POR INFLUENCIA DE GANADO AL NOR-ESTE DE LA QUEBRADA MARAVÉLEZ SOBRE UN DEPÓSITO ALUVIAL (QAL).	70
FIGURA 66. ZONA EROSIVA EN LA VÍA QUE CONDUCE AL ANTIGUO MATADERO.	71
FIGURA 67. A. CURVA EROSIVA EN ZONA DE LA PTAR, MUY VEGETADA. B. DETALLE DEL MURO QUE PROTEGE LA LADERA SUR DE LA QUEBRADA PATUMA EN LA PTAR. C. OBSÉRVESE AL NORTE LA CURVA PROTEGIDA POR EL MURO.	72
FIGURA 68. A. ANTIGUO DESLIZAMIENTO ROTACIONAL, AL ESTE DEL CENTRO DE INTEGRACIÓN CIUDADANA	73
FIGURA 69. A. ANTIGUO DESLIZAMIENTO AL ESTE DE LA QUEBRADA MARAVÉLEZ. VISTA DESDE LA ESTACIÓN E26, DETRÁS DEL CENTRO DE INTEGRACIÓN CIUDADANA.	73

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. SITIOS CON REMOCIÓN EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE VERSALLES .	74
-------------------------------------------------------------------------------------	----

RESÚMEN

Con el propósito de definir la geología del área urbana del municipio de Versalles a escala 1:2.000, se efectuó la revisión bibliográfica de la información existente en los campos de la geología, geomorfología, cartografía e imágenes satelitales y de fotografías aéreas existentes en diferentes escalas. Con esta información se inició el trabajo de reconocimiento en el campo, definiendo los rasgos geomorfológicos, litológicos y estructurales de la cabecera del municipio. Adicionalmente, se obtuvo información acerca de los lugares que han sido afectados por movimientos en masa o inestabilidad de laderas, con el fin de establecer los lugares de afectación y los sectores vulnerables en cuanto a población e infraestructura. Como resultado de las anteriores actividades se obtuvo los siguientes mapas geológico, geomorfológico y unidades superficiales.

INTRODUCCIÓN

El presente informe de Geología y Geomorfología en la zona urbana del municipio de Versalles Valle del Cauca, hace parte del Convenio Interadministrativo N°0205 de 2017 entre la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC y La Universidad de Valle , el cual tiene como objeto *“Aunar Esfuerzos Técnicos y Recursos Económicos para la Elaboración de los Estudios de Zonificación de Amenaza y Vulnerabilidad y Escenarios de Afectación para las Áreas Urbanas de los Municipios de Bolívar, Versalles y Roldanillo en el Valle del Cauca.*

Se inició con la revisión bibliográfica con el fin de obtener la información geológica y geomorfológica existente para el municipio, seguido de un estudio fotogeológico en el que se interpretó el vuelo: IGAC, C2787 fotos 22 y 23 del año 201y el vuelo CVC, C1260 fotos 138 y 139 del año 1969.

Posteriormente se realizaron actividades de reconocimiento en campo donde se corroboraron y definieron la geología, las unidades superficiales, la geomorfología y los procesos morfodinámicos y de remoción en masa; además de las áreas susceptibles a movimientos en masa y zonas erosivas presentes en el área urbana del municipio de Versalles.

Finalmente se elaboró el mapa geológico, geomorfológico y de formaciones superficiales, además de construir el informe del trabajo realizado.

OBJETIVO GENERAL

Realizar el levantamiento de información Geológica y Geomorfológica a fin de generar la cartografía necesaria para la Evaluación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa en la zona urbana del municipio de Versalles en el departamento del Valle del Cauca.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Compilación y Revisión de la información geológica y geomorfológica, fotografías aéreas y satelitales.
2. Interpretación de las fotografías aéreas e imágenes satelitales disponibles para la identificación de rasgos geomorfológicos, litológicos y estructurales.
3. Control de campo con mapas en escala 1:2000. (reconocimiento, comprobación de unidades Geomorfológicas y superficiales fotointerpretadas, ajuste de contactos, toma de datos estructurales, morfodinámicos y muestreo sistemático de roca y suelos.
4. Edición y presentación de la versión final de los mapas Geomorfológicos y de Unidades superficiales escala 1:2.000.

ALCANCE

Realizar la geología y la geomorfología del área urbana del municipio de Versalles, Valle del Cauca a escala 1:2000, además de identificar con el trabajo de campo las áreas susceptibles a inundaciones y zonas erosivas o con movimientos en masa presentes en el área urbana.

1 LOCALIZACIÓN

El área de estudio se localiza en la zona urbana del municipio de Versalles al noroeste del Departamento del Valle del Cauca, a 163 km de la ciudad de Cali. Limita con el Cairo, Argelia al Norte, El Dovio al Sur, La Unión, Toro al Este y con el departamento del Chocó al Oeste (ver Figura 1). La cabecera municipal se encuentra a 1864 m.s.n.m., y cuenta con una temperatura promedio de 18 °C.

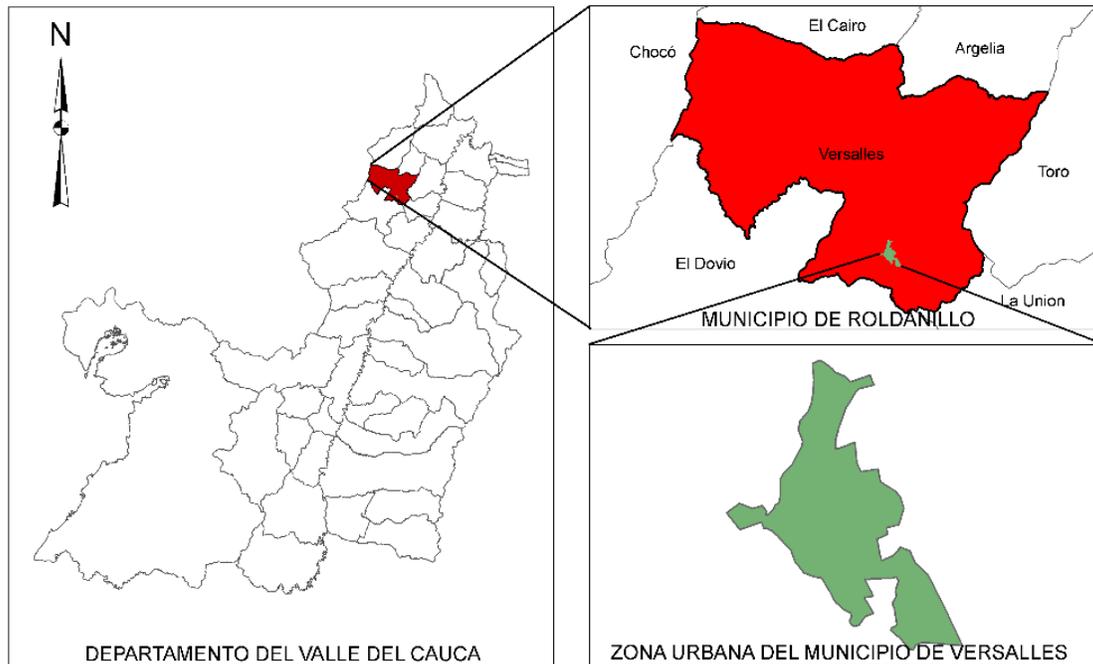


Figura 1. Mapa de localización zona urbana del municipio de Roldanillo.

Fuente: elaboración propia

La topografía del municipio es típicamente quebrada y montañosa, posee una extensión aproximada de 196.76 Km². El sistema hidrográfico está compuesto por el río Garrapatas y 8 microcuencas (CORPOVERSALLES, 2012), sin embargo, para este estudio se considera importante detallar el sistema hidrográfico del área urbana el cual compromete las quebradas La Suiza, Fundadores, Maravélez y Patuma.

2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

En este apartado se presenta la geología regional del municipio de Versalles en la que se compilan las descripciones generales realizadas para la Formación Volcánica (Kv), el Complejo estructural Dagua (Kd), los Depósitos sedimentarios o vulcano-sedimentarios del Cuaternario (Cenizas Volcánicas, terrazas, conos, aluviones); también se presenta la Geología Estructural donde se tiene en cuenta los trazos regionales basados en la información del Servicio Geológico Colombiano – SGC.

Con la relación a la geología local se muestra el Mapa Geológico resultante del trabajo en campo y las descripción de los afloramientos encontrados en el área urbana del municipio.

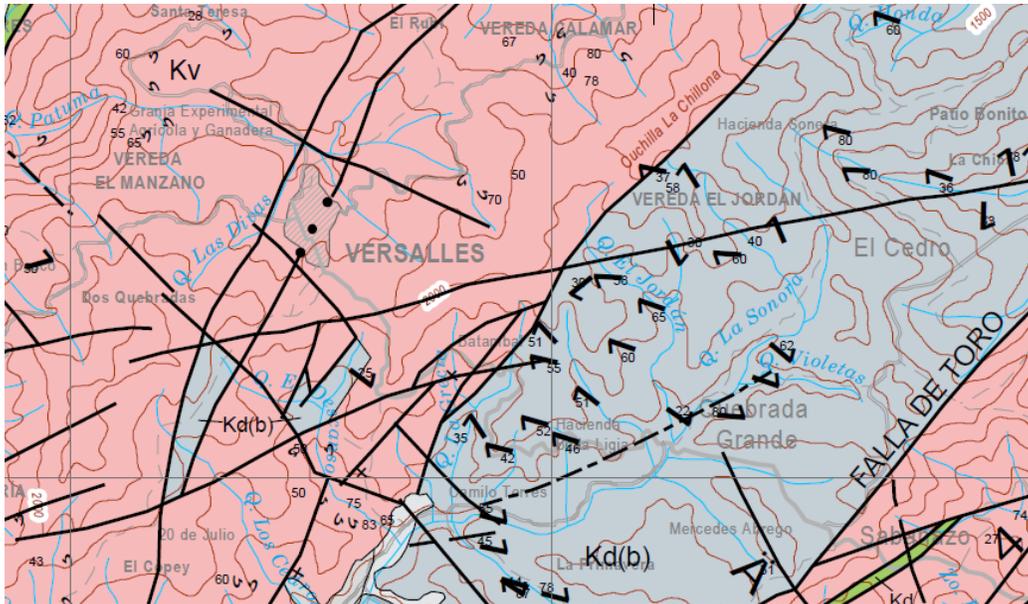
Se presenta el mapa de Unidades Geológicas Superficiales, (Unidades Suelos transportados), también se incluye el Mapa Geomorfológico (los respectivos análisis, resultados y discusiones) para lo que se cartografiaron los elementos geomorfológicos y se reconocieron geformas de origen volcánico, fluvial, denudacional, antrópico y estructural.

2.1 GEOLOGIA REGIONAL

Según Moreno Sánchez y Pardo Trujillo (2003), el territorio colombiano se divide en dos provincias geológicas: el Oriente colombiano constituido por rocas ígneas y metamórficas del Precámbrico y del Paleozoico, intruídas por plutones granitoides (Nivia, 2001) separado del Occidente colombiano por el trazo de la Falla Cauca-Almaguer (Maya y González, 1995), o Falla Romeral (Case et al. 1971), ubicada a lo largo del flanco occidental de la Cordillera Central, considerada un rasgo continuo que viene desde Ecuador (Meissner, et al., 1976).

Para el presente estudio se utilizó como base la plancha geológica 242 Zarzal, Valle del Cauca (INGEOMINAS, 1995) a escala 1:100.000, adicionalmente se tomó como referente la nomenclatura usada en esta plancha, con el fin de unificar criterios en la denominación de las formaciones geológicas ya establecidos por el Servicio Geológico Colombiano y que ha sido utilizada en este tipo de trabajos a nivel nacional.

De acuerdo con la plancha geológica 242 Zarzal (ver Figura 2) la geología reportada para este municipio corresponde principalmente a rocas cretácicas volcánicas (Kv) en el área urbana y rocas cretácicas metasedimentarias en algunos sectores del área rural.



QPcv

CENIZAS VOLCÁNICAS

Acumulaciones espesas locales de cenizas volcánicas de composición riolítica. Hacia el borde oriental de la Cordillera Occidental han sido involucradas en procesos fluviales y acumulados en abanicos.

Kv

FORMACIÓN VOLCÁNICA

Lavas basálticas localmente en flujos masivos. Incluye diabasas e intercalaciones de chert. Con metamorfismo de fondo oceánico, indicado por la presencia de prehnita y pumpellyita. (Cretácico Superior).

Kd(a) Kd(b) Kd(c) Kd(d) Kd(e) Kd(f)

COMPLEJO ESTRUCTURAL DAGUA

Rocas que varían dentro de un amplio espectro de deformación sin presentar recristalización importante. Esta deformación depende de la competencia de la roca que es mayor en las finogranulares que presentan hasta dos foliaciones S1 y S2.

- a) Protomilonitas a milonitas de protolito samítico que incluye bancos de arenitas.
- b) Milonitas y ultramilonitas de protolito pelítico.
- c) Brechas y aglomerados.
- d) Tobas.
- e) Chert.
- f) Calizas.

En las áreas indicadas como Kd, la presencia de la unidad es interpretada.

Figura 2. Mapa Geológico Plancha 242 – Zarzal (Valle del Cauca-Colombia)..

Fuente: con datos de Nivia et al., 1995

A continuación, se describen los conjuntos litológicos que afloran en el municipio de Versalles y que han tenido influencia en el desarrollo de depósitos cuaternarios como coluviones; terrazas y aluviones.

2.1.1 Formación Volcánica (Kv)

El nombre de esta formación fue propuesta por Aspden et al. (1985) y la definieron para las rocas volcánicas básicas (diabasas, basaltos, lavas almohadilladas e intrusiones de gabro) que afloran al Occidente de la Falla Cali-Patía, en el departamento del Valle del Cauca. También se menciona que no se encuentra bien definida la estructura y estratigrafía de esta unidad debido al desarrollo de regolitos espesos y a la presencia de fallas regionales principales. Sin embargo, las evidencias disponibles indican que la dirección de los flujos lávicos es aproximadamente paralela a la dirección principal de elongación de las escamas imbricadas que buzan en general, hacia el este. Estas mismas evidencias sugieren que la unidad es más joven hacia el oeste (Nivia, A., 2001).

Nivia et al., 1995, mencionan que esta unidad consiste esencialmente en lavas basálticas, silos y diques diabásicos con cataclasis intensa caracterizada por la presencia de cuñas y escamas de roca que varía dentro de un amplio espectro de tamaños y presenta también fracturamiento aleatorio con rellenos de cuarzo y epidota; características que indican que la roca fue sometida a un cizallamiento importante. En la vecindad de las fallas principales, que la ponen en contacto con otros tipos de roca, se presentan zonas de basaltos con una marcada deformación penetrativa –que en varios sectores puede alcanzar un ancho de 400 m- que se podrían describir como deformación milonítica. Localmente; sin embargo, se presentan flujos masivos de basaltos sanos con desarrollo ocasional de diaclasamiento columnar. También se observaron flujos de lavas almohadilladas. En general los basaltos son verde oliva a verdes grisáceos, afaníticos y afíricos, aunque, en el centro de algunos flujos masivos, se observaron variedades porfiríticas con fenocristales de piroxeno.

Dentro de los basaltos se presentan horizontes delgados de rocas sedimentarias que varían en espesor entre 70 y 90 cm. Están constituidos por limolitas silíceas, lodolitas y cherts. Los cherts son negros a grises oscuros y exhiben cataclasis intensa manifiesta por la presencia de numerosas venillas de cuarzo distribuidas al azar; en las limolitas y arcillolitas la estratificación original ha sido obliterada por el desarrollo de foliación de tipo clivaje pizarroso. En algunos afloramientos estas rocas se encuentran tan intensamente mezcladas con los basaltos que la única manera de describirlas es como ‘zonas de melange’ en el cual los basaltos, cherts y sedimentitas terrígenas se presentan intensamente replegados y fallados.

2.1.2 Complejo Estructural Dagua (Kd)

De acuerdo con Nivia et al., 1995, éste Complejo, agrupa todas las rocas que presentan evidencias de acumulación por procesos sedimentarios durante su génesis y que han sido deformados, en mayor o menor grado, por procesos tectónicos. Algunas de ellas, sin embargo, como tobas y aglomerados presentan además un componente importante de acumulación por procesos de actividad volcánica y están claramente relacionados con los basaltos de la *Formación volcánica (Kv)*.

El rasgo más importante de las rocas de esta unidad lo constituye la presencia de una deformación penetrativa de los componentes de la roca que conduce a la generación de clivajes o foliaciones. Esta deformación es diferente para cada tipo de roca y depende de su comportamiento mecánico.

Ésta ha conducido a la formación de milonitas de diferentes características texturales. En general las rocas pelíticas como arcillolitas o lodolitas dan origen a milonitas y ultramilonitas, mientras que aquellas de protolito samítico como arenitas y wacas resultan en protomilonitas y milonitas.

Protomilonitas a milonitas de protolito samítico – Kd (a). Estas rocas son abundantes al occidente de la Plancha 242. Se trata esencialmente de wacas líticas o grawacas, cuyos componentes sedimentarios han sido rotados, elongados y soldados produciendo una marcada foliación. Donde se presentan intervalos espesos de estas rocas se conserva claramente la estratificación original que exhibe estratos de espesor medio con estratificación plana paralela, continua.

Milonitas y ultramilonitas de protolito pelítico – Kd (b). Esta es la roca más abundante dentro de esta unidad y sus áreas de afloramiento principal se encuentran hacia el oriente de la cordillera. Se trata de rocas finogranulares que en muestra fresca presentan color gris oscuro a negro, pero que comúnmente se encuentran alteradas a tonos de amarillo ocre y crema.

Brechas y aglomerados – Kd (c). Estas rocas se diferencian en el campo por la presencia de gravas muy gruesas a cantos de tobas verde claras embebidas en una pasta o matriz basáltica verde oscura. El tamaño de los fragmentos varía ampliamente desde arena muy gruesa hasta aproximadamente 15 cm de intercepto. Su forma es irregular de baja esfericidad y buena redondez. En los sitios donde estas rocas afloran en la vecindad de milonitas y ultramilonitas han sido deformadas intensamente. Durante esta deformación los fragmentos presentan comportamiento menos incompetente que la matriz por lo que normalmente son estirados y budinados o fragmentados, mientras que la matriz fluye claramente por entre estos. Siguiendo la terminología de Higgins (1971) estas rocas deformadas se pueden describir en campo como neis-milonitas.

Tobas – Kd (d). Estas ocurren normalmente en estratos que varían de espesor de medio a muy grueso, que internamente muestran una estructura fluidal desarrollada sobre bandas irregulares alternantes de color negro, verde oliva y verde pálido.

Cherts - Kd (e). Asociado principalmente a las milonitas y ultramilonitas de protolito pelítico, a los basaltos y también a las fallas que limitan tipos principales de roca se presentan cherts negros y grises pálidos –con color de meteorización característico a blanco- en bancos delgados de estratificación plana, paralela, continua, normalmente deformados en pliegues similares y disarmónicos. Las características de deformación presentadas por estos cherts, tales como fracturamiento cataclástico, relleno por numerosas venillas de cuarzo y budinamiento de los estratos cuando ocurren interestratificados con lodolitas y limolitas, indican que estos cherts fueron las rocas que comportaron ante los esfuerzos de manera más competente en esta unidad. Budines individuales aislados de cherts que pueden alcanzar 1 m de largo se presentan asociados principalmente a milonitas y ultramilonitas de protolito pelítico.

Calizas – Kd (f). Horizontes que no sobrepasan los 25 m de espesor de bancos delgados interestratificados de calizas negras micríticas, lodolitas mixtas de terrígenos y carbonatos y bancos de cherts se presentan en varias localidades dentro de esta unidad. En estos horizontes la estratificación es plana, paralela, continúa y se presenta deformada en pliegues similares.

2.1.3 Depósitos

Corresponde a todas aquellas acumulaciones de materiales sedimentarios o volcano-sedimentarios mal cementados que no presentan evidencias de haber sufrido un proceso de diagénesis. Se incluyen materiales cuya edad se cree sea pliocena o más joven y que se extienden sin diferenciación sobre toda el área de la Plancha 242, tanto sobre las cordilleras como sobre el valle aluvial del río Cauca (Nivia et al., 1995).

2.1.3.1 Cenizas Volcánicas – *QPcv*

En los alrededores de la Primavera, el Naranjal y el Dovio se presentan depósitos de cenizas volcánicas de composición dacítica a riolítica que pueden alcanzar 20 m de espesor. En muchas partes, sobre la Cordillera Occidental, al oriente de la línea definida por la extensión de la Q. Cajamarquita existe una delgada capa (esp. máx. 30-40 cm) de cenizas que cubre toda una topografía preexistente y que varía en espesor dependiendo de esta topografía, siendo normalmente más gruesa en las depresiones –donde se ha conservado- y muy delgada o inexistente en áreas de relieve pronunciado –de donde ha sido lavada-. En los alrededores de la Unión y de Toro han sido involucradas en procesos sedimentarios y se han depositado formando abanicos aluviales constituidos esencialmente por estas cenizas volcánicas.

Es aceptado que los centros de emisión de cenizas volcánicas están ubicados en la Cordillera Central, proporcionando los depósitos de cenizas encontrados en la Cordillera Occidental; estos son atribuidos al complejo Ruiz-Tolima y al Cerro Machín (Modificado de Nivia et al., 1995).

2.1.3.2 Terrazas – *Qta*, *Conos* – *Qca* y *Aluviones* – *Qal*

Asociados a los ríos y corrientes principales se presentan depósitos sedimentarios de materiales sueltos con amplia variación en cuanto a su composición y tamaño de grano. Una característica interesante de aquellos asociados a las rocas terciarias es que debido a que se están desnudando conglomerados, los aluviones son ricos en componentes sedimentarios cuyo desgaste y redondeamiento ocurrió durante el proceso de formación de los conglomerados. Algunos de los aluviones más extensos están siendo sometidos a erosión e incluso algunos presentan aluviones confinados entre las caras de erosión. Esto implica que se ha presentado un rejuvenecimiento del ciclo de erosión, y por esta razón estos aluviones han sido separados como terrazas. La magnitud del rejuvenecimiento es, sin embargo, ligera y las diferencias de nivel entre los aluviones depositados entre estas terrazas y la altura de ellas no es muy grande. Hacia el valle aluvial del río Cauca las terrazas pasan al valle a través de una transición más que dé un paso o escalón de terraza bien definido. (Nivia et al., 1995).

2.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

En la Plancha 242 se reconocen dos tipos de deformación:

1. D1, observable únicamente en las rocas cretácicas de la Cordillera Occidental, evidenciada por una marcada foliación o clivaje S1. Nivia et al., (1995), argumenta que es el resultado de un proceso continuo de acreción por subducción y la consecuente formación de un

prisma acrecionario donde la deformación principal se produce por imbricación de cuñas o escamas de los fragmentos corticales involucrados en el prisma.

2. D2, afecta las rocas cretácicas de la Cordillera Occidental y se manifiesta por el desarrollo de pliegues isoclinales, plegamiento en chevrón de los planos de foliación S1 y fallas de cabalgamiento con movimiento en sentido E-W. También afecta las rocas pre-pliocenas de la Cordillera Central generando pliegues amplios con vergencia hacia el noroccidente. Los mismos autores sustentan que corresponde al reajuste mecánico de este prisma y la deformación de los sedimentos depositados por encima de este, durante la orogenia andina.

Las rocas en esta zona se encuentran afectadas por un complejo sistema de fallas regionales, donde predominan direcciones de fallamiento N20°-30°E, N60°-70°E y N40°-50°W, (Nivia et al., 1997).

Nivia et al., (1995), señalan que el lineamiento principal es el de dirección N20-30E y el N40-50W es secundario, además que corresponden a su vez con los principales sistemas de fallamiento identificados, también identifican un sistema principal de fallamiento definido por superficies de falla con rumbo N60-70E.

Los cinturones litológicos definidos para el análisis estructural comprenden dos fajas basálticas y dos miloníticas; sus límites están representados, por fallas con dirección N20-30W que han sido segmentadas y desplazadas localmente por otros sistemas de fallamiento (Nivia et al., 1995).

Fallamiento N20°-30°E. Las relaciones entre los tres sistemas de falla principales parecen indicar que este sistema de fallas es el más antiguo, cuyas fallas al poner en contacto tipos diferentes de rocas, definen los cinturones litológicos principales del área que tienen una marcada tendencia NNE-SSW (Nivia et al., 1995).

Fallas Cali-Patía y Dagua-Calima en la Cordillera Occidental, son fallas inversas de alto ángulo y rumbo deslizantes. (INGEOMINAS, 2005). McCourt et al. (1984) postulan que la Falla Cauca-Almaguer (Sic. Falla de Romeral), pertenece a este sistema de fallamiento.

Las fallas de este sistema en la Plancha 242, de Oriente a Occidente son: la Falla de Roldanillo (presenta una tendencia general de orientación Norte-Sur y rumbo de N17°E), con componente principalmente inversa, y es considerada potencialmente activa (Peña-Martínez y Mosquera-Antury, 2010). Para Barrero (1979), esta falla separa las rocas ultramáficas del cinturón de basaltos UP. Estos a su vez están limitados al occidente por la Falla Toro (Parra et al., 1984)-Andinapolis (Barrero 1979) que los pone en contacto con un cinturón de metapelitas QD. Este está limitado al Occidente por la Falla del Dovio que pone a su vez en contacto hacia el Occidente estas metapelitas con basaltos del cinturón VN (Nivia et al., 1995).

Fallamiento N40°-50°W. Se presentan en trazos segmentados dispuestos a manera de “Echelon” donde se producen movimientos sinestrales que algunas veces desplazan las fallas del Sistema N20°-30°E (Lozano, 1986). La falla Naranjal hace parte de este sistema y atraviesa la Cordillera Occidental. En el área de la Plancha 242 controla la depresión sobre la cual se formó el valle intramotano del Dovio y la Falla de las Cañas que desplaza el valle aluvial del río Cauca.

Fallamiento N60°-70°E. No tiene una relación temporal clara con el sistema de fallamiento N20-30E, pero se observan movimientos laterales derechos que desplazan cuñas de roca limitados por fallas orientadas N40-50W. McCourt et al (1984) postulan que el sistema de fallas N40-50E es más joven que el N60-70E porque a diferencia de este, el primero corta la superficie discordancia entre las unidades sedimentarias Paleógenas y Neógenas aflorantes en las estribaciones de la Cordillera Occidental (INGEOMINAS, 2005).

2.3 GEOLOGÍA LOCAL

En este capítulo se describen la geología, las unidades superficiales, la geomorfología y los procesos morfodinámicos además de zonas erosivas o con fenómenos de remoción en masa presentes en el área urbana del municipio de Versalles

2.3.1 Mapa Geológico local

Para la definición de la geología del área urbana del municipio se hizo el reconocimiento o recorrido de campo donde se realizaron puntos de chequeo y observación de las características geológicas, geomorfológicas y estructurales del área; estas estaciones fueron graficadas en un mapa de estaciones de campo (ver Figura 3) y fue una de las herramientas para la elaboración de los mapas objeto de este estudio.

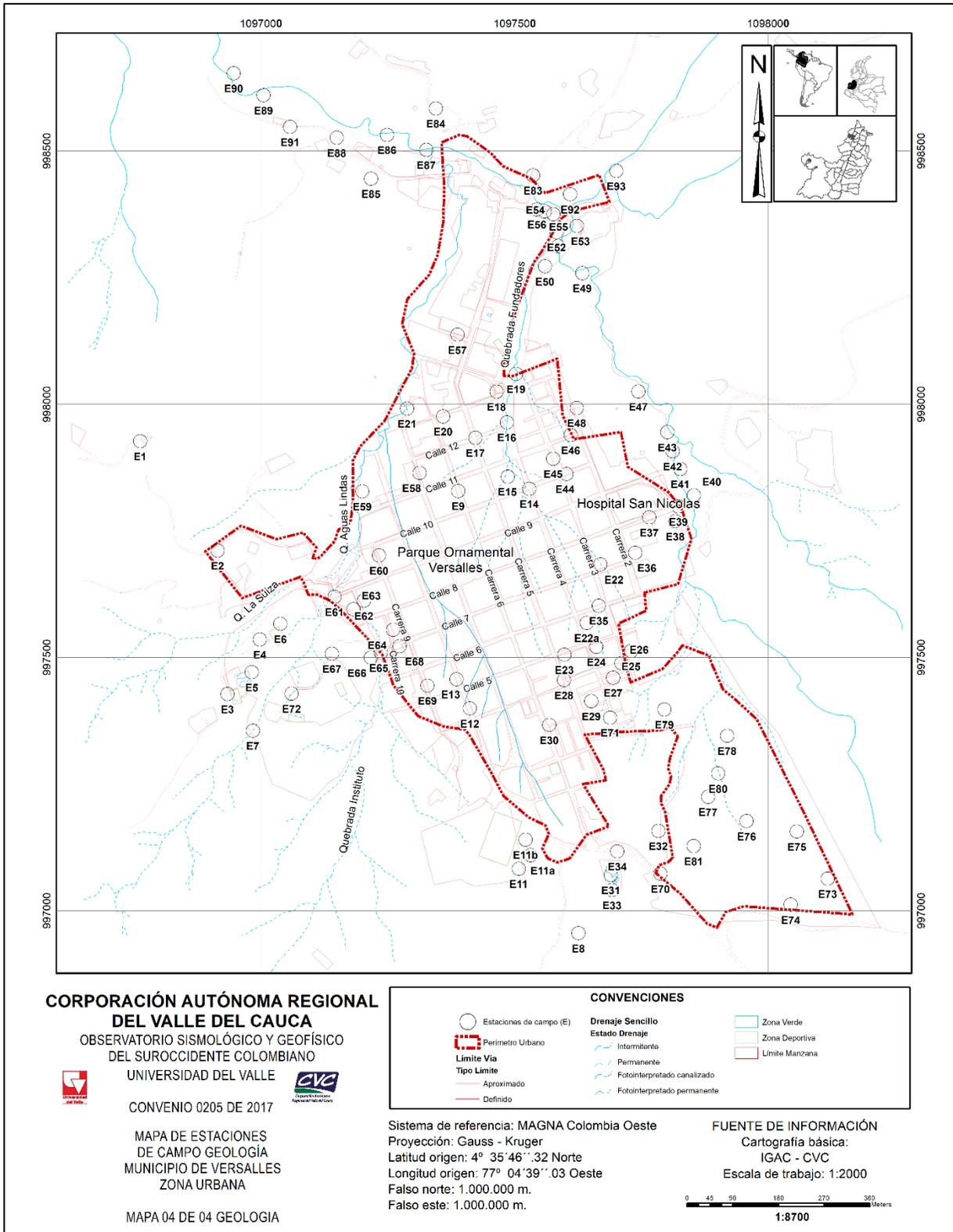


Figura 3. Mapa de Estaciones de Campo área urbana del municipio de Versalles.

Fuente: elaboración propia.

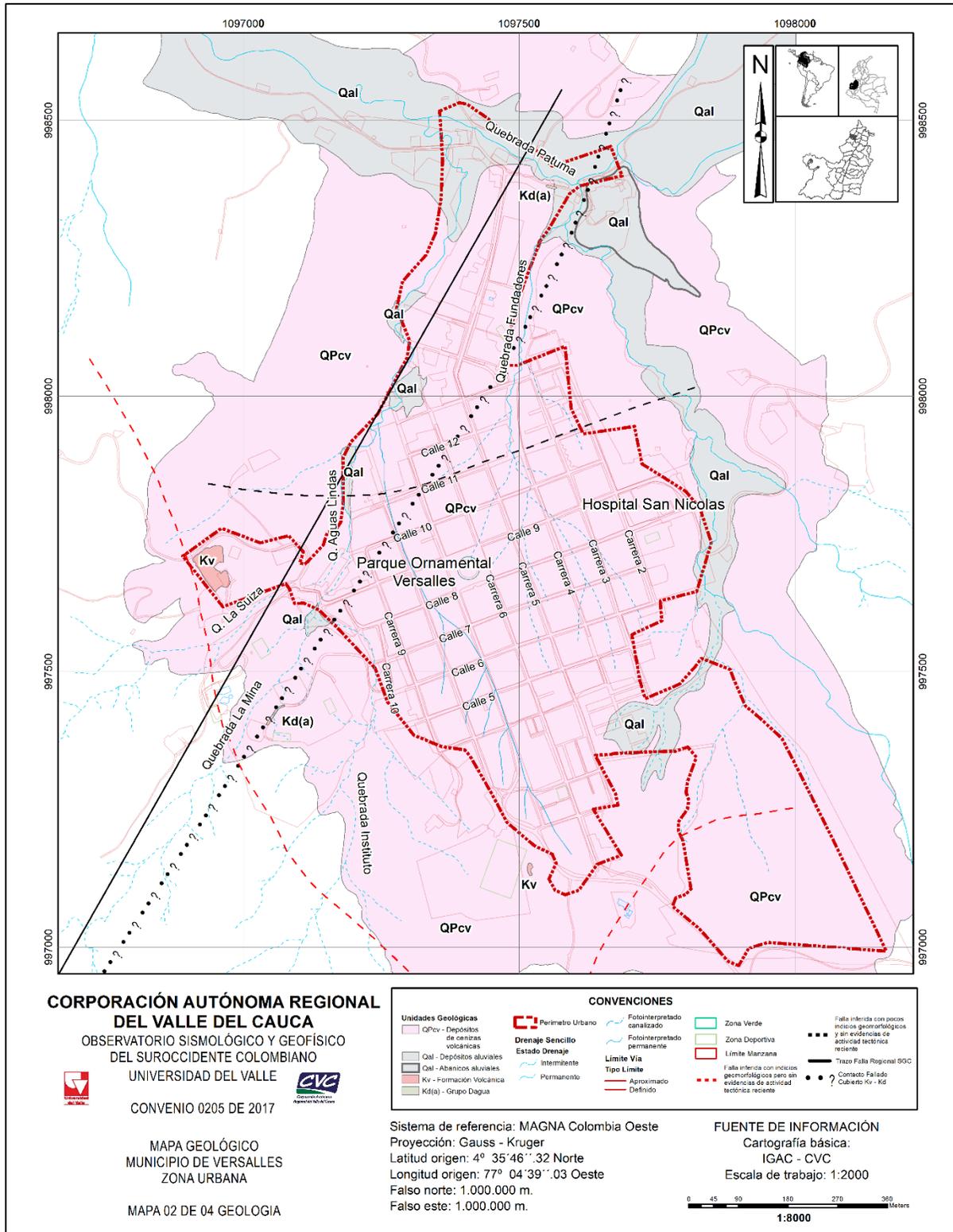


Figura 4. Mapa Geológico del área urbana del municipio de Versalles.

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 4 se muestra la geología en el área urbana, la cual, está conformada de base a techo por rocas dioríticas de la Formación Volcánica (K_v), suprayacidas generalmente por dos secuencias de cenizas volcánicas de composición dacítica (QP_{cv}) que alcanzan un espesor máximo de 6m y que a su vez están separadas por un hiato o tiempo de no depositación (nivel plásico Aguirre, 2018 com, pers). Esta secuencia se puede observar en la cancha municipal (ver Figura 5), la cual ha sido expuesta por un deslizamiento actualmente inactivo al sur occidente de la cabecera municipal. También se observaron depósitos aluviales como terrazas y flujos de escombros en las áreas de influencia de las quebradas La Suiza, La Mina, Maravélez y Patuma.

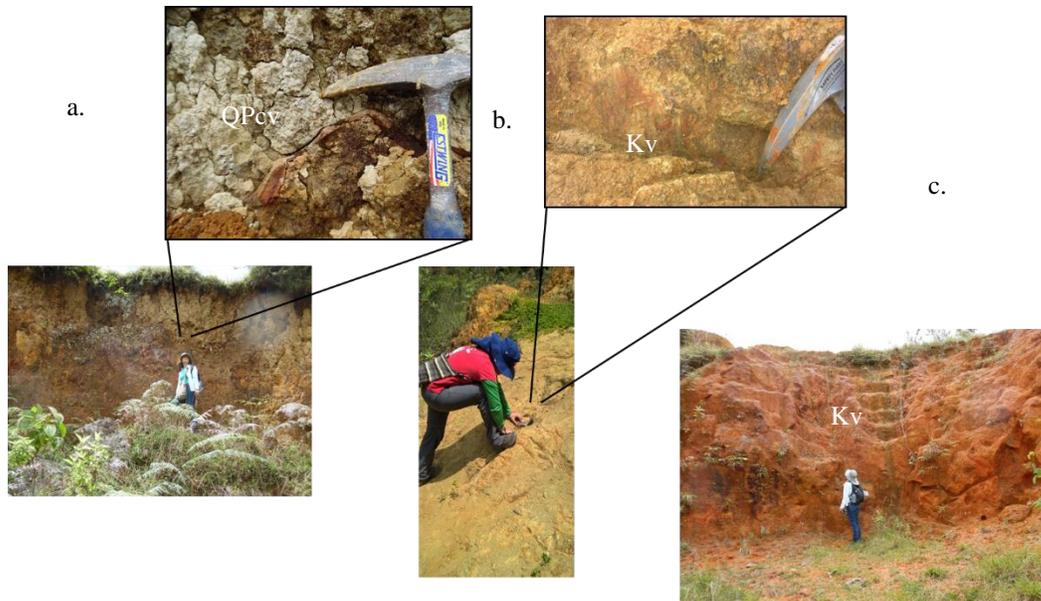


Figura 5. Afloramientos al SW del área urbana (cancha municipal). **a.** Secuencia de cenizas volcánicas (QP_{cv}) separadas por un hiato (nivel plásico). **b.** Diorita de la Formación Volcánica (K_v). **c.** Sapolito rojo de la Formación Volcánica (K_v).

Fuente: fotografías propias

2.3.2 Formación volcánica (K_v)

Esta formación está conformada en el área urbana por una roca fanerítica básica de color gris verdoso, con fenocristales de piroxenos; se encuentra altamente meteorizada y presenta venas de cuarzo y plagioclasa (ver Figura 6). Esta roca fue clasificada como una diorita (epidota 40%, piroxeno 10% y plagioclasas 50%) que afloran como roca únicamente en el sector de la cancha municipal ya que en el 99% del área urbana fue observada como un sapolito de color rojo con un espesor máximo de 4.5m, (ver Figura 6, 7 y 8). En el sector del barrio La Neblina, en una trinchera realizada por la constructora para la construcción del alcantarillado, se observó de tope a base, 2.5m de ceniza volcánica suprayaciendo el perfil de alteración de la Formación Volcánica (K_v), conformado por 4 m de laterita color rojo y ocre en la parte superior y en el tope se diferencia la roca muy alterada y diaclasada (ver Figura 9).

También es importante mencionar que el comportamiento de este material cuando está expuesto a la humedad es muy plástico.



Figura 6. Diorita de color gris verdoso, fracturada y con alto grado de meteorización, sector de la cancha municipal, estación E11.

Fuente: fotografías propias



Figura 7. Saprolito de la Formación Volcánica (Kv), antigua Plaza de Toros, estación E2

Fuente: fotografías propias

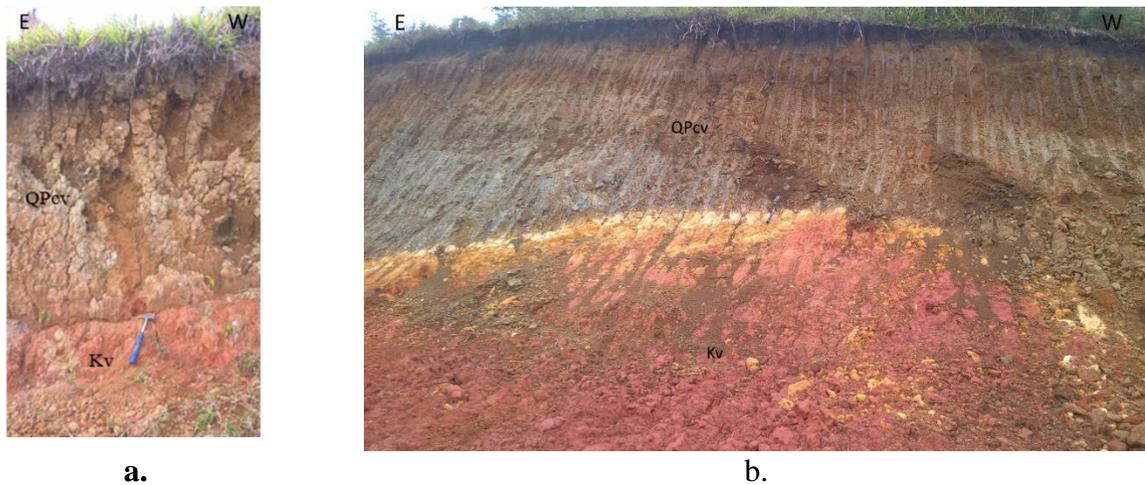


Figura 8. Contacto conforme entre saprolito de la Formación Volcánica (Kv) y Cenizas volcánicas (QPcv) al SE del área urbana. **a.** Parte baja del barrio La Neblina (zona de expansión) estación E27. **b.** Parte alta del barrio la Neblina, estación E74.

Fuente: fotografías propias

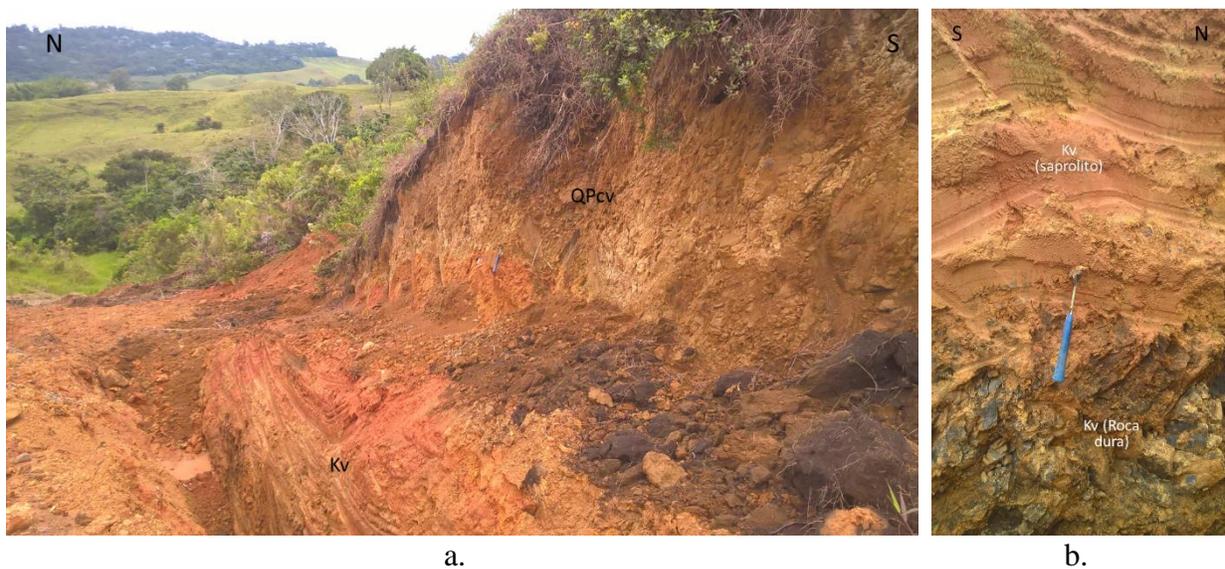


Figura 9. a. Vista general de la trinchera realizada por la constructora, se observa de base a techo el saprolito rojo de la Formación Volcánica (Kv), infrayaciendo las Cenizas volcánicas de color habano claro (QPcv). **b.** Perfil de meteorización de la Formación Volcánica (Kv)

Fuente: fotografías propias

2.3.3 Complejo Estructural Dagua (Kd)

Está representado en el municipio por rocas metasedimentarias, que afloran al norte del casco urbano sobre la vía que conduce al antiguo matadero (estación E55). En este sitio se encontró un pequeño afloramiento de metarenitas silíceas diaclasadas, que aún conservan indicios de su

estratificación (ver Figura 10a y 10b); suprayacidas por depósitos de ceniza. En la estación E91, al Este del antiguo matadero afloran de base a techo 2.5m de metarenita color amarillo ocre, con alto grado de meteorización (es posible diferenciar un poco de estratificación); al tope reposa discordantemente un flujo de escombros matriz-soportado con espesor de 2.5m (ver Figura 10c).



a.



b.



c.

Figura 10. a. Afloramiento de metarenita del Grupo Dagua (Kd) al sur del área urbana. Estación E55 b. Detalle del diaclasamiento en metarenita silícea. c. Contacto discordante entre Metarenitas con alto grado de meteorización (Kd) y Flujo de escombros (Qal), estación E93.

Fuente: fotografías propias

Rocas metasedimentarias del Grupo Dagua también fueron observadas en la estación E19, donde el perfil del suelo fue expuesto por socavamiento ocasionado por la rotura de tubería de aguas servidas en la quebrada Fundadores (ver Figura 11a, b). En este lugar se observan de base a techo lutitas grises y blancas (con alto contenido de cuarzo), presentan oxidación y alto grado de meteorización, su comportamiento es muy plástico debido a que están expuestas a la humedad (ver

Figura 11c), gradualmente hacia el tope pasan a ser metarenitas (con guijos de chert y cuarzo) de color crema, ocre y rojizas que gradualmente pasan a ser de color rojo vino, estas metarenitas están foliadas y presentan micropliegues (ver Figura 11d); al tope se observan 2.5m de cenizas volcánicas de color amarillo ocre.

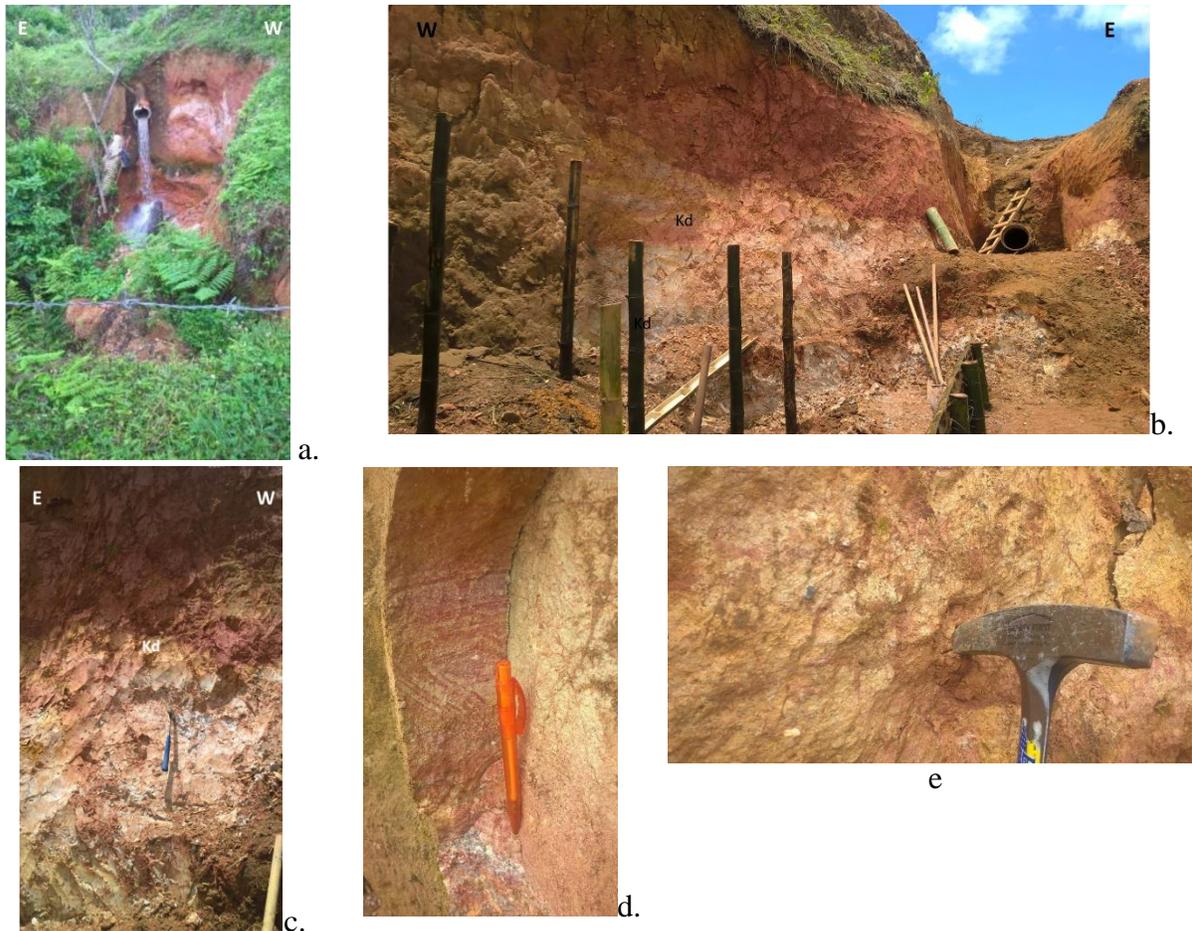


Figura 11. **a.** Perfil de suelo expuesto por socavamiento provocado por la rotura de tubería en el sector norte de la quebrada Fundadores, **b.** Vista general del afloramiento. **c.** Metarenitas muy meteorizadas del Grupo Dagua. **d.** Detalle de micropliegues en metarenitas. **e.** Detalle del contenido de guijos de Cuarzo y Chert.

Fuente: fotografías propias

También afloran en la zona del Instituto de Promoción Social sobre la vía interna, como un basamento metasedimentario de color amarillo crema, que presenta foliación muy marcada. Se logró diferenciar que su protolito corresponde a una arenisca de grano fino a muy fino, estas rocas están suprayacidas por una capa de cenizas volcánicas de 1.5m (ver Figura 12).

Por las características de la roca se podría asignar ésta a la subunidad *Protomilonitas a milonitas de protolito samítico – Kd (a)* del Grupo Dagua descritas en la Plancha 242 Zarzal.



a.



b.

Figura 12. a. Metarenitas silíceas con foliación en la zona del Instituto de Promoción Social. **b.** Detalle de la foliación.

Fuente: fotografías propias

2.3.4 Depósitos de Cenizas Volcánicas (QPcv)

Esta unidad es la formación más importante encontrada en la zona de estudio. Está conformada por cenizas volcánicas de composición dacítica (cuarzo, plagioclasa, biotita, anfíbol y matriz vítrea). Estas cenizas están dispuestas de manera conforme sobre las rocas y saprolitos de la Formación Volcánica (Kv) y las rocas del Grupo Dagua (Kd).

Se reconocieron dos eventos deposicionales; uno inferior que corresponde a cenizas dacíticas de color amarillo ocre, separado por un nivel centimétrico de color naranja que corresponde con un periodo de no depositación o erosión (hiato). Suprayaciendo este se dispone otro evento de cenizas volcánicas dacíticas de color habano claro en muestra seca.

El espesor promedio para cada uno de los eventos es de 2m; sin embargo, en algunos sectores la columna de cenizas llega a tener un espesor de 6m, esto se puede observar en la Estación E30 (carrera 6 entre calles 3 y 4).

Es importante anotar que el comportamiento de este material cuando está expuesto a la humedad es plástico.

En la Figura 13, se muestran los diferentes afloramientos de esta unidad en el área urbana. Específicamente en la figura 13c, se expone el contacto entre ceniza volcánica de color habano con un espesor de 2m en la parte superior, separada por un hiato de 3 cm. Estos a su vez, suprayacen una capa de 3m de ceniza volcánica de color amarillo ocre.

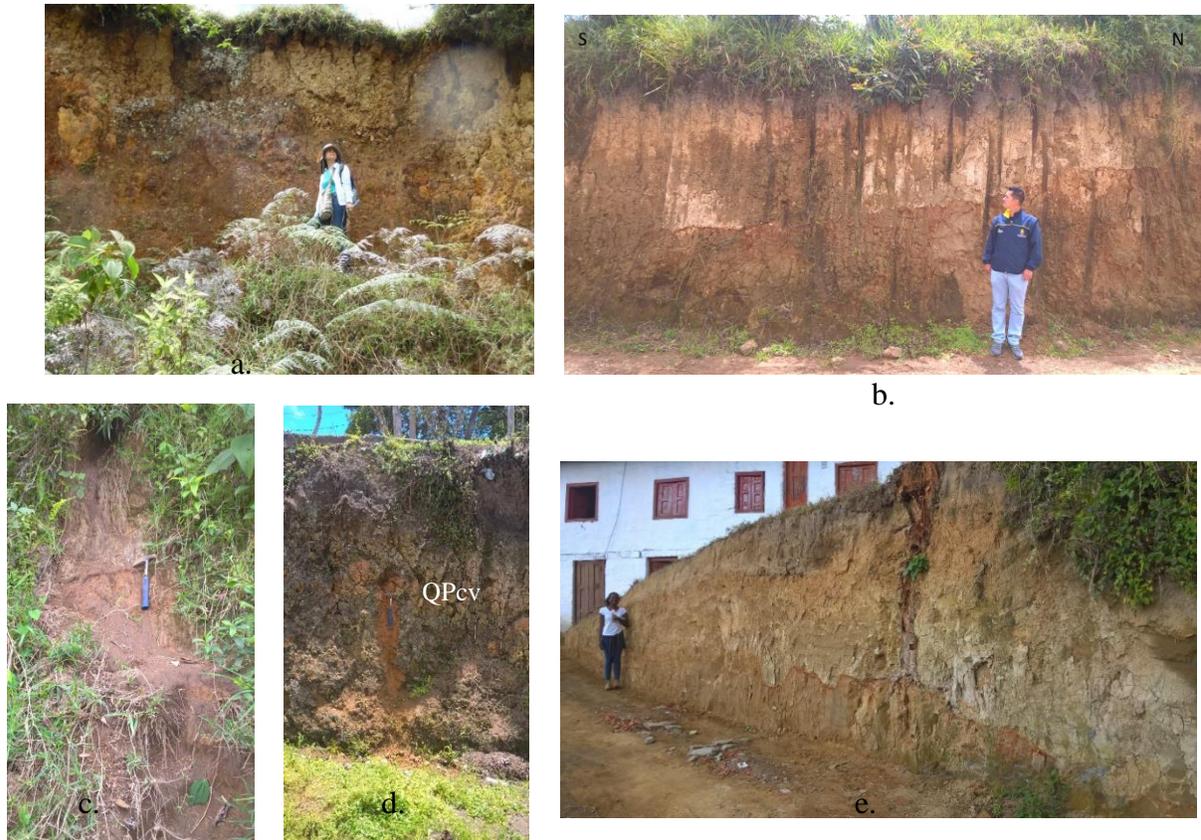


Figura 13. **a.** Vista E-W del contacto entre evento de cenizas volcánicas amarillo ocre a la base y cenizas color habano claro al techo. En la cancha municipal. **b.** Contacto entre evento de cenizas volcánicas amarillo ocre a la base y cenizas color habano claro al techo. Frente a la finca San Joaquín, a 700m aprox. de la antigua Plaza de Toros. **c.** Contacto entre eventos de cenizas volcánicas, en la calle 8 costado norte de la Institución Educativa Camilo Torres, vista E-W. **d.** Cenizas volcánicas amarillo ocre con espesor de 3m, vista N-S sector del cementerio. **e.** Afloramiento de Cenizas volcánicas amarillo ocre, carrera 6 entre calles 1 y 2. Nótese la presencia del nivel plástico (hiato en la parte inferior y de continuidad lateral).

Fuente: fotografías propias

La Figura 14, se muestra los afloramientos de estos depósitos en el barrio La Neblina, actualmente en construcción.

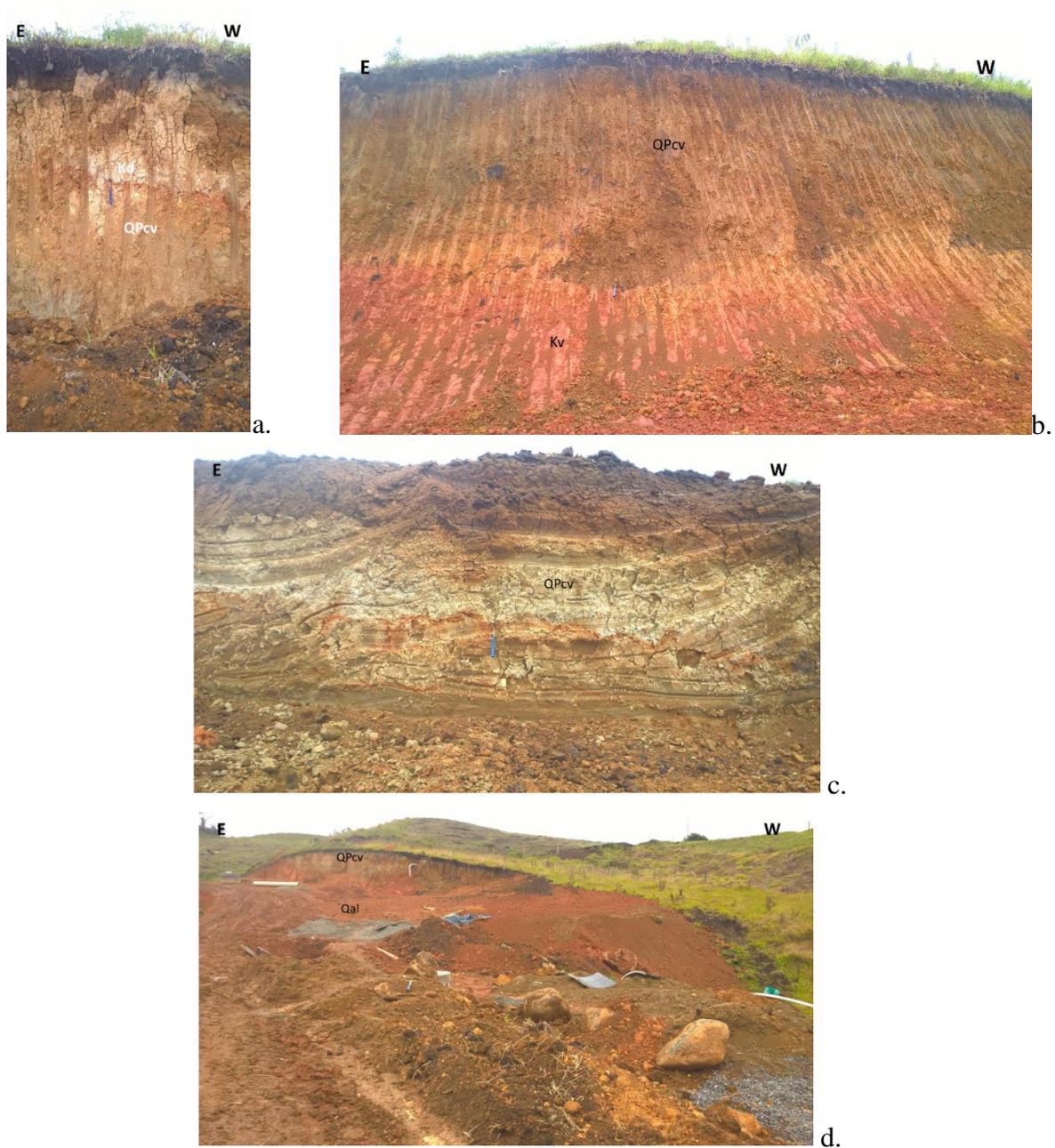


Figura 14. Barrio en construcción La Neblina. **a.** Contacto entre evento de cenizas volcánicas amarillo ocre a la base y cenizas color habano claro al tope, estación E73. **b.** E74, contacto entre evento de cenizas volcánicas habano claro y amarillo ocre (QPcv) suprayaciendo el saprolito rojo de la Formación Volcánica (Kv). **c.** Hiato entre cenizas volcánicas color habano claro y cenizas volcánicas amarillo ocre, estación E76. **d.** Cenizas volcánicas suprayaciendo depósito de avenida torrencial (Qal), estación E77.

Fuente: fotografías propias

2.3.5 Depósitos Aluviales (Qal)

A esta formación corresponden los materiales depositados por las quebradas La Suiza, La Mina, Maravélez, Fundadores y Patuma.

La quebrada La Suiza se encuentra localizada en el extremo occidental del área urbana y está caracterizada por presentar depósitos o flujos de escombros producto de avenidas torrenciales. Esto se evidenció en el sector norte del barrio los Olivos, donde se observan este tipo de depósitos (ver Figura 15). Estos depósitos son clastosoportados, sin gradación, pobremente seleccionados, con presencia de bloques métricos (hasta 1,5m) redondeados a subredondeados de roca diorítica, también contiene bloques subangulares y aplanados de metarenita de color habano con foliación incipiente y chert con bandeamiento. La matriz es granular silícea.



Figura 15. Quebrada la Suiza: a. Tubería que transporta las aguas de la quebrada en el paso de la calle 9. b. Geomorfología de terrazas aluviales, estación E59. c. Bloques métricos que conforman los depósitos de flujo de escombros de la quebrada, estación E21. d. Flujo de escombros o avenida torrencial, estación E21.

Fuente: fotografías propias

En el mismo barrio sobre la calle 9 en la intersección entre las quebradas La Suiza y la quebrada La Mina, se observó un depósito aluvial de flujo de escombros de 6m de altura matriz soportado de ceniza con bloques de rocas básicas de hasta 60 cm (Figura 16)



Figura 16. Flujo de escombros barrio Los Olivos sobre la calle 9, confluencia entre las quebradas la Suiza y quebrada la Mina, estación E61.

Fuente: fotografías propias

Este barrio ha presentado varios eventos de inundación generados por las quebradas la Suiza y La Mina. Hay que dar claridad en que algunas viviendas están ubicadas muy cerca de las quebradas como se puede observar en la Figura 17.



Figura 17. Viviendas del barrio los Olivos ubicadas en el área de influencia de la Quebrada La Mina, estación E62.

En el área urbana, la quebrada Fundadores se encuentra modificada y controlada por la urbanización del municipio; únicamente se observaron sus depósitos en el noreste, en el punto donde se une con la quebrada Maravélez. En dicho lugar donde se puede observar un depósito aluvial clastosoportado de 1,0m de espesor, con bloques de hasta 0,6m de bien a moderadamente

seleccionados; de composición básica. También se observaron metarenitas blancas a habanas angulosas, chert y fragmentos de ladrillo. Este depósito suprayace un saprolito de color naranja muy húmedo que en ocasiones conserva la estructura interna de la roca y que al tocarla se deshace (ver Figura 18).

La quebrada Fundadores llega muy contaminada a este lugar ya que sus aguas vienen de la rotura de la tubería de alcantarillado en el sector del puente vehicular ubicado en la Calle 3 # 4-10.



Figura 18. Depósito aluvial en la confluencia de la quebrada Fundadores con la quebrada Maravélez, estación E51.

Fuente: fotografía propia

Respecto de los depósitos aluviales encontrados en la quebrada Maravélez, la cual está ubicada al Este del área urbana se puede describir que corresponden a flujos de escombros matriz soportados, con bloques métricos de rocas básicas que presentan meteorización esferoidal. La matriz del flujo es de ceniza volcánica (ver Figura 19 y 20).



Figura 19. Flujos de escombros depositados por la quebrada Maravélez. Detrás del Hospital, estación E43.



Figura 20. Depósitos de escombros de la quebrada Maravéz al NE de la zona urbana. Estación E47.

Fuente: fotografías propias

En la Figura 21, se observa la ocupación del área de influencia de la quebrada (terrazas aluviales recientes) por viviendas. Estación E43.

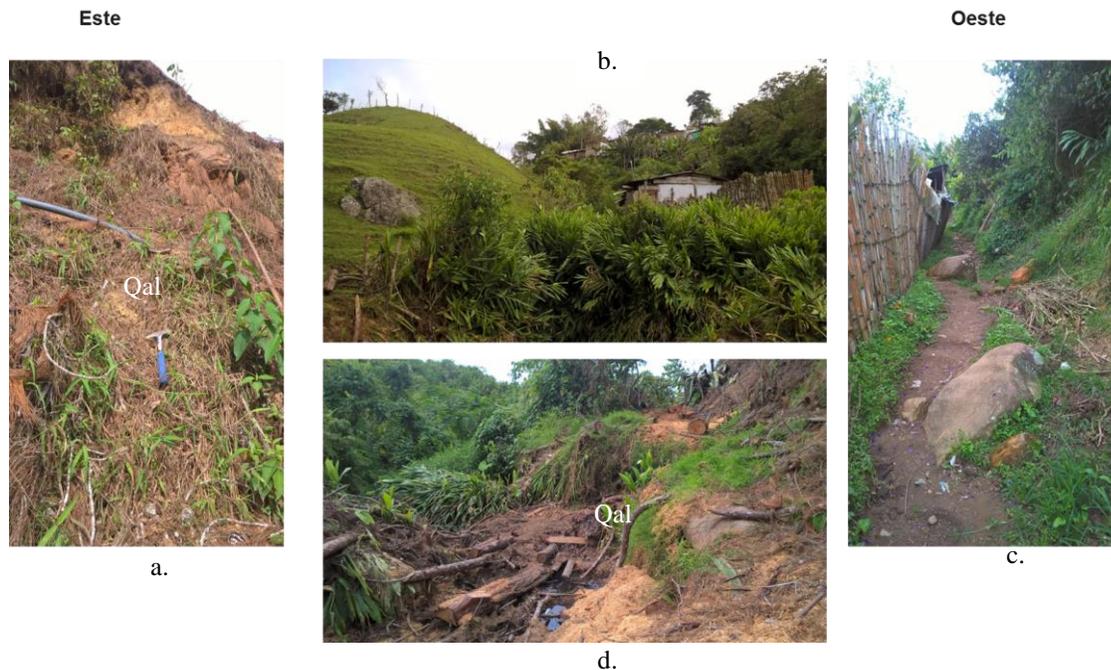


Figura 21. Quebrada Maravéz al oriente del Hospital: **a.** Zona erosionada por tala de árboles. **b.** Geomorfología típica de los depósitos de flujos de escombros. **c.** Bloques métricos que conforman los depósitos aluviales de la quebrada. **d.** Residuos de tala de árboles depositados en el cauce de la quebrada.

Fuente: fotografías propias

Al Sureste del área urbana detrás del Centro de Integración Ciudadana, en la zona de la nueva urbanización La Neblina se encontró un flujo de cenizas matriz soportado con bloques de diorita que tienen tamaños de 20 a 30 cm redondeados, bloques planares de metarenitas y cuarzo lechoso de tamaño guijo.

Este es un flujo que bajó por el valle de la quebrada, mientras que en los laterales y base se observan afloramientos de laterita roja tal y como se aprecia en la Figura 22a.

En la estación E79 afloran 2m de un flujo de cenizas matriz soportado (15 % clastos y 85 % matriz), los clastos son de basalto con tamaños de 3 a 40 cm de baja esfericidad, subredondeados a angulosos; la matriz es de ceniza volcánica color amarillo ocre a café (ver Figura 22b).

En algunos afluentes de la quebrada Maravelez se observaron depósitos aluviales de origen torrencial (ver Figura 22 c); ejemplo de esto en la estación E80 barrio La Neblina aflora un depósito aluvial clastosoportado (70% clastos y 30 % matriz), con un espesor de 1.5m, sin gradación, lo conforman clastos basálticos de 3 a 30 cm redondeados y de baja esfericidad, la matriz es de ceniza amarillo ocre; este depósito se encuentra suprayacido por 1,5m de ceniza volcánica color habano claro que contiene clastos angulosos de cuarzo de hasta 1 cm.

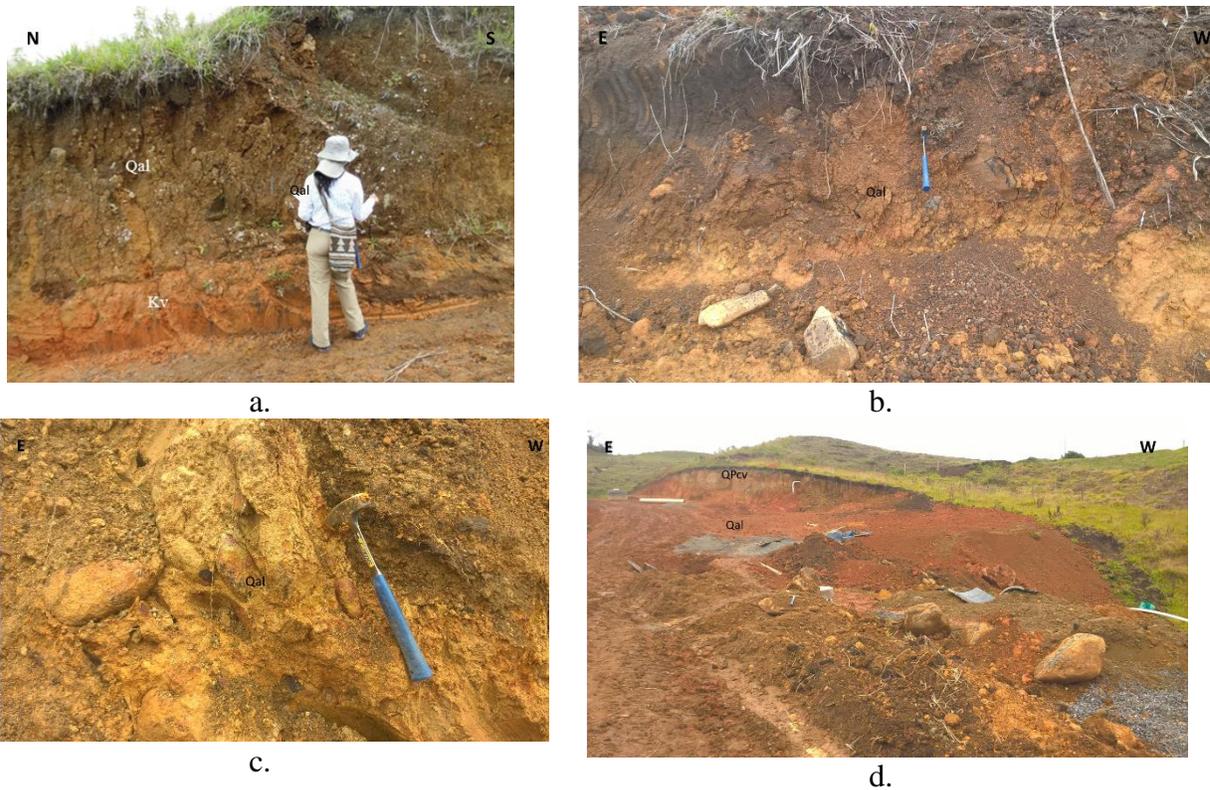


Figura 22. a. Flujo de cenizas que suprayace el saprolito rojo de la Formación Volcánica (*Kv*), detrás del centro de integración ciudadana al SE del área urbana, estación E71. b. Flujo de escombros que aflora en la estación E79. c. Depósito aluvial torrencial, estación E80. d. Depósito de aluvial (*Qal*), estación E77.

Fuente: fotografías propias

En cuanto a los depósitos aluviales encontrados en la quebrada Patuma, la cual está ubicada al Norte del área urbana se puede describir que corresponden principalmente a flujos de escombros; en la estación E83 afloran 2m de un flujo de ceniza color rojizo, matriz soportado con guijos de

cuarzo y chert angulosos de no más de 1 cm y fragmentos de roca metasedimentaria de hasta 5 cm; la matriz del flujo es de ceniza volcánica (ver Figura 23 a, b).

En el barrio el Oasis, parte trasera de la casa 6, aflora un flujo de cenizas matriz soportado (90% matriz, 10% clastos de roca metasedimentaria con tamaños menores a 5 cm, guijos de cuarzo de 1 cm (ver Figura 23c).



a.



b.



c.



d.

Figura 23. a. Flujo de cenizas, estación E83. b. Detalle del Flujo de cenizas. c. Depósito de flujo de cenizas, estación E85 barrio el Oasis. d. Detalle flujo de cenizas estación E85.

Fuente: fotografías propias

En la PTAR, frente a la caseta de las piscinas de oxidación, estación E91 aflora flujo de escombros de 2.5m, matriz soportado, los clastos son de basalto, redondeados a sub-redondeados de baja esfericidad y no tiene tamaños mayores a 20 cm, la matriz de ceniza volcánica de color amarillo ocre (ver Figura 24 a); desde este mismo punto se observa al norte una colina redondeada que geomorfológicamente corresponde a flujos de escombros y contiene bloques métricos observables a la distancia, en el mapa de punto se localizó esta colina en la estación E90. En la estación E93

se observa un flujo de escombros con bloques subredondeados, de baja esfericidad, de composición basáltica y tamaños de hasta 70 cm, también lo conforman clastos angulosos de chert negro de hasta 15 cm, cuarzos angulosos de hasta 3 cm y clastos de metarenita de hasta 5 cm (ver Figura 24 c y d), que suprayace rocas metasedimentarias del Grupo Dagua (Kd).

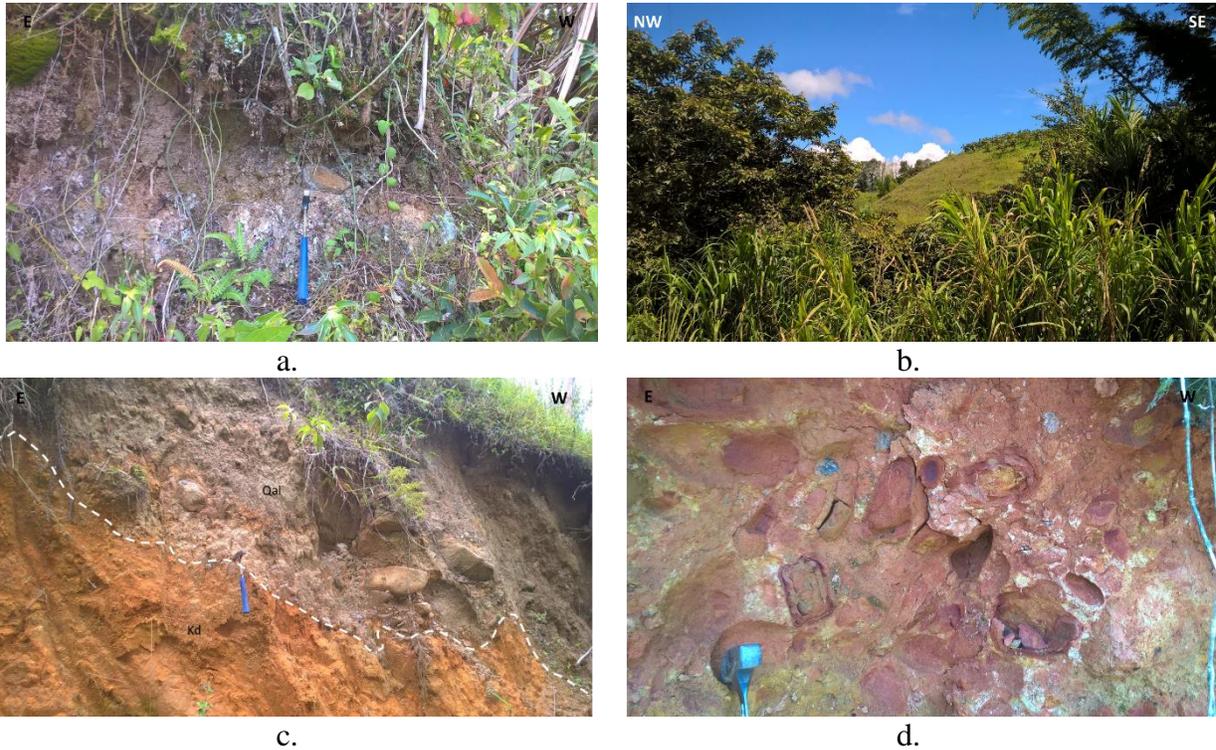


Figura 24. a. Flujo de escombros, estación E91. b. Colina redondeada con bloques métricos, estación E90. c. Depósito de flujo de escombros que suprayace metarenitas del Grupo Dagua, estación E93, al Este del antiguo matadero. d. Depósito de flujo de escombros que aflora en la estación, estación E56, sobre la vía que conduce al antiguo matadero.

Fuente: fotografías propias

En la zona del antiguo matadero, sobre la ladera norte de la quebrada Patuma se observa una colina redondeada que contiene bloques de hasta 1m, sub-redondeados, de baja esfericidad y de composición basáltica (ver Figura 25); esta es la geoforma típica de flujos de escombros.



Figura 25. a. Bloques métricos en flujo de escombros, en la ladera Norte de la quebrada Patuma, frente a antiguo matadero. estación E92.

Fuente: fotografía propia

2.4 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Dentro del área de estudio, se pudieron diferenciar algunos rasgos en superficie que permiten identificar la existencia de fallas geológicas; pero que no son contundentes para definir con certeza los trazos ni la actividad de las mismas. Se representaron los siguientes rasgos estructurales:

2.4.1 Falla inferida con indicios geomorfológicos, pero sin evidencias de actividad tectónica reciente

Corresponden a trazos marcados por la presencia de hombreras, silletas de falla, cambios de pendiente, colinas y cauces deflectados identificados en campo y fotografías aéreas. Sin embargo, no se encontraron evidencias geomorfológicas tales como escarpes o plano de falla para verificar su desplazamiento.

Al Oeste del perímetro urbano se encuentra una de estas estructuras. Tiene una dirección NW-SE (ver Figura 26). De igual manera se identificó un trazo de falla del mismo tipo al Sur y tiene una orientación NE-SW (ver Figura 27); mientras que en la Figura 8Figura 28, se detallan las dos fallas inferidas en la zona urbana.



Figura 26. actividad tectónica reciente, al oeste del área urbana.

Fuente: fotografía propia



Figura 27. Trazo de falla inferida con indicios geomorfológicos, pero sin evidencias de actividad tectónica reciente, al sur del área urbana.

Fuente: fotografía propia



Figura 28. Fallas inferidas con indicios geomorfológicos, pero sin evidencias de actividad tectónica reciente en el área de estudio.

Fuente: fotografía propia

2.4.2 Falla inferida con pocos indicios geomorfológicos y sin evidencias de actividad tectónica reciente

Corresponden a un trazo localizado hacia el Norte, cortando el perímetro urbano en dirección NE-SW (ver Figura 29). Está delineado por la alineación de varios cambios altimétricos reconocidos tanto en campo como en fotografías aéreas. Sin embargo, no se encontró evidencia geomorfológica que permitiera verificar su desplazamiento.



Figura 29. Cambio altimétrico, Barrio Fundadores

Fuente: fotografía propia

2.4.3 Trazo Falla Regional SGC

Corresponde a un trazo de falla reportado en la Plancha 242 – Zarzal (Nivia et al., 1995). Este trazo no se evidenció ni verificó en el trabajo de campo, pero existen evidencias regionales para ubicarlo en el mapa local.

2.4.4 Contacto Fallado Cubierto Kv – Kd

Esta estructura pone en contacto las rocas de la Formación Volcánica (Kv) con las rocas del grupo Dagua formando una cuña que involucra el trazo de falla regional SGC, y es cerrada al Sur por la falla inferida del Oeste de la zona urbana. Este contacto fallado se encuentra cubierto por las Cenizas Volcánicas de la Formación QPcv.

2.5 MAPA DE UNIDADES GEOLOGICAS SUPERFICIALES

Las Unidades Geológicas Superficiales se consideran como un conjunto de materiales que conforman la superficie del terreno hasta profundidades del orden de decenas de metros, e incluyen rocas con diferentes grados de meteorización y fracturamiento, así como suelos y depósitos inconsolidados (Ibañez et al, 2012).

En los límites urbanos de Versalles se definieron las Unidades geológicas superficiales, identificándolas inicialmente de acuerdo a su origen: Rocas (R) o Suelos (S), y posteriormente por sus características litoestratigráficas (composición y estructura) y relieve. Sin embargo, en el área de trabajo no se encontró roca, por lo tanto, todas las unidades geológicas superficiales corresponden a suelos que se diferenciaron entre transportados (St) y antrópicos (Sa).

2.5.1 Unidad de suelo transportado (St)

Son materiales que han sufrido algún tipo de transporte, ya sea por medios naturales de tipo fluvial o aluvial, eólico, glaciario, gravedad o por medios relacionados con las actividades del hombre (antrópicos). Están conformados por materiales heterogéneos, cuya composición depende de la fuente de origen, no están consolidados, son susceptibles a generar movimientos en masa y se distribuyen desde las zonas semiplanas hasta las zonas de alta pendiente.

Dentro de las unidades de suelo transportado para el municipio de Versalles se definieron las siguientes (ver Figura 30):

- Suelo transportado de ceniza (Stc)
- Suelo transportado aluvial (Sta)
- Suelo antrópico (Sa): Conformados por (plástico, madera, escombros, basura, etc.)
- Suelo antrópico de relleno de escombros (Sale)

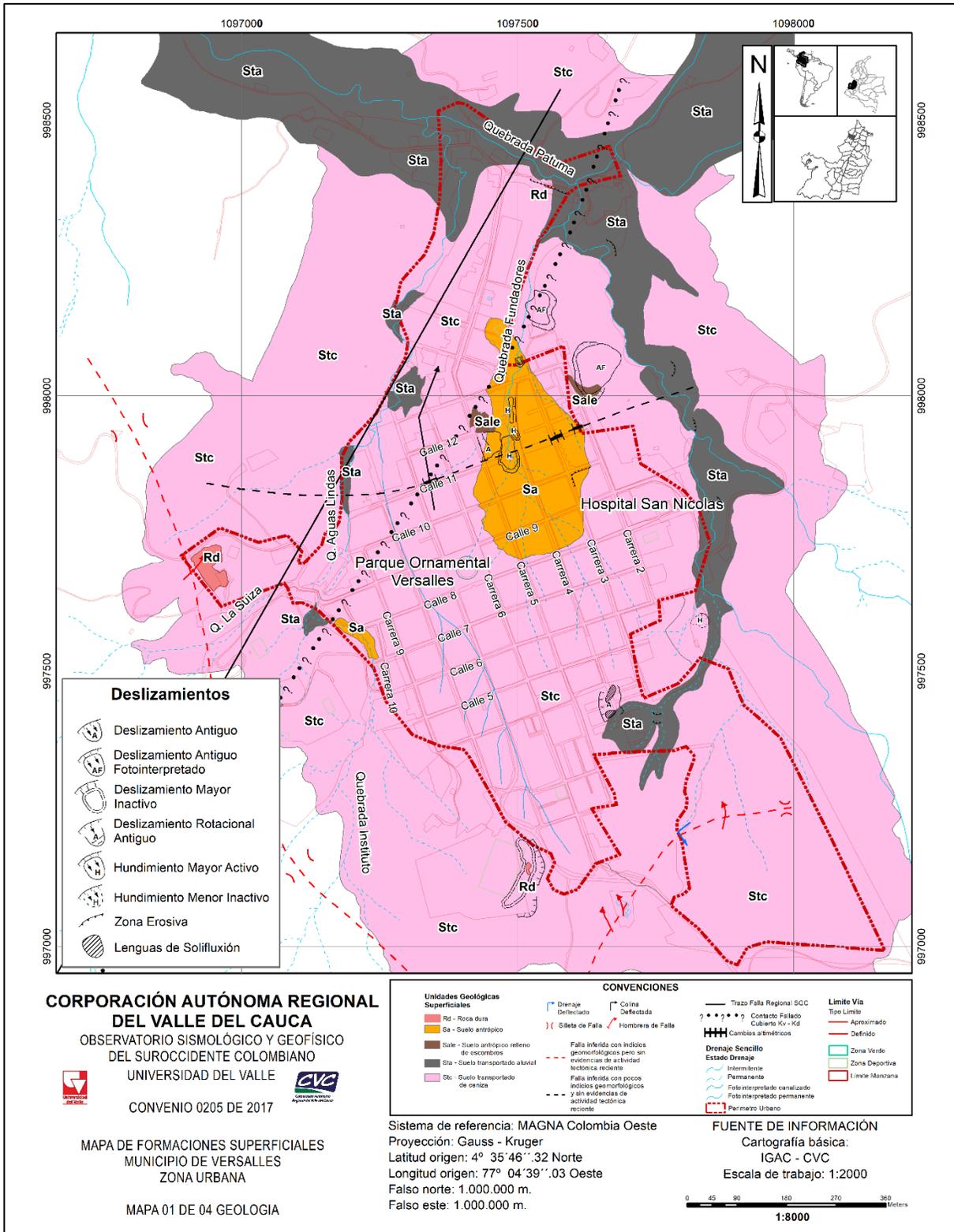


Figura 30. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales. Fuente: Elaboración propia.
Fuente: elaboración propia

2.6 MAPA GEOMORFOLÓGICO

La actual dinámica global en referencia al cambio climático y la exposición cada vez mayor de la población, hacen necesario generar conocimiento sobre la dinámica del paisaje físico. Un estudio geomorfológico puede convertirse en una herramienta muy útil en la zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa e inundaciones.

El presente estudio se hizo siguiendo 3 fases: Fotointerpretación, control de campo y definición de elementos geomorfológicos y elaboración de mapas.

2.6.1 Fase 1.

Por medio de la foto-interpretación se definieron las distintas formaciones superficiales, se identificaron formaciones geomorfológicas de origen tanto natural como antrópico de acuerdo a la evolución de la depositación del material.

Se realizó un análisis multitemporal de las fotografías aéreas existentes del municipio. El vuelo IGAC, C2787 fotos 22 y 23 del año 2010; es un vuelo de buena escala, sin embargo, es de muy regular calidad (alta nubosidad) y por lo tanto de difícil interpretación (ver Figura 31). Mientras que el vuelo CVC, C1260 (fotos 138 y 139 del año 1969) es de muy buena calidad, pero la escala es menor (ver Figura 32).

No obstante, las fotografías se interpretaron y fueron de gran ayuda y complemento para el conocimiento de la geomorfología del área.

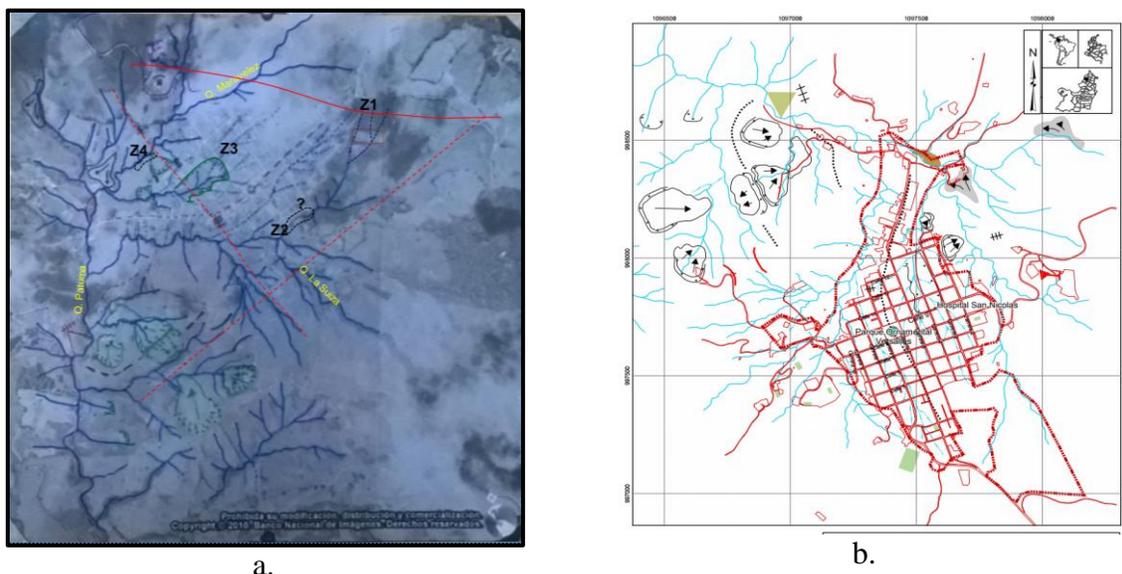


Figura 31. Fotointerpretación del vuelo IGAC, C2787 fotos 22 y 23 del año 2010.

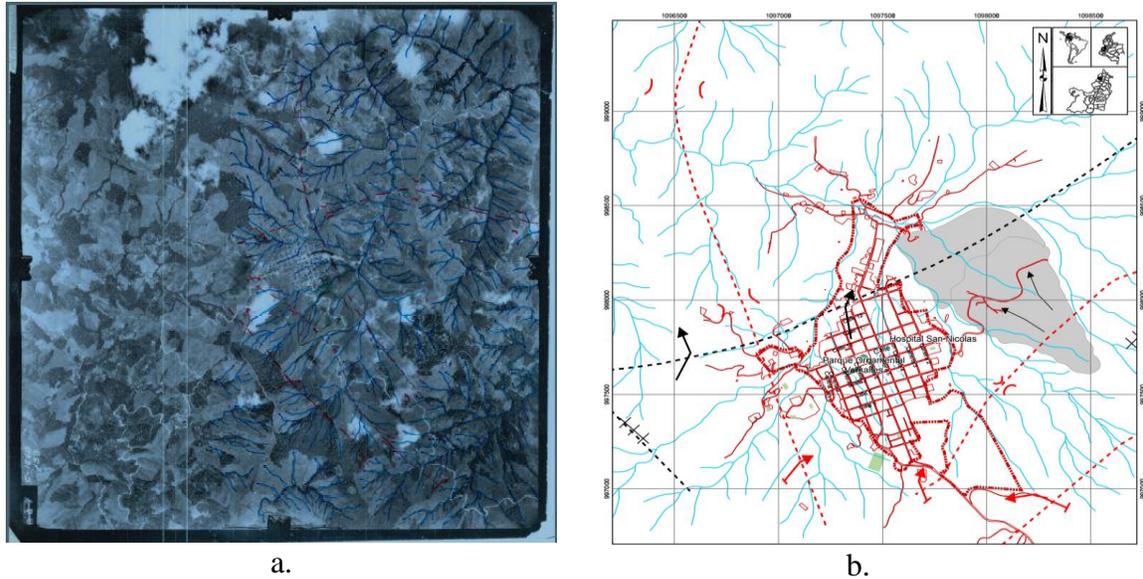


Figura 32. Fotointerpretación del vuelo CVC, C1260 fotos 138 y 139 del año 1969.
Fuente: CVC

Adicionalmente se analizó el modelo digital del terreno y el mapa de pendientes (ver Figuras 33 y 34 respectivamente) para verificar las características de la superficie y se complementó con el análisis de las fotografías aéreas. Con estas tres herramientas se obtuvo un insumo muy importante en la determinación de las unidades geomorfológicas y se definió que el área urbana de Versalles corresponde a un relieve de montañas con pendientes que varían de inclinadas a muy empinadas y de laderas cortas a moderadamente largas.

Se determinaron las características morfológicas y los ambientes morfogenéticos recientes y antiguos que de alguna manera han contribuido a la evolución del paisaje; se zonificaron áreas homogéneas caracterizando y se delimitaron los elementos geomorfológicos.

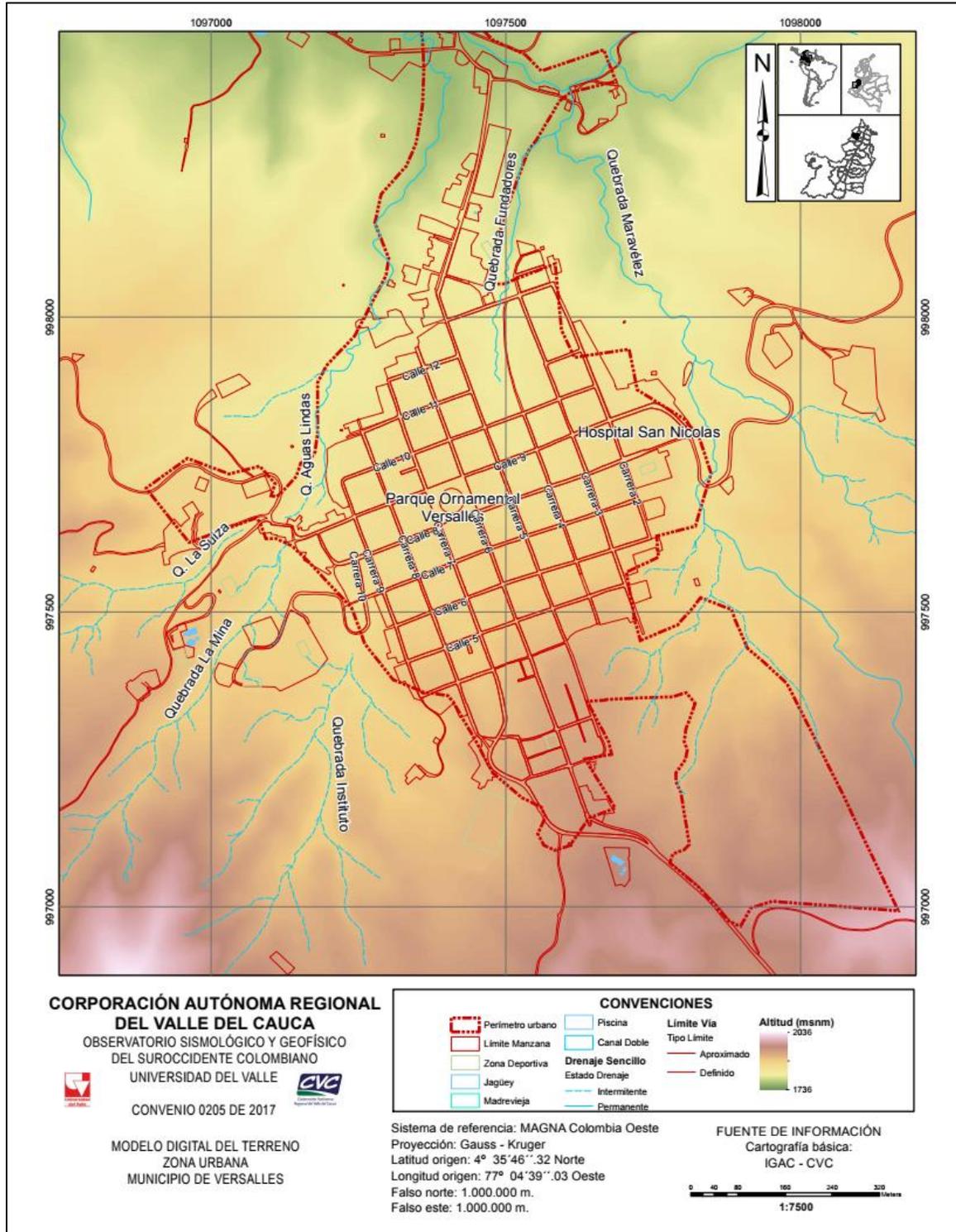


Figura 33. Modelo digital del Terreno.
Fuente: información suministrada por CVC para este estudio

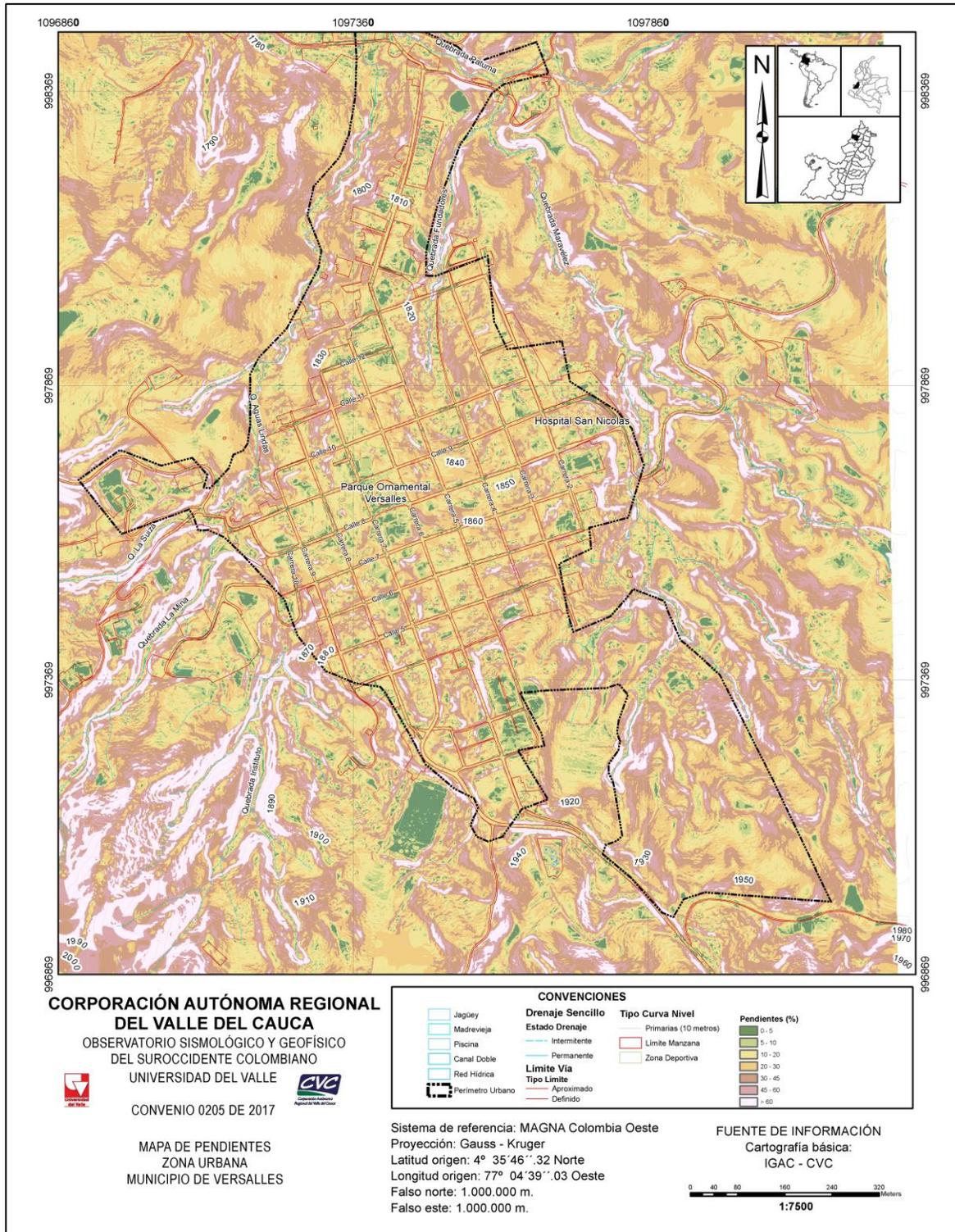


Figura 34. Mapa de pendientes.

Fuente: información suministrada por CVC para este estudio

2.6.2 Fase 2

Posteriormente esta información fue corroborada en campo realizando un análisis y corrección de las mismas, obteniendo una delimitación más cercana a la realidad.

Dada la escala de trabajo (1:2.000), se cartografiaron elementos geomorfológicos de acuerdo con la jerarquización mostrada en la Figura 35.

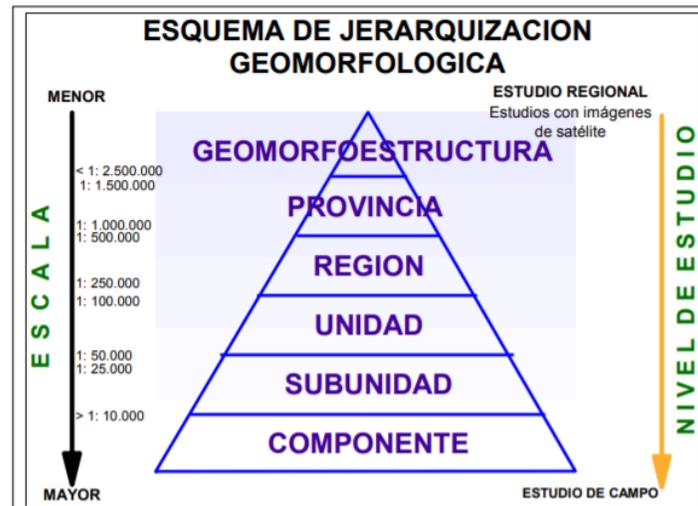


Figura 35. Esquema de jerarquización geomorfológica propuesta por Carvajal (2003) con base en Velásquez (1999), Ingeominas (2000).

Fuente: Tomado de Ibañez et al., 2012.

Regionalmente el municipio de Versalles se ubica sobre las estribaciones de la Cordillera Occidental, presentando un relieve irregular, montañoso, de origen estructural dominado principalmente por pendientes estructurales y fallas, cuya expresión está claramente definida por cambios altimétricos, silletas, hombreras, facetas trapezoidales, colinas y cauces deflectados.

En el periodo Cuaternario, este relieve irregular y montañoso fue cubierto por espesos depósitos de ceniza del complejo Ruiz-Tolima y Cerro Machín, que modificaron el paisaje, suavizando las crestas y generando nuevas geoformas de origen denudativo y agradacional, con depositación lenta o súbita, por la acción libre o conjunta de los agentes de transporte y la gravedad. En las quebradas que conforman el área urbana los procesos de erosión y depositación fluvial, dieron origen a geoformas que ocupan las zonas aledañas a las mismas.

De otra parte, la actividad antrópica, especialmente la urbanización espontánea, modificó en algunos sectores la morfología del paisaje natural, generando nuevas formas y nuevos procesos que modifican el terreno y que se convierten en amenazas para sus habitantes generando procesos erosivos y movimientos en masa. Esto se puede observar en la quebrada Fundadores donde se diferencia un fenómeno de remoción en masa de tipo hundimiento el cual sigue avanzando en dirección Sur; este hundimiento es el resultado del fenómeno de tubificación generado por el flujo y filtración de agua en el lugar. Esta área en campo se identificó como un relleno antrópico sobre la cuenca de la misma quebrada (ver Figura 36).

Se define como hundimiento al desplazamiento vertical de una masa de suelo (Hauser, 2000 modificado). Mientras que Tubificación (piping) corresponde a la erosión gradual y socavación interna de una masa de suelo debido a la filtración de agua (PMA: GCA, 2007).

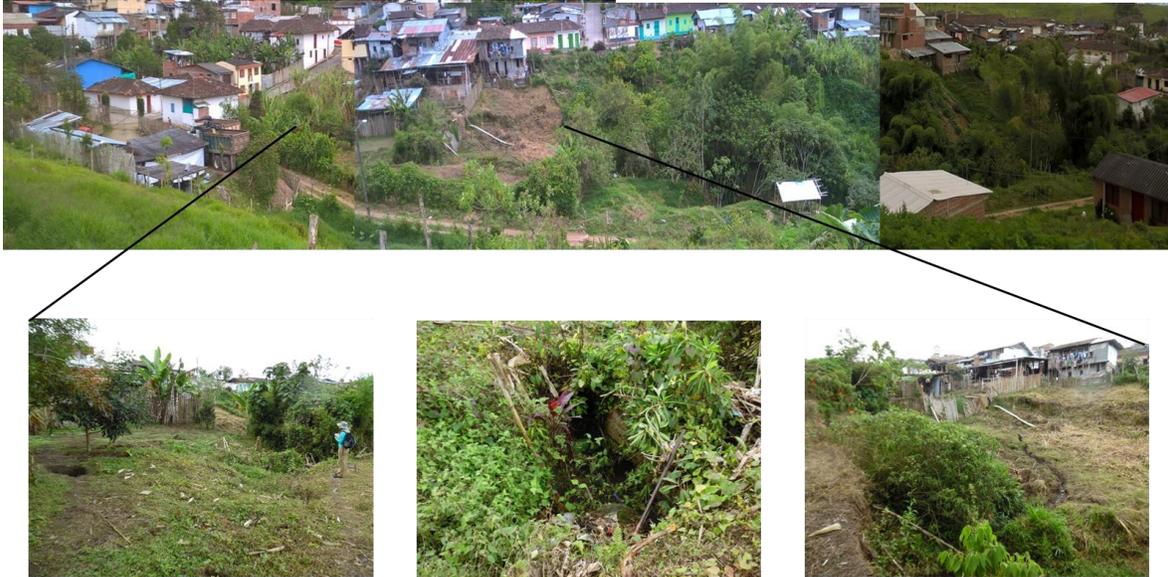


Figura 36. Quebrada Fundadores, su cuenca fue intervenida con relleno mixto (All) y fue urbanizada. Vista Sur-Norte.

Fuente: fotografías propias

Se destacan tres tipos de morfología en el área urbana de Versalles:

1. Sectores montañosos conformados principalmente por rocas del Cretácico, Formación Volcánica (Kv); cubiertas por cenizas volcánicas de espesores métricos que han suavizado las crestas, pero aún con predominio de pendientes moderadas a altas, con presencia de laderas onduladas, localizadas en el 90% del casco urbano del municipio.
2. Zonas suavemente inclinadas a planas, donde se tienen básicamente depósitos Cuaternarios de distinto origen, pero especialmente de origen fluvial, asociados con la actividad de las quebradas La Suiza, Maravélez y Patuma; estas geoformas se presentan en los límites del casco urbano.
3. Zonas asociadas a actividad antrópica: sobre los anteriores paisajes, que han generado geoformas recientes, especialmente relacionadas con rellenos realizados con fines de urbanización.

En la Figura 37, se pueden diferenciar las geoformas típicas del área en estudio.



Figura 37. Vista del municipio desde Patio E Brujas al Noreste del mismo. Geoformas presentes en el área urbana municipio de Versalles. **a.** Origen denudacional. y **b.** Origen volcánico.

Una vez establecidos el ambiente morfogenético del área de estudio y los posibles elementos geomorfológicos presentes, se define la nomenclatura asociada, la cual se ajustará de acuerdo con la caracterización de los elementos en campo. El sistema propuesto es el siguiente:

- La primera letra, en mayúscula, indica el origen de la geoforma: morfoestructural (S), volcánico (V), denudacional (D), fluvial (F), marino-costero (M), glacial (G), eólico (E), kárstico (K), antropogénico (A).
- A partir de la segunda letra, en minúscula, se indican características particulares del elemento, rasgo o proceso geomorfológico.

En la Figura 38, se presentan ejemplos de nomenclatura de elementos geomorfológicos, según algunos estudios de caso realizados por el Servicio Geológico Colombiano (2014) en ambientes sedimentarios y volcánicos, en los que se ha adoptado el sistema de clasificación morfogenética del International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC). Otros ejemplos pueden encontrarse en Carvajal (2012).

ORIGEN	CARACTERÍSTICAS		NOMBRE DEL ELEMENTO	NOMENCLATURA
ESTRUCTURAL DENUDACIONAL	Estas geoformas se originan por la influencia de la actividad tectónica sobre roca y suelos, generando expresiones en el terreno que se combinan con los procesos denudacionales.		Gancho de falla	Sgf
			Lomo de presión	Slp (Sle)
			Cerro estructural	Sce
			Charco de falla (Sag Pond)	Scf
VOLCÁNICO DENUDACIONAL	Son geoformas desarrolladas por estructuras volcánicas y su actividad asociada a materiales arrojados por los mismos, los cuales se encuentran sometidos a procesos denudacionales de clima tropical.	FLUVIO-VOLCÁNICA	Superficie de abanico	Va
			Escarpe de abanico	Vea
		SUBORIZONTALES A INCLINADOS	Lomo residual	Vlr (Dlr)
			Cimas anchas	Vca (Dca)
			Colina residual	Vcr (Dcr)
			Superficie Plana o Sub-horizontal	Vlpf (Dlp)
			Ladera suave	Vls (Dls)
			Ladera moderada	Vlm (Dlm)
			Ladera inclinada a escarpada	Vle (Del)
			DENUDACIONAL	Estas geoformas están relacionadas con los procesos denudacionales normales que se presentan en las zonas de clima tropical, caracterizadas por erosión; depositación y movimientos en masa
Depósitos de lavado	Ddl			
Depósitos de ladera o coluviales	Dco			
FLUVIAL	Son geoformas derivadas de la actividad agradacional y degradacional de las corrientes fluviales. Incluyen cauces actuales de las corrientes y niveles de las terrazas dejadas por sedimentación de cauces, incisión y eventos fluvio -torrenciales			
			Nivel de terraza bajo	Ftb
			Nivel de terraza medio	Ftm
			Nivel de terraza alto	Fta
			Escarpe de terraza	Fet
			Cono de deyección	Fcd
ANTROPOGÉNICO	Corresponden a geoformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno, en la mayoría de los casos con el fin de realizar construcción de vivienda, obras de ingeniería, disposición de desechos o escombros y adecuación de nuevas vías.		Canteras	Ac
			Llenos Mixtos	Allm
			Llenos de escombros	Alle
			Terrazas y conos explanados con llenos	Abe
			Ladera terraceda	Alt

Figura 38. Ejemplos de nomenclatura de elementos geomorfológicos. Carvajal (2012).

Los elementos asociados con dichas geoformas se presentan a continuación:

Las **formas de origen fluvial** son geoformas desarrolladas a partir del material erosionado y transportado pendiente abajo desde las zonas montañosas aledañas por acción de las corrientes o por acción de la gravedad (modificado de Ibañez et al., 2012). Se incluyen los depósitos torrenciales (flujos de escombros), abanicos aluviales y terrazas de las quebradas La Suiza, La Mina y Patuma (ver Figura 39, 40 y 41). En el mapa geomorfológico se denominarán **Fa (Depósito aluvial)**, **Faa (Deposito de abanico aluvial)** y **Fat (Depósito de avenida torrencial)**.



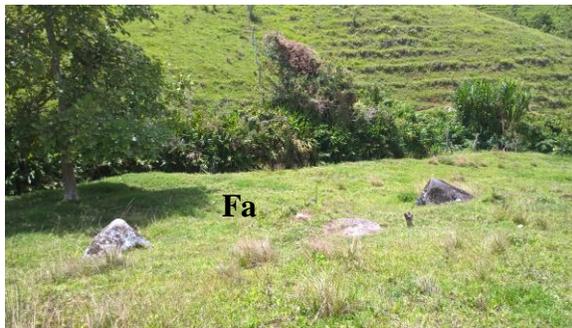
a.



b.

Figura 39. Quebrada Maravéz a. Detalle de bloques en depósitos de avenida torrencial (Fat). b. Geomorfología de depósito de flujo de escombros o avenida torrencial.

Fuente: fotografías propias



a



b

Figura 40. Depósito aluvial (Fa) con bloques métricos en la quebrada La Suiza. a. Vista desde el Oriente. b. Vista desde el Norte.

Fuente: fotografías propias



a.



b.

Figura 41. Quebrada Patuma a. Geomorfología de depósito de flujo de escombros o avenida torrencial. (Fat) en los alrededores de la PTAR. b. Pequeñas terrazas aluviales de la quebrada Patuma, estación E86.

Fuente: fotografía propia

Mientras que las **formas de origen denudacional** son el resultado de los procesos erosivos hídricos y pluviales, y producto principalmente de procesos de meteorización, erosión y

movimientos en masa, sobre geoformas preexistentes (Carvajal, 2012; modificado). En este ambiente, también se consideran aquellas geoformas que se crean a partir de la acumulación de sedimentos (INGEOMINAS, 2012).

Por lo tanto, dentro de los elementos de éste origen se incluyen las zonas de depósitos **de movimientos en masa Dmm** (ver Figura 42) y **las laderas onduladas (Dlo)** desarrolladas sobre los suelos residuales de la Formación Volcánica. Estas últimas son las formas más visibles desde el casco urbano desarrolladas sobre las colinas cercanas al mismo (imagen **d** en Figura 42) pero que en gran medida no se encuentran dentro del perímetro actual del mismo.



a.



b.



c.



d.

Figura 42. Deslizamientos. **a.** Cuerpo del deslizamiento cancha municipal (Dmm). **b.** Escarpe de deslizamiento cancha municipal. **c.** Cicatriz de deslizamiento antiguo atrás del Centro de Integración ciudadana. **d.** Cicatriz de deslizamiento antiguo al sur este de la quebrada Maravélez desarrollado sobre ladera de colina ondulada (Dlo).

Las **formas de origen volcánico** corresponden con las geoformas generadas, tanto por la intrusión como por la extrusión de materiales fundidos procedentes del interior de la Tierra (Carvajal, 2012).

La cabecera municipal del municipio de Versalles está asentada principalmente sobre los depósitos de ceniza identificados como **Vcz** en el mapa (ver Figura 43). Dichos depósitos recubren todos los

materiales preexistentes y son los que están siendo sometidos directamente a los agentes de modelamiento del paisaje.



Figura 43. La cabecera municipal de Versalles se encuentra sobre depósitos de ceniza (Vzc).

La Figura 44 es una imagen tomada desde la ladera norte de la Quebrada Patuma desde donde se pueden identificar las geofomas, volcánicas (V), denudacionales (D) y fluviales del municipio.



Figura 44. Vista del municipio desde la ladera Norte de la quebrada Patuma.

Las **formas de origen antrópico** corresponden a geofomas que han sido modeladas como producto de las actividades realizadas por el hombre, durante sus procesos de adaptación y aprovechamiento del territorio. (Ibañez et al., 2012). Los elementos identificados con estas geofomas se definieron en el mapa como **All (Llenos mixtos, ver Figura 45), Alle (Lleno de escombros)**. Estos últimos principalmente relleno de quebradas para adecuar zonas construibles (ver Figura 46 y 47).

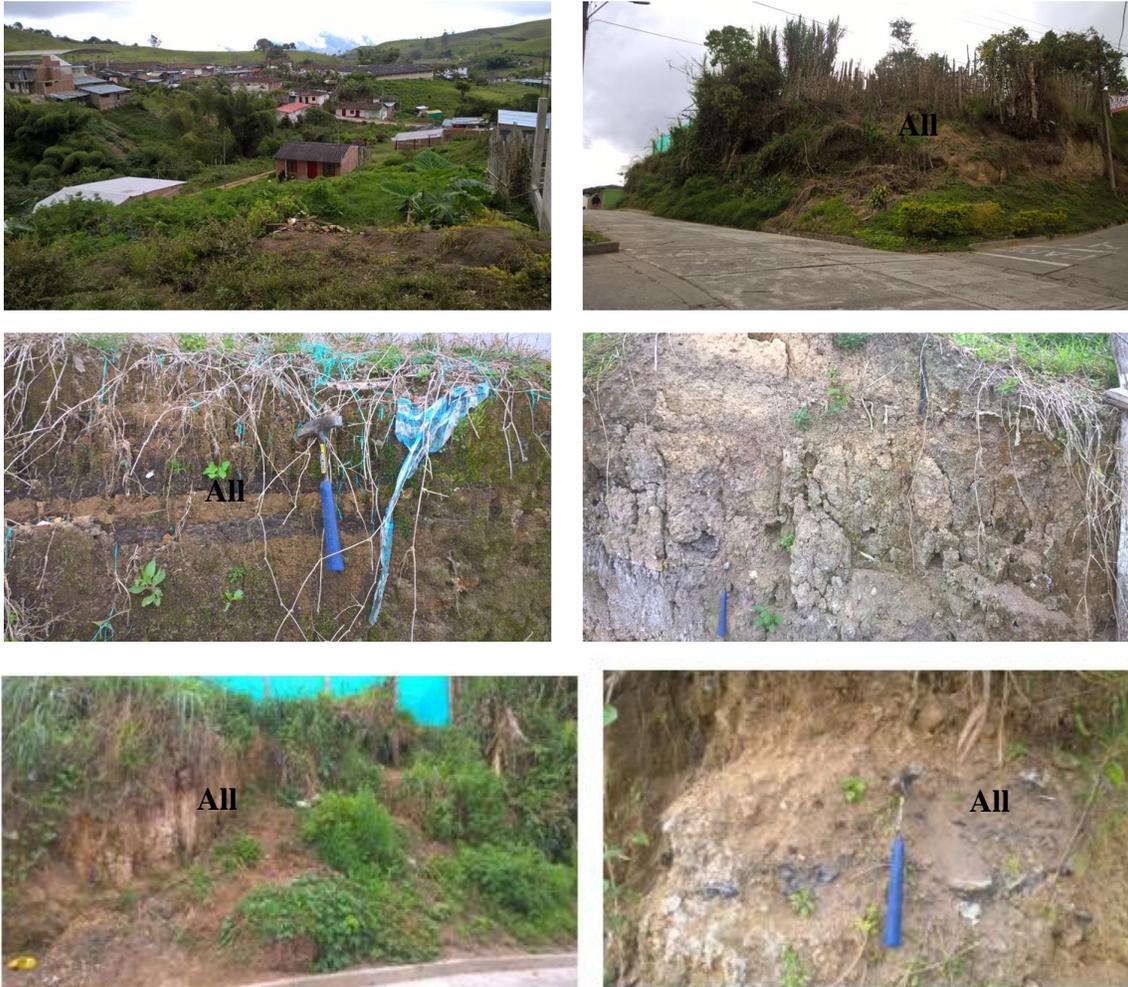


Figura 45. Apariencia llenos mixtos (All) barrio Fundadores.
Fuente: fotografías propias



a.



b.



c.

Figura 46. a, b Lleno de escombros sobre cauce quebrada del Instituto de Promoción Social, barrio Los Olivos, c. Cauce sin rellenar quebrada arriba.

Fuente: fotografías propias



a.



b.

Figura 47. Depositación de escombros. a. Ladera occidental de la quebrada Maravélez, barrio Fundadores. b. Ladera occidental quebrada Fundadores, al norte del hundimiento sobre la misma.

Fuente: fotografías propias

Finalmente se encontraron algunos elementos de origen estructural asociados con las fallas que atraviesan el casco urbano. Por la escala del trabajo no se pueden asociar a una unidad geomorfológica particular ya que se desarrollan tanto sobre las formas de origen denudacional como fluvial.

Ninguno de estos elementos tiene categoría de evidencia de actividad tectónica reciente, pero consideramos importante mencionarlos, ya que algunos de ellos pudieron ser observados dentro del casco urbano de Versalles como se observa en la Figura 48. Cambios altimétricos, cambios de pendiente, hombreras y silletas de falla.

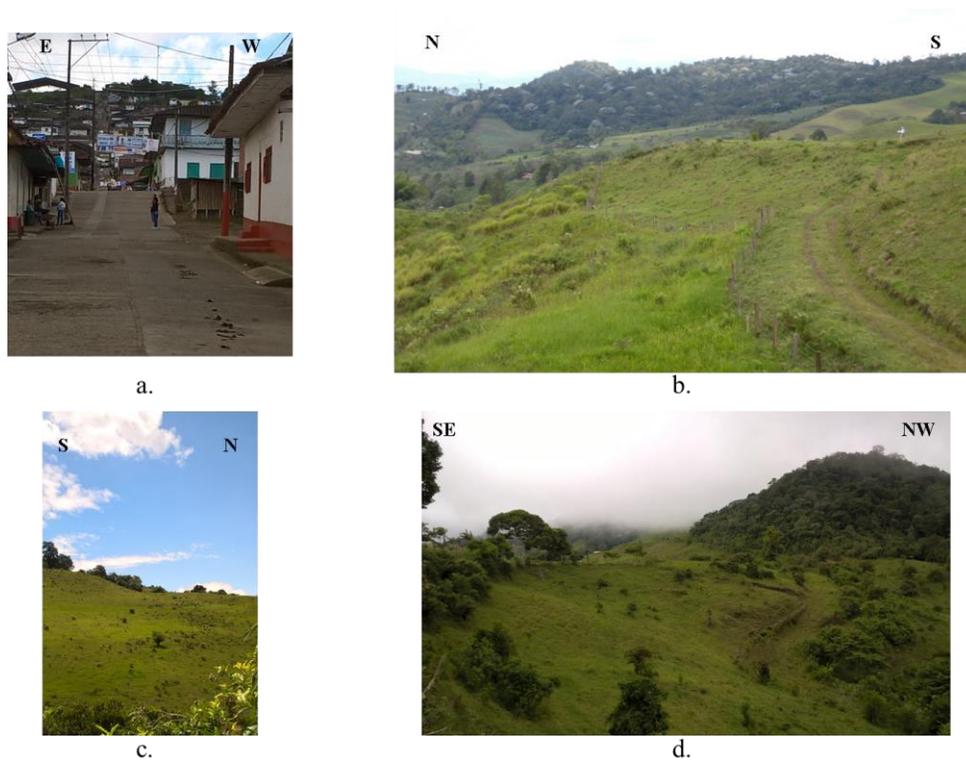


Figura 48. a. Cambio altimétrico y de pendiente, vista desde el Norte. b. Hombrera de falla, vista al Este desde las tres cruces. c. Hombreras de Falla al NW del municipio. d. Silleta de falla, al Sur en la cancha municipal.

Fuente: fotografías propias

2.6.3 Fase3

El resultado de la integración de las fases 1 y 2 del trabajo de geomorfología permitió definir el mapa geomorfológico (o de elementos geomorfológicos) de acuerdo a la escala de detalle del presente trabajo, este mapa se muestra en la **Figura 49**.

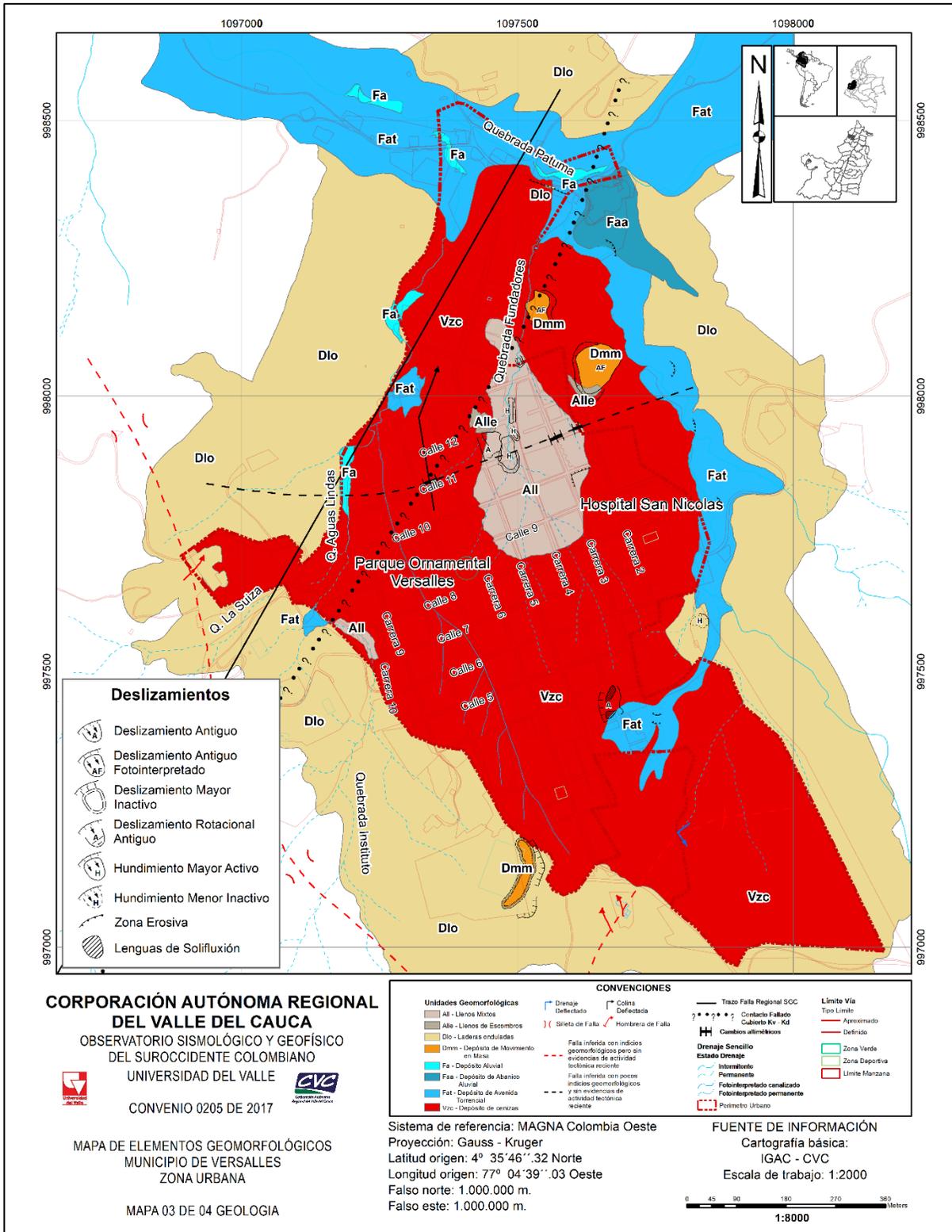


Figura 49. Mapa Geomorfológico
Fuente: elaboración propia.

2.6.4 Análisis, resultados y discusión de la geomorfología

De acuerdo a la jerarquización geomorfológica (IDEAM, 2013), la zona de estudio se localiza en la geomorfoestructura correspondiente a la meridional del cinturón orogénico de los andes colombianos, en la provincia geomorfológica Cordillera Occidental, flanco oriental. Este sistema montañoso se formó por procesos denudacionales y levantamientos orogénicos y epirogénicos, con deformaciones de origen compresional y distensional asociados localmente con diferentes grados de metamorfismo de composición y edad variada que han determinado el relieve y la morfología a través del tiempo desde el Paleozoico hasta el reciente. La zona de estudio presenta alturas máximas de 2036,5 m.s.n.m. entre la quebrada Patuma y la Planta de tratamiento de agua del municipio.

Las zonas de terrenos bajos y suavemente ondulados, se encuentran sobre depósitos cuaternarios producto de la actividad volcánica del Complejo Ruiz- Tolima. El área de estudio es drenada por las quebradas La Suiza, Fundadores, Maravélez y Patuma; las tres primeras presentan valles profundos y estrechos y en forma de “V”; mientras que la última se localiza en la parte baja del municipio y su valle es más amplio desarrollando en algunos tramos pequeños meandros.

2.7 MOVIMIENTOS EN MASA

Los depósitos de ceniza volcánica presentan una alta resistencia a la erosión superficial, dada su alta permeabilidad, sin embargo, los intensos regímenes pluviométricos, la escasa vegetación y las condiciones topográficas abruptas, pueden generar áreas de escurrimiento superficial y conllevar a la erosión laminar consecuente.

2.7.1. Sectores afectados con deslizamientos recientes

Son dos los lugares identificados con fenómenos de remoción en masa; es de anotar que estos deslizamientos a la fecha no han causado episodios catastróficos.

Estación E11: Cancha municipal

En esta zona se observó un movimiento en masa del tipo rotacional que ha estado activo durante 40 años aproximadamente (ver Figura 50).



Arriba. Fotografías tomadas de Manejo de aguas de escorrentía y estabilidad de taludes, estadio municipal de Versalles, 1997. Hidroestudios Ltda.

Abajo . Fotografías actuales



Figura 50. Arriba, fotografías del deslizamiento en el año 1997 (Tomado de Hidroestudios, LTDA, 2007). Apariencia del deslizamiento en 2018.

Fuente: Hidroestudios, LTDA, 2007 y fotografías propias

Los materiales que conformaron el cuerpo del deslizamiento corresponden al saprolito rojo de la Formación volcánica – Kv (aún se observan piroxenos y cuarzos de hasta 2 mm) (ver Figura 51); con los depósitos de ceniza de color amarillo ocre.



Figura 51. Cuerpo de deslizamiento.

Fuente: fotografías propias

Estación E11a. Cancha municipal:

En el escarpe del deslizamiento (ver Figura 52) afloran de base a tope un saprolito rojo muy plástico suprayacido disconformemente por ceniza amarillo ocre; por encima de esta se observa un hiato de 1 cm aproximadamente, representado por una costra café muy dura que muestra un periodo de no depositación (ver Figura 53); arriba de este se observa una capa masiva de ceniza de color habano.

Hacia el Este la ceniza amarillo ocre se pincha, mostrándose únicamente el contacto entre la ceniza habana y el saprolito rojo.



Figura 52. Escarpe de deslizamiento.
Fuente: fotografía propia



Figura 53. Hiato entre ceniza amarillo ocre y ceniza habana.
Fuente: fotografía propia

Estación E11b. Cancha municipal:

Detrás de gradería, se observa plano de falla #1 con orientación S56E/42NE y adicionalmente se encontró un plano de falla #2 con orientación N10E/SE (ver Figura 54). Sin embargo, no se encontraron evidencias de actividad neotectónica en el lugar. lo que nos llevaría a pensar que estos planos de falla hacen parte de un fallamiento ocasionado probablemente durante el Cenozoico.



Figura 54. Plano de falla encontrado detrás de gradería cancha municipal.

Fuente: fotografía propia

En este lugar aflora saprolito color amarillo ocre suprayaciendo una roca fanerítica básica de color gris verdoso (ver Figura 55b) que muestra fenocristales de piroxeno; esta roca está altamente meteorizada y presenta venas de cuarzo y plagioclasa.



a.



b.

Figura 55. a. Contacto disconforme entre saprolito amarillo ocre y roca fanerítica de color gris verdoso. **b.** Roca fanerítica básica de color gris verdoso, fracturada y con alto grado de meteorización

Fuente: fotografía propia

En las observaciones realizadas, se encontró que la cancha municipal se encuentra localizada sobre una cuenca de drenaje, aún persiste la circulación de agua en el lugar (nacederos) y la gradería bloquea el libre flujo de las aguas (ver Figura 56).



Figura 56. a. Circulación de agua. b. nacimientos detrás de la gradería de la cancha municipal.

Fuente: fotografías propias

Es evidente que el deslizamiento en algún momento afectó la gradería de la cancha municipal y esta presenta agrietamiento por el centro de la estructura (ver Figura 57).



Figura 57. a. Cuerpo de deslizamiento que remonta gradería. b y c. Agrietamiento de gradería.

Fuente: fotografías propias

Estación E15: Entre Carreras 4 y 5 al norte de la calle 10. Barrio Guayabito.

En esta zona del municipio se observa un hundimiento evidente de 2m de profundidad ocasionado por tubificación o piping, sin embargo, al sur de la corona del mismo se observan evidencias de hundimientos más pequeños (ver Figura 58). En estos se puede observar la naturaleza del material que conforma el suelo correspondiente con rellenos antrópicos (ceniza volcánica, tela, bolsas, etc). También se evidenció la presencia de tuberías de alcantarillado mal conectadas y que podrían ser las responsables del socavamiento en el lugar por el aporte importante de agua.



Figura 58. Hundimiento Barrio Guayabito sobre quebrada Fundadores. (a) Panorámica del hundimiento. (b) Evidencias de la progradación del hundimiento hacia el sur; (c) Hundimiento principal a la altura del depósito de madera.

Fuente: fotografías propias

Este hundimiento tiene forma de cárcava, su corona deja ver un nivel de 1.4m de cenizas, con alto contenido de humedad y de comportamiento plástico, estas suprayacen 0.6m de saprolito (arcilla de color rojizo) muy húmedo y también de comportamiento plástico (ver Figura 59).



Figura 59. Litología en la corona del hundimiento, quebrada Fundadores. Vista Este-Oeste.

Fuente: fotografía propia

Se observa circulación de agua sobre el cuerpo del hundimiento y presencia bio-indicadores en el sector: Platanillo, guadua, etc.

En las fotografías aéreas se puede delimitar esta zona como una cuenca de drenaje; esto fue corroborado en campo, evidenciando que estas casas fueron construidas sobre el drenaje existente, el cual fue rellenado para adecuar el terreno para su construcción.

Este hundimiento en la cuenca de la quebrada Fundadores; se podría identificar como producto de tubificación o erosión gradual y socavación interna de la masa de suelo por filtración de agua (flujo tanto natural de la quebrada y nacimientos que se rellenaron, como flujo antrópico de tuberías de agua que se encuentran enterradas y posiblemente en mal estado).

En este mismo lugar, pero sobre la carrera 5, se puede observar la vía y algunas casas degradadas por un deslizamiento antiguo sobre la ladera (ver **Figura 60**).

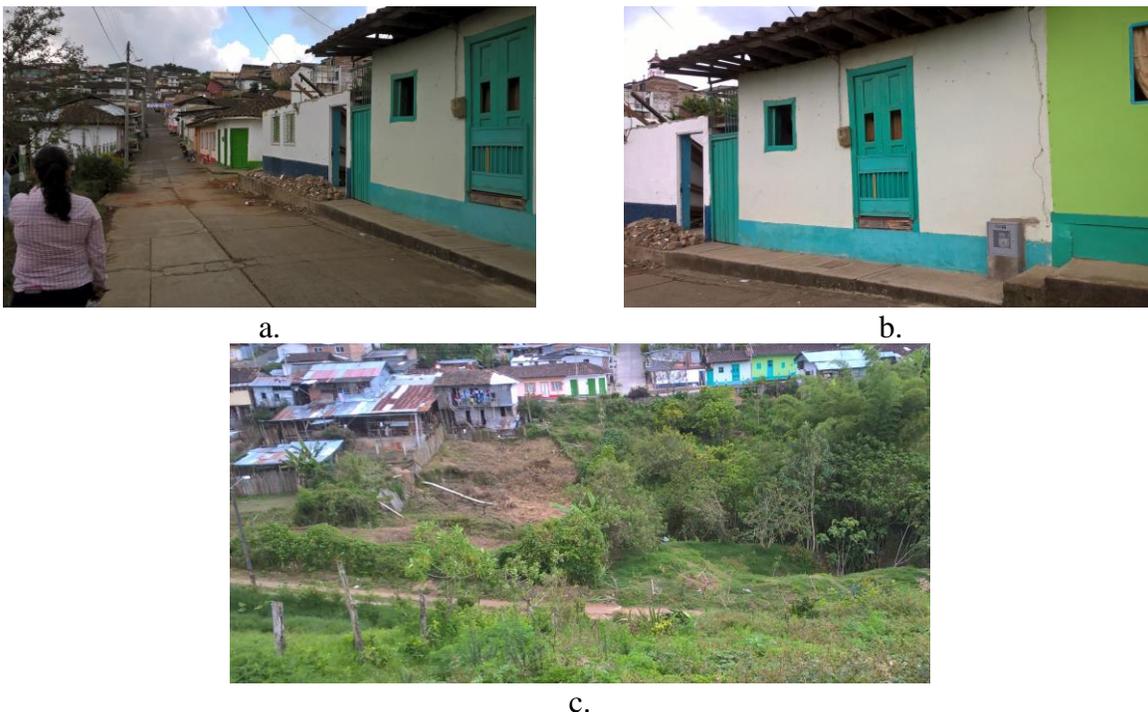


Figura 60. a. Vía con agrietamiento producido por inestabilidad de la ladera. Vista al Sur. b. Viviendas agrietadas. c. Vista Sur-Norte del deslizamiento antiguo en la ladera occidental.

Fuente: fotografías propias

Estación E19: Rotura de tubería de aguas negras, al norte del puente de la calle 13, sobre la quebrada Fundadores.

Hundimiento ocasionado por tubificación o piping, en saprolito de color rojo vino, correspondiente a metarenitas del Grupo Dagua (Kd). La profundidad es de aproximadamente 7m; este saprolito está suprayacido por cenizas volcánicas de color habano - QPcv (ver Figura 61) que han sido removidas para la construcción de viviendas y la escuela por lo tanto no se puede determinar su espesor ya que podrían hacer parte de los depósitos antrópicos.



a.



b.

Figura 61. a. Vista E-W de saprolito expuesto por socavamiento ocasionado por la rotura de tubería de aguas negras al Norte del puente de la calle 13, sobre la quebrada Fundadores. **b.** Vista lateral del socavamiento

Fuente: fotografía propia

2.7.2. Sectores afectados por erosión

Estación E44. En el Barrio Fundadores se observaron zonas de erosión ocasionadas por la disposición de material de relleno. De base a techo se observa un nivel de ceniza volcánica color amarillo ocre, posteriormente un hiato que infrayace un nivel de cenizas volcánicas de color habano y por encima de éste se puede detallar un nivel antrópico (cenizas, plástico, tela). Esta es una zona de inestabilidad que ocupa toda una esquina y adicionalmente se le ha ido retirando la vegetación lo cual contribuye con la inestabilidad (ver Figura 62).



a.



b.



c.

Figura 62. a. Zona erosiva y de depósitos antrópicos en el barrio Fundadores. b. Detalle de inestabilidad en el mismo lugar. c. Depósitos antrópicos que ocasionan inestabilidad.

Estación E38. Al Este de la Institución Educativa Camilo Torres. Zona erosiva que afecta ceniza volcánica amarillo ocre (ver **Figura 63**).



Figura 63. Afloramiento de cenizas volcánicas color amarillo ocre, con erosión en en margen del talud

Fuente: fotografía propia

Estación E43. Erosión por cambio en el uso del suelo. Detrás del Hospital, sobre la quebrada Maravélez.

Es un talud de 6m de altura desnudo por la tala de árboles, se autorizó la tala por presunta inestabilidad debido a la ubicación de pinos en la parte alta (ver Figura 64).



Figura 64. Erosión por tala de árboles en la Quebrada Maravélez.

Fuente: fotografía propia

Estación E49. Desde este punto se puede observar una zona erosiva al NE de la quebrada Maravelez, afectada por terraceo “provocado por las patas de las vacas” que desnuda un saprolito rojo intenso. La geomorfología se ve afectada por erosión generada por ganado (ver Figura 65).



Figura 65. Erosión por influencia de ganado al Nor-Este de la Quebrada Maravélez sobre un depósito aluvial (Qal).

Fuente: fotografía propia

Se observa al Este del municipio en el área de influencia de la quebrada Maravélez una serie de deslizamientos pequeños y zonas de erosión que podría decirse son ocasionados por el alto contenido de humedad en conjunto con el tipo de litología, la falta de cobertura vegetal y cambios en el uso del suelo (de bosque a pastos para ganado).

Estaciones E54, E55 y E56. Sobre la vía que conduce al antiguo matadero.

Zona erosiva (desprendimientos) que afecta material de flujo matriz soportado muy compacto (Qal), cenizas volcánicas (QPcv) y las rocas metasedimentarias del grupo Dagua (Kd-a) (ver **Figura 66**).



Figura 66. Zona erosiva en la vía que conduce al antiguo matadero.

Fuente: fotografía propia

Estación E89. PTAR el Oasis.

Las instalaciones de la PTAR (lagunas de oxidación), se construyeron sobre depósitos de avenida torrencial que son disectados por la quebrada Patuma, se observa una curva erosiva de la quebrada, a la que se le construyó un gavión recubierto de concreto en la ladera Sur, este gavión se encuentra desestabilizado desde su base y ya no cumple su función de protección (ver **Figura 67**).

Se observa mucha vegetación y troncos de árboles caídos que pueden ocasionar represamiento.

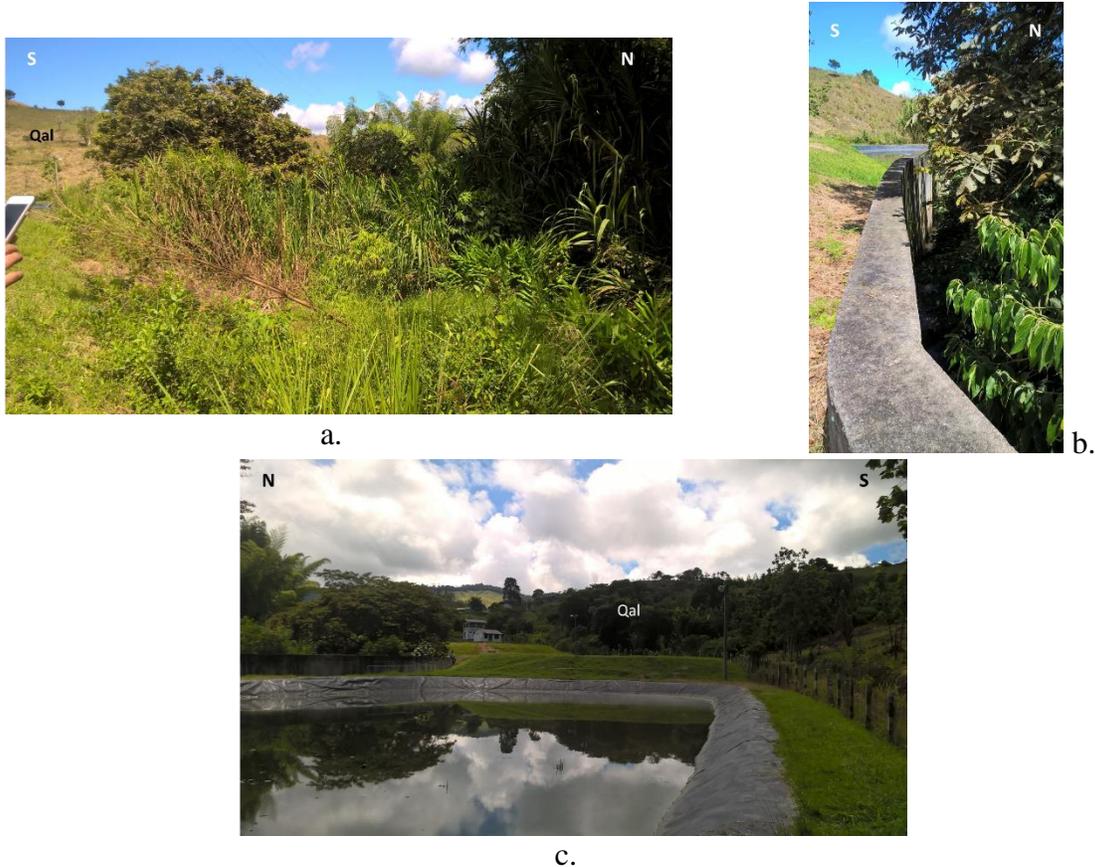


Figura 67. a. Curva erosiva en zona de la PTAR, muy vegetada. b. Detalle del muro que protege la ladera Sur de la quebrada Patuma en la PTAR. c. Obsérvese al Norte la curva protegida por el muro.

Fuente: fotografías propias

2.7.3. Sectores afectados con deslizamientos antiguos

Estaciones E27 y E29: Al Este del Centro de Integración ciudadana. Entre estas dos estaciones se observa una cicatriz de deslizamiento antigua, con desarrollo de lenguas de solifluxión; este sector está siendo modificado para la construcción de una urbanización (ver **Figura 68**).



Figura 68. a. Antiguo deslizamiento rotacional, al Este del Centro de Integración Ciudadana

Fuente: fotografía propia

Desde la Estación E26. Se puede observar un deslizamiento antiguo al Este de la quebrada Maravélez (ver Figura 69).



Figura 69. a. Antiguo deslizamiento al Este de la quebrada Maravélez. Vista desde la Estación E26, detrás del Centro de Integración Ciudadana.

Fuente: fotografía propia

En la siguiente Tabla 1 se relacionan los movimientos en masa encontrados en el área urbana del municipio:

Tabla 1. Sitios con remoción en masa en la zona urbana del Municipio de Versalles

SITIOS CON REMOCION EN MASA ACTUAL					
ESTACIÓN	LOCALIZACIÓN	LITOLOGIA	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS	OBSERVACIONES
E11	Cancha municipal	El deslizamiento expone de base a techo una Diorita (Kv) altamente meteorizada (esta roca no es afectada por el deslizamiento), pero que conserva algo de su estructura y que en su parte superior evoluciona a un saprolito rojo-Kv (afectado por el deslizamiento) muy plástico que es suprayacido disconformemente por ceniza amarillo ocre- QPcv (afectado por el deslizamiento); y esta a su vez está separada por un hiato de 1 cm aprox., representado por una costra café muy dura; arriba de este se observa una capa masiva de ceniza de color habano-QPcv (afectado por el deslizamiento)	Deslizamientos rotacionales, el movimiento fue por flujo, los materiales afectados se pueden describir como suelo transportado de ceniza (Stc) y suelo residual de la Formación volcánica (Kv), el contenido de humedad es alto y de comportamiento plástico	Lat.: 4.569593 Long:-76.198731 Elevación: 1904	Como contribuyentes detonantes se tienen: - En el pasado hubo escapes de agua de tuberías, tanques y canalización de aguas lluvias de la vía (a todo esto, se le dio manejo) - Actualmente existen nacimientos de agua cerca de la corona de deslizamiento. - La cancha está implantada sobre una pequeña cuenca de drenaje e impide la circulación de agua de la misma. -Presencia de arcillas expansivas (Stc y saprolito del Kv) que dan lugar a cambios volumétricos que incrementas los esfuerzos internos. - El grado de descomposición que presenta el saprolito de la Formación Volcánica - Kv (Roca básica con minerales ferromagnesianos). -El clima es de ambiente tropical húmedo.
E15	Barrio Guayabito	Afecta depósitos de cenizas volcánicas (QPcv), con alto contenido de humedad y de comportamiento plástico, estas suprayacen un saprolito (arcilla) de color rojizo muy húmedo y también de comportamiento plástico	Se puede clasificar como una erosión superficial moderada, reciente y activa, en forma de cárcava ancha, El movimiento fue ocasionado por hundimiento ocasionado por tubificación o erosión gradual y socavación de los materiales, debido a la filtración	Lat.: 4.57625 Long: - 76.19895 Elevación: 1814	Es un movimiento en masa que ha tenido un avance retrogresivo y lateral de la inestabilidad. Como contribuyentes detonantes se tienen: -Deficiente funcionamiento de la red de alcantarillado. Tuberías de alcantarillado antiguas. - Se encontraron tuberías desunidas en el área de incidencia - Depositación de aguas servidas en el sitio que vienen de las casas circundantes.

SITIOS CON REMOCION EN MASA ACTUAL					
ESTACIÓN	LOCALIZACIÓN	LITOLOGIA	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS	OBSERVACIONES
			de agua. Los materiales afectados se pueden describir como Sa (Suelo antrópico), suelo transportado de ceniza volcánica (Stc) y suelo residual de la Formación volcánica (Kv), el contenido de humedad es alto y el comportamiento del material es plástico.		<p>-Es una cuenca de drenaje que fue rellenada para uso de expansión urbana y no se conoce el manejo o canalización del curso de las aguas naturales.</p> <p>Presencia de arcillas expansivas (saprolito del Kv) que dan lugar a cambios volumétricos que incrementan los esfuerzos internos.</p> <p>- El alto grado de descomposición que presenta el saprolito de la Formación Volcánica - Kv (Roca básica con minerales ferromagnesianos).</p> <p>-El clima es de ambiente tropical húmedo.</p> <p>-Puntualmente, no existe la vegetación típica observada en otras quebradas como arbustos, este hundimiento solo tiene vegetación de humedad y pastos.</p> <p>-En la zona se cartografió un trazo de falla inferida con pocos indicios geomorfológicos y sin evidencias de actividad tectónica reciente. Sin embargo no existen evidencias contundentes para asociar este hundimiento con actividad de la falla.</p>

SITIOS CON REMOCION EN MASA ACTUAL					
ESTACIÓN	LOCALIZACIÓN	LITOLOGIA	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS	OBSERVACIONES
E19	Barrio Centenario	Afecta saprolito (arcilla) de color rojizo de la Formación volcánica (Kv) muy húmedo y también de comportamiento plástico.	Se puede clasificar como un hundimiento activo, reciente y profundo. El movimiento fue ocasionado por hundimiento, ocasionado por tubificación o erosión gradual y socavación de los materiales, debido a la filtración de agua. El material afectado corresponde al suelo residual de las metarenitas de Grupo Dagua (Kd), el contenido de humedad es alto y el comportamiento del material es plástico.	Lat.: 4.57835 Long.: - 76.19899 Elevación: 1800	Es un movimiento en masa que ha tenido un avance y lateral en las laderas de la quebrada Fundadores, además de la profundización del cauce de la misma Como contribuyentes detonantes se tienen: - La rotura de una tubería de aguas negras - Presencia de arcillas expansivas (saprolito del Kv) que dan lugar a cambios volumétricos que incrementan los esfuerzos internos.

Fuente: elaboración propia

CONCLUSIONES

- En la cabecera urbana de Versalles, las actividades antrópicas, especialmente ligadas con los procesos de urbanización, modificó en algunos sectores la morfología del paisaje natural, generando nuevas formas y nuevos procesos que modifican el terreno y que se convierten en amenazas para sus habitantes generando procesos erosivos y movimientos en masa. Lo anterior tiene su expresión más dramática en la quebrada Fundadores, en donde se observa un fenómeno de remoción en masa de tipo hundimiento o socavamiento, el cual sigue avanzando en dirección Sur como consecuencia del relleno que se efectuó sobre la cuenca de la misma quebrada.
- Este hundimiento en la cuenca de la quebrada Fundadores; se podría identificar como producto de tubificación o erosión gradual y socavación interna de la masa de suelo debido a la filtración de agua. PMA: GCA (2007), para el caso en particular, por flujo tanto natural de la quebrada y nacimientos que se rellenaron, como flujo antrópico de tuberías de agua que se encuentran enterradas y posiblemente en mal estado.
- La falta de mantenimiento y atención a tiempo en la red de acueducto y alcantarillado, contribuyen con la agudización del fenómeno de hundimiento. Tal y como se evidencia al norte de la calle 13 sobre el puente de la quebrada Fundadores en dónde un tubo de alcantarillado roto ha vertido sus aguas sin control durante 11 meses (en el mes de septiembre 2018, se evidenciaron trabajos de estabilización en este lugar). Un escarpe de 7m de altura se ha desarrollado y la evidencia de socavamiento del pie de dicho talud es contundente.
- A pesar de que la zona más afectada por el hundimiento ha sido desalojada, y debería estar funcionando como una zona de protección (o por lo menos con serias prohibiciones sobre su uso) se evidenció que la misma sigue siendo utilizada como zona de descarga de residuos para construcción y basuras, evidenciado una falta de control institucional efectiva.
- Las instalaciones de la PTAR (lagunas de oxidación), se construyeron sobre depósitos de avenida torrencial que han sido disectados por la quebrada Patuma y actualmente se encuentran afectados por una curva erosiva de la quebrada que desestabilizó el gavión recubierto de concreto que la protegía desde su base.

REFERENCIAS

- Aspden, J.; Nivia, Á. y Millward, D. (1985). Mapa geológico preliminar. Plancha 279 Dagua. Escala 1:100.000. INGEOMINAS, Bogotá.
- Barrero, D. 1979. Geology of the central Western Cordillera, West of Buga and Roldanillo, Colombia. Publicaciones Geológicas Especiales de INGEOMINAS, 4, 75p.
- Carvajal, J.H. (2012). Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Colección Guías y Manuales, Servicio Geológico Colombiano. Bogotá
- Case, J. E., L. G. Duran, A. Lopez, y R. Moore, 1971, Tectonic investigations in western Colombia and eastern Panama: Geological Society of America Bulletin, v. 82, 10, p. 2685-2712.
- CORPOVERSALLES (2012). Plan de desarrollo 2012-2015. Municipio de Versalles.
- Higgins, M, 1971. Cataclastic rocks. Geological Survey Professional Paper 687: 1-97.
- Ibañez, D., Castro, E., Arturo J., Perez, R. y Cuellar M. (2012). Geología y Geomorfolología para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa en el municipio de Soacha, Cundinamarca, Colombia. Servicio Geológico Colombiano.
- INGEOMINAS (2005). Estudio de microzonificación sísmica de Santiago de Cali. Convenio INGEOMINAS-DAGMA, Bogotá.
- INGEOMINAS (2012). Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá D.C. 88p.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, (2013). Unidades Geomorfológicas del Territorio colombiano.
- Irvine, T.N. (1974). Petrology of the Duke Island ultramafic complex, south Eastern Alaska. Geology society of America Memoir, 138, 240pp.
- Lozano, H. (1986). Oro y plata en Colombia, Áreas promisorias. I Taller Latinoamericano sobre Exploración y Explotación de Oro Aluvial, Memorias, I, 56p
- Maya, M. y Gonzalez H. (1995). Unidades Litodémicas en la Cordillera central de Colombia: Boletín Geológico. INGEOMINAS, 35/2-3, 43-57.
- McCourt, W. J., (1984). The Geology of the Central Cordillera in the Department of Valle del Cauca, Quindío and NW Tolima: British Geological Survey Report, v. Series 84, p. 8- 49.
- Meissner, R.O., Flueh, E.R., Stibane, F.R. y Berg, F. (1976). Dynamics of the active plate boundary in southwest Colombia according to recent geophysical measurements. Tectonophysics, 35: 115-136.
- Moreno - Sanchez M y Pardo - Trujillo A (2003). Stratigraphical and sedimentological constrains on Western Colombia: Implications on the Evolution of the Caribbean Plate. In Bartolini C., Buffle, R. and Blickwede (eds), The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon Habitats, Basin Formation, and Plate Tectonics, AAPG Memoir N° 79, Chapter 40
- López, M. (2006). Análisis de deformación tectónica en los piedemontes de las cordilleras
- Nivia, A., Galvis, N., y Maya, M. (1995). Geología de la Plancha 242, Zarzal. INGEOMINAS. (1997). Mapa geológico de Colombia. Geología de la plancha 242-Zarzal. Escala 1:100.000. Memoria explicativa, Bucaramanga, INGEOMINAS. Bogotá.
- Nivia, A. (2001). Mapa geológico departamento del Valle del Cauca. Escala 1:250.000. Memoria explicativa, INGEOMINAS. Bogotá.
- Parra, E., Caballero, H., Muñoz, R. Zapata, G. y Zuluaga, J. (1984). Pág. 24. Mapa Geológico de Colombia - Escala 1:100000, Plancha 223 - El Cairo. INGEOMINAS. Bogotá.

- Peña M, C. y Mosquera A, C. (2010). Reevaluación de la amenaza sísmica en la ciudad de Cali por medio de un método de análisis integral de la información sismológica, geofísica y geológica. Memoria de Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Escuela de Ingeniería Civil y Geomática. Universidad del Valle. Santiago de Cali. Colombia, 122p.
- PMA: GCA (2007). Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. *Publicación Geológica Multinacional*, 4(432), 1. Servicio Nacional de Geología y Minería, CD-ROM.

ANEXOS

ANEXO 1. Mapa de Estaciones de Campo Geología municipio de Versalles. Zona Urbana.

ANEXO 2. Mapa Geológico municipio de Versalles. Zona Urbana.

ANEXO 3. Mapa de Formaciones Superficiales municipio de Versalles. Zona Urbana.

ANEXO 4. Mapa de Elementos Geomorfológicos municipio de Versalles. Zona Urbana.