

**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO DE LOS
PROBLEMAS DE ESTABILIDAD DE TALUDES QUE AFECTAN A LAS
VIVIENDAS DE LA ETAPA “BONANZA VISTA” DE LA URBANIZACIÓN
CIUDADELA BONANZA EN EL MUNICIPIO DE TURBACO, BOLÍVAR**



**VALENTINA ÁLVAREZ RAMOS
LIZARDO ANDRÉS ZABALA HERNÁNDEZ**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE ÍNDIAS**

2017



Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar



EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO DE LOS PROBLEMAS DE ESTABILIDAD DE TALUDES QUE AFECTAN A LAS VIVIENDAS DE LA ETAPA “BONANZA VISTA” DE LA URBANIZACIÓN CIUDADELA BONANZA EN EL MUNICIPIO DE TURBACO, BOLÍVAR

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN GEOTECNIA, MATERIALES, VÍAS, TRÁNSITO Y TRANSPORTE (GEOMAVIT)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE GEOAMENAZAS EN CASCOS URBANOS Y RURALES

INVESTIGADORES:

VALENTINA ÁLVAREZ RAMOS

LIZARDO ANDRÉS ZABALA HERNÁNDEZ

DIRECTOR:

MSc. GUILLIAM BARBOZA MIRANDA

Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de Ingeniero Civil

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS**

2017



Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar



NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Director

MSc., Guilliam Barboza Miranda

Firma del Jurado

Ph.D., Alfonso Arrieta Pastrana

Firma del Jurado

Esp., Modesto Barrios Fontalvo



DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

“Hay hombres que luchan un día y son buenos. Hay quienes luchan muchos años, y son muy buenos. Pero hay los que luchan toda la vida, esos son los imprescindibles”

Bertolt Brecht

A mi padre, mi ser humano imprescindible.

Valentina Álvarez Ramos

En primera estancia agradezco a Dios por su infinita bondad e inagotable amor ya que siempre estuvo conmigo dándome fuerzas y motivaciones para seguir adelante. A

mis padres, familiares y amigos por su apoyo incondicional en todas las áreas de mi vida y a mi alma

mater la Universidad de Cartagena, sus profesores ayudaron a forjar los conocimientos que a partir de hoy servirán ejercer profesionalmente como ingeniero civil.

Lizardo Zabala Hernández



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	15
ABSTRACT	16
INTRODUCCIÓN	17
1. MARCO DE REFERENCIA	21
1.1. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....	21
1.2. MARCO TEÓRICO.....	31
1.2.1. Factor de Seguridad	32
1.2.2. Método de análisis de equilibrio limite	33
1.2.3. Parámetros utilizados en los Análisis de Limite de Equilibrio	38
1.2.4. Software Slide	40
1.2.5. Software Surfer	40
1.2.6. Agua en el Talud	41
1.2.7. Infiltración.....	41
1.2.8. Presión de Poros	43
1.2.9. Efectos del Agua Subterránea	45
1.2.10. Tomografía Eléctrica.....	46
1.2.11. Modelo Hidrogeológico Conceptual	48
1.2.12. Control de aguas superficiales y subterráneas	48
2. OBJETIVOS	54
2.1. OBJETIVO GENERAL	54
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	54



3. ALCANCE.....	55
4. METODOLOGÍA.....	58
4.1. INVENTARIO DE LAS VIVIENDAS AFECTADAS.....	59
4.2. EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DE LA ZONA.....	59
4.3. MODELACIÓN DEL TERRENO.....	59
4.4. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES DE LA ZONA.....	60
4.5. FORMULACIÓN DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL.....	61
4.6. DIAGNÓSTICO Y PROPUESTAS CONCEPTUALES DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN.....	61
5. RESULTADOS.....	62
5.1. INSPECCIÓN VISUAL.....	62
5.2. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	62
5.2.1. Geología.....	62
5.2.2. Hidrogeología.....	66
5.2.3. Registro de precipitaciones.....	68
5.3. INVENTARIO DE VIVIENDAS AFECTADAS.....	70
5.4. MODELACIÓN DEL TERRENO.....	74
5.5. EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DE LA ZONA.....	80
5.6. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.....	88
5.6.1. Condiciones de análisis.....	88
5.6.2 Parámetros de entrada.....	89
5.7. RESULTADOS MODELACIÓN GEOTECNICA.....	92
5.8. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL.....	94



Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar



5.8.1. Área y estudio de recarga.....	94
5.8.2. Análisis de resistividades	95
5.8.3. Permeabilidad.....	102
5.9. DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO	103
5.10. ALTERNATIVAS CONCEPTUALES DE MITIGACIÓN.....	106
5.10.1. Subdrenes interceptores	107
5.10.2. Pozos verticales de extracción	107
5.10.3. Canales colectores espina de pescado.....	108
6. CONCLUSIONES	109
7. RECOMENDACIONES.....	112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114
ANEXOS	117



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. “Áreas con estudios hidrogeológicos realizados por el INGEOMINAS”.....	22
Figura 2. “Localización de sistemas acuíferos de Colombia”	24
Figura 3. “Falla de un talud”	31
Figura 4. “Fuerzas que actúan sobre una dovela en los métodos de dovelas”	35
Figura 5. “Diagrama para determinar el factor f_0 para el método de Janbu”	37
Figura 6. “Presión de poros sobre una superficie de falla potencial”	43
Figura 7. “Detalle de zanjas de coronación para el control de aguas superficiales en un talud”	50
Figura 8. “Esquema en planta de canales colectores espina de pescado”	51
Figura 9. “Subdrenes interceptores”	52
Figura 10. “Diagrama de un dren interceptor”.....	52
Figura 11. “Pozos verticales de drenaje utilizando un sistema de bombeo y sifón”	53
Figura 12. “Localización de la investigación”	55
Figura 13. “Ciudadela Bonanza, ubicación etapa Bonanza Vista”	56
Figura 14. “Esquema metodológico de la investigación”	58
Figura 15. “Ubicación en mapa geológico del área de estudio”	63
Figura 16. “Perfil típico en la zona de estudio”	65
Figura 17. “Mapa hidrogeológico del área de estudio”.....	66
Figura 18. “Corte transversal del mapa hidrogeológico del área de estudio”	67
Figura 19. “Ubicación de estación meteorológica”	68
Figura 20. “Precipitaciones medias mensuales por año”	69



Figura 21. “Valores máximos de precipitación por mes”	69
Figura 22. “Bonanza Vista, ubicación manzanas 10, 11 y 12”	70
Figura 23. “Bonanza Vista, ubicación de las viviendas visitadas”	71
Figura 24. “Andenes afectados en Bonanza Vista”	73
Figura 25. “Desprendimiento de adoquín y hundimiento en vía”	73
Figura 26. “Modelo Digital del Terreno 3D de la Etapa Bonanza Vista”	74
Figura 27. “Modelo Digital del Terreno 3D de la Etapa Bonanza Vista”	75
Figura 28. “Modelo en planta del flujo superficial para la totalidad del área topográfica”	76
Figura 29. “Modelo tridimensional del flujo superficial para la totalidad del área topográfica”	76
Figura 30. “Cuencas hidrográficas de la totalidad del área topográfica”	77
Figura 31. “Modelo tridimensional del flujo superficial y Cuencas hidrográficas de la totalidad del área topográfica”	77
Figura 32. “Proyección de las viviendas de la Etapa Bonanza Vista en el Modelo tridimensional del flujo superficial y Cuencas hidrográficas”	78
Figura 33. “Vista en planta de la proyección de las viviendas de la Etapa Bonanza Vista en el Modelo tridimensional del flujo superficial y Cuencas hidrográficas”	79
Figura 34. “Vista en planta de la proyección de las viviendas de la Etapa Bonanza Vista y dirección del flujo de agua de escorrentía”	79
Figura 35. “Estado del área de estudio en diciembre de 2004”	80
Figura 36. “Estado del área de estudio en enero de 2010”	81
Figura 37. “Estado del área de estudio en febrero de 2012”	81
Figura 38. “Estado del área de estudio en enero de 2013”	82
Figura 39. “Estado del área de estudio en diciembre de 2013”	83



Figura 40. “Estado del área de estudio en febrero de 2014”	83
Figura 41. “Estado del área de estudio en mayo de 2014”	84
Figura 42. “Estado del área de estudio en noviembre de 2014”	85
Figura 43. “Estado del área de estudio en noviembre de 2015”	85
Figura 44. “Estado del área de estudio en diciembre de 2016”	86
Figura 45. “Estado del área de estudio en febrero de 2017”	87
Figura 46. “Ubicación de cortes y perforaciones realizadas”	89
Figura 47. “Perfil estratigráfico”	90
Figura 48. “Amenazas sísmica por regiones”	91
Figura 49 “Acumulación de agua en la parte superior del talud”	95
Figura 50. “Localización de las líneas RCA”	97
Figura 51. “Lineamientos sobre la zona urbanizada”	98
Figura 52. “Perfiles invertidos de los lineamientos y las resistividades del subsuelo a diferentes profundidades”	99
Figura 53. “Zonas con presencia de saturación a lo largo de las líneas analizadas con respecto a resistividades bajas hasta los 6m de profundidad”	101
Figura 54. “Esquema de hidrodinámica subterránea”	104
Figura 55. “Proyección de la zona de estudio en planos de resistividades”	105
Figura 56. “Mapa de dirección flujo de aguas subterráneas para diferentes profundidades”	106
Figura 57. “Líneas de flujo con Subdrenes interceptores”	107
Figura 58. “Líneas de flujo con pozos de extracción”	108
Figura 59. “Direccionamiento del flujo con canales colectores espina de pescado”	108



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. “Métodos de análisis de estabilidad de taludes”	34
Tabla 2. “Parámetros de entrada”	92
Tabla 3. “Clasificación de los factores de seguridad”	93
Tabla 4. “Resumen factores de seguridad”	93
Tabla 5. “Resistividades de distintos tipos de terreno”	96
Tabla 6. “Coordenadas (este – oeste) y longitud en metros de las líneas RCA”	98
Tabla 7. “Correlación geo-eléctrica, zona de estudio”	101
Tabla 8. “Coeficientes de permeabilidad de algunos suelos naturales”	102



LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. <i>Ficha técnica Bonanza Vista 10-30</i>	117
Anexo 2. <i>Ficha técnica Bonanza Vista 10-33</i>	119
Anexo 3. <i>Ficha técnica Bonanza Vista 10-35</i>	121
Anexo 4. <i>Ficha técnica Bonanza Vista 10-37</i>	123
Anexo 5. <i>Ficha técnica Bonanza Vista 10-38</i>	125
Anexo 6. <i>Ficha técnica Bonanza Vista 10-39</i>	127
Anexo 7. <i>Ficha técnica Bonanza Vista 11-4</i>	129
Anexo 8. <i>Ficha técnica Bonanza Vista 11-5</i>	131
Anexo 9. <i>Ficha técnica Bonanza Vista 11-8</i>	133
Anexo 10. <i>Ficha técnica Bonanza Vista 10-33</i>	135
Anexo 11. <i>Ficha técnica Bonanza Vista 11-11</i>	137
Anexo 12. <i>Ficha técnica Bonanza Vista 11-12</i>	139
Anexo 13. <i>Ficha técnica Bonanza Vista 11-13</i>	141
Anexo 14. <i>Ficha técnica Bonanza Vista 11-14</i>	143
Anexo 15. <i>Ficha técnica Bonanza Vista 11-34</i>	145
Anexo 16. <i>Ficha técnica Bonanza Vista 12-6</i>	147
Anexo 17. <i>Ficha técnica Bonanza Vista 12-8</i>	149
Anexo 18. <i>Ficha técnica Bonanza Vista 12-27</i>	151
Anexo 19. <i>Ficha técnica Bonanza Vista 12-28</i>	153
Anexo 20. <i>Perfil modelado Estado Natural - Método de Fellenius con superficie de falla circular</i>	155



Anexo 21. Perfil modelado Estado Natural -Método de Bishop simplificado con superficie de falla circular.	155
Anexo 22. Perfil modelado Estado Natural -Método de Janbu simplificado con superficie de falla circular.	156
Anexo 23. Perfil modelado Saturado y sin sismo -Método de Fellenius con superficie de falla circular.	156
Anexo 24. Perfil modelado Saturado y sin sismo -Método de Bishop simplificado con superficie de falla circular.	157
Anexo 25. Perfil modelado Saturado y sin sismo-Método de Janbu simplificado con superficie de falla circular.	157
Anexo 26. Perfil modelado No saturado y con sismo -Método de Fellenius con superficie de falla circular.	158
Anexo 27. Perfil modelado No saturado y con sismo -Método de Bishop simplificado con superficie de falla circular.	158
Anexo 28. Perfil modelado No saturado y con sismo -Método de Janbu simplificado con superficie de falla circular.	159
Anexo 29. Perfil modelado Saturado y con sismo -Método de Fellenius con superficie de falla circular.	159
Anexo 30. Perfil modelado Saturado y con sismo -Método de Bishop simplificado con superficie de falla circular.	160
Anexo 31. Perfil modelado Saturado y con sismo -Método de Janbu simplificado con superficie de falla circular.	160
Anexo 32. Perfil modelado Con viviendas -Método de Fellenius con superficie de falla circular.	161
Anexo 33. Perfil modelado Con viviendas -Método de Bishop simplificado con superficie de falla circular.	161



Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar



Anexo 34. Perfil modelado Con viviendas -Método de Janbu simplificado con superficie de falla circular. 162



RESUMEN

En un proyecto de ingeniería, los estudios preliminares nos ayudan a conocer el terreno obteniendo antecedentes y datos necesarios para definir los diseños y procedimientos a llevarse a cabo; cuando estos estudios no se toman en cuenta al construir una edificación, se pueden presentar inclinaciones, hundimientos, derrumbes y daños estructurales por la falta de conocimiento de las características y condiciones del suelo donde se construyó. En la Ciudadela Bonanza del municipio Turbaco, Bolívar; en la etapa Bonanza Vista se intervino una ladera para dar uso a un terreno en la construcción de viviendas de interés social que luego de ser construidas presentaron fisuras en muros, grietas en las plantillas y presencia de humedad. En la presente investigación se estableció la causa del desarrollo de los problemas en las viviendas a partir de una evaluación geotécnica y un diagnóstico hidrogeológico de la estabilidad del talud intervenido para la elaboración del proyecto. Se elaboró un estudio dividido en componentes de investigación exploratoria de campo y descriptiva. El primer componente comprendió una recolección de información primaria y secundaria, así como una exploración y reconocimiento del área de estudio. El segundo componente abarcó la evaluación completa de estudios topográficos, geotécnicos, geológicos e hidrogeológicos realizados previa, durante y posteriormente a la construcción, para obtener un análisis de la estabilidad de taludes de la zona, un análisis evolutivo del terreno, la construcción de un modelo hidrogeológico conceptual partiendo de una tomografía eléctrica y la propuesta de alternativas conceptuales adaptadas a las condiciones actuales del proyecto para la solucionar la problemática. Finalmente, se encontró que en la zona se presentan flujos de agua por lo menos hasta una profundidad de 6 metros, y debido a la condición inclinada del talud, el agua subyace las viviendas de la urbanización causando deterioro en su cimentación generando inestabilidad. Por lo tanto, se debe eliminar el nivel dinámico de agua subterránea o cambiar la dirección del flujo presente, de modo que no incida sobre los cimientos de las viviendas.



ABSTRACT

In an engineering project, the preliminary studies help us to know the terrain obtaining background and necessary data to define the designs and procedures to be carried out; When these studies are not taken into account to build a building, inclinations, subsidence, landslides and structural damage may occur due to lack of knowledge of the characteristics and conditions of the land where it was built. In the Bonanza Citadel of the Turbaco municipality, Bolívar; in the Bonanza Vista stage, an application was made to build a plot of land in the construction of low-income housing that, after being built, they had problems with fissures, crevices in the templates and the presence of humidity. In the present investigation the cause of the development of the problems in the houses was diagnosed from a geotechnical evaluation and a hydrogeological diagnosis in problems with the stability of the slope that it was modified for the elaboration of the project. A divided study was developed into components of exploratory field research and descriptive. The first component comprised a collection of primary and secondary information, as well as an exploration and recognition of the study area. The second component covers the complete evaluation of topographic, geotechnical, geological and hydrogeological studies carried out previously, during and after the construction, to obtain an analysis of the stability of the slopes of the area, an evolutionary analysis of the soil, the construction of a conceptual hydrogeological model based on an electrical tomography and the proposal of conceptual alternatives adapted to the current conditions of the project to solve the problem. Finally, it was diagnosed that in the area there are water flows at least to a depth of 6 meters, and due to the inclined condition of the slope, the water underlies the houses of the urbanization causing deterioration in its foundations generating instability. Therefore, the dynamic level of groundwater must be eliminated or the direction of the present flow must be changed, so that it does not affect the foundations of the dwellings.



INTRODUCCIÓN

La ingeniería civil, tiene como objetivo la solución de distintos problemas que contribuyen al mejoramiento de la calidad de vida de muchas poblaciones y saciar la gran variedad de necesidades de los seres humanos, mediante el uso de modelos y técnicas para el cumplimiento de estos fines. Para llevar a cabo un proyecto de ingeniería, el ingeniero debe hacer uso de la creatividad y de los conocimientos adquiridos durante su preparación junto a la aplicación del método científico.

Es práctica común en ingeniería definir la estabilidad de un talud en términos de un factor de seguridad, obtenido de un análisis matemático de estabilidad. El modelo debe tener en cuenta la mayoría de los factores que afectan la estabilidad, estos factores incluyen: la geometría del talud, parámetros geológicos y geotécnicos, presencia de grietas de tensión, cargas dinámicas por acción de sismos, flujos de aguas superficiales y subterráneas, propiedades de los suelos, etc. Sin embargo, no todos los factores que afectan la estabilidad de un talud se pueden cuantificar para incluirlos en un modelo matemático. Por lo tanto, hay situaciones en las que un enfoque matemático no produce resultados satisfactorios. A pesar de las debilidades de un determinado modelo, determinar el factor de seguridad asumiendo probables superficies de falla, permite al ingeniero tener una herramienta muy útil para la toma de decisiones. (Suarez D, J 1998)

El análisis de estabilidad de taludes se realiza generalmente utilizando métodos de equilibrio límite, que requieren información sobre los parámetros de resistencia, la probable superficie de falla y parámetros geométricos del talud para calcular el factor de seguridad. Los métodos de equilibrio límite suponen que en el momento de la falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales en cada uno de los puntos de la superficie de falla lo que corresponde a un factor de seguridad igual a 1,0.



Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar



El agua es el elemento natural que mayor incidencia tiene en la inestabilidad de taludes, debido a que la mayoría de los deslizamientos ocurren después de lluvias fuertes o durante periodos lluviosos y así lo ponen en manifiesto los estudios de investigación y experimentación profesional, que hacen necesario un estudio del fenómeno de infiltración en la estabilidad de los taludes y su repercusión. Estos estudios evidencian que las condiciones de saturación parcial del suelo, por la infiltración superficial del agua lluvia, modifica la presión intersticial del medio poroso, disminuyendo los parámetros de resistencia al cortante del talud con respecto a sus condiciones iniciales, favoreciendo el deslizamiento de este. El control de agua subterránea producto de las infiltraciones es muy efectivo para la estabilización de taludes y generalmente más económico que la construcción de grandes obras de contención, en cuanto tienden a desactivar la presión de poros, considerada como el principal elemento desestabilizante de los taludes. El drenaje reduce el peso y al mismo tiempo aumenta la resistencia del talud al disminuir la presión de poros.

Existen varias formas de drenaje, superficial y profundo. El objetivo principal de estos métodos es disminuir la presión de poros y en esa forma aumentar la resistencia al corte y eliminar las fuerzas hidrostáticas desestabilizantes. El factor de seguridad de cualquier superficie de falla que pasa por debajo del nivel del agua puede ser mejorado por medio de los métodos de control de aguas subterráneas como subdrenajes. (Suarez D, J 1998)

El territorio estudiado se encuentra ubicado en el municipio de Turbaco-Bolívar, que posee dentro de sus riquezas un gran acuífero en su subsuelo que presenta la potencialidad de unidades geológicas en cuanto a posibilidades de ocurrencia de aguas subterráneas, de acuerdo a los estudios hidrogeológicos y al Atlas de aguas subterráneas de Colombia realizados por el INGEOMINAS.

Actualmente, en la etapa “Bonanza Vista” del proyecto de casas de interés social Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco del departamento de Bolívar se están presentando problemáticas estructurales en algunas de las viviendas que amenaza la vida de los habitantes de estas. Esta problemática podría ser consecuencia del impacto generado al realizar los trabajos de corte y relleno a una ladera con el objetivo de adecuar el terreno para la



construcción de la etapa sin un previo estudio de las aguas superficiales y subterráneas de este.

En este orden de ideas, cuando se determina que una zona está expuesta a problemas futuros relacionados con movimientos en masa o flujos de aguas subterráneas en el subsuelo de las edificaciones, se debe inmediatamente identificar los factores que provocarían la problemática y buscar soluciones de prevención, control y mitigación. Los gastos producidos por estas problemáticas, en cualquier obra civil son evitables si las causas se identifican con anterioridad y se toman medidas de prevención, de allí radica la importancia del conocimiento de las condiciones del terreno y subsuelo de la zona mediante la realización de los estudios adecuados y pertinentes antes de la construcción de un proyecto.

El conocimiento de la litología de la zona permite adquirir una información preliminar suficiente respecto al suelo, información que, con ayuda de pruebas de clasificación, permiten formar una idea clara de los problemas que se han de esperar en el futuro. Así como el conocimiento de la existencia de aguas subterráneas en el terreno donde se prevea la construcción del proyecto. El conocimiento apriorístico de tales condiciones permite a su vez, tener una idea clara de la posible incidencia de la mezcla de factores geológicos, geotécnicos e hidrogeológicos en el desarrollo de futuras problemáticas que generan daños grandes y ponen en riesgo la estabilidad de las edificaciones y las vidas humanas que habitan en estas.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, la investigación abarcó un análisis completo sobre la inestabilidad geotécnica de los taludes sobre los cuales se cimientan las viviendas del proyecto y un diagnóstico hidrogeológico general de la zona; donde se evaluaron parámetros como la geología del suelo, los perfiles estratigráficos, perfiles topográficos y resistividades eléctricas del terreno (estudio geofísico), a partir de estudios suministrados por la compañía URBISA S.A.

Con estos parámetros se realizó una modelación de los taludes en el Software Slide v. 5.014® para evaluar la estabilidad dinámica y estática de estos, mediante un análisis pseudoestático en condiciones similares a las presentes actualmente en la zona de estudio. Dentro de estas



condiciones, la sismicidad de la zona y la saturación del material del talud se consideraron, para crear un modelo más seguro y confiable a pesar de que es poco probable que se puedan presentar simultáneamente. Para el planteamiento del funcionamiento de los flujos de agua subterránea a nivel cualitativo, se estableció un Modelo Hidrogeológico Conceptual a partir de la correlación de la información histórica preliminar geológica, hidrogeológica e hidrológica con la información geofísica producto de una tomografía eléctrica.

Con base en el análisis de resultados y las modelaciones realizadas, se procuró responder al siguiente interrogante ¿Qué incidencia tienen las condiciones geotécnicas e hidrogeológicas de los taludes en el desarrollo de las problemáticas estructurales que se están presentando en las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” en la ciudadela Bonanza del municipio de Turbaco?

Los estudios se desarrollaron por iniciativa de la compañía URBISA S.A mediante un plan de acción y mitigación para evitar la continuidad de los daños en la zona y controlar el riesgo de que la estructura de las viviendas colapsara y pusiera en riesgo la vida de los habitantes.

Todo esto permitió establecer la incidencia de las condiciones geotécnicas, geológicas e hidrogeológicas en la problemática presente en la zona investigada y la propuesta de alternativas de solución que ayudarían a mitigar dichas afectaciones. Este estudio respalda la investigación fomentada por el Semillero de Investigación de Amenazas Naturales (SIAN), el cual contempla la investigación de amenazas y riesgos ambientales en el marco de la geología y se encuentra adscrito al grupo de investigación GEOMAVIT (Geotecnia, Materiales, Vías, Tránsito y Transporte) del programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Cartagena para incentivar la investigación del riesgo en zonas con amenazas de movimientos en masa para la planeación del ordenamiento territorial, la prevención y el control de desastres naturales.



1. MARCO DE REFERENCIA

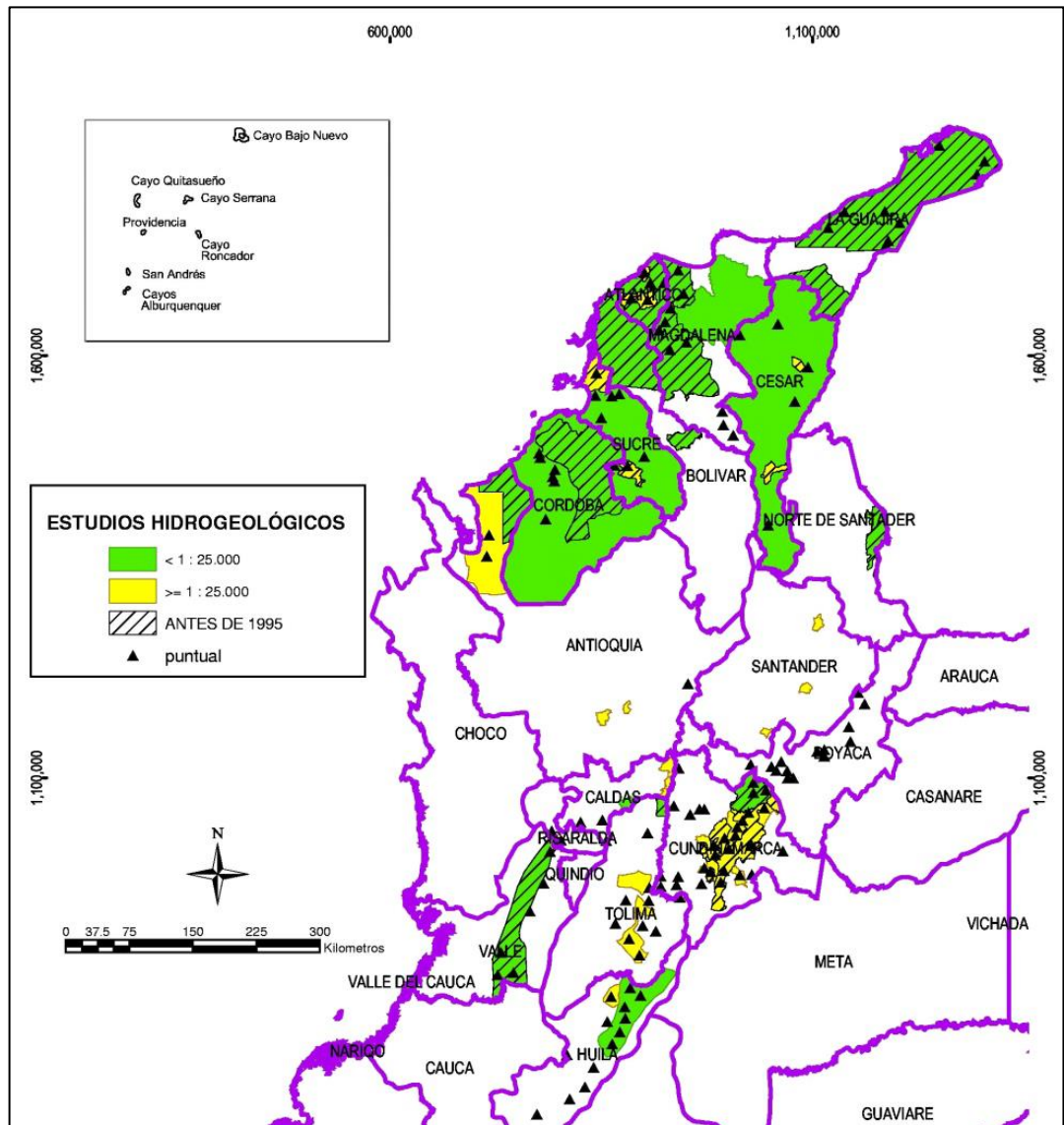
1.1. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

Los estudios hidrogeológicos en Colombia se iniciaron a partir de 1950 con el fin de plantear soluciones de abastecimiento de agua potable en algunas poblaciones del país. Durante esta primera década los principales trabajos hidrogeológicos se llevaron a cabo en los departamentos de Valle del Cauca, Boyacá, Cauca, Cundinamarca, Huila, Córdoba y Antioquia. En los años 60, se continuó con este tipo de estudios en algunas poblaciones de los departamentos de Tolima, Bolívar, Santander y Caldas, así como otros complementos en Boyacá y Valle del Cauca. (INGEOMINAS 2004. *Programa de exploración de aguas subterráneas en Colombia.*)

En la década del 70, INGEOMINAS empezó a realizar estudios sistemáticos de carácter regional mediante convenios y contratos interinstitucionales y de cooperación técnica internacional entre los gobiernos de Holanda y Colombia para la exploración de aguas subterráneas; La exploración correspondiente al departamento de Bolívar, se realizó en los años 80. Luego en el año 1996, INGEOMINAS hizo un avance importante en los estudios hidrogeológicos, con el inicio de la elaboración del atlas de aguas subterráneas de Colombia, que comprendió la agrupación y análisis de información de los estudios hidrogeológicos ejecutados por el instituto y la existente en otras entidades públicas y privadas. Este atlas tiene un cubrimiento aproximado del 30% de Colombia y presenta la potencialidad de unidades geológicas en cuanto a posibilidades de ocurrencia de aguas subterráneas, así como su localización y características hidrogeológicas. Las áreas estudiadas por INGEOMINAS identificadas de color verde en la Figura 1 permiten inferir que el departamento de Bolívar, incluyendo la zona donde se realizara el estudio (Municipio de Turbaco) ha sido investigado con anterioridad, debido al acuífero ubicado e identificado en esta área.



Figura 1. “Áreas con estudios hidrogeológicos realizados por el INGEOMINAS”



Fuente: INGEOMINAS 2004. *Programa de exploración de aguas subterráneas en Colombia.*

En el Estudio Nacional del Agua publicado por el IDEAM en 2014, se identifican los sistemas de acuíferos para todo el territorio colombiano, mediante la consolidación de un inventario de puntos de agua subterránea a nivel nacional construido con base en información secundaria. De acuerdo a la zonificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas,



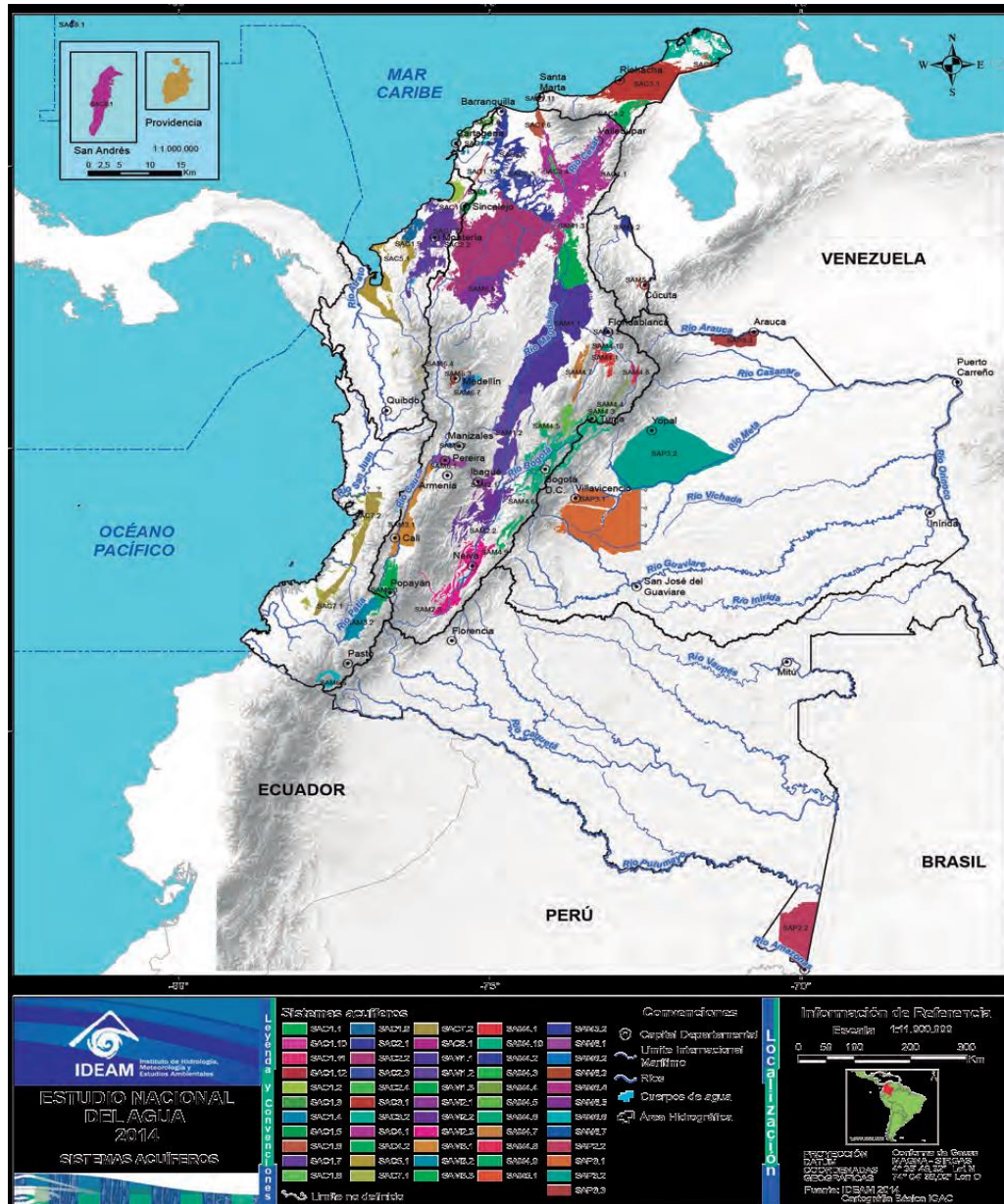
Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar



Colombia está compuesta por 16 provincias hidrogeológicas distribuidas en cinco áreas hidrográficas, donde se identifican y caracterizan 61 sistemas acuíferos. Las fichas de cada sistema acuífero identificado se construyeron con base en un Modelo Hidrogeológico Conceptual que permite tener un mayor conocimiento de las aguas subterráneas. En la Figura 2, se presenta la localización de los sistemas acuíferos de Colombia, en el que se identifica al sistema de acuífero identificado en el Municipio de Turbaco como perteneciente al área hidrográfica del Magdalena-Cauca y provincia PC1 Sinú San Jacinto y es de tipo libre, lo que permite determinar que en la parte hidrológica, la zona presenta buenas posibilidades de infiltración.



Figura 2. “Localización de sistemas acuíferos de Colombia”



Fuente: IDEAM 2014. Estudio Nacional del Agua.

A nivel nacional se han desarrollado estudios con el fin de realizar modelos hidrogeológicos conceptuales que identifican las redes de flujo subterráneas e investigaciones geotécnicas para la estabilización de laderas o taludes afectadas por aguas lluvias y sus infiltraciones.



En un artículo realizado por Teresita Betancur, Oscar Mejía y Carlos Palacio en el año 2009 se presentan los resultados de un trabajo de exploración hidrogeológica mediante el cual se logró construir un modelo hidrogeológico conceptual que representa la distribución del agua subterránea en el sistema acuífero del norte del departamento de Antioquia-Colombia a partir de información geológica, hidrológica, climatológica, nivelación piezométrica y análisis de calidad de agua. Con el fin de definir y correlacionar las unidades hidrogeológicas, determinar sus propiedades hidráulicas y definir la red de flujo, se retomó, evaluó y reinterpretó la información obtenida durante los inventarios de puntos de aguas, realización de sondeos eléctricos verticales, nivelación piezométrica y pruebas de bombeo.

Una investigación geotécnica para la estabilización de las laderas del barrio San Fermín de Ocaña en el departamento de Norte de Santander realizado por Gallardo A, R., Guerrero B, T., y Macgregor T, A. (2013), buscaba establecer las condiciones de estabilidad de esta ladera mediante la caracterización geológica, topográfica, hidrogeológica y geotécnica. Los problemas de inestabilidad de dicha ladera se deben al inadecuado manejo de aguas residuales, las infiltraciones por malas conexiones de las conducciones de acueducto y a los cortes de la ladera sin estudio técnico y sin implementar sistemas de estabilización para su urbanización lo que ha conllevado a que en periodos de lluvia se presenten deslizamientos que han afectado a las viviendas y personas que las habitan además cabe destacar que la vegetación de la zona no favorece la estabilidad de la misma ya que las raíces de las plantas son superficiales. Los resultados plantean soluciones para los problemas de inestabilidad como un muro de contención y elementos de drenaje y protección superficial para evitar la saturación del terreno, así como la revegetación con árboles de raíces profundas y la siembra de pasto.

En este orden de ideas, un estudio hidrogeológico del acuífero de Turbaco realizado previamente por Cardique determinó que el sistema hidrográfico del municipio se caracteriza por hacer parte de la cuenca baja del Río Magdalena y porque todos los arroyos nacen en la zona alta de recarga de acuíferos.



En el marco geológico, el territorio del municipio de Turbaco está influenciado por la interacción convergente de las placas tectónicas de Nazca, Caribe y suramericana, las cuales han modelado la superficie terrestre a través del tiempo. Este, está formado por depósitos que corresponden a la época del Mioceno en su mayoría y al Plioceno en menor proporción. Las formaciones miocénicas corresponden a colinas bajas, de pendientes cortas, con menor disección que las aparecidas en periodos anteriores, las cuales corresponden a colinas más altas, accidentadas y pendientes más alargadas. Las formaciones pliocénicas están dominadas por estratos calcáreos coralinos y arrecifales que fundamentalmente han dado lugar a los suelos de los alrededores de Turbaco. En este estudio también se identificaron las unidades calizas de la formación Popa (depósitos coluvioaluviales) y las unidades de la formación Bayunca como las unidades acuíferas y acuífugas respectivamente presentes en el área, así como la identificación de la falla geológica Turbana, que pasa cercana al área de estudio del presente trabajo. Esta falla, es una falla de cabalgamiento que tiene un rumbo general N45°E y buzamiento de 40° al este y que muestra evidencias claras, como lo son planos estriados, y ruptura de la roca.

En cuanto al estudio hidrogeológico se realizó una caracterización fisicoquímica y bacteriológica del acuífero de Turbaco mediante un inventario de los pozos de agua en la región con el fin de conceptualizar sobre su calidad para el consumo humano, complementados con sondeos eléctricos verticales para la determinación de los posibles niveles de acuíferos (Cardique, 2006).

Los anteriores estudios dan a conocer las características del suelo en la zona de estudio para conocer los materiales que permiten la infiltración del agua producto de las precipitaciones y son los encargados del proceso que genera el almacenamiento y circulación de redes de flujo de agua subterránea, teniendo en cuenta que el municipio de Turbaco presenta una fuerte afectación tectónica que facilita el almacenamiento de grandes volúmenes de agua en las grietas y fracturas generadas en las rocas presentes en esta área lo que indica la presencia significativa de aguas subterráneas.



Ricardo Barrios Quintero y Augusto Correa Jiménez en el año 2016 elaboraron una tesis de grado en la Universidad de Cartagena con el objetivo principal de desarrollar un modelo conceptual que analizara el funcionamiento de las aguas subterráneas del municipio de Turbaco con el fin de realizar un análisis del comportamiento hidrogeológico del flujo de aguas subterráneas en la cabecera municipal de este; Los autores elaboraron un mapa hidrogeológico de flujo subterráneo y la caracterización del acuífero, como acuífero libre con base en un modelo hidrogeológico conceptual que represento la hipótesis de funcionamiento de los sistemas de acuífero identificados. También se realizó un inventario de algunos pozos del municipio, donde afirman que a mayor altura, el nivel freático del acuífero es más profundo. Este estudio permite inferir que el municipio de Turbaco debido a sus características litológicas es un lugar propenso al almacenamiento y circulación de redes de flujo de agua subterránea.

Previo a la construcción del proyecto urbanístico Ciudadela Bonanza, en el municipio de Turbaco-Bolívar se realizó un estudio de suelos por el ingeniero Antonio Cogollo Ahumado en el año 2003, para la determinación de las características del subsuelo con el fin de establecer los parámetros utilizados para los respectivos cálculos estructurales de las viviendas y recomendaciones técnicas referentes a la adecuación del terreno para los cortes y rellenos, se concluyó que el subsuelo en su estado natural tiene una resistencia que oscila entre 1.5-2.0 Kg/cm². En este estudio se determinó en el perfil estratigráfico, el predominio de suelos principalmente arcillosos de alta plasticidad con propiedades expansivas, así como otras unidades que corresponden a suelos arenosos de grado fino y medio y finalmente la combinación de suelos arcillo-arenosos y areno-arcillosos. El nivel freático no fue detectado en las exploraciones y no se conocieron fuentes de aguas subterráneas en las proximidades. Los resultados obtenidos en este estudio sirven como base para conocer las características del subsuelo y sus parámetros de resistencia, teniendo en cuenta que no se detectaron flujos de agua subterránea por lo que no se realizaron estudios de exploración geofísicos o hidrogeológicos con el fin de encontrar posibles fuentes de agua subterránea las cuales podrían estar contribuyendo al desarrollo de la problemática presentada en la actualidad.



Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar



En el año 2016 el ingeniero Guillam Barboza Miranda realizo un estudio con el fin de evaluar la problemática que presentan algunas viviendas de la Ciudadela Bonanza, mediante una exploración geotécnica para la determinación de las propiedades geomecánicas y la estabilidad de los materiales que constituyen el subsuelo de la zona, que sirvió como base para el presente estudio y lograr determinar la incidencia que tienen las condiciones geotécnicas e hidrogeológicas en el desarrollo de las problemáticas presentadas en las viviendas de la Ciudadela Bonanza del Municipio de Turbaco y la formulación de propuestas para su mitigación.

A nivel internacional se han desarrollado estudios que analizan el fenómeno de infiltración de las aguas lluvias en los taludes o laderas y la incidencia que tienen como fuerzas de cuerpo desestabilizadoras y causante de deslizamientos, así como la realización de modelos hidrogeológicos conceptuales en zonas de estudio para el aprovechamiento e identificación de aguas subterráneas almacenadas en acuíferos.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua mediante un estudio realizado por Li X., Rendón L., y Espinoza M (2010) presenta un modelo elastoplástico para la determinación de las condiciones bajo las que sucede el colapso de taludes formados por materiales granulares saturados sujetos a un campo de fuerzas de filtración en régimen estacionario. En el estudio se realizaron análisis de estabilidad de taludes que permitieron calcular el campo de flujo de agua y la condición de colapso de las masas de suelo bajo la acción del flujo de agua y la carga interna teniendo en cuenta que las fuerzas de filtración varían espacialmente de acuerdo a la hipótesis en las que se fundamentan las soluciones analíticas de taludes infinitos, esto solo resulto aceptable en los taludes de material homogéneo. La metodología desarrollada en este estudio no necesito ninguna hipótesis a priori sobre las condiciones de flujo subterráneo o superficies de falla, de tal manera que los campos de flujo se determinaron considerando factores como las condiciones de frontera del flujo y las heterogeneidades hidráulicas. El patrón de las fuerzas de filtración determinado en el análisis de infiltración mediante vectores de fuerza de filtración, demostró que el flujo subterráneo tiene su entrada en la corona del talud y sus salidas se sitúan en la mitad inferior de la cara de este y en la superficie terrestre, más allá del pie del talud, además se determinó que estas fuerzas de filtración actúan dentro



del talud como fuerzas de cuerpo desestabilizadoras, cuya dirección y magnitud varían espacialmente. Las fuerzas en la cercanía de la corona del talud tienen direcciones hacia abajo con el máximo gradiente hidráulico; a media altura del talud, los vectores de filtración giran y vuelven a ser paralelos a la cara de este, y acercándose al pie del talud, las fuerzas de filtración se orientan hacia fuera, orientándose casi en sentido horizontal. El análisis de las entradas y salidas del flujo de agua subterránea, así como la dirección de las fuerzas de filtración sirven de base para la presente investigación ya que permiten tener una noción del comportamiento de los flujos de agua que se infiltran en el talud y como afectan la estabilidad de este.

En España al sur de la Península Ibérica, coincidiendo con la Cordillera Bética que comprende la parte meridional de la provincia de Málaga y Granada, se han registrado en el tiempo una concentración de gran número de deslizamientos de ladera inducidos por factores hidrológicos y las características petrofísicas de los macizos rocosos de ese territorio. Por consiguiente en el año 2014 el ingeniero Alfonso Gutiérrez Martín realizó en su tesis doctoral de la Universidad de Granada de España, un estudio del agua de infiltración de lluvia como agente desestabilizador de taludes en la provincia de Málaga, intentando determinar el riesgo de deslizamiento con el fin de evitar y prevenir los mismos mediante un análisis del fenómeno de infiltración de agua lluvia en taludes y su afectación a la estabilidad. La metodología desarrollada para este fin incluyó el estudio de las características petrofísicas del material en la zona analizada, cálculo de la estabilidad de taludes, desarrollo de un modelo de infiltración, medidas preventivas de estabilización y mitigación de deslizamientos. El modelo de lluvia infiltración desarrollado en este estudio se realizó con base en un modelo numérico que simula la infiltración en suelos heterogéneos, con distribuciones iniciales de contenido de agua, sujeta a precipitaciones no constantes y bajo la condición de drenaje libre. La metodología aplicada en este estudio se asimila un poco a la que se aplicara en la presente investigación sirviendo como guía para la adopción de las medidas preventivas a utilizar para el control del agua de infiltración de lluvia y el entendimiento de esta como agente desestabilizador de taludes en la zona de a analizar. Las medidas de prevención, mitigación y disminución de la influencia del agua propuestas en el estudio, comprenden: la instalación



de drenajes y pozos o columnas filtrantes en los taludes que permitan disminuir la concentración de humedad y presiones intersticiales existentes, las cuales podrían considerarse como alternativas para la mitigación de la problemática a estudiar.

Una tesis de pregrado realizada en el año 2005 por Lucia Távara Espinoza de la Universidad del Piura en Perú presenta una modelación hidrogeológica conceptual que plantea la dinámica de funcionamiento y características del sistema de acuífero aluvial en la zona montañosa del Alto de Piura mediante la interpretación de 155 sondeos eléctricos verticales realizados en la zona teniendo en cuenta las consideraciones hidrogeológicas con base en las condiciones geológicas (litología, geomorfología y estructura), exploración de campo y pruebas de bombeo que determinaron la transmisividad del acuífero. De acuerdo al modelo hidrogeológico conceptual se realizó un mapa hidrogeológico que resume la presencia de aguas subterráneas del área y muestra las diferentes unidades hidrogeológicas en superficie con el propósito de mostrar las posibilidades del recurso hídrico subterráneo de la zona.

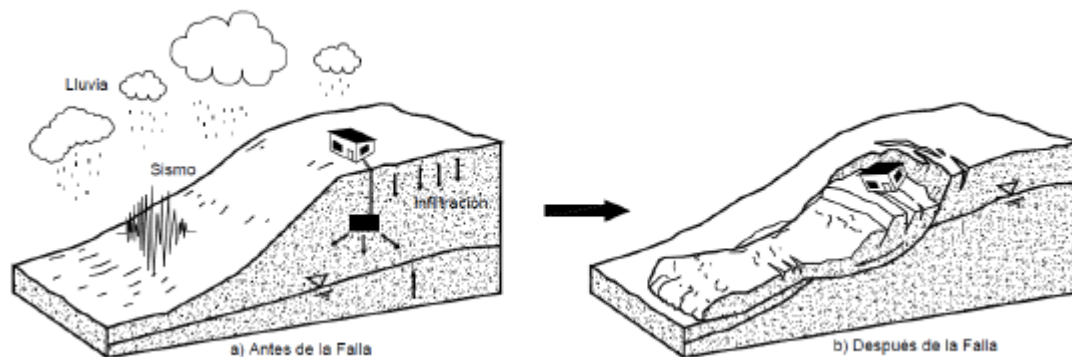
Un modelo hidrogeológico conceptual del acuífero Nimboyores realizado por Mario García y Federico Arellano en el año 2012 se realizó con el fin de conocer la dinámica de este y la influencia de las condiciones geológicas en el acuífero de Nimboyores ubicado en la provincia de Guanacaste (Costa Rica) con base en la recopilación de la información existente referente a la geología, clima, hidrogeología e hidrología, descripción litológica de pozos, incluyendo además una campaña geofísica en donde se hicieron 7 sondeos eléctricos verticales analizados por separado con el fin de poder explorar el subsuelo a profundidades grandes. Los perfiles geológicos que definen la litología de la zona obtenidos de los resultados de los sondeos eléctricos verticales, complementados por el marco hidrológico y los ensayos de permeabilidad permitieron la elaboración del modelo conceptual con el cual se logró determinar que el acuífero Ninboyores es un acuífero libre y está conformado principalmente por depósitos coluvio aluviales.



1.2. MARCO TEÓRICO

Una superficie de terreno expuesta situada a un ángulo con la horizontal se llama Talud o pendiente restringida, y puede ser natural o construido. Si la superficie del terreno no es horizontal, una componente de la gravedad ocasionara que el suelo se mueva hacia abajo, como muestra la Figura 3. Si la componente de la gravedad es suficientemente grande ocurrirá la falla de talud; es decir, la masa de suelo en la zona se deslizará hacia abajo. La fuerza actuante vence la fuerza resistente de la resistencia al corte del suelo a lo largo de la superficie de ruptura.

Figura 3. “Falla de un talud”



Fuente: Suarez D, J (1998).

El análisis de estabilidad de taludes es el proceso que estudia la estabilidad o posible inestabilidad de un talud mediante cálculos que verifican la seguridad de taludes naturales o construidos con el fin de determinar y comparar el esfuerzo cortante desarrollado a lo largo de la superficie más probable de falla con la resistencia cortante del suelo. (Braja M., 2001, pag.339)

La modelación o representación matemática del fenómeno de falla al cortante en un deslizamiento se realiza utilizando las teorías de resistencia de materiales. Las rocas y los suelos al fallar al corte se comportan de acuerdo a las teorías tradicionales de fricción y



cohesión, según las ecuaciones generalizadas de Coulomb, el esfuerzo cortante para suelos saturados y parcialmente saturados está dado por:

$$\tau = c' + (\sigma - \mu) \tan \Phi' \quad (\text{Para suelos saturados}) \quad (1)$$

$$\tau = c' + (\sigma - \mu) \tan \Phi' + (\mu - \mu_a) \tan \Phi' \quad (\text{Para suelos parcialmente saturados}) \quad (2)$$

Donde:

τ = Esfuerzo de resistencia al corte

c' = Cohesión efectiva

σ = Esfuerzo normal total

μ = Presión del agua intersticial o de poros

μ_a = Presión del aire intersticial

Φ = Angulo de fricción interna del material

Φ' = Angulo de fricción del material no saturado

El análisis de la ecuación de Coulomb requiere predefinir los parámetros de resistencia al cortante, ángulo de fricción y cohesión, los cuales se consideran como propiedades intrínsecas del suelo. La presencia del agua reduce el valor de la resistencia del suelo dependiendo de las presiones internas o de poros de acuerdo a la ecuación de Coulomb, en la cual el factor μ resta el valor de la presión normal (Suarez D, J. 1998)

1.2.1. Factor de Seguridad

El factor de seguridad es empleado para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para lo cual se diseña. Fellenius (1927) presento el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada



del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie de falla el valor del factor de seguridad está determinado por:

$$F.S = \frac{\text{Resistencia al corte}}{\text{Esfuerzo al cortante}} \quad (3)$$

El factor de seguridad en superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes es:

$$F.S = \frac{\text{Momento resistente}}{\text{Momento actuante}} \quad (4)$$

La estabilidad de un talud se define en términos del factor de seguridad, considerándose constante para todos los puntos a lo largo de la superficie de falla. (Suarez, 1998)

1.2.2. Método de análisis de equilibrio límite

El sistema de equilibrio límite supone que en el momento de una falla en el talud o ladera, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla siendo esto equivalentes a un factor de seguridad de 1.0. Este análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajos o dovelas y requiere información sobre la resistencia del suelo, pero no se requiere sobre la relación esfuerzo-deformación. La Tabla 1 presenta algunos de los métodos de análisis de estabilidad de taludes, sus características y los tipos de fallas asumidas en cada uno.



Tabla 1. “Métodos de análisis de estabilidad de taludes”

<i>Método</i>	<i>Superficies de falla</i>	<i>Equilibrio</i>	<i>Características</i>
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	De fuerzas	Este método no tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas y no satisface equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizada como para dovelas individuales. Sin embargo, este método es muy utilizado por su procedimiento simple. Muy impreciso para taludes planos con alta presión de poros. Factores de seguridad bajos.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	De momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobredeterminada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela.
Janbu Simplificado (Janbu 1968)	Cualquier forma de la superficie de falla	De fuerzas	Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobredeterminada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Janbu utiliza un factor de corrección F_0 para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos.

Fuente: Suarez D, J (1998)



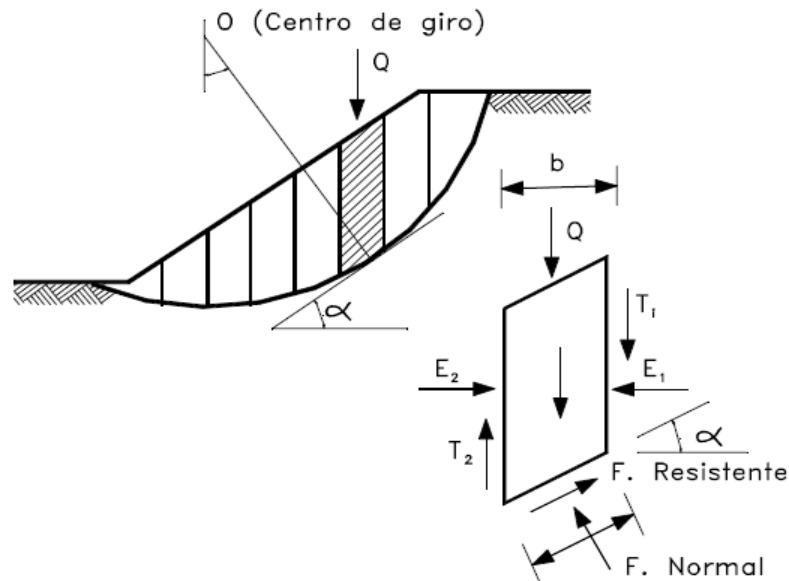
1.2.2.1. Método Ordinario o de Fellenius

Conocido también como método Sueco, método de las Dovelas o método U.S.B.R. Este método asume superficies de falla circulares, divide el área de falla en tajadas verticales, obtiene las fuerzas actuantes y resultantes para cada tajada y con la sumatoria de estas fuerzas obtiene el Factor de Seguridad.

Las fuerzas que actúan sobre una dovela son (Figura 4):

- El peso o fuerza de gravedad, la cual se puede descomponer en una tangente y una normal a la superficie de falla.
- Las fuerzas resistentes de cohesión y fricción que actúan en forma tangente a la superficie de falla.
- Las fuerzas de presión de tierras y cortante en las paredes entre dovelas, las cuales no son consideradas por Fellenius, pero si son tenidas en cuenta en otros métodos de análisis más detallados.

Figura 4. "Fuerzas que actúan sobre una dovela en los métodos de dovelas"



Fuente: Suarez D, J (1998)



El método de Fellenius calcula el Factor de Seguridad con la siguiente expresión:

$$F.S = \frac{\sum [C' b \sec \alpha + (W \cos \alpha - u b \sec \alpha) \tan \phi]}{\sum W \sin \alpha} \quad (5)$$

Donde:

α = Angulo del radio del circulo de falla con vertical bajo el centroide en cada tajada

W = Peso total de cada tajada

u = Presión de poros

b = Ancho de la tajada

C', ϕ = Parámetros de resistencia del suelo.

1.2.2.2. Método de Bishop

Bishop (1955) presento un método utilizando Dovelas y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las Dovelas.

La solución rigurosa de Bishop es muy compleja y por esta razón se utiliza una versión simplificada de su método, de acuerdo a la expresión:

$$F.S = \sum \frac{[C' b + (W - u b) \tan \phi' / ma]}{\sum W \sin \alpha} \quad (6)$$

Donde:

$$ma = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi}{F.S} \right) \quad (7)$$

α = Angulo del radio y la vertical en cada dovela

W = Peso total de cada dovela

u = Presión de poros en la base de cada dovela

b = Ancho de la dovela



C', ϕ = Parámetros de resistencia del suelo.

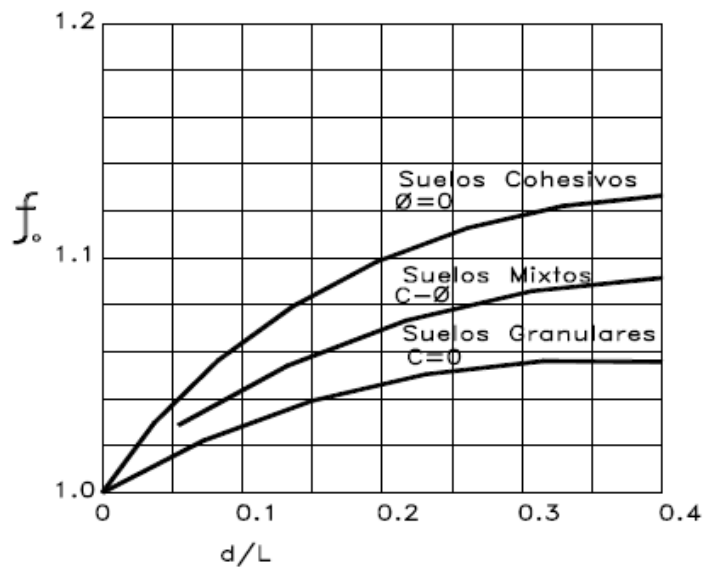
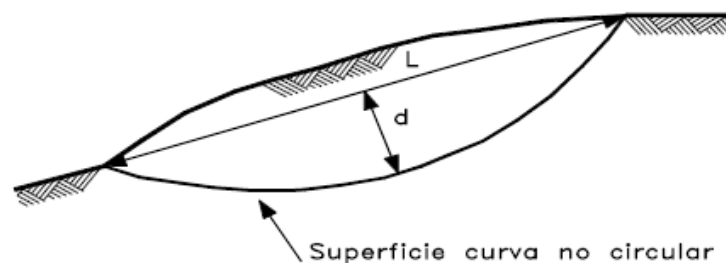
1.2.2.3. Método de Janbu

Janbu (1973) presenta un método de Dovelas para superficies de fallas curvas, no circulares, donde calcula el Factor de Seguridad de acuerdo a la expresión:

$$F.S = \frac{f_0 \sum \left\{ [C'b + (W - ub) \tan \phi] \frac{1}{\cos \alpha} \right\}}{\sum (WT \tan \alpha)} \quad (8)$$

Donde f_0 depende de la curvatura de la superficie de falla (Figura 5)

Figura 5. "Diagrama para determinar el factor f_0 para el método de Janbu"



Fuente: Suarez D, J (1998)



1.2.3. Parámetros utilizados en los Análisis de Limite de Equilibrio

Los modelos de análisis de estabilidad de taludes deben tener en cuenta la mayoría de los factores que afectan la estabilidad. Estos factores incluyen la geometría del talud, parámetros geológicos, presencia de grietas de tensión, flujo de agua, propiedades de los suelos, etc. Sin embargo, no todos los factores que afectan la estabilidad de un talud se pueden cuantificar para incluirlos en un modelo matemático.

1.2.3.1. Condiciones drenadas o no drenadas

Las fallas de los taludes pueden ocurrir en condiciones drenadas o no drenadas. Si la inestabilidad es causada por cambios en la carga, tal como la remoción de materiales de la parte baja del talud o aumento de las cargas en la parte superior, en suelos de baja permeabilidad, estos pueden no tener tiempo suficiente para drenar durante el tiempo en el cual ocurre el cambio de carga. En ese caso se dice que las condiciones son no drenadas.

Generalmente, los suelos tienen permeabilidad suficiente para disipar las presiones de poro en exceso y se comportan en condiciones drenadas. Para ratas normales de carga que equivalen a meses o semanas, suelos con permeabilidades mayores de 10^{-4} cm/seg se pueden considerar drenadas y suelos con permeabilidades menores de 10^{-7} cm/seg, se consideran no drenadas. Mientras las permeabilidades intermedias se consideran parcialmente drenadas.

1.2.3.2. Esfuerzos totales o efectivos

Los problemas de estabilidad de taludes pueden analizarse suponiendo sistemas de esfuerzos totales o efectivos. En principio, siempre es posible analizar la estabilidad de un talud utilizando el método de presión efectiva, porque la resistencia del suelo es gobernada por las presiones efectivas tanto en la condición drenada como en la condición no drenada. Sin embargo, es virtualmente imposible en la práctica determinar con precisión cuales son los excesos de presión de poro que se van a generar por los cambios en las cargas (excavaciones, colocación de rellenos o cambios en el nivel del agua). (Suarez, 1998)



1.2.3.3. Resistencias al cortante

La resistencia al cortante de los suelos que conforman el talud o la ladera para utilizar en los análisis puede ser medida en ensayos de laboratorio o en ensayos de campo, de tal forma que la aplicación de cargas sean lo suficientemente lentas para que se produzca drenaje. En los cuales ya ha ocurrido la falla del talud, se recomienda utilizar las resistencias residuales. Para suelos que son completamente saturados, el ángulo de fricción para condiciones no drenadas es igual a cero.

1.2.3.4. Pesos unitarios y presiones de poro

Los problemas de estabilidad de taludes pueden formularse correctamente en términos de esfuerzos totales, utilizando pesos unitarios totales de suelo y límites externos de presión de poros. Los pesos unitarios totales son pesos húmedos por encima del nivel freático y saturados por debajo de este. En el caso de que se utilicen pesos sumergidos, se debe ignorar la presencia del nivel freático. Las condiciones de presión de poros son generalmente obtenidas de las características de las aguas subterráneas y pueden especificarse para los análisis utilizando la relación de presión de poros es cual es un método para normalizar el valor de la presión de poros en un talud.

La relación de presión de poros en un talud está definida por la siguiente expresión:

$$R_u = \frac{u}{\sigma_v} \quad (9)$$

Donde:

u = Presión de poros

σ_v = Esfuerzo total vertical del suelo a una profundidad z .



1.2.4. Software Slide

Slide es el software más completo de análisis de estabilidad de taludes creado por Rocscience Inc., usa la teoría de equilibrio límite para calcular el factor de seguridad de taludes de suelo, La interfaz gráfica en 2D basada en CAD ofrece una amplia gama de modelos y opciones de interpretación de datos que permite realizar análisis rápidos, exhaustivos y exactos. Dependiendo del método a usar, el software requiere como datos de entrada algunos parámetros como pesos unitarios secos y húmedos, ángulo de fricción interna y cohesión de los materiales, así como la relación de presión de poros para tener en cuenta el análisis de aguas subterráneas

1.2.5. Software Surfer

Surfer es un software completo para la visualización y creación de mapas en 3D, la creación de isolíneas, curvas de nivel, grillas y el modelado de superficies que se ejecuta bajo Microsoft Windows. Surfer se utiliza ampliamente para el modelamiento 3D del terreno, modelamiento batimétrico, la visualización del paisaje, análisis de superficies, cartografía de curvas de nivel, la cartografía de superficie 3D, grillado, la volumetría, y mucho más.

Surfer transforma los datos XYZ en mapas con calidad de publicación. Surfer ofrece más métodos de grillado y más control sobre los parámetros de grillado, incluyendo variogramas personalizados. También puede utilizar los archivos de la red procedentes de otras fuentes, tales como archivos USGS DEM o archivos ESRI GRID. Muestra tu grilla como mapas topográficos, mapas de pendientes en 3D, 3D *wireframe*, vector, imagen, relieves y sombreados, y los mapas de puntos. Añade mapas de base y combina distintos tipos de mapas para crear la presentación más informativa posible. Prácticamente todos los aspectos de los mapas se pueden personalizar para producir exactamente la presentación que se desea.



1.2.6. Agua en el Talud

El agua es el factor que más comúnmente se le asocia con fallas de los taludes en zonas tropicales, debido a que la mayoría de los deslizamientos ocurren después de lluvias fuertes o durante periodos lluviosos. El ciclo hidrológico es uno de los factores de tipo hidrológico que afectan la ocurrencia de deslizamientos de tierra, parte de la lluvia se infiltra y parte corre por la superficie como escorrentía.

El flujo subterráneo y los cambios en la cantidad de agua acumulada son críticos para la estabilidad de un talud, debido a que ellos controlan el balance hidrológico que puede alterar el grado de saturación y elevación del nivel freático. La respuesta del régimen de aguas subterráneas a las lluvias es diferente de acuerdo al talud, la formación geológica y las características ambientales.

Existe una respuesta inmediata a la lluvia por infiltración en las zonas cercanas al talud y una respuesta regional por las lluvias infiltradas en toda el área de aferencia alrededor del talud. En ocasiones, la respuesta regional puede tomar varios meses en presentarse, debido al recorrido que el agua realiza desde el sitio de infiltración.

1.2.7. Infiltración

La infiltración se define como el proceso por el cual el agua circula a través del perfil de suelo reponiendo la humedad de esta, recargando los acuíferos y manteniendo el caudal de los ríos durante los periodos de estiaje. La capacidad de infiltración se define como el nivel máximo de agua que un suelo puede absorber dependiendo de sus propiedades físicas y del estado de humedad antecedente a la precipitación. Se mide por la altura de agua que se infiltra, expresada en mm/hora. (Ruiz R., E & Martínez S., M. 2015)

La lluvia sobre la superficie puede conducir a dos condiciones diferentes de frontera:

- Superficie del talud inundada. La intensidad de la lluvia en este caso es mayor que la cantidad de agua que puede infiltrarse dentro de la tierra. Por lo tanto, solo parte de



la lluvia se infiltra y el resto se convierte en escorrentía. En este caso, la condición de frontera es que la succión en la superficie del terreno es igual a 0 equivalente a saturación del 100%.

- Infiltración controlada. La intensidad de la lluvia es menor que el flujo máximo de agua que se puede infiltrar en el talud. En este caso, la infiltración es controlada por la intensidad de la lluvia.

La cantidad de agua que penetra o se infiltra en la tierra queda determinada por varios factores:

- Cantidad, intensidad y tipo de precipitación.
- Ritmo de precipitación. Cuanto más rápidamente cae la lluvia, menos agua penetra, pues se satura la superficie del terreno y no permite la infiltración rápida. Entre más lenta la lluvia, habrá más infiltración y menos escorrentía.
- Pendiente superficial. La infiltración es mayor en terrenos más planos a los que corresponde velocidades de escurrimiento superficial menores.
- La permeabilidad de los suelos y rocas.
- La estructura de suelos y rocas, especialmente en lo que se refiere a fracturación, estratigrafía y la secuencia de los estratos permeable y los impermeables. El tipo de suelo va a determinar la infiltración relacionada con la succión y la permeabilidad.
- Cantidad y tipo de vegetación.
- Compactación: el proceso de compactación incrementa la densidad y reduce el tamaño y cantidad de los poros del suelo, de manera que disminuye la cantidad de agua que circula a través de este.
- Materia orgánica: el papel que juega la materia orgánica en el proceso de infiltración favorece la absorción de humedad y la creación de espacios mayores por los cuales el agua circula con mayor facilidad.
- Condiciones de humedad antecedentes: la velocidad de infiltración disminuye a medida que el contenido de agua en el suelo aumenta.

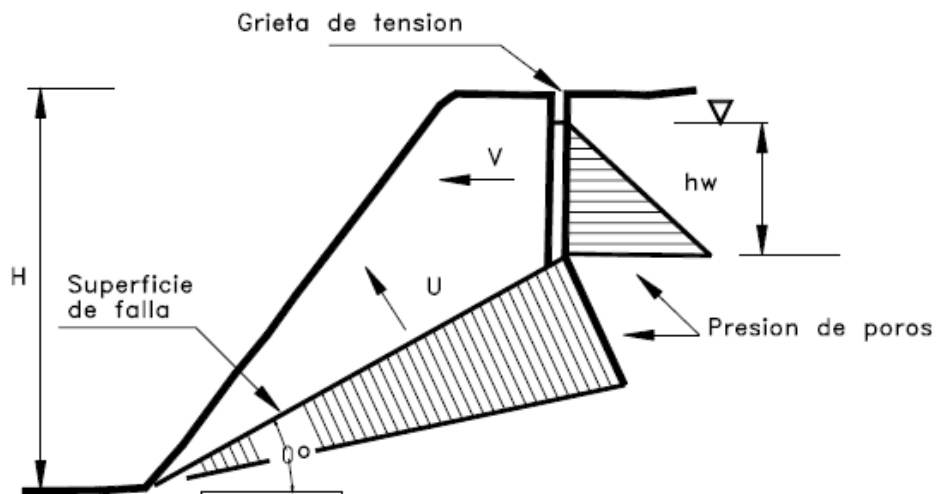


1.2.8. Presión de Poros

La presión de poros es la presión interna del agua de saturación producto de las infiltraciones. La presión de poros dentro del suelo depende de la localización de los niveles freáticos, presiones internas de los acuíferos y las características geológicas del sitio.

La presión de poros varía de acuerdo a las variaciones del régimen de aguas subterráneas. Los incrementos de presión pueden ocurrir rápidamente en el momento de una lluvia, dependiendo de la intensidad de la lluvia, de la rata de infiltración del área, etc. Un incremento de la presión positiva o una disminución de la presión negativa, equivale a una reducción de resistencia al cortante y de la estabilidad.

Figura 6. “Presión de poros sobre una superficie de falla potencial”



Fuente: Suarez D, J (1998).

Las fuerzas resultantes de los efectos de tensión superficial son de tensión en el agua y generan presiones de poro negativas (menores que la presión atmosférica), esa tensión aumenta cuando el grado de saturación disminuye. El agua subsuperficial puede dividirse entre zonas de presión de poros positiva y negativa. Las presiones de poro positiva son superiores y las negativas son inferiores a la presión atmosférica. La línea divisoria es el nivel freático donde la presión es igual a la presión atmosférica, la cual designa como presión cero.



En el análisis de estabilidad es muy importante definir el nivel del agua y las consiguientes condiciones de saturación y presiones de poros. Un talud seco puede ser estable, mientras el mismo talud puede no ser estable con un determinado nivel freático un talud estable puede fallar al ascender el nivel freático. En el caso de los taludes es necesaria la colocación de piezómetros para poder cuantificar el valor de la presión de poros que puede definir, en un determinado momento la estabilidad o inestabilidad del talud.

Para el análisis de las presiones de poros sobre una superficie de falla se deben tener en cuenta sus condiciones de drenaje. Cuando existe drenaje, la presión de poros disminuye hacia la superficie del talud, pero cuando el drenaje es deficiente se puede presentar un aumento importante de la presión de poros en el pie del talud.

La infiltración unida a fenómenos de transporte interno de agua produce un régimen de aguas subterráneas. La conducción interna de agua puede ser a través de una formación permeable o a través de juntas o fallas. Al estudiar el comportamiento de las aguas subterráneas, su almacenamiento, su movimiento y su afloramiento eventual, juegan un papel importante consideraciones de orden geológico, tanto referentes a características de superficie como las formaciones más profundas. En primer lugar, han de considerarse los tipo de las unidades de suelos y rocas presentes, la presencia de sedimentos no consolidados, tales como gravas, arena o mezcla de estos, pues por su permeabilidad, estas unidades son susceptibles de transportar agua a los taludes o las formaciones de rocas permeables como las areniscas o materiales fracturados que poseen alta permeabilidad secundaria.

Otras estructuras geológicas que facilitan la ocurrencia de deslizamientos de tierra son los materiales impermeables que impiden el paso de las corrientes de agua subterránea formando acumulaciones de agua, direccionando las corrientes o sirviendo de base para la formación de acuíferos. Cada formación geológica posee unas características particulares que pueden facilitar la formación de acuíferos o corrientes concentradas de agua.



1.2.9. Efectos del Agua Subterránea

El agua subterránea afecta la estabilidad del talud de acuerdo a los siguientes mecanismos:

1.2.9.1. Presiones de poro

El agua subterránea o agua freática circula ejerciendo presiones de poro en las partículas de suelo, la cual impide la estabilidad del talud, disminuye la presión efectiva y la resistencia al corte. La presencia de fracturas permite la ocurrencia de presiones muy altas con muy poca infiltración de agua.

1.2.9.2. Disminución o eliminación de las presiones de poro negativas por saturación

Al saturarse un suelo disminuyen las tensiones capilares o presiones negativas disminuyendo la resistencia. La resistencia de un suelo puede variar de un máximo al final de la época seca, a un mínimo durante la época de lluvia y después de una gran lluvia en que ocurren los grandes deslizamientos.

1.2.9.3. Lavado de cementantes

El agua subterránea puede sacar hacia afuera del talud los cementantes solubles y así debilitar los vínculos granulares, consecuentemente decreciendo la cohesión y el coeficiente de fricción interna.

1.2.9.4. Erosión interna

El movimiento del agua subterránea socava la arena fina y partículas sueltas de las cavidades subterráneas del talud, debilitando así su estabilidad.

1.2.9.5. Erosión por exfiltración

El agua al aflorar produce fenómenos de erosión.



1.2.9.6. Subpresiones

El agua subterránea confinada actúa como subpresión sobre las coas impermeables, disminuyendo la resistencia al corte y ejerciendo presiones hidrostáticas horizontales en juntas.

1.2.9.7. Aumento de densidad

La presencia de humedad aumenta la densidad o peso unitario de los materiales de suelo.

1.2.9.8. Fuerzas dinámicas

El movimiento de las corrientes de agua subterránea ejerce fuerzas sobre el suelo en la dirección del flujo. Para calcular la fuerza de las corrientes de agua se requiere dibujar la red de flujo, en la cual las líneas de flujo tienden a ser generalmente paralelas a la superficie del nivel freático y las líneas equipotenciales son normales a las de flujo. Esta fuerza actúa como un elemento desestabilizante en la masa del suelo y puede disminuir en forma apreciable la estabilidad del talud.

1.2.9.9. Grietas por desecación.

Los fenómenos de agrietamiento determinan la extensión y ubicación de la superficie de falla y tiene un efecto muy importante en el factor de seguridad o posibilidad de deslizamiento.

1.2.10. Tomografía Eléctrica

La tomografía eléctrica es un método de resistividad multielectrodico, basado en la modelización 2-D de la resistividad del terreno mediante el empleo de técnicas numéricas (elementos finitos o diferencias finitas).

El objetivo de este método se basa en obtener una sección 2-D de resistividades reales del subsuelo, modelo a partir del cual se puede determinar la presencia o no de filtración de agua en profundidad, mediante la localización de áreas en donde se tenga disminución anómala del valor de la resistividad del terreno.



La base teórica del funcionamiento de la Tomografía eléctrica es análoga al de los métodos de resistividad convencionales. Los métodos convencionales solo precisan 4 electrodos y se basan en introducir en el terreno, un campo eléctrico de corriente continua mediante dos electrodos de corriente conectados a un miliamperímetro, mientras que, con los otros dos electrodos conectados a un milivoltímetro, mide la diferencia de potencial eléctrica entre esos dos puntos, parámetro a partir del cual se puede calcular la resistividad en el punto medio del dispositivo y a una profundidad determinada. El sistema de Tomografía eléctrica consta de un resistivímetro o unidad básica, un selector de electrodos y un juego de cables multiconectores que permiten utilizar hasta 64 electrodos conmutables de forma totalmente automática a través del selector de electrodos y controlado por la unidad básica de control, que en conjunto realizan de forma automatizada todas las medidas de resistividades. De esta forma se obtiene la variación de la resistividad del subsuelo tanto en profundidad como lateralmente con todas las posibles combinaciones de 4 electrodos.

La resistividad eléctrica es un parámetro que varía en función de las características del terreno. Algunos de los factores que lo influyen son:

- El grado de saturación del terreno
- La temperatura
- Porosidad y la forma de los poros
- La salinidad del fluido
- El tipo de roca
- Los procesos geológicos que afectan a los materiales
- La presencia de materiales arcillosos con alta capacidad de intercambio catiónico.

Es precisamente esta estrecha relación entre la resistividad eléctrica y el grado de saturación del terreno, lo que permite el utilizar este método de resistividad en la búsqueda de focos de filtración de agua en el subsuelo. En este sentido, incrementos del contenido de agua del terreno provocarán disminuciones de la resistividad.

En lo que concierne a los otros factores, destacar que la salinidad del fluido, la porosidad del terreno y la temperatura presentan un comportamiento análogo al del grado de humedad, un



caso curioso es el de la sal, ya que esta se comporta como un excelente aislante en estado seco, mientras que en disolución confiere al terreno una alta conductividad.

1.2.11. Modelo Hidrogeológico Conceptual

Los modelos hidrogeológicos conceptuales son representaciones en dos o tres dimensiones de las condiciones estáticas y dinámicas de sistemas hidrogeológicos. Esta representación incluye la geometría de los acuíferos, delimitación de unidades hidrogeológicas de acuerdo con sus posibilidades de almacenar y transmitir agua, características hidráulicas de los acuíferos, posición de los niveles piezométricos, condiciones del flujo de las aguas subterráneas y su relación con los componentes del ciclo hidrológico, características hidroquímicas y eventualmente isotópicas y delimitación de zonas de recarga, tránsito y descarga. En términos generales, sintetiza las condiciones básicas del estado y dinámica de las aguas subterránea en el subsuelo y sus relaciones con los cuerpos de agua superficial y los aportes atmosféricos. Se realiza con base en el análisis e interpretación de información geológica, hidrológica, hidráulica, hidroquímica e isotópica y permite tener una visión del comportamiento de los acuíferos o sistemas acuíferos de un área dada a la escala deseada.

1.2.12. Control de aguas superficiales y subterráneas

Los métodos de estabilización de deslizamientos que contemplen el control del agua, tanto superficial como subterránea son muy efectivos y son generalmente, más económicos que la construcción de grandes obras de contención, en cuanto tienden a desactivar la presión de poros, considerada como el principal elemento desestabilizante de los taludes. El drenaje reduce el peso de la masa y al mismo tiempo aumenta la resistencia del talud al disminuir la presión de poros.

Existen varias formas de drenaje, superficial y profundo. El objetivo principal de estos métodos es el de disminuir la presión de poros y en esa forma aumentar la resistencia al corte y eliminar las fuerzas hidrostáticas desestabilizantes. El factor de seguridad de cualquier



superficie de falla que pasa por debajo del nivel del agua puede ser mejorado por medio de subdrenaje. La efectividad de los sistemas varía de acuerdo a las condiciones hidrogeológicas y climáticas. En cualquier sistema de subdrenaje el monitoreo posterior a su construcción es muy importante, deben instalarse piezómetros antes de la construcción de las obras de control que permitan observar el efecto del subdrenaje y a largo plazo dar información sobre la eficiencia del sistema, el cual puede ser deteriorado por taponamiento o desgaste. Los sistemas más comunes para el control del agua son:

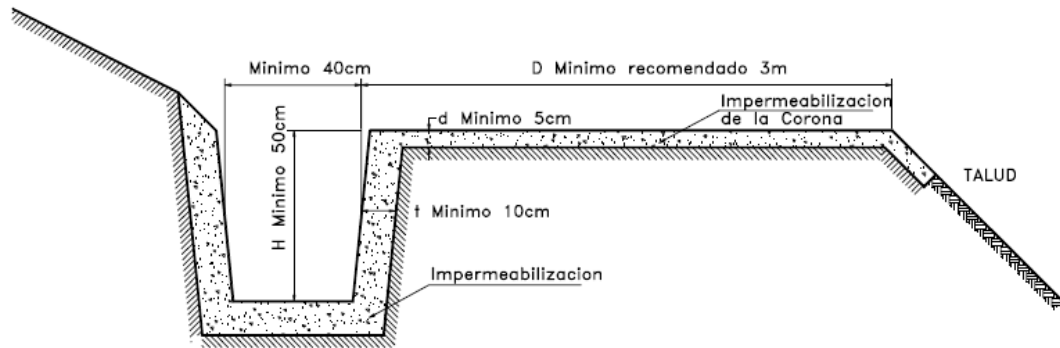
1.2.12.1. Zanjas de Coronación o Canales Colectores

Las zanjas en la corona o parte alta de un talud son utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente las aguas lluvias, evitando su paso por el talud.

La zanja de coronación no debe construirse muy cerca al borde superior del talud, para evitar que se conviertan en el comienzo y guía de un deslizamiento en cortes recientes o de una nueva superficie de falla (movimiento regresivo) en deslizamientos ya producidos; o se produzca la falla de la corona del talud (Figura 7). Se recomienda que las zanjas de coronación sean totalmente impermeabilizadas, así como debe proveerse una suficiente pendiente para garantizar un rápido drenaje del agua captada. Se sugiere que al menos cada dos años se deben reparar las zanjas de coronación para impermeabilizar las fisuras y grietas que se presenten debido a los movimientos en el terreno producidos con el tiempo. Se procura que queden localizadas a lo largo de una curva de nivel para un correcto drenaje y que estén suficientemente atrás de las grietas de tensión en la corona. La separación mínima recomendada es de tres metros del borde de la corona.



Figura 7. “Detalle de zanjas de coronación para el control de aguas superficiales en un talud”

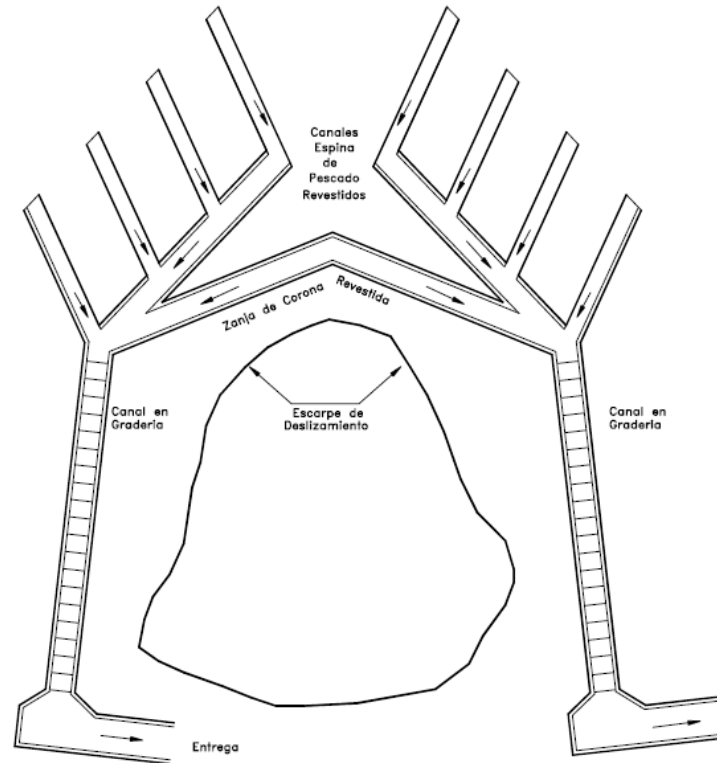


Fuente: Suarez D, J (1998)

Para disminuir la infiltración de agua en las áreas arriba del talud se acostumbra construir canales colectores en espina de pescado, las cuales conducen las aguas colectadas, por la vía más directa hacia afuera de las áreas vulnerables del talud, entregándolas generalmente a canales en gradería (Figura 8). Estos canales deben impermeabilizarse adecuadamente para evitar la reinfiltración de las aguas.



Figura 8. “Esquema en planta de canales colectores espina de pescado”



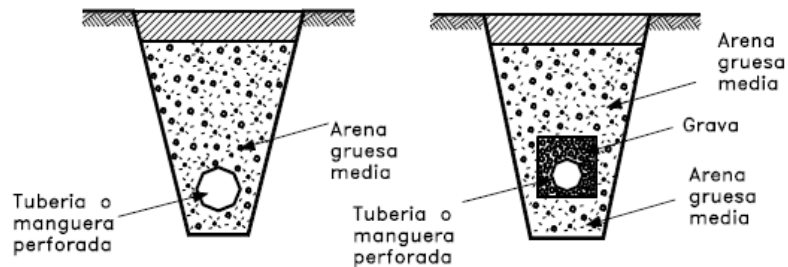
Fuente: Suarez D, J (1998)

1.2.12.2. Subdrenes Interceptores

Los subdrenes interceptores son zanjas excavadas a mano o con retroexcavadora, rellenas de material filtrante y elementos de captación y transporte del agua. La profundidad máxima de estas zanjas es de aproximadamente seis metros. Los hay de diversas formas siendo una de ellas, con material de filtro y tubo colector (Figura 9). Es conveniente tener en cuenta que los drenes tratan de taponarse por transporte y deposición de las partículas más finas del suelo. Para evitar este fenómeno se debe colocar un filtro que impida el paso de las partículas finas de suelo y que permita la filtración rápida del agua. Los dos tipos generales de material de filtro son: Material granular natural filtrante y Filtro de mantos sintéticos o geotextiles.

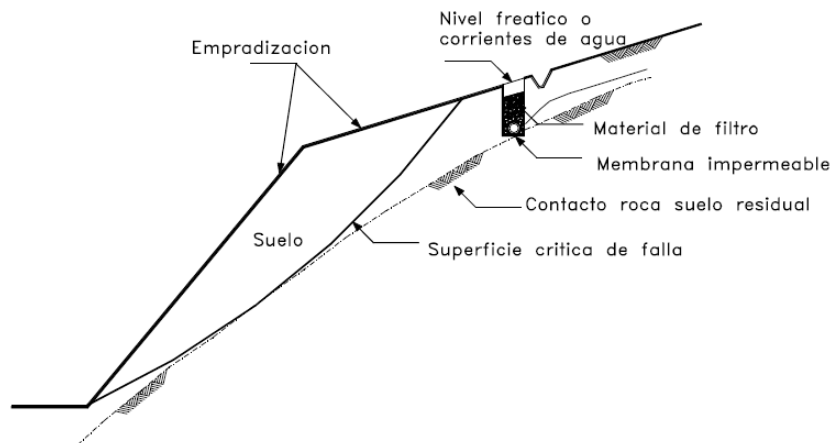


Figura 9. "Subdrenes interceptores"



Fuente: Suarez D, J (1998)

Figura 10. "Diagrama de un dren interceptor"



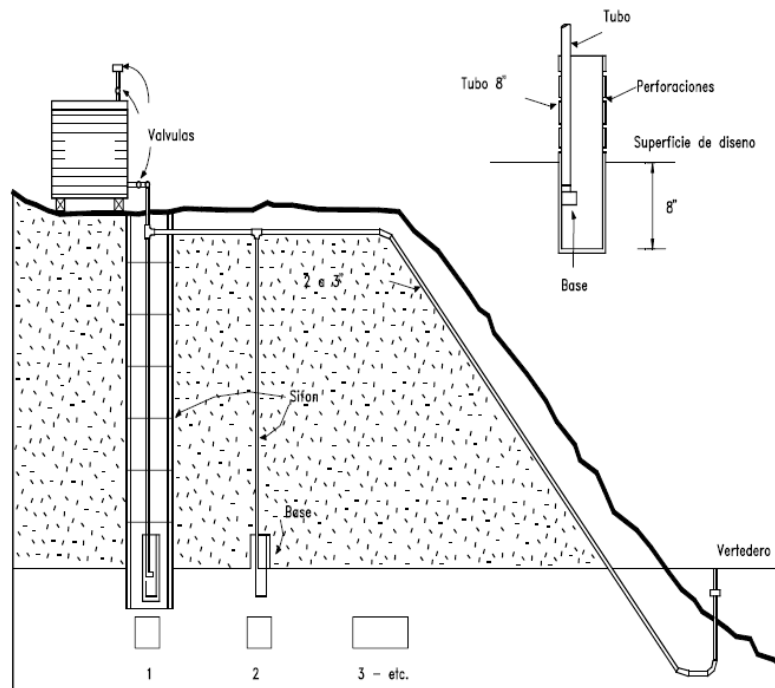
Fuente: Suarez D, J (1998)

1.2.12.3. Pozos Verticales de Drenaje

Los pozos verticales de drenaje son perforaciones verticales abiertas que tratan de aliviar las presiones de poros, cuando los acuíferos están confinados por materiales impermeables. Entre más alto el pozo vertical, su efecto es mayor. Los pozos verticales, tienen generalmente un diámetro externo de 16 a 24 pulgadas, con un tubo perforado de 4 a 8 pulgadas de diámetro en el interior de la perforación. Su sistema de drenaje puede ser por bombeo, interconectando los pozos por drenes de penetración o empleando un sistema de sifón.



Figura 11. “Pozos verticales de drenaje utilizando un sistema de bombeo y sifón”



Fuente: Suarez D, J (1998)

El objetivo principal del drenaje superficial es mejorar la estabilidad del talud reduciendo la infiltración y evitando la erosión. El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio seguro. Esto puede lograrse con la construcción de zanjas interceptoras en la parte alta del talud, llamadas zanjas de coronación. No se recomienda la utilización de conducciones en tubería por la alta susceptibilidad a agrietarse o taponarse, generando problemas de infiltración masiva concentrada.

El drenaje subterráneo tiene por objeto disminuir las presiones de poro o impedir que estas aumenten. La cantidad de agua recolectada por un sistema de subdrenajes depende de la permeabilidad de los suelos o rocas y de los gradientes hidráulicos. Cuando se instala un dren generalmente, el nivel piezométrico se disminuye al igual que el gradiente hidráulico, lo cual disminuye el caudal inicial recolectado por los drenes.



2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la incidencia de las condiciones geotécnicas, geológicas e hidrogeológicas en los problemas de estabilidad de taludes presentes en la etapa Bonanza Vista de la Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, mediante el análisis de los resultados producto de estudios realizados al terreno con el fin de proponer alternativas de prevención y mitigación.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar el problema desde el punto de vista estructural mediante un inventario de las viviendas afectadas.
- Comparar fotografías satelitales para hacer una evaluación multitemporal de la zona y realizar una modelación del terreno con base a la topografía de este.
- Evaluar geotécnicamente la estabilidad de los taludes de la zona aplicando los métodos de análisis de estabilidad de taludes por equilibrio limite.
- Formular un modelo hidrogeológico conceptual con base en los análisis de los antecedentes hidrogeológicos de la zona, estudios geofísicos y las condiciones geológicas del subsuelo que determinan la capacidad del terreno para recibir y regular el agua proveniente de las infiltraciones.
- Proponer alternativas conceptuales de mitigación que se ajusten a las condiciones geotécnicas e hidrogeológicas determinadas.



3. ALCANCE

La investigación se desarrolló al sur de la cabecera municipal de Turbaco sobre la vía Troncal del Caribe que conduce hacia el municipio de Arjona, en la etapa “Bonanza Vista” del proyecto de viviendas de interés social llamado Ciudadela Bonanza.

Figura 12. “Localización de la investigación”



Fuente: Google Maps, modificada por autores.



Figura 13. “Ciudadela Bonanza, ubicación etapa Bonanza Vista”



Fuente: Web: <https://www.ciudadelabonanza.com/galera>, modificada por autores

La investigación se desarrolló en el segundo semestre de 2017 con una duración de aproximadamente 5 meses, partiendo de la recopilación de estudios topográficos, geológicos y geotécnicos hechos al suelo de la zona estudiada previa, durante y posterior a la construcción; además de la búsqueda de fotografías en el tiempo, del terreno, para identificar la evolución de este, antes de construir y durante el desarrollo del proyecto.

Los diseños arquitectónicos, los estudios topográficos y geotécnicos fueron suministrados por la empresa URBISA S.A. propietarios del proyecto.

Primeramente, se realizó un inventario estructural de las viviendas más afectadas elaborando fichas técnicas y evaluando las afecciones con respecto a fotografías tomadas, posteriormente se recopilaron fotografías en el tiempo del terreno, antes de ser intervenido el talud para la construcción y durante esta para hacer una evaluación multitemporal de la zona y con base al estudio topográfico se hizo una modelación del terreno por medio del software Surfer v.13



utilizando el método de Triangulación Irregular donde se destacó una elevación mayor de 154 msnm y una menor de 100 msnm, además de la proyección de las viviendas en un modelo tridimensional del flujo superficial y las cuencas hidrográficas.

El análisis de la inestabilidad del talud comprendió, la determinación de los factores de seguridad de un modelo de talud en el software Slide v.5.014®, el cual incluyó la topografía del talud (sección típica) suministrada por la empresa URBISA S.A, los parámetros mecánicos del suelo como los pesos unitarios, parámetros de resistencia al cortante determinados a partir del estudio de suelos suministrado y algunas condiciones adicionales como los coeficientes de aceleración sísmica y el coeficiente para determinar la presión de agua (Ru), utilizando los métodos de Bishop simplificado, Janbu simplificado y Ordinary/Fellenius para una superficie de falla circular bajo 5 condiciones de análisis.

A lo largo del desarrollo de la investigación, URBISA S.A. ordenó a la empresa Subterra Exploraciones la elaboración de una tomografía eléctrica con el objetivo geofísico de determinar las características del subsuelo en el área de la investigación, el informe final de este estudio fue suministrado a nosotros para elaborar un modelo hidrogeológico conceptual asociando las resistividades detectadas, asociadas a las zonas acuíferas del lugar; y la evaluación geológica y geotécnica hecha. Y así, se estableció un diagnóstico hidrogeológico concepto que explica la afección presente en esta zona de la urbanización. Luego de esto, se elaboraron propuestas conceptuales que podrían dar solución a la problemática presentada.

Esta investigación no incluyó la realización de estudios topográficos, geotécnicos y geológicos; y las alternativas de solución presentadas corresponden a propuestas conceptuales basadas en el diagnóstico hallado y no a un diseño técnico y definitivo.

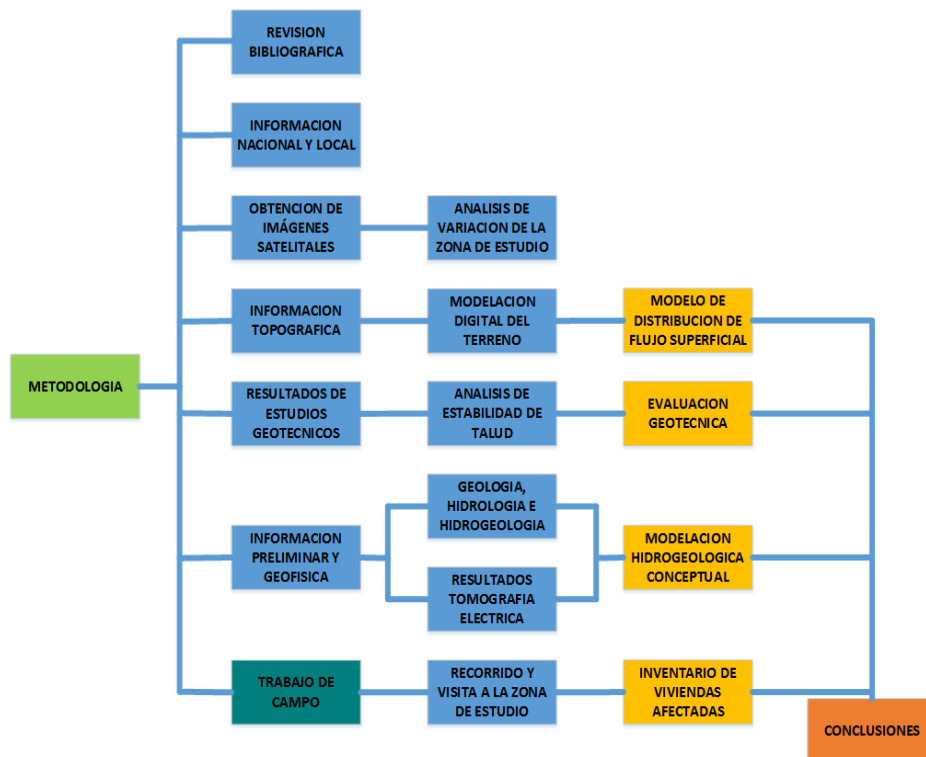
Consecuentemente, el proyecto pretende mostrar el procedimiento que se debe llevar a cabo cuando en un proyecto ya construido, se presentan problemas estructurales debido a la inestabilidad del suelo, específicamente la incidencia que tiene en una construcción, el proceso de la intervención a un talud sin haber hecho estudios acorde y completos en la parte geotécnica, geológica e hidrogeológica para prevenir e impedir que la mezcla de estos factores generen daños grandes y afecten comunidades.



4. METODOLOGÍA

El tipo de investigación realizada fue de tipo mixta, debido a que contó con la naturaleza descriptiva donde se analizaron los resultados de estudios realizados con anterioridad en la zona de estudio con el fin de determinar la incidencia de las condiciones geotécnicas, geológicas e hidrogeológicas en el desarrollo de la problemática y de tipo exploratoria de campo donde se realizó el reconocimiento del área de estudio y un inventario de las viviendas más afectadas. Esta investigación se desarrolló desde mediados de julio de 2017 hasta finales de octubre del mismo año y en la Figura 14 presenta de forma esquemática los pasos que se siguieron para desarrollar el estudio.

Figura 14. “Esquema metodológico de la investigación”





4.1. INVENTARIO DE LAS VIVIENDAS AFECTADAS

Esta etapa comprendió primeramente un recorrido general en la zona de estudio por las viviendas que sufrieron daños. Se tomaron fotografías de las partes de las viviendas que se encontraban afectadas y de algunas fisuras en andenes y carreteras de la etapa Bonanza Vista. Con las imágenes de las afectaciones por vivienda se hizo una ficha técnica para cada casa y así clasificar el tipo de lesión que presentaba y su respectiva evidencia de esta.

Con respecto a la evaluación patológica, se planteó una posible causa a todas estas lesiones de acuerdo con información bibliográfica y lo visto físicamente; cómo, de acuerdo con la forma de las fisuras y las grietas, se puede definir qué problema se está presentando y si el agua tiene que ver con el modo en el que se están produciendo las lesiones.

4.2. EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DE LA ZONA

Se realizó un análisis comparativo de cómo ha sido la evolución del área de estudio donde actualmente se ubican las viviendas de la etapa Bonanza Vista de la ciudadela Bonanza mediante fotografías satelitales de fechas anteriores, obtenidas de Google Earth desde el año 2004 hasta el año del presente informe para determinar evidencia de procesos de cambios en la topografía del terreno.

4.3. MODELACIÓN DEL TERRENO

Para la generación del Modelo Digital de Terreno (MDT) del área de estudio, se estructuró la cartografía digital con base en la topografía de la zona con Datum en el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia (MAGNA-SIRGAS) del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) que incluye las curvas de nivel, depresiones, relieves, estructuras existentes y demás aspectos, suministrada por la empresa URBISA S.A.

La modelación se realizó con el software Surfer v13 mediante el método de la triangulación irregular procesando toda la información mencionada anteriormente, específicamente en lo



concerniente a detalles planimétricos y altimétricos necesarios para la realización del modelo con el fin de obtener una representación de las condiciones del terreno antes de la construcción de las viviendas de la etapa Bonanza Vista y realizar el análisis de las direcciones de flujo de las aguas de escorrentía, la ubicación de las cuencas hidrográficas y la influencia de estas en la ubicación proyectada de las viviendas sobre el modelo.

4.4. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES DE LA ZONA

Para realizar la evaluación de la estabilidad de los taludes de la zona se hizo indispensable contar con los parámetros deducidos en el estudio geotécnico suministrado, los cuales sirvieron para conocer los parámetros de resistencia al corte del suelo, valores como la cohesión, el Angulo de fricción interna, límites de Atterberg, granulometría, entre otros. Con estos datos, se estructuro el modelo Geologico-Geotecnico en el cual se simula las condiciones reales que se establecen en los taludes de la zona de estudio con ayuda del software Slide v.5.014® lo que posteriormente permitió realizar el análisis y evaluación de la estabilidad de los taludes.

Para realizar la modelación en el software Slide v.5.014®, se creó un archivo para el perfil a estudiar, teniendo en cuenta los datos de la caracterización del modelo Geologico-Geotecnico; Se crearon dos archivos en formato (.dxf) con las mismas coordenadas x, y, z en el software de diseño AutoCAD 2016 ya que el software Slide V5 solo permite importar archivos en dicho formato, el primero contenía la superficie o el borde externo de todo el perfil a analizar, y el segundo contenía los bordes internos de los límites de cada estrato de la estratigrafía encontrada.

Luego en el software Slide v.5.014®, importamos los dos archivos del perfil y de acuerdo a cada material constituyente de los taludes, se introdujo cada parámetro geomecanico correspondiente y se calcularon las superficies de falla posibles y los Factores de Seguridad de acuerdo a cinco (5) condiciones que representan el estado actual y pronósticos del estado



de los taludes, utilizando los métodos de análisis de equilibrio límite: Bishop simplificado, Fellenius y Janbu simplificado.

4.5. FORMULACIÓN DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

Se correlaciono la información histórica preliminar geológica, hidrogeológica e hidrológica con la información geofísica producto de los resultados de la Tomografía eléctrica realizada por Subterra Exploraciones para URBISA S.A (propietarios del proyecto), desarrollándose una hipótesis de funcionamiento de los flujos de agua subterránea a nivel cualitativo.

Para establecer el modelo hidrogeológico conceptual se requirió del conocimiento de la geología de la zona, dado que son las formaciones geológicas quienes contienen y potencialmente pueden almacenar el agua subterránea; información y datos hidrogeológicos que permitieron conocer la dinámica, distribución y comportamiento del flujo subterráneo y el conocimiento de la hidrología de superficie que permitió obtener información de las acciones externas que recargan el acuífero.

Para complementar la información hidrogeológica se utilizaron los resultados de un estudio geofísico a través de una tomografía eléctrica, mediante el cual se obtuvo una serie de perfiles donde se registraron resistividades aparentes del subsuelo, a partir del cual se pudo determinar la presencia de filtraciones de agua a diferentes profundidades mediante la localización de áreas en donde se tuvo una disminución anómala del valor de la resistividad del terreno y correlacionando lo anterior a la litología de la zona.

4.6. DIAGNÓSTICO Y PROPUESTAS CONCEPTUALES DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN

Como paso final para este proyecto se realizó un diagnóstico hidrogeológico presentando la hidrodinámica subterránea; y las alternativas conceptuales de mitigación y control para las aguas subterráneas presentes, después de haber recolectado toda la información pertinente y haber realizado todos los objetivos propuestos con sus respectivos análisis.



5. RESULTADOS

5.1. INSPECCIÓN VISUAL

Las fisuras y grietas en las viviendas que se presenciaron en la visita de campo a la zona de estudio corresponden a manifestaciones de los asentamientos del suelo sobre el cual están cimentadas las viviendas puesto que estas atraviesan diagonalmente los muros afectados debido a que una parte del muro desciende con respecto al resto de este produciendo la fractura, adicional a esto las viviendas presentan humedad en sus elementos producto del agua que asciende por capilaridad desde el suelo. La amenaza que representa el estado de las viviendas corresponde a la incidencia de las condiciones del suelo que componen los taludes de la zona. La zona de recarga y de infiltración de las precipitación fueron ubicadas en la parte alta del talud y será corroborada su incidencia luego de un modelo hidrogeológico conceptual y una evaluación geotécnica para la determinación de la posible incidencia en la problemática presentada.

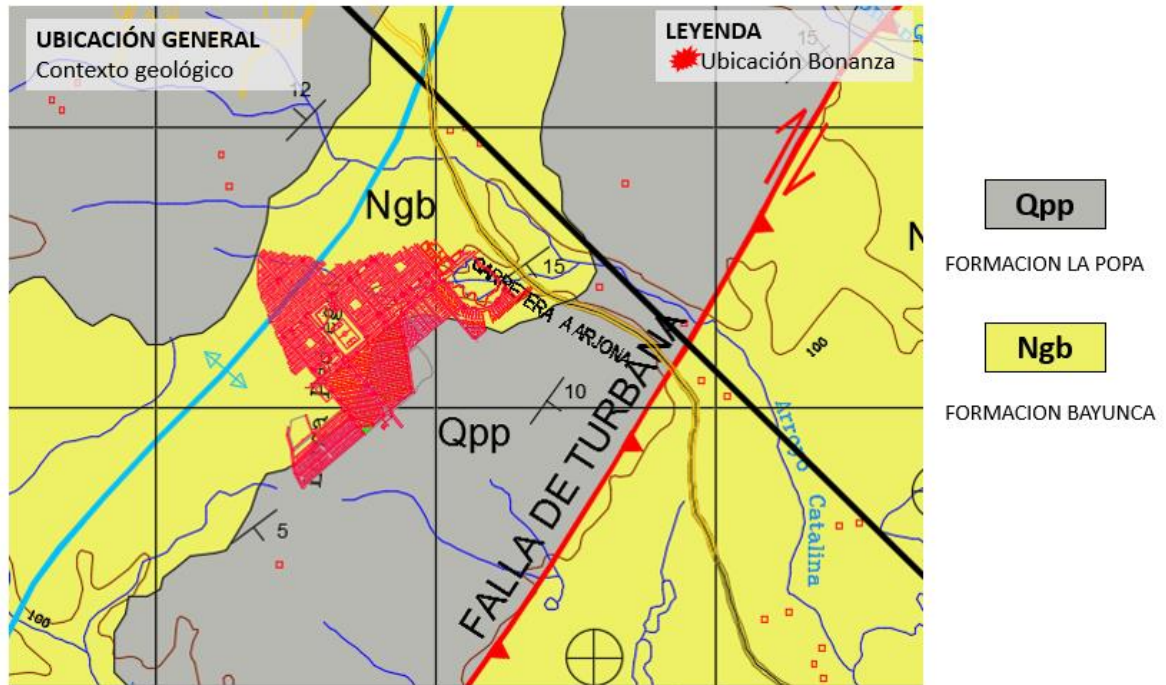
5.2. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

5.2.1. Geología

El municipio de Turbaco se encuentra geológicamente en el llamado Cinturón del Sinú, constituido por secuencias de rocas sedimentarias originadas por el depósito de materiales granulares en mar profundo, tipo turbiditas, del periodo Mioceno superior-Plioceno inferior y rocas sedimentarias de origen marino somero carbonatadas, de edad plioceno superior-Holoceno, las cuales suprayacen a las anteriores.



Figura 15. “Ubicación en mapa geológico del área de estudio”



Fuente: Tomado y modificado de Google Earth

Geológicamente el área de estudio se encuentra bajo la influencia de la **Formaciones La Popa** representada por la nomenclatura **Qpp** la cual está conformada por calizas arrecifales, areniscas friables y limolitas calcáreas. En la zona también hay presencia de areniscas, arcillolitas y limolitas características de la **Formación Bayunca** representada por la nomenclatura **Ngb**.

5.2.1.1. Formación La Popa

Bürgl (1957) es quien le da el nombre de Formación La Popa a los estratos que conforman el cerro de La Popa en Cartagena. Consiste de una secuencia de sedimentos consolidados que inicialmente se había dividido en dos conjuntos litológicamente diferentes: uno detrítico terrígeno y otro calcáreo (tanto detrítico como arrecifal). Estos dos miembros han sido separados en Formación Bayunca (terrígeno), y en Formación La Popa (calcáreo), con un conjunto arenoso entre ellos.



Está se compone entonces de calizas arrecifales color crema conformadas por colonias de corales y fragmentos de conchas, areniscas calcáreas fosilíferas y arcillolitas calcáreas (margas), con gradación normal del tamaño de grano. Las calizas se encuentran fracturadas y presentan fenómenos de disolución, siendo su porosidad secundaria. Estas calizas se presentan como parches y no continuamente siendo el producto de la colonización de los corales en zonas topográficamente más altas.

5.2.1.2. Formación Bayunca

La formación Bayunca (Ngb) corresponde al miembro detrítico de la Formación La Popa. Se compone de tres partes principalmente arcillosas, las cuales se describen así:

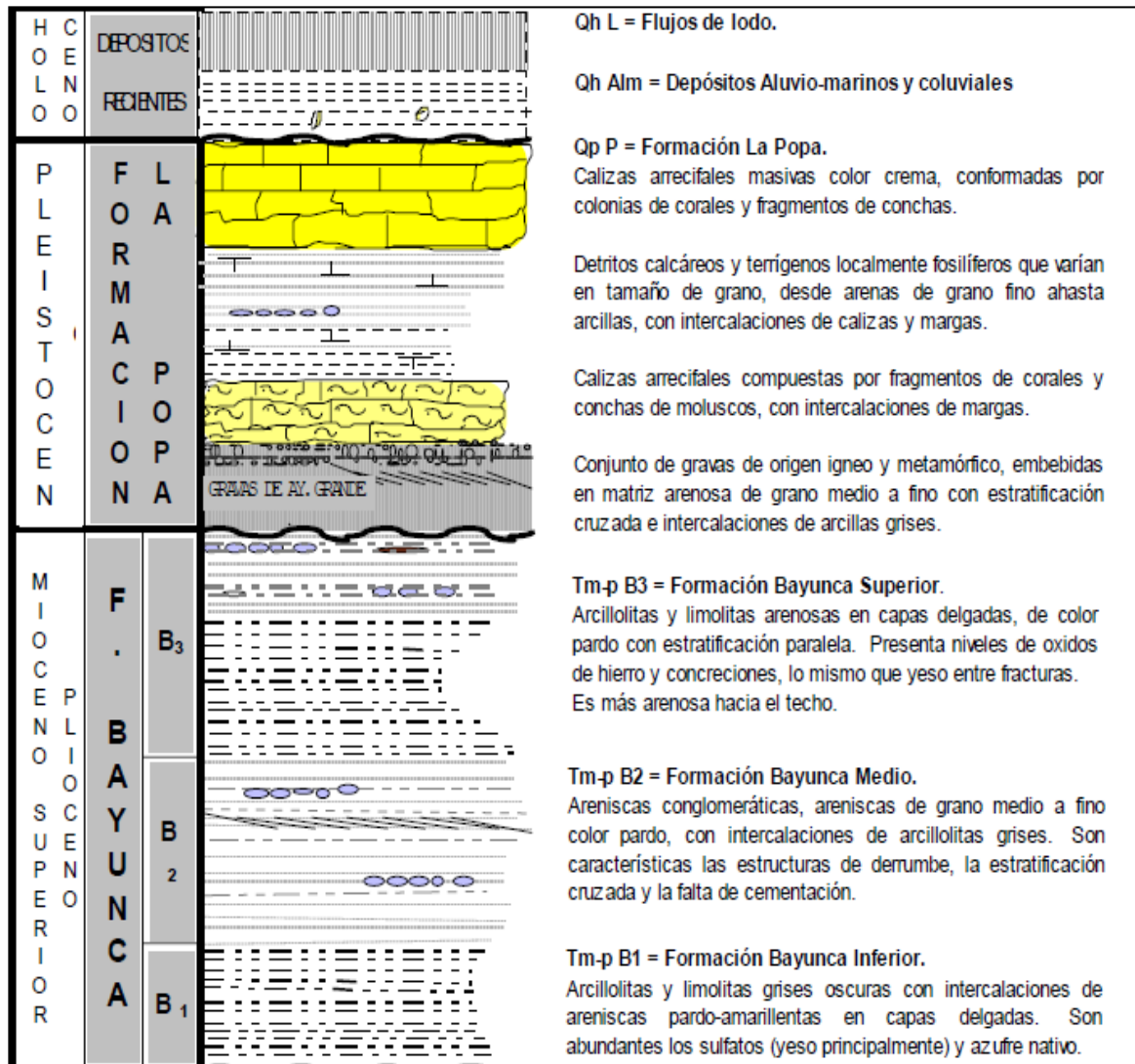
El Conjunto Inferior está compuesto por una alternancia de arcillolitas y lodolitas grises oscuras, con escasas intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino y concentraciones de sulfatos (yeso) y azufre derivado.

El conjunto intermedio está compuesto por areniscas deleznales (arena poco consolidada) con intercalaciones de arcillolitas, limolitas y areniscas conglomeráticas de grano fino. El conjunto superior de la Formación Bayunca es limo arcilloso, con delgadas intercalaciones de limolitas y areniscas de grano fino de color pardo; Posee niveles de óxidos de hierro sulfatos y concreciones de arenisca calcárea con estructuras sedimentarias que son fundamentalmente laminación plana y cruzada. Esta unidad aflora en algunos sitios, tanto al Noreste como hacia el Sur, en la zona de escarpes presentes en Turbaco. (CARDIQUE, 2006)

Podemos encontrar un resumen de la secuencia estratigráfica en la zona de estudio en la Figura 16.



Figura 16. “Perfil típico en la zona de estudio”



Fuente: Gómez B., L (2006).

La Falla geológica Turbana pasa aproximadamente a un kilómetro del área de estudio, como se observa en la Figura 15. Esa falla se extiende por 35 km desde el Canal del Dique en inmediaciones del caserío Recreo-Piedrecitas, hasta la Falla del Dique, al occidente de Villanueva. Tiene un rumbo general de N45°E y buzamiento de 40° al este. Es una falla inversa de cabalgamiento que presenta al este de Turbaco evidencias claras, como lo son los planos estriados, y ruptura de la roca, mientras que al suroeste de Turbana y noreste de



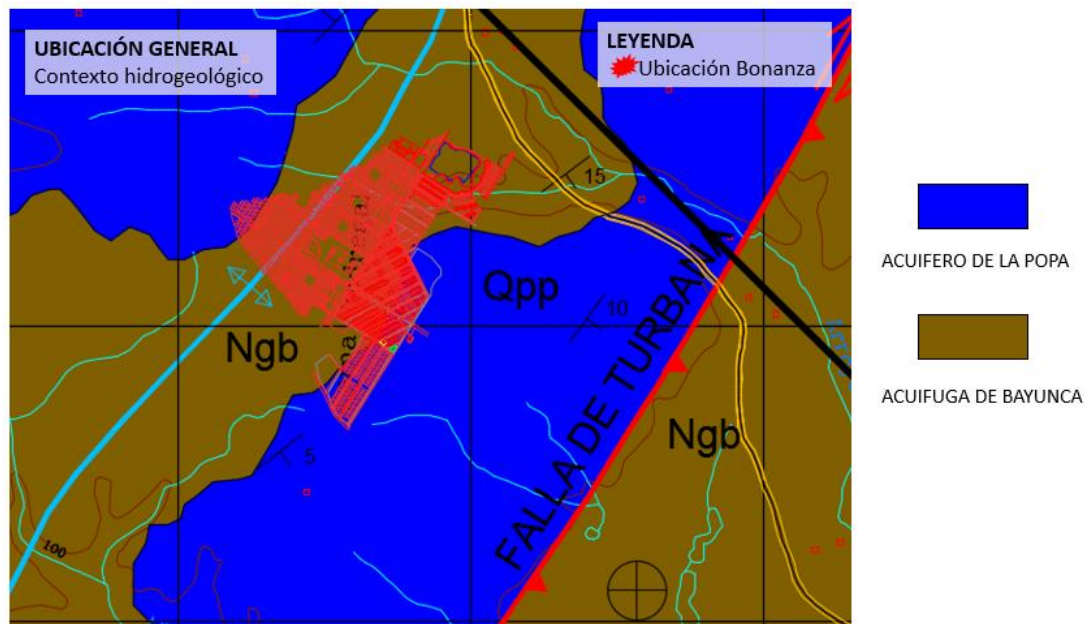
Turbaco solo presenta indicios de movimiento. Las evidencias muestran cabalgamiento de las Gravas Rotinet sobre la formación La Popa y repetición de la Formación La Popa (CARDIQUE, 2006).

5.2.2. Hidrogeología

En el municipio de Turbaco se presentan varias unidades hidrogeológicas como acuíferos, acuitardos y acuífugas, las cuales presentan características especiales por sus diferentes tipos de litologías.

Hidrogeológicamente el área de estudio se encuentra bajo la influencia del *Acuífero de La popa* la cual está conformada por rocas calcáreas altamente fracturadas debido a la intensa actividad tectónica del área lo que le confiere la característica de reservorio y porosidad secundaria. En la zona también hay presencia de lutitas y limolitas con intercalaciones de capas delgadas de areniscas con porosidad moderada, baja permeabilidad y conductividad nula correspondientes al *Acuífuga de Bayunca*.

Figura 17. “Mapa hidrogeológico del área de estudio”



Fuente: Tomado y modificado de CARDIQUE (2006)



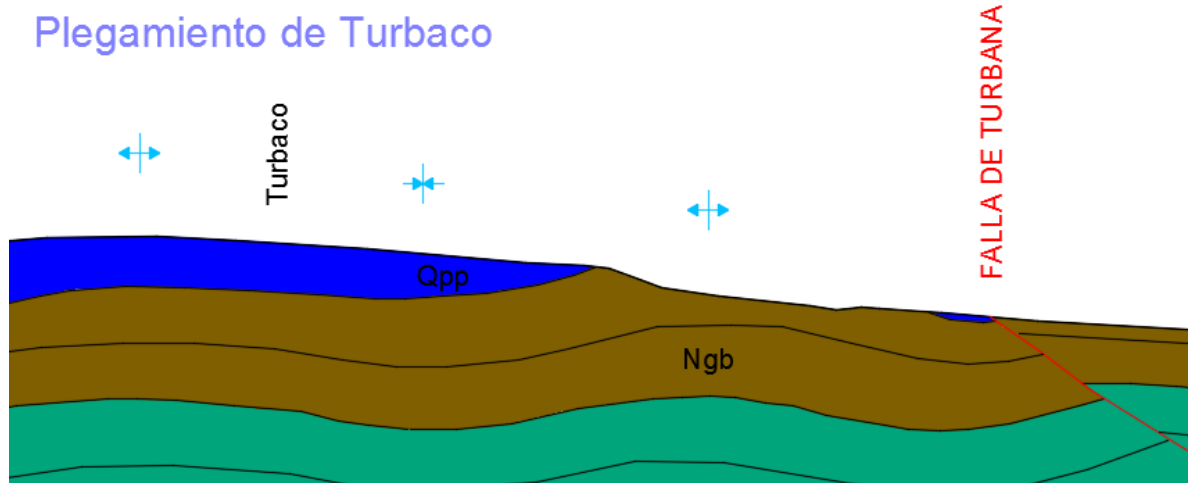
5.2.2.1. Acuífero de La Popa

Está constituido por calizas arrecifales, areniscas calcáreas fosilíferas y arcillolitas calcáreas (margas), con gradación granocreciente de base a tope. Debido al tectonismo y fenómenos de disolución se generaron fracturamiento y grietas lo que le confiere una porosidad secundaria a estas rocas. Este acuífero se caracteriza por tener una capacidad media alta de almacenamiento y por tanto se clasifica como un acuífero de buena productividad. Se comporta como un acuífero libre y su área de recarga es toda la parte aflorante de esta unidad.

5.2.2.2. Acuífuga de Bayunca

Lo componen una alternancia de arcillolitas y lodolitas grises oscuras, con escasa intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino. Por su litología compuesta de unidades con porosidad moderada o nula, baja permeabilidad y conductividad nula le confieren características impermeables funcionando como un sello.

Figura 18. “Corte transversal del mapa hidrogeológico del área de estudio”



Fuente: CARDIQUE (2006)



5.2.3. Registro de precipitaciones

Se realizó un estudio de las precipitaciones de la zona con base en los datos meteorológicos de la estación pluviográfica ARJONA suministrados por El instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), estación tomada por ser la más cercana de la zona de estudio.

Figura 19. “Ubicación de estación meteorológica”



Fuente: Ideam, 2017.

Se determinó que la precipitación durante los años en los cuales fue construida la etapa Bonanza Vista que corresponden a los presentados por la Figura 20 presento valores pico por encima del promedio anual desde que se inició la construcción de la Ciudadela Bonanza que corresponden desde el año 2004 con un promedio de 1651.5 mm en cambio el promedio anual de precipitación de los datos presentados por la Figura 20 es de 2414.74 mm.

Adicional a esto, la Figura 21 presenta los valores de precipitación máximo mensual con un promedio de valor máximo por año de 95mm, valor que también se encuentra por encima del



promedio anual desde el año 2004 que corresponde a un valor de 74.4. Esto permite justificar la saturación en las laderas de la zona de estudio y que podría estar desencadenando los problemas actuales de la zona.

Figura 20. “Precipitaciones medias mensuales por año”

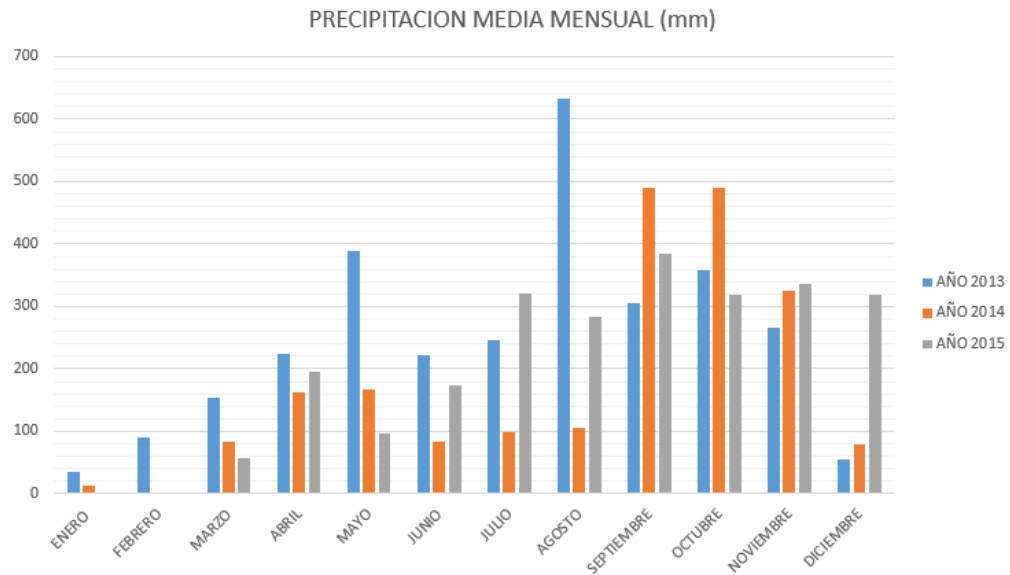
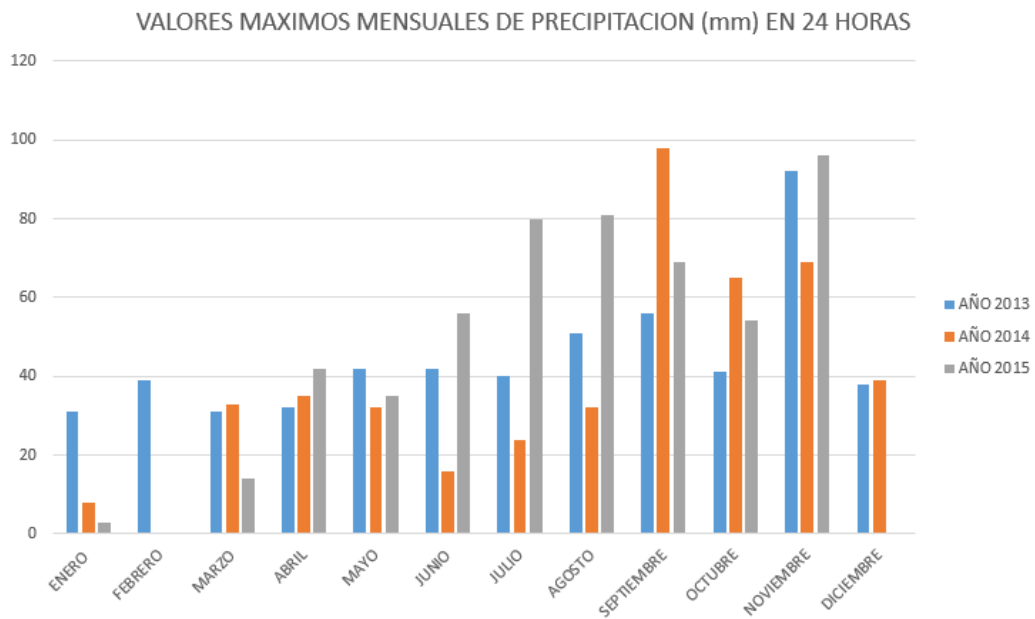


Figura 21. “Valores máximos de precipitación por mes”





5.3. INVENTARIO DE VIVIENDAS AFECTADAS

Se visitaron 19 viviendas, estas están divididas en 5 modelos: Florencia (11 casas), Milán (1), Bari (4), Nápoles (1) y Torino (2) y pertenecen a tres manzanas (10, 11, 12) de las 14 que posee Bonanza Vista.

Figura 22. “Bonanza Vista, ubicación manzanas 10, 11 y 12”



Fuente: Web: <https://www.ciudadelabonanza.com/galera>, modificada por autores

Las viviendas visitadas fueron: V10-30, V10-33, V10-35, V10-37, V10-38, V10-39, V11-4, V11-5, V11-8, V11-9, V11-11, V11-12, V11-13, V11-14, V11-34, V12-6, V12-8, V12-27, V12-28.



Figura 23. “Bonanza Vista, ubicación de las viviendas visitadas”



Fuente: Google Earth, modificada por autores.

Se encontró que todas las viviendas presentaron problemas de humedad, mayormente en el patio y en la fachada; en las viviendas de dos pisos, se evidenció también humedad en los techos del primer piso y en los muros del segundo piso.

Todas las viviendas presentaron fisuras y grietas múltiples y por lo menos en 3 viviendas se evidenciaron grietas muy pronunciadas con abertura superior a 1 cm de espesor.

Seis viviendas fueron intervenidas por parte de los propietarios del proyecto antes de la visita. A todas ellas se les hizo demolición de la plantilla existente, construcción de zapatas de 4 a 9 unidades y en algunas viviendas se colocaron micro-pilotes de arena, se les volvió a fundir la plantilla del patio con espesor de 10 cm y malla electro-soldada de 20X20; a algunas de



estas 6 se les hizo cambio de muros por columnas, de 2 a 8 unidades, algunas en el patio y otras en la fachada.

En las viviendas inventariadas se presencia claramente problemas debido a la inestabilidad del terreno y control de aguas subterráneas puesto que las fisuras y grietas son las primeras manifestaciones de los asentamientos producto de la consolidación del suelo sobre el cual están cimentadas las viviendas ya que el cedimiento de una zapata produce unos esfuerzos excepcionales en la estructura que, por su continuidad, la afectan completamente, dando lugar a tensiones en determinadas secciones, que no es capaz de tolerar y origina la aparición de fisuras (Broto, C 2005), lo que se notó claramente en las grietas y fisuras que atravesaban diagonalmente los muros afectados debido a que una parte del muro desciende con respecto al resto de este produciendo la fractura, en otras viviendas como la 11-13 y 12-28 la fisura en los muros se presentaba de forma escalonada, debido a que la resistencia del bloque supera a la del mortero. De manera general, la mayoría de las viviendas inventariadas presentan humedad en los muros producto del agua que asciende por capilaridad del suelo a través de la estructura y en las plantillas de los patios acompañadas de fracturas en estas debido a la presión producida por el agua.

Estos problemas en conjunto se deben a que las aguas de escorrentía pueden provocar modificaciones en las condiciones de resistencia del suelo, siendo un caso típico y característico de las construcciones que se hallan en zonas de abundantes aguas superficiales como pueden ser los terrenos en pendientes, que al infiltrarse el agua en el terreno van a parar irremediamente al pie de la cimentación (Broto, C 2005) llegando a provocar posiblemente pérdida de material en el subsuelo que se ve reflejado en los asentamientos de las cimentaciones y ascenso de agua por capilaridad hacia la edificación.

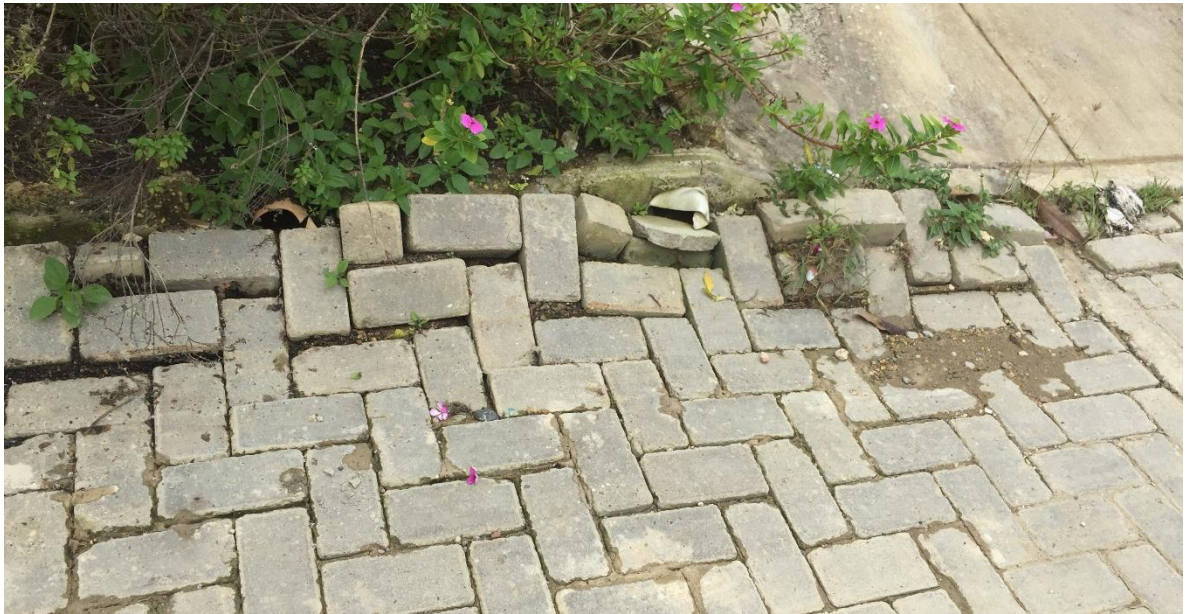
Adicionalmente, se evidenció un mal estado de las calles y andenes de la zona donde están ubicadas las viviendas, se observó múltiples grietas y fisuras, desprendimiento de material, hundimiento de algunas vías y humedad pronunciada.



Figura 24. “Andenes afectados en Bonanza Vista”



Figura 25. “Desprendimiento de adoquín y hundimiento en vía”





5.4. MODELACIÓN DEL TERRENO

El Modelo Digital del Terreno se realizó en el software Surfer V13 utilizando el método de Triangulación Irregular, el cual está basado en la interpolación de la totalidad de los puntos obtenidos en un levantamiento topográfico, caracterizándose porque las superficies obtenidas pueden representarse utilizando una red de triángulos irregulares (Triangulated Irregular Network, TIN) que no se traslapan. La estructura de datos está basada en una mezcla de puntos, líneas (líneas de cambio o inflexión en la topografía) y polígonos (áreas).

En las Figuras 26 y 27 se presenta el MDT obtenido para el área del proyecto antes de la construcción de las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” con su respectiva escala que ilustra las mayores y menores elevaciones del terreno (alturas sobre el nivel mar), en colores blanco a verde respectivamente.

Figura 26. “Modelo Digital del Terreno 3D de la Etapa Bonanza Vista”

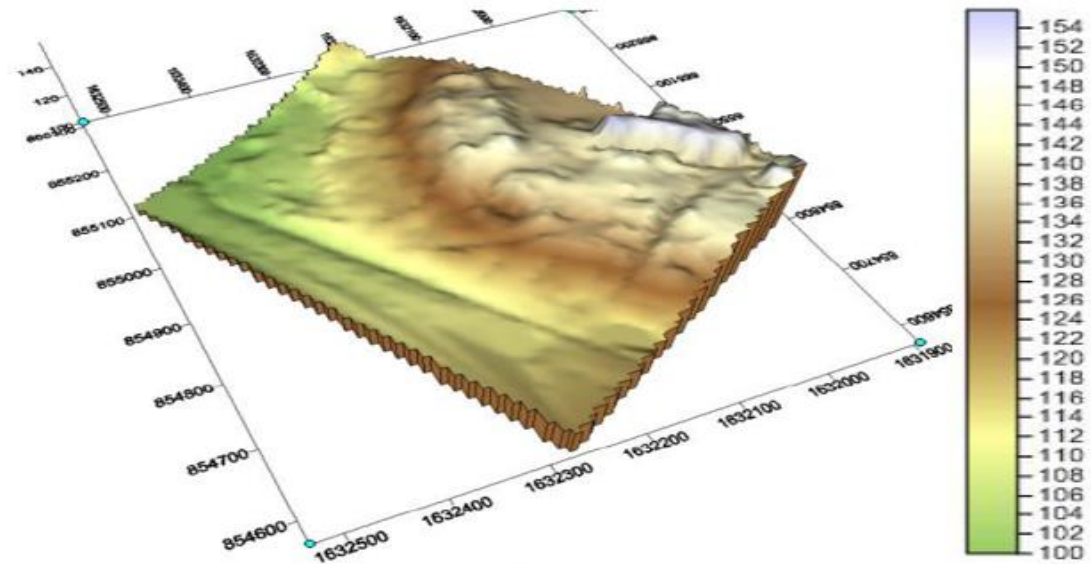
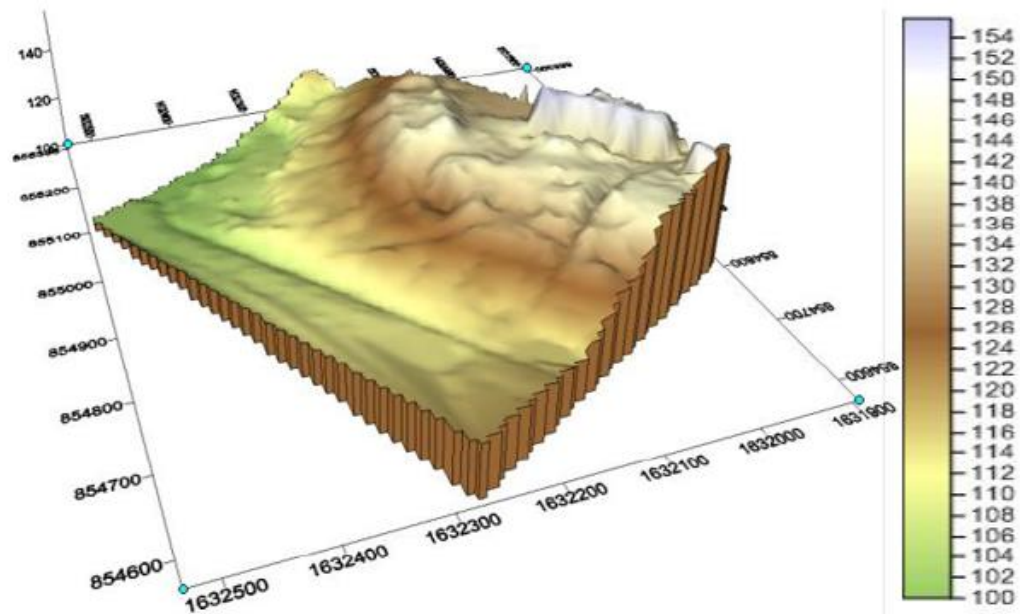




Figura 27. “Modelo Digital del Terreno 3D de la Etapa Bonanza Vista”



Para conocer las direcciones de la escorrentía directa en el área de estudio antes de la construcción de las viviendas y como la topografía de esta permitía el comportamiento del agua de escorrentía, se realizó alternativamente a la generación del MDT, el modelo tridimensional de distribución del flujo superficial acompañado de la proyección de las cuencas hidrográficas. En la Figura 28 se ilustra la red de flujo superficial identificada, representada por medio de vectores cuyas magnitudes son mayores en los sectores de alta pendiente. El modelo permitió la visualización de las direcciones predominantes del agua que escurre superficialmente hacia la parte baja de la ladera donde se encuentran actualmente las viviendas y las áreas definidas topográficamente, donde las aguas son drenadas.



Figura 28. “Modelo en planta del flujo superficial para la totalidad del área topográfica”

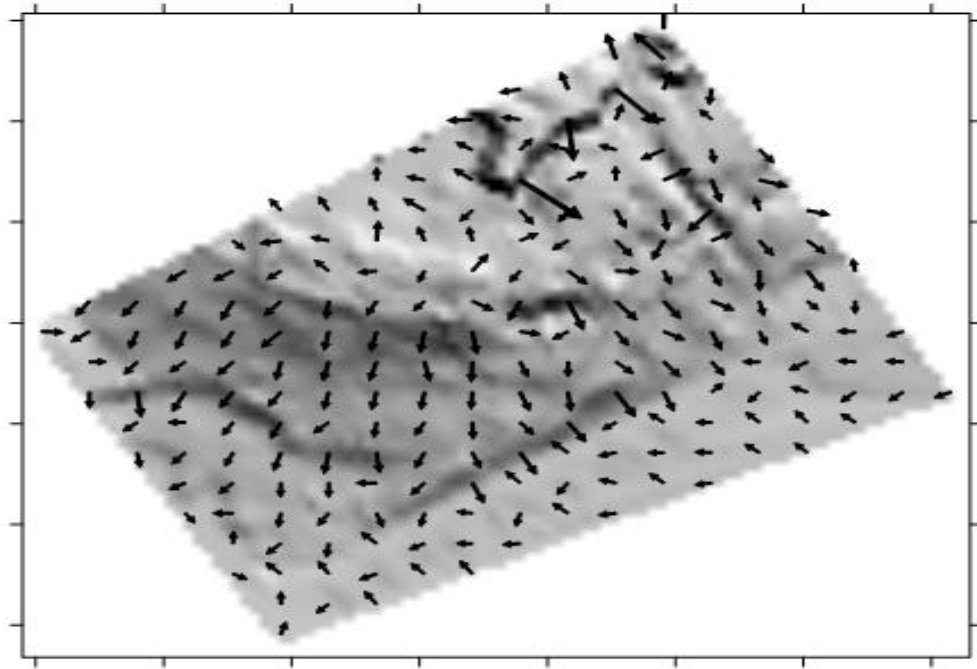


Figura 29. “Modelo tridimensional del flujo superficial para la totalidad del área topográfica”

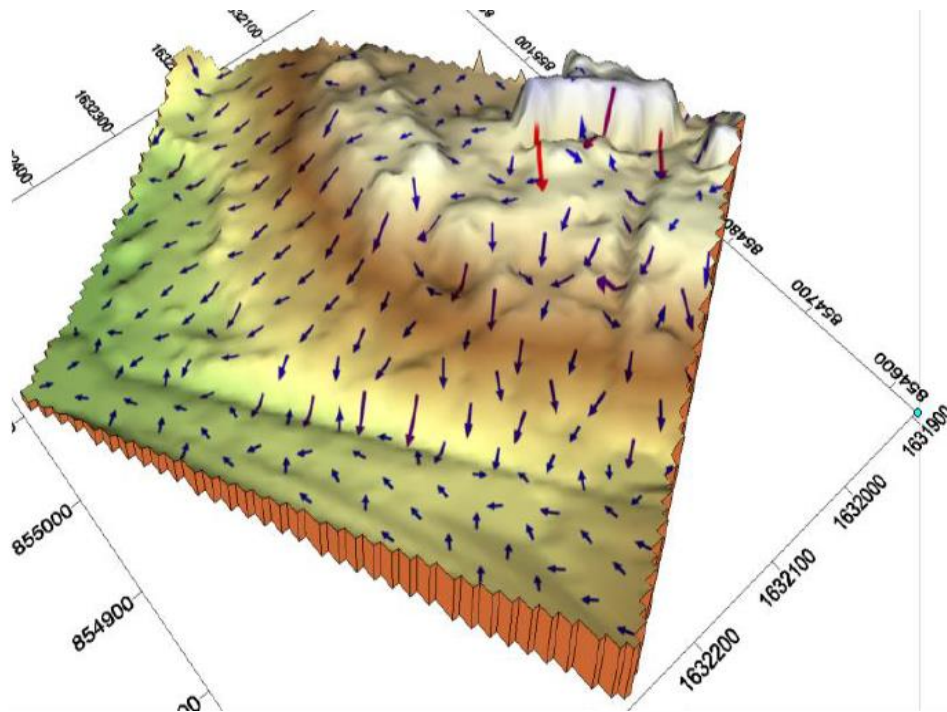




Figura 30. “Cuencas hidrográficas de la totalidad del área topográfica”

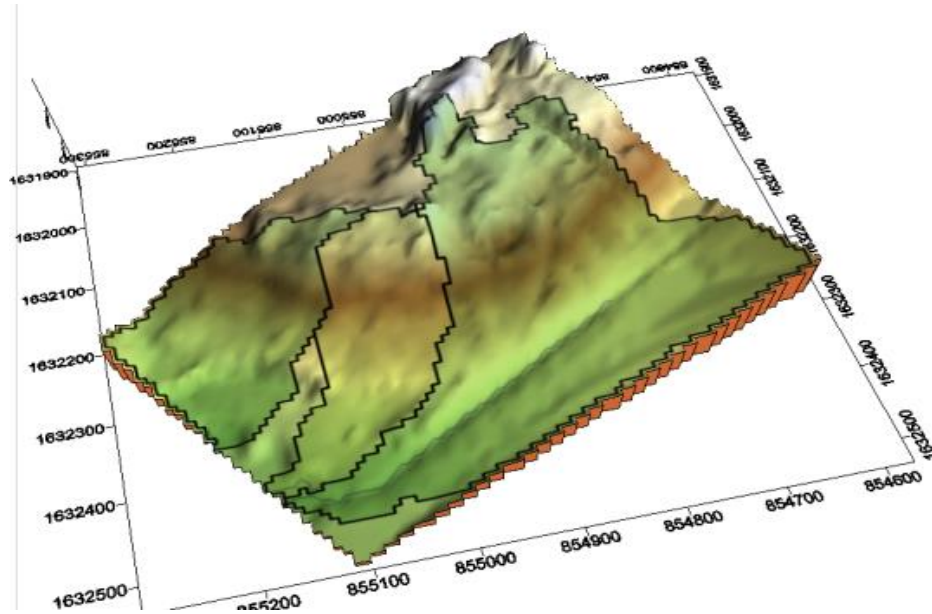
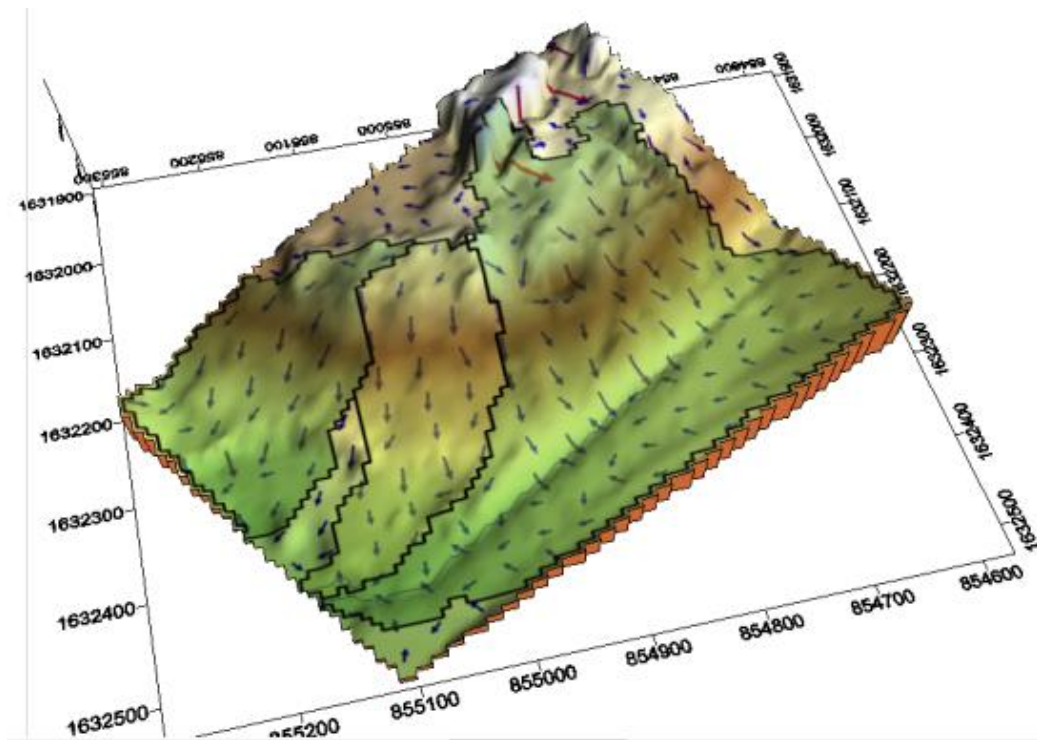


Figura 31. “Modelo tridimensional del flujo superficial y Cuencas hidrográficas de la totalidad del área topográfica”





Al realizar una proyección de las viviendas construidas sobre el Modelo Digital del Terreno se evidencio claramente que estas se encuentran ubicadas en las áreas topográficamente definidas para el drenaje de las aguas de escorrentía coincidiendo con las direcciones de los flujos de estas, desequilibrando de la capacidad de infiltración de los cauces que conducían sus aguas a la salida de cada cuenca hidrográfica provocando que actualmente estas viviendas se encuentren expuestas e influenciadas por las características topográficas, a los flujos de agua superficial que al infiltrarse en el terreno pueden llegar hasta las viviendas por medio de redes de flujo subterráneas siendo esta una posible causa de los problemas que actualmente se están presentando en estas viviendas.

Figura 32. *“Proyección de las viviendas de la Etapa Bonanza Vista en el Modelo tridimensional del flujo superficial y Cuencas hidrográficas”*

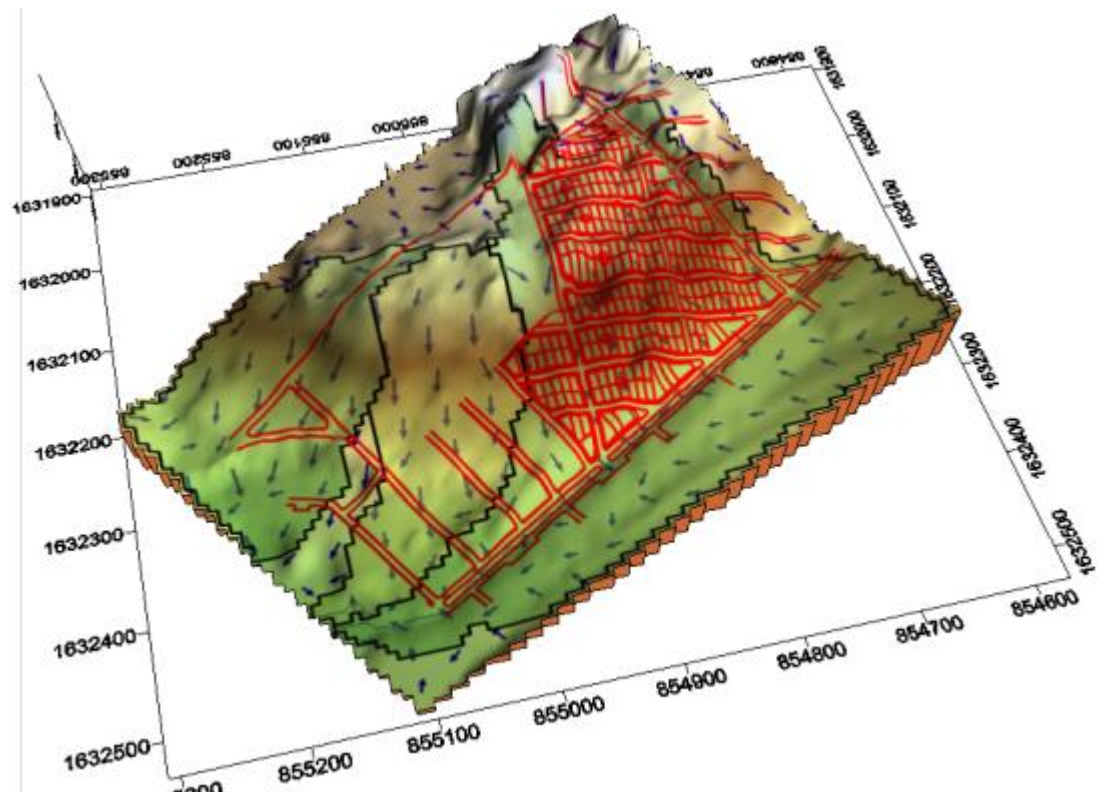




Figura 33. “Vista en planta de la proyección de las viviendas de la Etapa Bonanza Vista en el Modelo tridimensional del flujo superficial y Cuencas hidrográficas”

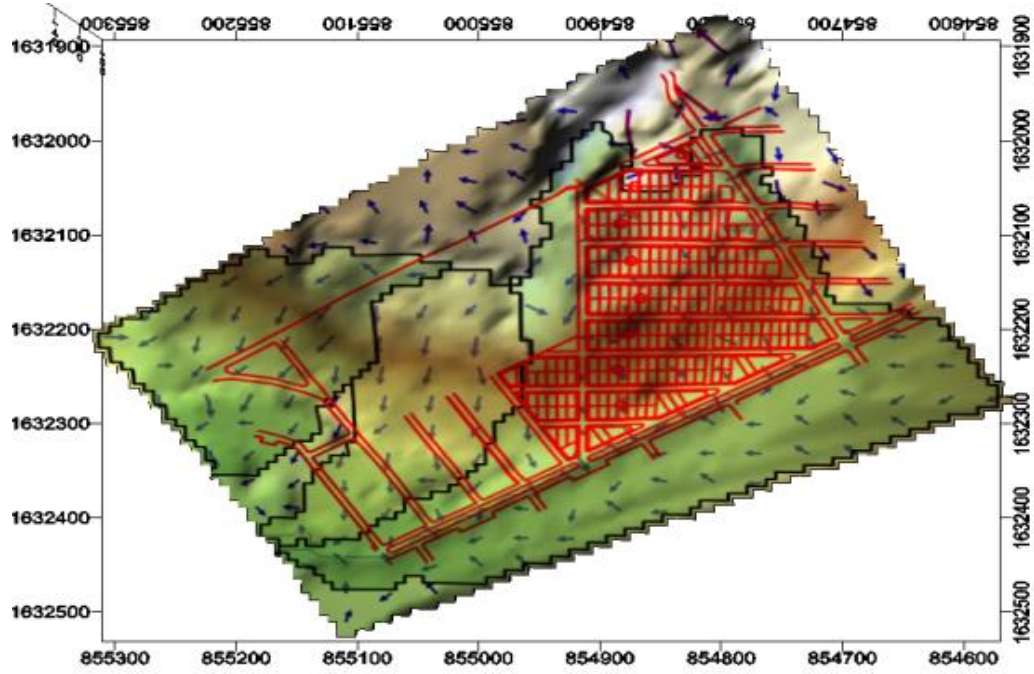
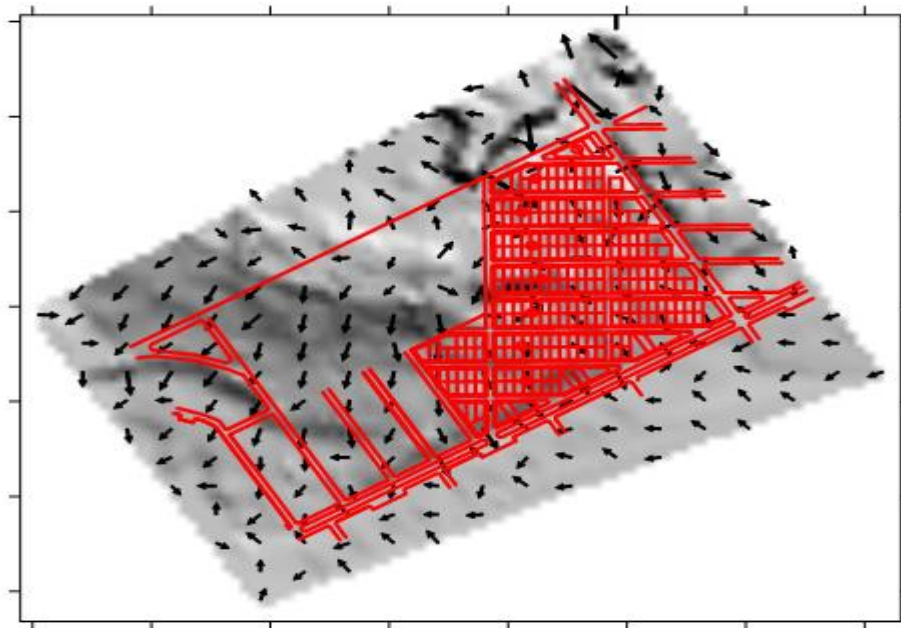


Figura 34. “Vista en planta de la proyección de las viviendas de la Etapa Bonanza Vista y dirección del flujo de agua de escorrentía”

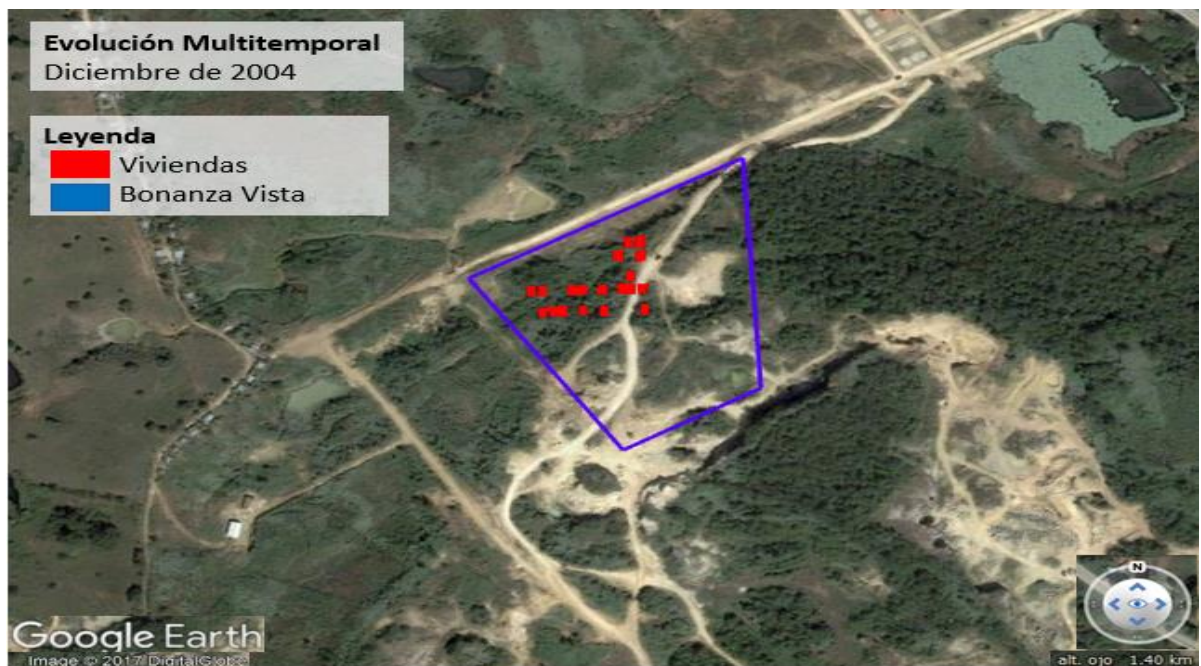




5.5. EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DE LA ZONA

Se realizó un análisis comparativo de cómo ha sido la evolución del área de estudio donde actualmente se ubican las viviendas de la etapa Bonanza Vista de la ciudadela Bonanza de acuerdo a la evaluación de fotografías satélites suministradas de Google Earth desde el año 2004 hasta el año del presente informe para determinar evidencia de procesos de cambios en la topografía del terreno. En general para diciembre del año 2004, enero de 2010 y febrero de 2012 se puede observar la cuantiosa vegetación predominante en el área en donde se ubican las viviendas inventariadas a través del presente estudio.

Figura 35. “Estado del área de estudio en diciembre de 2004”



Fuente: Google Earth (modificado por autores).



Figura 36. “Estado del área de estudio en enero de 2010”



Fuente: Google Earth (modificado por autores).

Figura 37. “Estado del área de estudio en febrero de 2012”



Fuente: Google Earth (modificado por autores).



Para principios del año 2013 se puede apreciar el inicio de las actividades de adecuación del terreno (Figura 38) y en el registro de fotografías de diciembre de este año se observan los trabajos de adelanto en la construcción de las manzanas 11, 12 y 13 de la etapa Bonanza Vista (Figura 39). Así mismo, en febrero de 2014 se observan los trabajos de corte en la ladera que se desarrollaron para alcanzar la cota del proyecto y seguir avanzando en la construcción de la manzana 10 (Figura 40), continuando con la adecuación del terreno, en mayo de 2014 se removió la vegetación en el área demarcada en la Figura 41 para continuar con los trabajos de corte en el terreno para la construcción de las manzanas restantes.

Figura 38. “Estado del área de estudio en enero de 2013”



Fuente: Google Earth (modificado por autores).



Figura 39. “Estado del área de estudio en diciembre de 2013”



Fuente: Google Earth (modificado por autores).

Figura 40. “Estado del área de estudio en febrero de 2014”



Fuente: Google Earth (modificado por autores).



Figura 41. “Estado del área de estudio en mayo de 2014”



Fuente: Google Earth (modificado por autores).

Para noviembre de 2014 se observa como se ha densificado en general la zona de estudio, esto por el avance constructivo del proyecto, así como la intervención en cuanto a cortes en la ladera para la construcción de la manzana 9 (Figura 42). Posteriormente ya con un avance notorio en el proceso constructivo, en la Figura 43 se puede observar la construcción de la manzana 8 y los cambios que se le ha dado, tanto a la topografía como al área de estudio.



Figura 42. “Estado del área de estudio en noviembre de 2014”



Fuente: Google Earth (modificado por autores).

Figura 43. “Estado del área de estudio en noviembre de 2015”



Fuente: Google Earth (modificado por autores).



La adecuación del terreno en la parte más alta de la ladera para la construcción de las viviendas de la manzana 7 inicio en noviembre de 2015, como se observó en la fotografía anterior, concluyendo la construcción de algunas de las casas de esta manzana para diciembre de 2016 (Figura 44).

Figura 44. “Estado del área de estudio en diciembre de 2016”



Fuente: Google Earth (modificado por autores).



Figura 45. “Estado del área de estudio en febrero de 2017”



Fuente: Google Earth (modificado por autores).

Los trabajos de corte y retiro de la vegetación evidenciados en las fotografías satelitales, podrían ser detonantes de la problemática presentada en las viviendas actualmente puesto que las raíces de los árboles en las laderas aportan rigidez y estabilidad al terreno así como la absorción de parte de las aguas de escorrentía contribuyendo de esta forma al control del flujo de las aguas de escorrentía y las que se infiltran en el terreno, aspecto que se debió tener en cuenta durante el proceso de intervención del terreno.



5.6. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Para el análisis de estabilidad de los taludes de la zona de estudio de la ciudadela Bonanza se hizo uso de los siguientes modelos de análisis dentro del modelo de equilibrio límite:

- Bishop simplificado.
- Fellenius.
- Janbu simplificado.

El software Slide v.5.014® contiene dentro de su análisis interno cada uno de los modelos de análisis para el cálculo del factor de seguridad de los taludes, a continuación se enuncian los parámetros de entrada para la modelación.

5.6.1. Condiciones de análisis

Para el análisis de estabilidad de taludes de la etapa Bonanza vista se establecieron cinco (5) condiciones o combinaciones que representan el estado actual y pronósticos del estado de los taludes.

- Estado natural (EN).
- Saturado y sin sismo (SS).
- No saturado y con sismo (NC).
- Saturado y con sismo (SC).
- Con Viviendas (CV).

Cabe destacar que las dos últimas condiciones son muy poco probables que ocurran en la zona de estudio pero son condiciones que nos permite analizar las condiciones de falla del talud. La condición con viviendas, simula el peso ejercido por las viviendas en el talud acompañada de un estado saturado y con sismo del terreno. Debido a que toda la etapa se encuentra pavimentada, la infiltración de la escorrentía en el terreno no es de forma natural por lo que se asume que la saturación del talud proviene de la precipitación que se infiltra en la parte alta del talud.



5.6.2 Parámetros de entrada

Para el análisis de estabilidad de taludes existen cuatro (4) grupos de parámetros de entrada: a) parámetros geométricos, producto de los perfiles estratigráficos resultados del estudio de suelo suministrado, b) parámetros geotécnicos producto del estudio de suelo suministrado de la zona de estudio, c) parámetros sísmicos, los cuales dependen de la ubicación de la zona de estudio y los registros de actividad sísmica de la zona, d) parámetros hidrológicos, que determinan la ubicación del nivel freático y la influencia de parámetros como la relación de presión de poros (R_u).

5.6.2.1. Perfiles estratigráficos

Para el análisis del modelo conceptual se tomó un perfil del área de estudio donde se nota la activación del movimiento coincidiendo con la línea de localización de los sondeos del estudio de suelo. El perfil que en la Figura 46 se denomina como corte AA'. Basado en los sondeos del estudio de suelo suministrado, la estratigrafía y geología de la zona de estudio, se tomó para la modelación el perfil de la Figura 47.

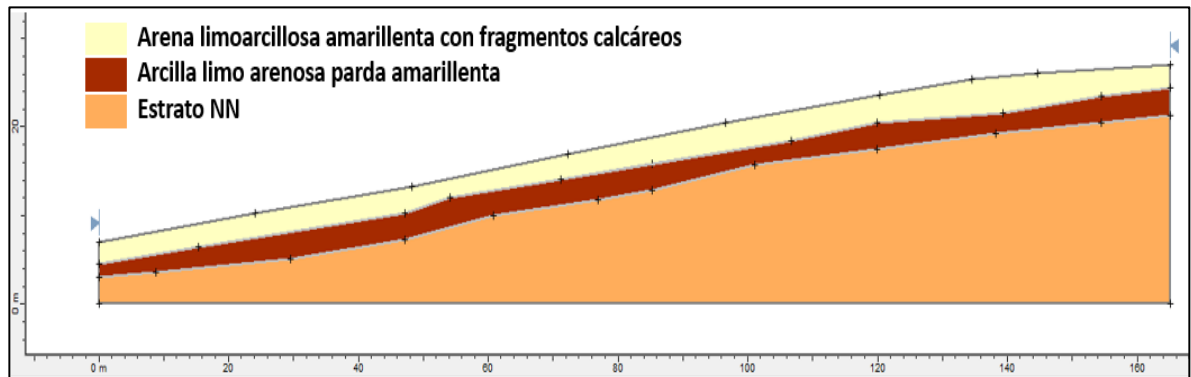
Figura 46. “Ubicación de cortes y perforaciones realizadas”



Fuente: Tomado y modificado de Google Earth



Figura 47. “Perfil estratigráfico”



5.6.2.2. Geotécnicos

- N° de golpes corregido (Ensayo SPT):
Suministrados por el estudio de suelos.
- Peso unitario húmedo (Ton/m³):
Este parámetro es calculado por correlación con el N° de golpes.
- Peso unitario saturado (Ton/m³):
Este parámetro fue asumido teniendo en cuenta el tipo de suelo que registro el estudio de suelos.
- Fricción interna del suelo ϕ (grados):
Este parámetro es calculado por correlación con el N° de golpes y fue asumido en el tercer estrato pero teniendo en cuenta el tipo de suelo, para arena con partículas finas (25°).
- Cohesión (Kn/ m²):
Este parámetro es calculado por correlación con el N° de golpes y fue asumido en el tercer estrato teniendo en cuenta el tipo de suelo, para estrato duro o arcilla muy firme (200kN/m²) para garantizar la estabilidad de este estrato dentro del modelo en el software.

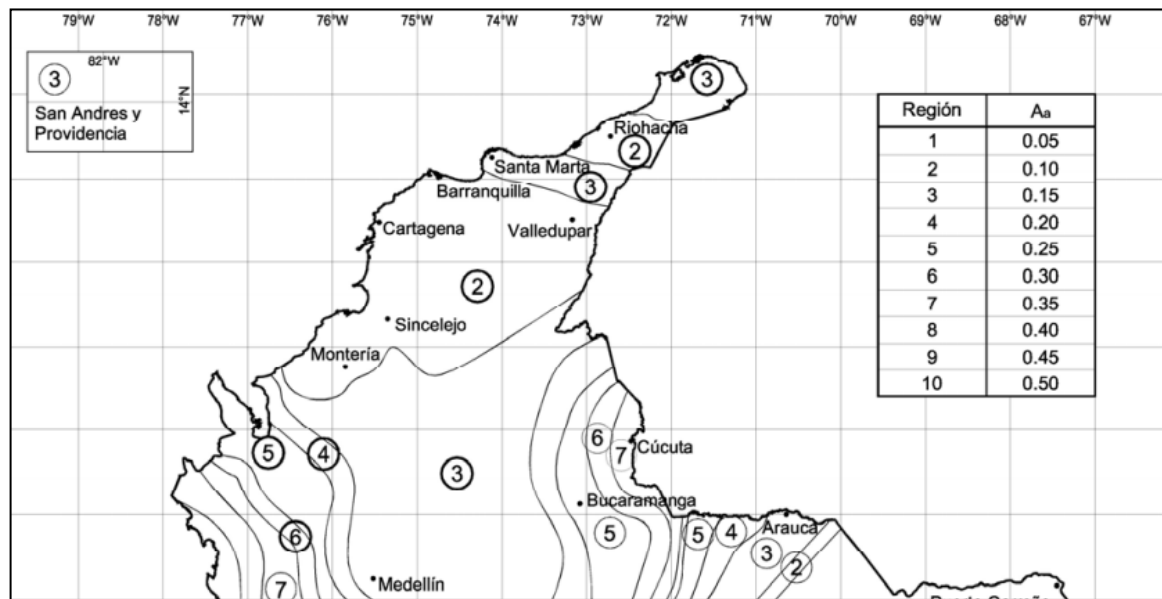


5.6.2.3. Sísmicos

Turbaco se encuentra en una región de baja actividad sísmica según lo establecido en el Reglamento Técnico Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR 10), de acuerdo a este, se determinaron los parámetros de aceleración sísmica horizontal y vertical.

La aceleración horizontal pico efectiva (A_a) para la región de la zona de estudio es de 0,10 y el de la aceleración vertical pico efectiva, en este estudio se nombró (A_v), se determina según lo establecido en el literal A.2.8. de la NSR 10, siendo esta mínimo las dos tercias partes de A_a , pero por motivos de análisis se asumió que $A_v=0,10$.

Figura 48. “Amenazas sísmica por regiones”



Fuente: NSR 10

5.6.2.4. Hidrológicos

El nivel freático es un parámetro en la modelación del talud determinante en los esfuerzos de la masa de suelo y este determina la condición drenada o no drenada del talud en estudio. Para garantizar un análisis más confiable y seguro se tuvo en cuenta dentro de las condiciones de análisis la saturación total del talud. Por motivos de análisis se asumió el coeficiente de relación de presión de poros como $R_u = 0,50$.



Los parámetros de entrada para el software Slide v.5.014® están agrupados en la siguiente tabla.

Tabla 2. “Parámetros de entrada”

PERFIL	
PARAMETROS DE ENTRADA	
Estrato 1 : Arena Limoarcillosa amarillenta con fragmentos calcáreos	
Peso Unitario Húmedo (kN/m ³)	15
Peso Unitario Saturado (kN/m ³)	16
Fricción Interna (Grados)	32
Cohesión (kN/m ²)	40
Estrato 2: Arcilla limo arenosa parda amarillenta con vetas grises y óxido rojo	
Peso Unitario Húmedo (kN /m ³)	17
Peso Unitario Saturado (kN/m ³)	18
Fricción Interna (Grados)	14
Cohesión (kN/m ²)	70
Estrato 3: NN	
Peso Unitario Húmedo (kN /m ³)	20
Peso Unitario Saturado (kN/m ³)	21
Fricción Interna (Grados)	25
Cohesión (kN/m ²)	200

5.7. RESULTADOS MODELACIÓN GEOTECNICA

De acuerdo a los parámetros de entrada se realizó la modelación para obtener los factores de seguridad por medio de cada método de equilibrio límite descrito (Bishop simplificado, Fellenius, Janbu simplificado) y simulando cada una de las condiciones: Con Viviendas



(CV), Estado Natural (EN), Saturado sin Sismo (SS), No Saturado con Sismo (NS) y Saturado con Sismo (SC).

Para el análisis de la situación descrito se clasificaron los factores de seguridad de acuerdo al nivel de amenaza:

Tabla 3. “Clasificación de los factores se seguridad”

Clasificación de los Factores de Seguridad		
Factores de seguridad	Categoría de Inestabilidad	Color
< 1.2	Alta	
1.2 < F.S < 1.5	Media	
> 1.5	Baja	

Fuente: Suarez (1998)

Cada factor de seguridad fue hallado sin intervenir el talud para analizar el sector con mayor amenaza y tener una referencia de la magnitud del movimiento en masa, cabe destacar que se analizó el talud para una superficie de falla circular.

Los factores de seguridad obtenidos de la modelación del talud no intervenido con cada uno de los métodos de equilibrio límite señalados, teniendo en cuenta las cinco (5) condiciones de análisis se agruparon en la Tabla 3. También se anexan cuadros esquemáticos con los resultados de la modelación en el software Slide v.5.014®.

Tabla 4. “Resumen factores de seguridad”

Factores de seguridad Talud no intervenido				
Plano de falla	Condición	Bishop Simplificado	Janbu Simplificado	Fellenius
Circular	EN	9.120	8.983	9.071
	SS	8.046	7.743	7.945
	NC	5.157	5.090	5.135
	SC	4.569	4.323	4.432
	CV	3.867	3.725	3.700



Los resultados de los factores de seguridad obtenidos de la modelación del talud representativo teniendo en cuenta las cinco condiciones y los tres métodos de análisis, dan valores en su mayoría cercanos y todos por encima de 1,5 lo cual indica la estabilidad de los materiales que componen el perfil correspondiente, asignados a partir de las características geomecánicas determinadas en la exploración y en los ensayos geotécnicos correspondientes al estudio de suelos suministrado.

5.8. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

5.8.1. Área y estudio de recarga

La recarga cuyo proceso coloca condiciones en el movimiento del flujo de estas aguas subterráneas esta sin duda dada por elementos naturales siendo el clima y el suelo, los dos factores fundamentales que controlan la recarga.

Según la información obtenida, las lluvias están distribuidas de manera irregular durante el año, se notó que en los meses de enero, febrero y marzo las precipitaciones se dan en mínimas proporciones, el resto del año llueve con mayor regularidad, siendo los meses de septiembre y octubre los de mayores precipitaciones y donde mayor se evidencian los daños en las viviendas de la zona de estudio siendo este un factor directamente proporcional. El suelo de la zona de estudio al ser el medio filtrante entre el depósito de agua subterránea y la superficie, es otro factor fundamental para la recarga, ya que dependiendo de su composición y porosidad, la filtración se dará en mayor o menor medida y por consiguiente afectaría el recorrido y/o curso de la corriente acuífera. El estudio de suelos suministrado demuestra la existencia de materiales granulares y arcillosos, del tipo de arenas limoarcillosas y arcillas limoarenosas así como la presencia de fragmentos de rocas calcáreas lo cual hace que la zona de estudio sea propicia a grandes infiltraciones. En la Figura 16 se realizó una proyección del área de estudio en el mapa geológico en la cual se puede apreciar que la zona de estudio se encuentra influenciada por presencia de compendios de capas permeables que generalmente



agrupan limolitas saturadas de la formación Bayunca, así como depósitos limoarenosos, gravas y calizas fracturadas de la formación La Popa.

De acuerdo a los resultados de los estudios suministrados y la visita en campo de la zona de estudio, se llegó a la conclusión de que la principal zona de recarga está ubicada en la parte alta del talud debido a que las características del suelo en esta zona presenta la mayor probabilidad de filtración porque en su mayoría está compuesto de materiales granulares, entre las que se encuentran las arenas limoarcillosas así como fragmentos de rocas calcáreas, cabe destacar que el área de estudio se encuentra pavimentada por lo que la saturación del talud proviene de la precipitación que se infiltra en la parte alta de este ya que esta zona no se encuentra urbanizada. En la Figura 49 se muestra la parte alta del talud, evidenciándose la acumulación de agua en esta zona producto de las precipitaciones presentadas durante el periodo de investigación.

Figura 49 “Acumulación de agua en la parte superior del talud”



5.8.2. Análisis de resistividades

La resistividad de un suelo es la capacidad que tiene este para conducir corriente eléctrica, de este modo, el valor de la resistividad indica el comportamiento de un material (en este



caso, los del suelo) al paso de una corriente eléctrica. Así, un valor bajo de resistividad describirá un buen conductor mientras que un valor alto describirá que el material es mal conductor. La resistividad del suelo es determinada principalmente por su cantidad de electrolitos, es decir, por la cantidad de humedad, minerales y sales disueltas.

A pesar de que el óxido de aluminio y el óxido de silicio (buenos aislantes eléctricos) son los principales constituyentes del suelo, normalmente es posible encontrar una conducción eléctrica apreciable en los terrenos, esto se debe principalmente a la presencia de humedad en el suelo, por la conductividad del agua que podría haber en los poros y la distribución y disposición de estos. Es así como la cantidad de humedad que posea un terreno debido a su estado higrométrico influye fuertemente en su resistividad, haciendo que esta disminuya considerablemente cuando alta presencia de agua en el suelo o está saturado.

Tabla 5. “Resistividades de distintos tipos de terreno”

Tipo de terreno	Resistividad ρ (Ω -m)
Terrenos vegetales húmedos	10-50
Arcilla, gredas, limos	20 - 60
Arenas arcillosas	80 - 120
Fangos, turbas	150 - 300
Arenas	250 - 500
Suelos pedregosos	300 - 400
Rocas	1.000 - 10.000
Concreto húmedo	100 - 240
Concreto seco	10.000 - 50.000

Fuente: Cárdenas V., J., & Galvis G., E. (2011).

5.8.2.1. Tomografía eléctrica en Bonanza Vista

El estudio realizado por la empresa Subterra Exploraciones tuvo como objeto principal la detección de resistividades asociadas a zonas acuíferas subyaciendo las viviendas de la urbanización que han causado deterioro en la cimentación generando inestabilidad en las



estructuras. El estudio consideró 5 líneas RCA con dirección este – oeste con 5m de separación y 10 niveles con arreglo Schlumberger para un total de 1320m.

Figura 50. “Localización de las líneas RCA”



Fuente: Subterra Exploraciones



Figura 51. “Lineamientos sobre la zona urbanizada”



Fuente: Subterra Exploraciones, modificada por autores

Tabla 6. “Coordenadas (este – oeste) y longitud en metros de las líneas RCA”

LINEA	INICIO		FINAL		LONGITUD
1	854917.765	1632191.6	854666.931	1632182.6	250
2	854911.736	1632156.41	854607.189	1632145.36	305
3	854911.345	1632083.45	854652.578	1632074.06	260
4	854929.142	1632122.29	854624.768	1632108.37	305
5	854946.868	1632222.28	854726.901	1632217.98	220

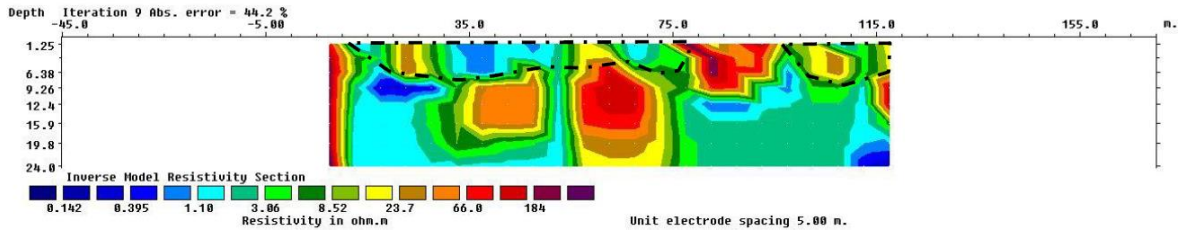
Fuente: Subterra Exploraciones

De acuerdo a la ubicación de las líneas RCA, Subterra Exploraciones presentó los siguientes perfiles transversales con base en los datos geofísicos medidos y determinando matemáticamente la distribución de la propiedad geofísica, específicamente la resistividad, que reproduce efectivamente los datos medidos para delinear la fuente de anomalías detectadas por la prospección para la definición de la condición saturada presente en el subsuelo.

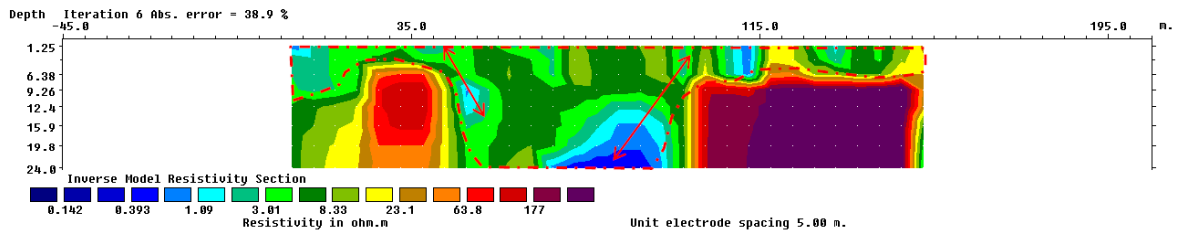


Figura 52. “Perfiles invertidos de los lineamientos y las resistividades del subsuelo a diferentes profundidades”

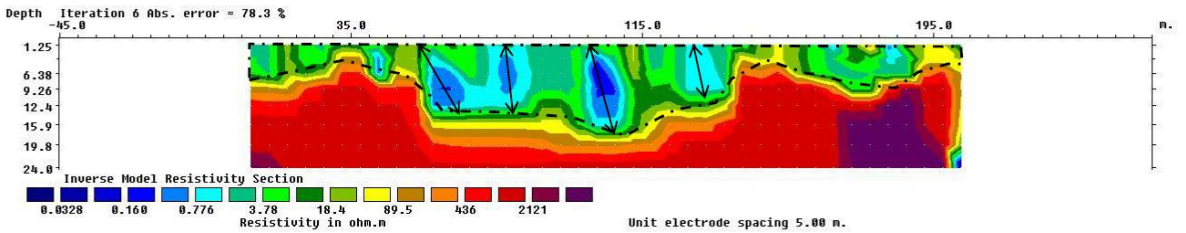
Línea 5



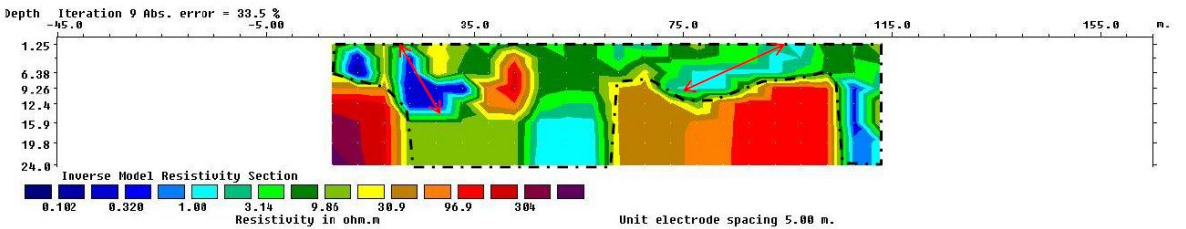
Línea 1



Línea 4



Línea 2



Fuente: Subterra Exploraciones



5.2.8.2. Interpretación de los resultados de la tomografía

Con respecto a los perfiles que indican las resistividades halladas en el estudio de Subterra Exploraciones se destacan rangos de la propiedad geofísica distintos para cada lineamiento. En la línea 5, que corresponde a la más próxima a la parte baja del talud, se presentan resistividades aparentes en el rango de 0 a 200 Ohm-m. Entre los 30 y 75 metros del lineamiento, a una profundidad de 6 metros se pueden observar resistividades entre 1,10 y 3,0 Ohm-m indicando la condición de saturación, mientras que en profundidades de 9 a 24 metros entre los 45 y 75 metros de longitud del perfil se presencian resistividades altas (superior a 66 Ohm-m) correspondiente a la roca masiva del sector. La línea 1, siguiente a la línea 5 ascendentemente, también presenta resistividades bajas en el rango de 0 a 200 Ohm-m generándose una zona de resistividad baja menor a 8 Ohm-m en el centro del perfil. En la línea 4, ubicada en la zona central de la zona de estudio, se destacan valores de resistividad en el rango de 0 a 2500 Ohm-m; las resistividades bajas (de 0 a 18 Ohm-m) se concentran a lo largo de todo el perfil a profundidades de 6m y en la zona central (entre los 55 y los 115m del lineamiento) a profundidades de 16 metros, por debajo de estas profundidades se destacan las resistividades más altas (de 20 a 2500 Ohm-m) que nos indican la presencia del basamento impermeable en la zona. La línea 2, la zona más próxima al área de recarga presenta valores de resistividad en el rango de 0,1 a 400 Ohm-m destacando que a lo largo de todo ese perfil hasta 7 metros de profundidad, la resistividad presentada esta en el rango de 0,1 a 10 Ohm-m confirmando el estado de saturación del subsuelo; mientras que por debajo de los 7 metros de profundidad, los valores de la resistividad se remontan mayores a los 50 Ohm-m a excepción de una zona entre los 45 y 50 metros de longitud del perfil donde se encuentran resistividades muy bajas entre 0,1 y 3 Ohm-m indicando presencia de aguas subterráneas.

Teniendo en cuenta que la litología presente en la zona de estudio más próxima a la superficie (Ver Figura 16) corresponde a la Formación La Popa que corresponde a materiales detríticos infrayaciendo las calizas arrecifales y a partir de las resistividades obtenidas por Subterra Exploraciones se elabora la siguiente correlación geo-eléctrica.



Tabla 7. “Correlación geo-eléctrica, zona de estudio”

A	0,1 – 3,0 Ohm-m	Arenas finas a medias y limos saturados con aguas mineralizadas
B	3,0 – 9,0 Ohm-m	Limos y arcillas
C	9,0 – 60 Ohm-m	Arenas finas a medias y limos saturados
D	Superior a 65 Ohm-m	Roca fracturada y fresca

Desde una vista superior de acuerdo a las líneas de los perfiles estudiados y los valores de baja resistividad a lo largo de estos hasta una profundidad de 6 metros, se puede establecer la presencia de agua hasta la superficie del terreno en la figura siguiente.

Figura 53. “Zonas con presencia de saturación a lo largo de las líneas analizadas con respecto a resistividades bajas hasta los 6m de profundidad”



Fuente: Google Earth, modificada por autores.



5.8.3. Permeabilidad

Los suelos tienen varios vacíos interconectados a través de los cuales el agua puede fluir de puntos de alta energía a puntos de baja energía mediante estrechos canales de flujo entrelazados entre sí y de forma irregular, que transportan el agua que se infiltra en el terreno dependiendo de su permeabilidad.

La permeabilidad permite estimar la cantidad de infiltración subterránea y la facilidad del agua para circular horizontalmente por una formación geológica y de acuerdo a la Ley de Darcy se comprueba que las unidades de K son de velocidad siendo en m/seg.

Tabla 8. “Coeficientes de permeabilidad de algunos suelos naturales”

Tipo de suelo	Coefficiente de permeabilidad K (m/s)
Arcilla	$< 10^{-9}$
Arcilla arenosa	10^{-9} a 10^{-8}
Limo	10^{-8} a 10^{-7}
Turba	10^{-9} a 10^{-6}
Arena fina	10^{-6} a 10^{-4}
Arena gruesa	10^{-4} a 10^{-3}
Arena gravosa	a 10^{-2}
Grava	$>10^{-2}$

Fuente: Berry, Peter L. David Reid. Mecánica de suelos. McGraw-Hill, 1993

De acuerdo a los coeficientes de permeabilidad para cada tipo de suelo y para establecer el modelo hidrogeológico conceptual se requirió del conocimiento de la geología de la zona, dado que son las formaciones geológicas quienes contienen y almacenan el agua subterránea;

Se correlaciono los resultados del estudio de suelos suministrado y la información geológica de la zona para establecer los coeficientes de permeabilidad de los diferentes tipos de suelo que conforman el área de estudio de tal forma que se asignaron los valores de permeabilidad más altos en las áreas puntuales de las zonas de las casas más afectadas así como de los puntos donde las resistividades del terreno presentaron valores bajos y en la parte alta del talud que corresponde al área de recarga.



5.9. DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO

Haciendo uso de la información y mapas suministrados por el informe CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 184 DE 2005, se ubicaron las zonas geológicas concernientes al área de estudio (Figuras 17 y 18), las cuales presentan características hidráulicas diferentes, por tanto la permeabilidad se hizo con base a la capa de roca superficial, donde se afirma que se trata de un acuífero libre basado en las hipótesis planteada en el anterior informe. El estrato de la capa superficial en su gran mayoría es el de la Formación Popa la cual está compuesta por rocas calcáreas altamente fracturadas debido a la actividad sísmica que le confiere la característica de reservorio y capacidad media alta de almacenamiento y por tanto se clasifica como un acuífero de productividad alta-media. Luego de esta capa superficial se encuentra la Formación Bayunca un estrato compuesto por arcillolitas y lodolitas grises oscuras que por su litología compuesta de unidades con porosidad moderada, le confieren características impermeables funcionando como un basamento.

De acuerdo al modelo de correlación geoelectrico en el que se asignan los tipos de suelos de la zona a partir de las resistividades registradas en el estudio geofísico suministrado, los estratos A, B, C y D son pertenecientes a la formación Popa así como también son pertenecientes a esta los estratos detectados en el estudio de suelos suministrado, de acuerdo a la similitud en las características de la litología, adicional a esto, en los planos de las zonas resistivas de acuerdo a su profundidad se muestra como los valores de resistividades van aumentando conforme se aumenta la profundidad (hasta los 6m) relacionándose con las unidades de suelo pertenecientes a la formación Bayunca lo cual evidencia claramente la relación que existe entre cada uno de estos estudios.

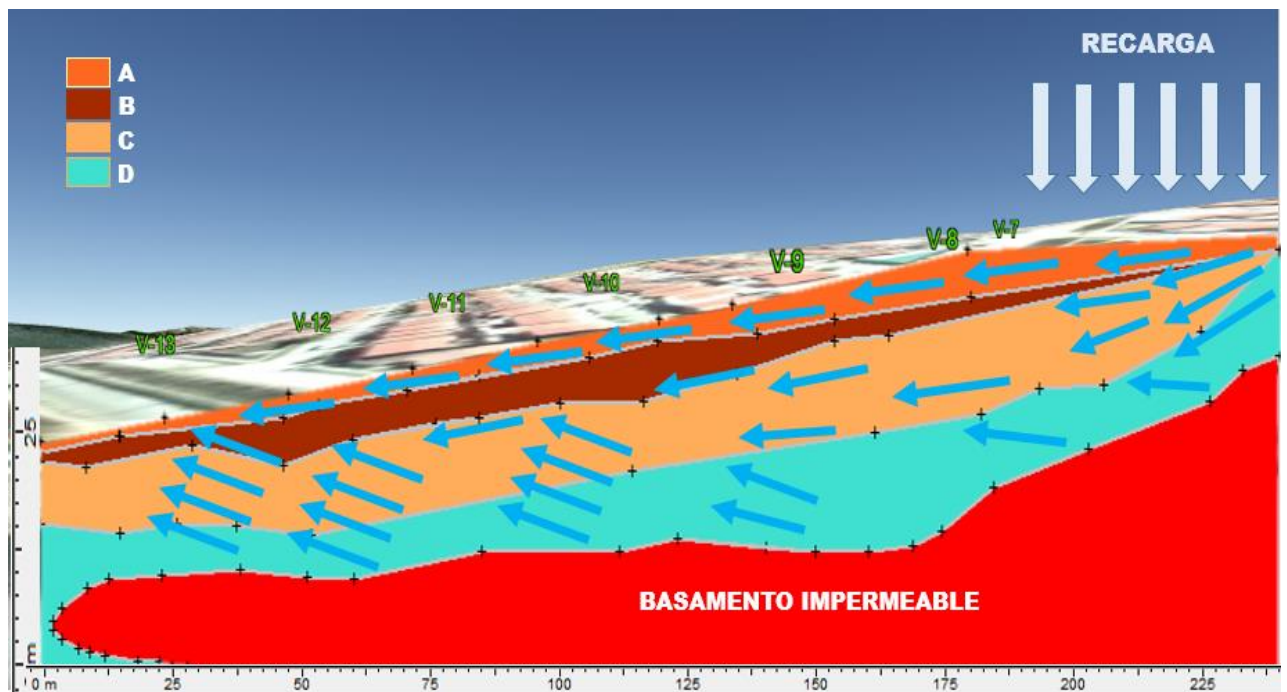
La Figura 54 representa un esquema de flujo hidrogeológico que se realizó con la superposición de las secciones transversales de las líneas de resistividades del terreno y planos a diferentes alturas, el estudio de suelos suministrado, los valores de permeabilidad asignados y la correlación de estos con la información geológica e hidrogeológica existente. En el esquema, los primeros 4 estratos corresponden a los detectados con los resultados del estudio geofísico combinados con el estudio de suelos suministrado y un basamento



impermeable al final de la estratigrafía formado por unidades de suelo de la formación Bayunca. Este esquema presenta un modelo hidrodinámico conceptual que muestra las condiciones de flujo subterráneo y de cómo este influye directamente sobre la cimentación de las viviendas y de las vías.

La superficie superior se comporta como zona de recarga donde se infiltra la precipitación que se almacena en acuíferos locales, cuya base impermeable genera un cambio en la dirección vertical del flujo hacia la zona izquierda del talud donde encuentra zonas débiles que les permite intentar aflorar, siendo en esta parte donde se ubican la mayoría de las viviendas afectadas.

Figura 54. “Esquema de hidrodinámica subterránea”

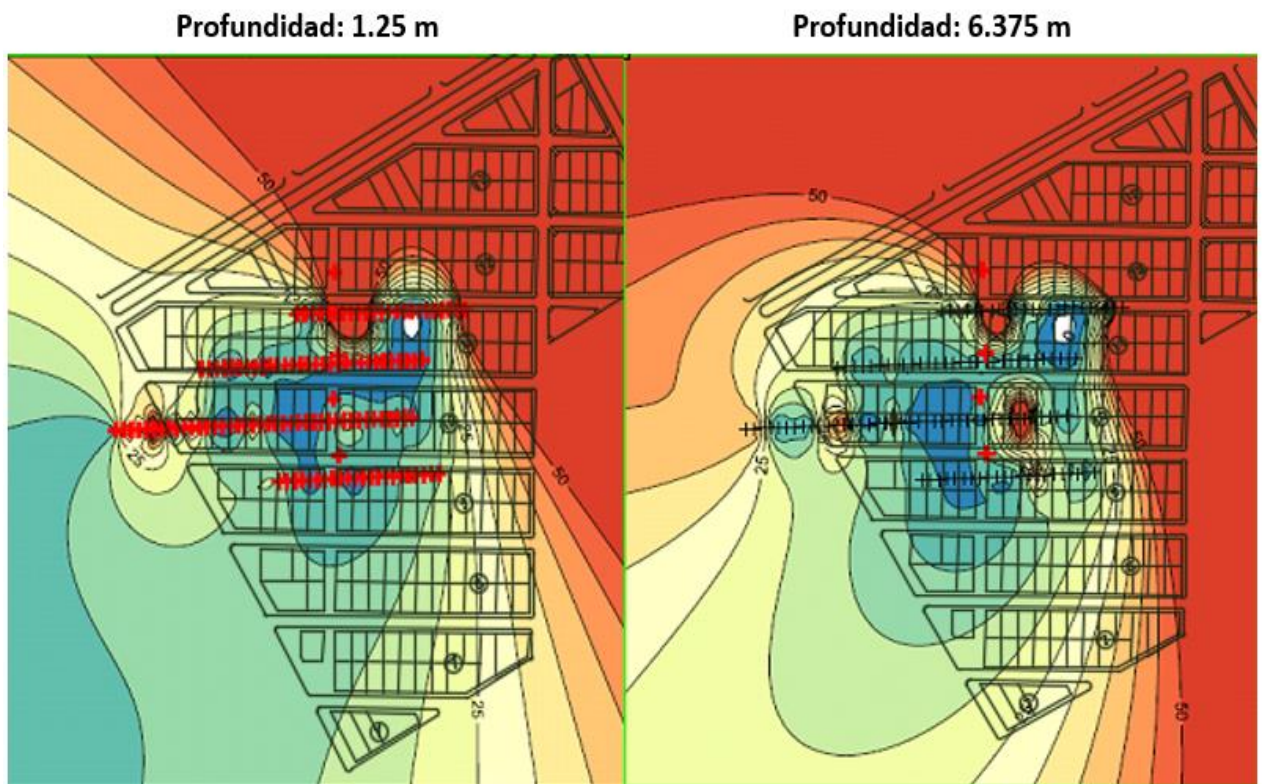


A partir de los planos a diferentes profundidades de las zonas resistivas del terreno, se realizó una proyección de la ubicación de la zona de estudio teniendo en cuenta las coordenadas de las líneas de tomografía y la de ubicación de los sondeos del estudio de suelos suministrados con el fin de tener una mayor aproximación en cuanto a la ubicación de la zona de estudio en el plano, evidenciándose que las viviendas se encuentran ubicadas en las áreas de



resistividades más bajas de acuerdo a los planos tomados a profundidades de 1,25m y 6,375m así como también que la parte alta del talud funciona como la zona de recarga debido a los valores bajos de resistividad presentes en esta área, lo que provoca que estas viviendas se encuentren expuestas e influenciadas a los flujos de agua subterránea que al infiltrarse en la parte alta del talud pueden llegar hasta las viviendas por medio de redes de flujo subterráneas que al llegar al suelo de desplante de la cimentación provoca erosión generando vacíos en estas áreas que provocan asentamientos en la estructura siendo esta la causa de la problemática presentada.

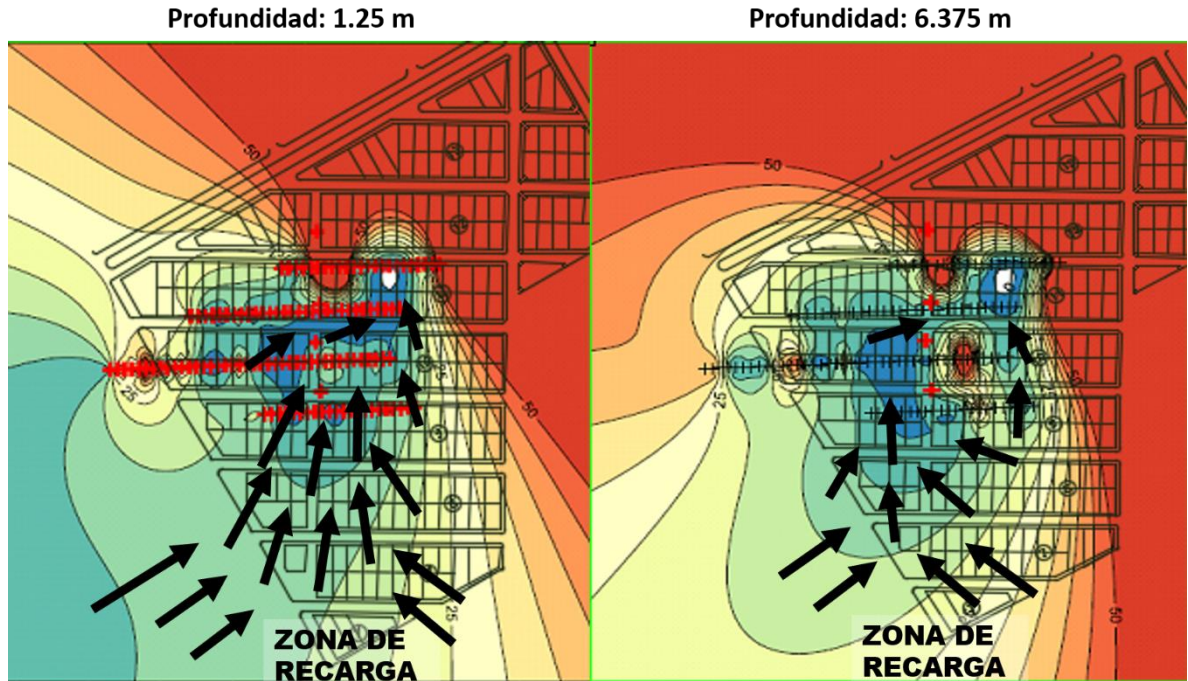
Figura 55. “Proyección de la zona de estudio en planos de resistividades”



Fuente: Subterra Exploraciones y editada por autores.



Figura 56. “Mapa de dirección flujo de aguas subterráneas para diferentes profundidades”



Fuente: Subterra Exploraciones, editada por autores

5.10. ALTERNATIVAS CONCEPTUALES DE MITIGACIÓN

Para el planteamiento de las alternativas de mitigación se tomó en cuenta que la evaluación geotécnica de la estabilidad del talud presenta factores de seguridad que garantizan que el terreno no es susceptible a movimientos en masas por lo que no es necesario la propuesta de obras de estabilidad de talud pero en cuanto a las aguas subterráneas si se deben proponer alternativas que ayuden a abatir el nivel dinámico de los flujos de aguas subterráneas o cambiar la dirección de dicho flujo de tal forma que no incidan sobre las cimentaciones de las viviendas y vías y comprometen en mayor proporción al desarrollo de la problemática.

Las alternativas planteadas deben ir acompañadas de la siembra de cobertura vegetal densa en la parte alta del talud con el fin de reducir el agua infiltrada en la zona de recarga así como

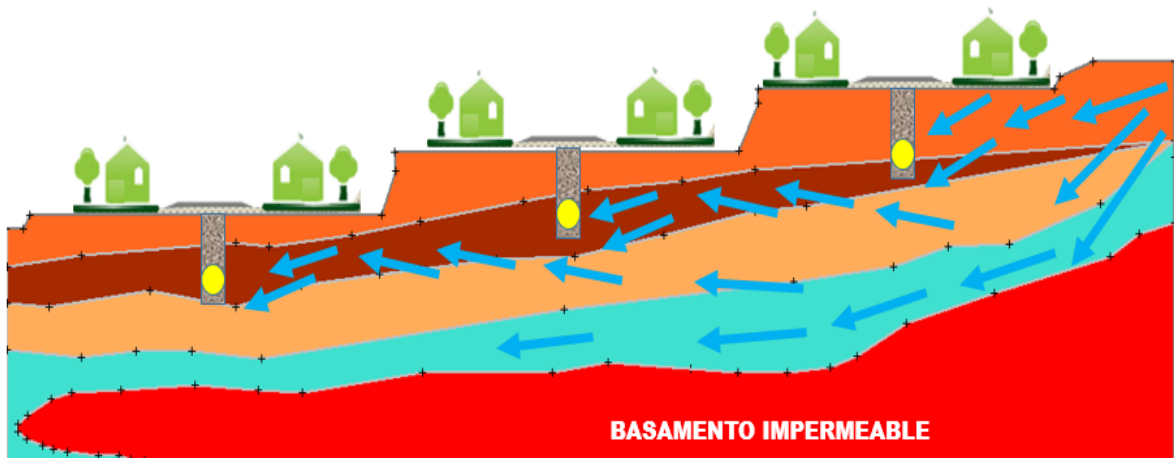


también de la construcción de pequeños pozos de observación que se localizarían dentro del área urbanizada con el fin de realizar un seguimiento del nivel freático luego de la construcción de la alternativa para el control de las aguas subterráneas.

5.10.1. Subdrenes interceptores

Con el objeto de captar el agua subterránea y de esta forma abatir el nivel freático, se puede realizar el diseño de Subdrenes interceptores como los mostrados en la Figura 9, que deberían ser construidos sobre la línea de las vías o sobre la zona de labores de las viviendas. Debido a la diferencia de nivel que existe entre las manzanas de la etapa, la profundidad de cada subdren debe ser de mínimo 2,5 metros que corresponde a la altura de las terrazas para lograr cortar las líneas de flujos producidas, tal como se muestra en la Figura 57.

Figura 57. “Líneas de flujo con Subdrenes interceptores”

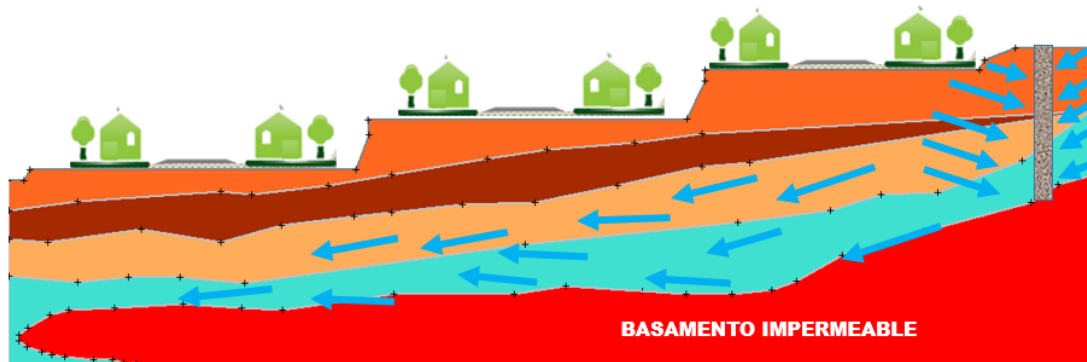


5.10.2. Pozos verticales de extracción

Con el fin de captar el agua subterránea y las precipitaciones en la zona alta del talud que corresponde a la zona de recarga de este, se puede realizar el diseño de una línea de pozos de bombeo como los mostrados en la Figura 11. Se recomienda una profundidad para cada pozo de mínimo 30 metros para lograr cortar y cambiar las líneas de flujos producidas por acción del bombeo, tal como se muestra en la Figura 58.



Figura 58. “Líneas de flujo con pozos de extracción”



5.10.3. Canales colectores espina de pescado

Con el objetivo desviar las aguas de escorrentía en la parte alta del talud y evitar la recarga del acuífero, se pueden diseñar canales colectores que intercepten las aguas superficiales y reduzcan el volumen de agua filtrado, tal como se muestra en la Figura 8. La separación mínima del borde de la corona del talud para la construcción de estos debe ser de mínimo 3 metros para evitar que las excavaciones se conviertan en el comienzo y guía de un deslizamiento o causantes de la falla de la corona del talud. En la Figura 59, las flechas rojas representan la dirección de las aguas superficiales con la desviación producida por los canales.

Figura 59. “Direccionamiento del flujo con canales colectores espina de pescado”



Fuente: Google Earth y editada por autores.



6. CONCLUSIONES

La investigación desarrolló un inventario de las viviendas afectadas mediante el análisis de las fisuras y grietas presentes en las casas, una evaluación multitemporal de la zona, una modelación del terreno antes de la construcción de las viviendas, una evaluación geotécnica mediante un análisis de estabilidad del talud y la elaboración de un modelo hidrogeológico conceptual para el análisis de flujos de agua subterránea; todo lo anterior con el fin de elaborar un diagnóstico hidrogeológico del problema presente en el terreno del área investigada que tiene como principal constituyente un talud sobre el cual se cimientan las viviendas de la etapa Bonanza Vista de la ciudadela Bonanza en Turbaco, Bolívar.

El análisis de los estudios realizados preliminarmente en el municipio de Turbaco, permitió establecer que la geología e hidrogeología determinó que el subsuelo de la zona de estudio está compuesto por rocas calcáreas altamente fracturadas con porosidad secundaria, calizas arrecifales, areniscas friables y limolitas calcáreas de la Formación Popa (Qpp) que le confieren la capacidad de reservar agua. Por otro lado también presenta lutitas y limolitas con intercalaciones de capas delgadas de areniscas con porosidad moderada y baja permeabilidad pertenecientes a la Formación Bayunca (Ngb).

Las fisuras y grietas presenciadas en las 19 viviendas visitadas en la zona de estudio corresponden a manifestaciones de los asentamientos del suelo de desplante sobre el cual están cimentadas, producidas por esfuerzos en la estructura que debido a su continuidad la afectan dando lugar a tensiones que originan la aparición de las fisuras, adicional a esto las viviendas presentan humedad en sus elementos producto del agua que asciende por capilaridad desde el suelo lo que denota la presencia de aguas subterráneas en el subsuelo de la zona de estudio.



En la evaluación multitemporal se evidenció que los trabajos de corte y retiro de la vegetación vistos en las fotografías satelitales, fueron la primera causa de la problemática presentada en las viviendas actualmente puesto que no se realizaron los estudios pertinentes que permitieran predecir las condiciones actuales de la zona. En cuanto a la modelación del terreno, al realizar la proyección de las viviendas construidas sobre el Modelo digital del terreno se observó claramente que estas se encuentran ubicadas en las áreas topográficamente definidas para el drenaje de las aguas de escorrentía coincidiendo las casas más afectadas con las direcciones de los flujos de agua superficial, factor que se debió tener en cuenta en la planificación y construcción de la etapa.

La categorización con respecto a la inestabilidad, a la ocurrencia de deslizamientos en masa, la presencia de movimientos sísmicos y la incidencia del peso de las viviendas de la zona de estudio en la evaluación geotécnica para un evento crítico en el cual se presenta saturación total del suelo, corresponde a un nivel de riesgo bajo, cuyo factor de seguridad es bastante mayor que 1,5 lo que garantiza la estabilidad de los materiales que componen el talud.

En el modelo hidrogeológico conceptual, primeramente se reconoció a la parte alta del talud como la zona de recarga del acuífero debido a los valores bajos de resistividades presentes en esta área y a la ausencia de material de cobertura ya sea vegetal o de concreto como la zona urbanizada del área de estudio. Se estableció la dirección de los flujos de agua subterránea hacia las zonas más afectadas al realizar una proyección de las casas en los planos a diferentes profundidades de las zonas con resistividades bajas del terreno; se determinó que debajo de las viviendas por lo menos hasta 6 metros de profundidad, el terreno se encuentra en algunas zonas saturado o húmedo. Se apreció cómo las unidades estratigráficas de la zona pueden influir en el direccionamiento de los flujos por medio de un análisis de una sección transversal de la zona de estudio teniendo en cuenta la correlación eléctrica donde: para resistividades de 0,1 a 3,0 Ohm-m hay presencia de arenas finas a medias y limos saturados con aguas mineralizadas destacando un estado de saturación, limos y arcillas para resistividades de 3,0 a 9,0 Ohm-m destacando una condición húmeda, de 9,0 a 60 Ohm-m arenas finas a medias y limos saturados y por último la presencia de roca fracturada y fresca con resistividades superiores a 65 Ohm-m.



Como Bonanza Vista se halla en una zona de abundante agua superficial debido a los registros de precipitación encontrados, al infiltrarse las aguas superficiales en el área de recarga en la parte alta del talud, estas saturan el terreno generando redes de flujo de agua subterránea que llegan irremediablemente hasta las cimentaciones de las viviendas modificando las condiciones de resistencia del suelo de desplante y generando procesos erosivos en este, que provocan la pérdida de material y por consiguiente generan vacíos que producen los asentamientos de la estructura produciendo a su vez las grietas y fisuras presentes en las viviendas, siendo esta la causa principal de la problemática presentada.

Las alternativas planteadas para el control de los flujos de agua subterránea tienen como objetivo principal abatir el nivel dinámico de los flujos o cambiar la dirección del flujo de modo que no incida sobre las viviendas y las vías para disminuir y luego eliminar el proceso erosivo en el suelo desplante de las cimentaciones en el proyecto. Las soluciones son apropiadas en la medida que se analicen correctamente las variables incidente en los aspectos económicos, constructivos, medioambientales, hidrogeológicos, geotécnicos y en términos de reducción de la filtración de precipitaciones en la parte alta del talud , conduciendo al diseño y ejecución de la solución adecuada, la cual debe ir acompañada de la siembra de cobertura vegetal densa en la parte alta del talud con el fin de reducir el agua infiltrada en la zona de recarga así como también de la construcción de pequeños pozos de observación que se localizarían dentro del área urbanizada con el fin de realizar un seguimiento del nivel freático luego de la construcción de la alternativa para el control de las aguas subterráneas y mitigación de la problemática presentada en las viviendas.



7. RECOMENDACIONES

Con base a todos los resultados hallados y al diagnóstico encontrado en la presente investigación, la recomendación principal es que se elabore un estudio más detallado de obras de ingeniería que busquen dar solución a la hidrodinámica presente en Bonanza Vista que está afectando a la comunidad que vive actualmente ahí. Se debe evaluar las alternativas planteadas con modelaciones más precisas y elaborando diseños estructurales que permitan solucionar el problema de forma óptima.

Se recomienda que el modelo hidrodinámico conceptual presentado en esta investigación se acompañe de medidas de niveles freáticos por medio de la construcción de pequeños pozos de observación para tener mayor exactitud al momento de diseñar la alternativa de solución que se escoja; además, los pozos podrían seguir sirviendo para monitorear la zona luego de construida la solución ya que esto contribuirá al descenso del nivel freático cerca de las viviendas y se espera que este se mantenga así al menos por debajo de la profundidad de desplante. También podría ser de gran utilidad la siembra de cobertura vegetal en la parte alta del talud (área de recarga) con el objetivo de que absorba un porcentaje de la precipitación.

La naturaleza del estudio de las aguas subterráneas son poco precisas, si bien las bases están sentadas para predecir un comportamiento hidrodinámico del flujo de aguas subterráneas el desarrollo de un modelo exacto se nos imposibilita, ya que como planteamos en nuestro alcance, nuestro modelo es netamente conceptual y lo realizamos con base en información secundaria.

Teniendo en cuenta que el proyecto de la Ciudadela Bonanza está en crecimiento y hay otras zonas del talud en donde se construirá, por lo tanto este deberá ser intervenido en más ocasiones, se recomienda que se hagan estudios geotécnicos y geológicos profundos, previos



Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar



a la intervención, para evitar afecciones futuras a las comunidades que se instalen en estos lugares. Por la litología perteneciente a la zona, se destaca el alto potencial de condiciones para la presencia de infiltraciones y estancamiento de aguas subterráneas que deberían ser manejadas previamente antes de empezar a construir.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrios Q., R., & Correa R., A. (2016). *Análisis del comportamiento hidrogeológico del flujo de aguas subterráneas en la cabecera municipal de Turbaco-Bolívar*. Trabajo de Grado, Universidad de Cartagena, Ingeniería Civil, Cartagena de Indias.
- Betancur T., Mejia O & Palacio C. *Modelo hidrogeológico conceptual del Bajo Cauca Antioqueño: Un sistema acuífero tropical*. Revista Facultad Ingeniería Universidad de Antioquia, no.48, pp. 107-118, 2009.
- Braja M., D (2001). Estabilidad de taludes. *Fundamentos de ingeniería geotecnia* (pag. 339). México: Thomsom Learning Editores.
- Broto., C (2005). Cimentaciones. Enciclopedia Broto de patologías de la construcción. Barcelona.
- Cardenas V., J., & Galvis G., E. (2011). Manual para la interpretación del perfil de resistividad obtenido al realizar el estudio de resistividad del suelo a partir de las configuración del método de Wenner. Trabajo de Grado, Universidad Tecnología de Pereira, Pereira.
- Cogollo A., A (2003). *Estudio de suelos. Urbanización Ciudadela Bonanza*. URBISA. Turbaco-Bolívar
- Gallardo A, R., Guerrero B, T., & Macgregor T, A. *Investigación para la estabilización de las laderas del barrio San Fermín, municipio de Ocaña, departamento de Norte de Santander (Colombia)*. INGE CUC, Vol.9, no. 2, pp.66-74, 2013.



- García, M & Arellano., F. *Modelo hidrogeológico conceptual del acuífero Nimboyores, Guanacaste, Costa Rica*. Revista Geologica de America Central, no.47, pp. 143-161, 2012.
- Guilliam B., M. (2016). Evaluación Geotécnica de la problemática que están presentando las viviendas 5,6,7,8, 11 y 12 de la urbanización Bonanza en el departamento de Bolívar. Informe Preliminar.
- Gómez B., L (2006). Elaboración del estudio hidrogeológico y determinación del potencial hídrico del área correspondiente al acuífero de Turbaco. Cardique. Contrato de consultoría No.184 de 2005.
- Gutiérrez M., A (2014). *El agua de infiltración de lluvia, agente desestabilizador de taludes en la provincia de Málaga. Modelos constitutivos*. Tesis doctoral, Universidad de Granada, Granada.
- INGEOMINAS (2004). *Programa de exploración de aguas subterráneas en Colombia*. Bogotá, D.C
- IDEAM (2014). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá, D.C
- Li, X., Rendón, L & Espinoza M. (2010). *Consideración de fuerzas de filtración en el análisis de estabilidad de taludes granulares*. Tecnología y Ciencias del Agua, Vol. I, núm. 3, Julio-septiembre, 2010, pp. 89-107. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Morelos, México.
- Rocscience Inc. *Slide*. Recuperado el 5 de abril de 2017, de: <https://www.rocscience.com/rocscience/products/slide>
- Manjarres C., J. (2017). Subterra Exploraciones. Exploración geofísica resistividad. Urbanización Bonanza. Informe Técnico.
- Modelos Hidrogeológicos Conceptuales. IDEAM. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrogeologica>



- Ruiz R., E & Martínez S., M. (2015). Infiltración y humedad del suelo. *Hidrología Aplicada*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de: https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/4575/mod_resource/content/1/Material_Docente/Tema_4.pdf
- Science Plus Group. *Surfer 13*. Recuperado el 5 de abril de 2017, de: <http://www.scienceplus.com/surfer?gclid=CMK0u9K-19MCFdhZhgodiTkAkA>
- Suarez D, J (1998). Control de aguas superficiales y subterráneas. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Ingeniería de suelos Ltda.
- Suarez D, J (1998). Esfuerzo y resistencia al cortante. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Ingeniería de suelos Ltda. pp 81.
- Suarez D, J (1998). Lluvias, presión de poro y sus efectos. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Ingeniería de suelos Ltda.
- Távora E., L (2005). *Modelación hidrogeológica conceptual de un acuífero aluvial: Caso Alto Piura*. Trabajo de grado, Universidad de Piura, Ingeniería Civil, Perú.
- Quevedo R., A (2015). *Influencia del cambio en el régimen de flujo de agua en el comportamiento dinámico de laderas*. Trabajo de grado maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Ingeniería Civil, Bogotá D.C.
- Universidad Politécnica de Catalunya BarcelonaTech. UPC. Tomografía *eléctrica*. Recuperado el 5 de abril de 2017, de: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6231/07.pdf?sequence=8&isAllowed=y>



ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica Bonanza Vista 10-30

DATOS GENERALES		CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN		
Departamento	Bolívar	Edificación Colonial		
Municipio	Turbaco	Edificación Republicana		
Lugar	Ciudadela Bonanza	Edificación Alta		
Dirección	Bonanza Vista 10-30	Edificación Baja		X
Fecha	Agosto 2017	Edificación Alta Con Entrepisos		
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA				
¿La Edificación Se Encuentra en Uso?		SI	X	NO
UTILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Familiar	Hotel	Institucional	Comercial	Otros
X				
ENTORNO (AMBIENTE EXTERIOR)		DIRECTOR	Guilliam Barboza Miranda	
<i>Clima</i>		AUTORES	Valentina Álvarez Ramos Lizardo Zabala Hernández	
Seco				
Lluvioso	X			
VALORACIÓN VISUAL				
VIVIENDA	V10-30 Modelo Nápoles		LESIONES ENCONTRADAS	
AFECTACIÓN DE LAS LESIONES	Seguridad		Humedades	X
	Funcionalidad		Desprendimientos	
	Aspecto	X	Grietas	
NIVEL DE INTERVENSIÓN	Imprescindible		Fisuras	X
	Necesaria	X	Erosión	
	Conveniente		Suciedad	
GRADO DE LESIÓN	Leve		Desgaste	
	Moderado	X	Hongos – Moho	X
	Fuerte		Manchas	X
	Severo		Perdida de Material	
Observaciones: La vivienda no fue intervenida antes de la visita, se observa humedad pronunciada, fisuras en general, 1 columna del patio fisurada.				



Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa "Bonanza Vista" de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar



ANEXO 1. FICHA TECNICA VIVIENDA V 10-30

Valentina Álvarez Ramos
Lizardo Zabala Hernández

Director: Guilliam Barboza Miranda.

Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa "Bonanza Vista" de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar.



Anexo 2. Ficha técnica Bonanza Vista 10-33

DATOS GENERALES		CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN		
Departamento	Bolívar	Edificación Colonial		
Municipio	Turbaco	Edificación Republicana		
Lugar	Ciudadela Bonanza	Edificación Alta		
Dirección	Bonanza Vista 10-33	Edificación Baja		X
Fecha	Agosto 2017	Edificación Alta Con Entrepisos		
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA				
¿La Edificación Se Encuentra en Uso?		SI	X	NO
UTILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Familiar	Hotel	Institucional	Comercial	Otros
X				
ENTORNO (AMBIENTE EXTERIOR)		DIRECTOR		Guilliam Barboza Miranda
<i>Clima</i>		AUTORES		Valentina Álvarez Ramos Lizardo Zabala Hernández
Seco				
Lluvioso	X			
VALORACIÓN VISUAL				
VIVIENDA	V10-33 Modelo Bari		LESIONES ENCONTRADAS	
AFECTACIÓN DE LAS LESIONES	Seguridad	X	Humedades	X
	Funcionalidad		Desprendimientos	X
	Aspecto	X	Grietas	X
NIVEL DE INTERVENSIÓN	Imprescindible		Fisuras	X
	Necesaria	X	Erosión	
	Conveniente		Suciedad	
GRADO DE LESIÓN	Leve		Desgaste	
	Moderado	X	Hongos – Moho	X
	Fuerte		Manchas	X
	Severo		Perdida de Material	
Observaciones: La vivienda no fue intervenida antes de la visita, se observa humedad pronunciada, fisuras en general, grietas en pisos, abertura grande en un muro.				



Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa "Bonanza Vista" de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar



ANEXO 2. FICHA TECNICA VIVIENDA V 10-33

Valentina Álvarez Ramos
Lizardo Zabala Hernández

Director: Guilliam Barboza Miranda.

Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa "Bonanza Vista" de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar.



Anexo 3. Ficha técnica Bonanza Vista 10-35

DATOS GENERALES		CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN		
Departamento	Bolívar	Edificación Colonial		
Municipio	Turbaco	Edificación Republicana		
Lugar	Ciudadela Bonanza	Edificación Alta		
Dirección	Bonanza Vista 10-35	Edificación Baja		X
Fecha	Agosto 2017	Edificación Alta Con Entrepisos		
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA				
¿La Edificación Se Encuentra en Uso?		SI	X	NO
UTILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Familiar	Hotel	Institucional	Comercial	Otros
X				
ENTORNO (AMBIENTE EXTERIOR)		DIRECTOR		
<i>Clima</i>		Guilliam Barboza Miranda		
Seco		AUTORES		Valentina Álvarez Ramos Lizardo Zabala Hernández
Lluvioso	X			
VALORACIÓN VISUAL				
VIVIENDA	V10-35 Modelo Florencia		LESIONES ENCONTRADAS	
AFECTACIÓN DE LAS LESIONES	Seguridad		Humedades	X
	Funcionalidad		Desprendimientos	
	Aspecto	X	Grietas	
NIVEL DE INTERVENSIÓN	Imprescindible		Fisuras	X
	Necesaria		Erosión	
	Conveniente	X	Suciedad	
GRADO DE LESIÓN	Leve		Desgaste	
	Moderado	X	Hongos – Moho	X
	Fuerte		Manchas	X
	Severo		Perdida de Material	
Observaciones: La vivienda fue intervenida antes de la visita, se hizo demolición de la plantilla pre-existente, se hicieron 9 zapatas y se fundió nuevamente la platina con espesor de 10 cm y malla electro-soldada de 20X20, se hizo cambio de muros por columnas (5 unidades). Se observa humedad de gran magnitud en el patio y en la terraza, fisuras reiterativas.				



Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar



ANEXO 3. FICHA TECNICA VIVIENDA V 10-35

Valentina Álvarez Ramos
Lizardo Zabala Hernández

Director: Guilliam Barboza Miranda.

Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar.



Anexo 4. Ficha técnica Bonanza Vista 10-37

DATOS GENERALES		CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN		
Departamento	Bolívar	Edificación Colonial		
Municipio	Turbaco	Edificación Republicana		
Lugar	Ciudadela Bonanza	Edificación Alta		
Dirección	Bonanza Vista 10-37	Edificación Baja		X
Fecha	Agosto 2017	Edificación Alta Con Entrepisos		
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA				
¿La Edificación Se Encuentra en Uso?		SI	X	NO
UTILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Familiar	Hotel	Institucional	Comercial	Otros
X				
ENTORNO (AMBIENTE EXTERIOR)		DIRECTOR		
<i>Clima</i>		Guilliam Barboza Miranda		
Seco		AUTORES		Valentina Álvarez Ramos Lizardo Zabala Hernández
Lluvioso	X			
VALORACIÓN VISUAL				
VIVIENDA	V10-37 Modelo Florencia		LESIONES ENCONTRADAS	
AFECCIÓN DE LAS LESIONES	Seguridad		Humedades	X
	Funcionalidad		Desprendimientos	
	Aspecto	X	Grietas	
NIVEL DE INTERVENSIÓN	Imprescindible		Fisuras	X
	Necesaria		Erosión	
	Conveniente	X	Suciedad	
GRADO DE LESIÓN	Leve		Desgaste	
	Moderado	X	Hongos – Moho	X
	Fuerte		Manchas	X
	Severo		Perdida de Material	
Observaciones: La vivienda fue intervenida antes de la visita, se hizo demolición de la plantilla pre-existente, se hicieron 7 zapatas y se fundió nuevamente la platina con espesor de 10 cm y malla electro-soldada de 20X20, se hizo cambio de muros por columnas (5 unidades). Se observa humedad de gran magnitud en el patio y en la terraza, fisuras reiterativas.				



Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar



ANEXO 4. FICHA TECNICA VIVIENDA V 10-37

Valentina Álvarez Ramos
Lizardo Zabala Hernández

Director: Guilliam Barboza Miranda.

Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar.



Anexo 5. Ficha técnica Bonanza Vista 10-38

DATOS GENERALES		CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN			
Departamento	Bolívar	Edificación Colonial			
Municipio	Turbaco	Edificación Republicana			
Lugar	Ciudadela Bonanza	Edificación Alta			
Dirección	Bonanza Vista 10-38	Edificación Baja		X	
Fecha	Agosto 2017	Edificación Alta Con Entrepisos			
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA					
¿La Edificación Se Encuentra en Uso?		SI	X	NO	
UTILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA					
Familiar	Hotel	Institucional	Comercial	Otros	
X					
ENTORNO (AMBIENTE EXTERIOR)		DIRECTOR		Guilliam Barboza Miranda	
Clima		AUTORES		Valentina Álvarez Ramos Lizardo Zabala Hernández	
Seco					
Lluvioso	X				
VALORACIÓN VISUAL					
VIVIENDA	V10-38 Modelo Torino		LESIONES ENCONTRADAS		
AFECTACIÓN DE LAS LESIONES	Seguridad		Humedades	X	
	Funcionalidad		Desprendimientos		
	Aspecto	X	Grietas	X	
NIVEL DE INTERVENSIÓN	Imprescindible		Fisuras	X	
	Necesaria		Erosión		
	Conveniente	X	Suciedad		
GRADO DE LESIÓN	Leve		Desgaste		
	Moderado	X	Hongos – Moho	X	
	Fuerte		Manchas	X	
	Severo		Perdida de Material		
Observaciones: La vivienda fue intervenida antes de la visita, se hizo demolición de la plantilla pre-existente, se hicieron 8 zapatas, se hicieron micro-pilotes de arena y se fundió nuevamente la platina con espesor de 10 cm y malla electro-soldada de 20X20, se hizo cambio de muros por columnas (7 unidades) y arreglos en general con respecto a la humedad. La vivienda presenta fisuras pequeñas, una grieta pronunciada en la columna del patio, humedad en cocina, sala y patio (continúa luego de intervención).					



ANEXO 5. FICHA TECNICA VIVIENDA V 10-38

Valentina Álvarez Ramos
Lizardo Zabala Hernández

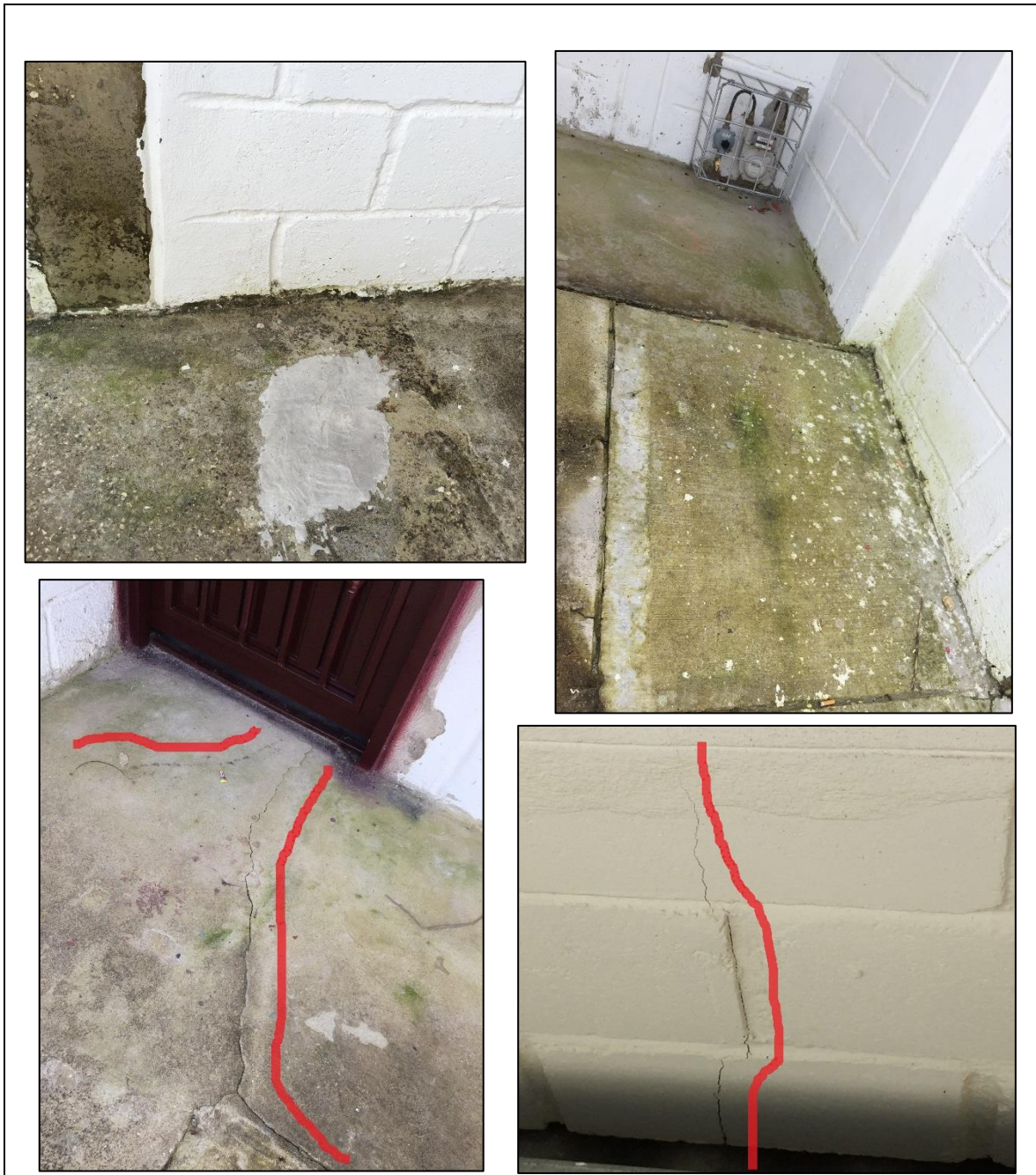
Director: Guilliam Barboza Miranda.

Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa "Bonanza Vista" de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar.



Anexo 6. Ficha técnica Bonanza Vista 10-39

DATOS GENERALES		CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN		
Departamento	Bolívar	Edificación Colonial		
Municipio	Turbaco	Edificación Republicana		
Lugar	Ciudadela Bonanza	Edificación Alta		
Dirección	Bonanza Vista 10-39	Edificación Baja		X
Fecha	Agosto 2017	Edificación Alta Con Entrepisos		
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA				
¿La Edificación Se Encuentra en Uso?		SI	X	NO
UTILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Familiar	Hotel	Institucional	Comercial	Otros
X				
ENTORNO (AMBIENTE EXTERIOR)		DIRECTOR		Guilliam Barboza Miranda
<i>Clima</i>		AUTORES		Valentina Álvarez Ramos Lizardo Zabala Hernández
Seco				
Lluvioso	X			
VALORACIÓN VISUAL				
VIVIENDA	V10-39 Modelo Torino		LESIONES ENCONTRADAS	
AFECTACIÓN DE LAS LESIONES	Seguridad		Humedades	X
	Funcionalidad		Desprendimientos	
	Aspecto	X	Grietas	X
NIVEL DE INTERVENSIÓN	Imprescindible		Fisuras	X
	Necesaria	X	Erosión	
	Conveniente		Suciedad	
GRADO DE LESIÓN	Leve		Desgaste	
	Moderado	X	Hongos – Moho	X
	Fuerte		Manchas	X
	Severo		Perdida de Material	
<p>Observaciones: La vivienda no fue intervenida antes de la visita, la inspección se hizo solo por fuera de la vivienda, se encontraron grandes grietas y fisuras en muros y en pisos.</p>				



ANEXO 6. FICHA TECNICA VIVIENDA V10-39

Valentina Álvarez Ramos
Lizardo Zabala Hernández

Director: Guilliam Barboza Miranda.

Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar.



Anexo 7. Ficha técnica Bonanza Vista 11-4

DATOS GENERALES		CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN		
Departamento	Bolívar	Edificación Colonial		
Municipio	Turbaco	Edificación Republicana		
Lugar	Ciudadela Bonanza	Edificación Alta		
Dirección	Bonanza Vista 11-4	Edificación Baja		X
Fecha	Agosto 2017	Edificación Alta Con Entrepisos		
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA				
¿La Edificación Se Encuentra en Uso?		SI	X	NO
UTILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Familiar	Hotel	Institucional	Comercial	Otros
X				
ENTORNO (AMBIENTE EXTERIOR)		DIRECTOR		
<i>Clima</i>		Guilliam Barboza Miranda		
Seco		AUTORES		Valentina Álvarez Ramos Lizardo Zabala Hernández
Lluvioso	X			
VALORACIÓN VISUAL				
VIVIENDA	V11-4 Modelo Florencia		LESIONES ENCONTRADAS	
AFECTACIÓN DE LAS LESIONES	Seguridad		Humedades	X
	Funcionalidad		Desprendimientos	X
	Aspecto	X	Grietas	X
NIVEL DE INTERVENSIÓN	Imprescindible		Fisuras	X
	Necesaria		Erosión	
	Conveniente	X	Suciedad	
GRADO DE LESIÓN	Leve		Desgaste	
	Moderado	X	Hongos – Moho	X
	Fuerte		Manchas	X
	Severo		Perdida de Material	
Observaciones: La vivienda no fue intervenida antes de la visita, la vivienda presenta varios desprendimientos debido a la humedad.				



Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa "Bonanza Vista" de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar



ANEXO 7. FICHA TECNICA VIVIENDA V 11-4

Valentina Álvarez Ramos
Lizardo Zabala Hernández

Director: Guilliam Barboza Miranda.

Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa "Bonanza Vista" de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar.



Anexo 8. Ficha técnica Bonanza Vista 11-5

DATOS GENERALES		CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN		
Departamento	Bolívar	Edificación Colonial		
Municipio	Turbaco	Edificación Republicana		
Lugar	Ciudadela Bonanza	Edificación Alta		
Dirección	Bonanza Vista 11-5	Edificación Baja		X
Fecha	Agosto 2017	Edificación Alta Con Entrepisos		
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA				
¿La Edificación Se Encuentra en Uso?		SI	X	NO
UTILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Familiar	Hotel	Institucional	Comercial	Otros
X				
ENTORNO (AMBIENTE EXTERIOR)		DIRECTOR		
<i>Clima</i>		Guilliam Barboza Miranda		
Seco		AUTORES		Valentina Álvarez Ramos Lizardo Zabala Hernández
Lluvioso	X			
VALORACIÓN VISUAL				
VIVIENDA	V11-5 Modelo Florencia		LESIONES ENCONTRADAS	
AFECCIÓN DE LAS LESIONES	Seguridad		Humedades	X
	Funcionalidad		Desprendimientos	
	Aspecto	X	Grietas	
NIVEL DE INTERVENSIÓN	Imprescindible		Fisuras	X
	Necesaria		Erosión	
	Conveniente	X	Suciedad	
GRADO DE LESIÓN	Leve	X	Desgaste	
	Moderado		Hongos – Moho	X
	Fuerte		Manchas	X
	Severo		Perdida de Material	
Observaciones: La vivienda no fue intervenida antes de la visita, presenta fisuras en general y humedad en paredes de la cocina y en piso y muros del patio.				



ANEXO 8. FICHA TECNICA VIVIENDA V 11-5

Valentina Álvarez Ramos
Lizardo Zabala Hernández

Director: Guilliam Barboza Miranda.

Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa "Bonanza Vista" de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar.



Anexo 9. Ficha técnica Bonanza Vista 11-8

DATOS GENERALES		CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN		
Departamento	Bolívar	Edificación Colonial		
Municipio	Turbaco	Edificación Republicana		
Lugar	Ciudadela Bonanza	Edificación Alta		
Dirección	Bonanza Vista 11-8	Edificación Baja		X
Fecha	Agosto 2017	Edificación Alta Con Entrepisos		
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA				
¿La Edificación Se Encuentra en Uso?		SI	X	NO
UTILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Familiar	Hotel	Institucional	Comercial	Otros
X				
ENTORNO (AMBIENTE EXTERIOR)		DIRECTOR		
<i>Clima</i>		Guilliam Barboza Miranda		
Seco		AUTORES		Valentina Álvarez Ramos Lizardo Zabala Hernández
Lluvioso	X			
VALORACIÓN VISUAL				
VIVIENDA	V11-8 Modelo Florencia		LESIONES ENCONTRADAS	
AFECTACIÓN DE LAS LESIONES	Seguridad		Humedades	X
	Funcionalidad		Desprendimientos	
	Aspecto	X	Grietas	X
NIVEL DE INTERVENSIÓN	Imprescindible		Fisuras	X
	Necesaria	X	Erosión	
	Conveniente		Suciedad	
GRADO DE LESIÓN	Leve		Desgaste	
	Moderado		Hongos – Moho	X
	Fuerte	X	Manchas	X
	Severo		Perdida de Material	
Observaciones: La vivienda fue intervenida antes de la visita, se hizo demolición de la plantilla pre-existente, se hicieron 9 zapatas, se hicieron micro-pilotes de arena y se fundió nuevamente la platina con espesor de 10 cm y malla electro-soldada de 20X20, se hizo cambio de muros por columnas (7 unidades) y arreglos en general con respecto a la humedad. La vivienda presenta muchas fisuras grandes en pisos, fachada y muros; muchas grietas y presencia de humedad (continúa luego de intervención).				



ANEXO 9. FICHA TECNICA VIVIENDA V 11-8

Valentina Álvarez Ramos
Lizardo Zabala Hernández

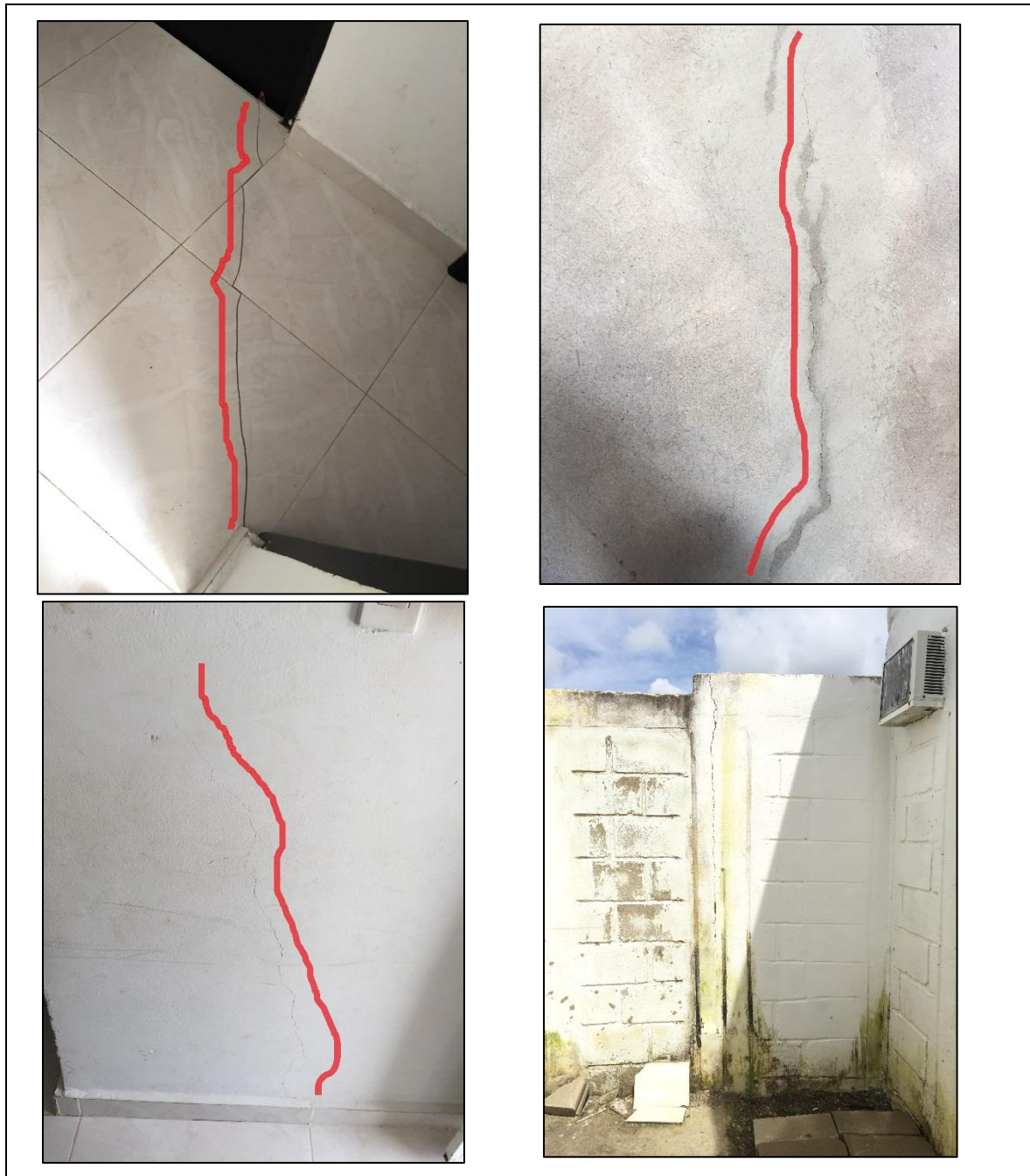
Director: Guilliam Barboza Miranda.

Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar.



Anexo 10. Ficha técnica Bonanza Vista 10-33

DATOS GENERALES		CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN		
Departamento	Bolívar	Edificación Colonial		
Municipio	Turbaco	Edificación Republicana		
Lugar	Ciudadela Bonanza	Edificación Alta		
Dirección	Bonanza Vista 11-9	Edificación Baja		X
Fecha	Agosto 2017	Edificación Alta Con Entrepisos		
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA				
¿La Edificación Se Encuentra en Uso?		SI	X	NO
UTILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Familiar	Hotel	Institucional	Comercial	Otros
X				
ENTORNO (AMBIENTE EXTERIOR)		DIRECTOR		
<i>Clima</i>		Guilliam Barboza Miranda		
Seco		AUTORES		Valentina Álvarez Ramos Lizardo Zabala Hernández
Lluvioso	X			
VALORACIÓN VISUAL				
VIVIENDA	V11-9 Modelo Milán		LESIONES ENCONTRADAS	
AFECTACIÓN DE LAS LESIONES	Seguridad		Humedades	X
	Funcionalidad		Desprendimientos	X
	Aspecto	X	Grietas	X
NIVEL DE INTERVENSIÓN	Imprescindible		Fisuras	X
	Necesaria	X	Erosión	
	Conveniente		Suciedad	
GRADO DE LESIÓN	Leve		Desgaste	
	Moderado		Hongos – Moho	X
	Fuerte	X	Manchas	X
	Severo		Perdida de Material	
Observaciones: La vivienda fue intervenida antes de la visita, se hizo demolición de la plantilla pre-existente, se hicieron 9 zapatas, se hicieron micro-pilotes de arena y se fundió nuevamente la platina con espesor de 10 cm y malla electro-soldada de 20X20, se hizo cambio de muros por columnas (2 unidades) y arreglos en general con respecto a la humedad. La vivienda presenta muchas fisuras grandes en pisos, fachada y muros; muchas grietas, desprendimientos leves y presencia de humedad (continúa luego de intervención).				



ANEXO 10. FICHA TECNICA VIVIENDA V 11-9

Valentina Álvarez Ramos
Lizardo Zabala Hernández

Director: Guilliam Barboza Miranda.

Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa "Bonanza Vista" de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar.



Anexo 11. Ficha técnica Bonanza Vista 11-11

DATOS GENERALES		CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN		
Departamento	Bolívar	Edificación Colonial		
Municipio	Turbaco	Edificación Republicana		
Lugar	Ciudadela Bonanza	Edificación Alta		
Dirección	Bonanza Vista 11-11	Edificación Baja		X
Fecha	Agosto 2017	Edificación Alta Con Entrepisos		
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA				
¿La Edificación Se Encuentra en Uso?		SI	X	NO
UTILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Familiar	Hotel	Institucional	Comercial	Otros
X				
ENTORNO (AMBIENTE EXTERIOR)		DIRECTOR		
<i>Clima</i>		Guilliam Barboza Miranda		
Seco		AUTORES		Valentina Álvarez Ramos Lizardo Zabala Hernández
Lluvioso	X			
VALORACIÓN VISUAL				
VIVIENDA	V11-11 Modelo Bari		LESIONES ENCONTRADAS	
AFECTACIÓN DE LAS LESIONES	Seguridad		Humedades	X
	Funcionalidad		Desprendimientos	
	Aspecto	X	Grietas	X
NIVEL DE INTERVENSIÓN	Imprescindible		Fisuras	X
	Necesaria		Erosión	
	Conveniente	X	Suciedad	
GRADO DE LESIÓN	Leve		Desgaste	
	Moderado	X	Hongos – Moho	X
	Fuerte		Manchas	X
	Severo		Perdida de Material	
Observaciones: La vivienda no fue intervenida antes de la visita, se observa humedad pronunciada, fisuras en general, grieta en columna del patio.				



Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar

ψ



ANEXO 11. FICHA TECNICA VIVIENDA V 11-11

Valentina Álvarez Ramos
Lizardo Zabala Hernández

Director: Guilliam Barboza Miranda.

Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar.



Anexo 12. Ficha técnica Bonanza Vista 11-12

DATOS GENERALES		CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN		
Departamento	Bolívar	Edificación Colonial		
Municipio	Turbaco	Edificación Republicana		
Lugar	Ciudadela Bonanza	Edificación Alta		
Dirección	Bonanza Vista 11-12	Edificación Baja		X
Fecha	Agosto 2017	Edificación Alta Con Entrepisos		
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA				
¿La Edificación Se Encuentra en Uso?		SI	X	NO
UTILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Familiar	Hotel	Institucional	Comercial	Otros
X				
ENTORNO (AMBIENTE EXTERIOR)		DIRECTOR		
<i>Clima</i>		Guilliam Barboza Miranda		
Seco		AUTORES Valentina Álvarez Ramos Lizardo Zabala Hernández		
Lluvioso	X			
VALORACIÓN VISUAL				
VIVIENDA	V11-12 Modelo Bari		LESIONES ENCONTRADAS	
AFECTACIÓN DE LAS LESIONES	Seguridad		Humedades	X
	Funcionalidad		Desprendimientos	
	Aspecto	X	Grietas	X
NIVEL DE INTERVENSIÓN	Imprescindible		Fisuras	X
	Necesaria	X	Erosión	
	Conveniente		Suciedad	
GRADO DE LESIÓN	Leve		Desgaste	
	Moderado		Hongos – Moho	X
	Fuerte	X	Manchas	
	Severo		Perdida de Material	
Observaciones: La vivienda fue intervenida antes de la visita, se hizo demolición de la plantilla pre-existente, se hicieron 4 zapatas, se hicieron micro-pilotes de arena y se fundió nuevamente la plantilla (2 ocasiones) con espesor de 10 cm y malla electro-soldada de 20X20, se hizo cambio de muros por columnas (9 unidades) y arreglos en general con respecto a la humedad. La vivienda presenta muchas fisuras grandes en pisos, fachada y muros; muchas grietas, desprendimientos leves y presencia de humedad (continúa luego de intervención).				



ANEXO 12. FICHA TECNICA VIVIENDA V 11-12

Valentina Álvarez Ramos
Lizardo Zabala Hernández

Director: Guilliam Barboza Miranda.

Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar.



Anexo 13. Ficha técnica Bonanza Vista 11-13

DATOS GENERALES		CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN		
Departamento	Bolívar	Edificación Colonial		
Municipio	Turbaco	Edificación Republicana		
Lugar	Ciudadela Bonanza	Edificación Alta		
Dirección	Bonanza Vista 11-13	Edificación Baja		X
Fecha	Agosto 2017	Edificación Alta Con Entrepisos		
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA				
¿La Edificación Se Encuentra en Uso?		SI	X	NO
UTILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Familiar	Hotel	Institucional	Comercial	Otros
X				
ENTORNO (AMBIENTE EXTERIOR)		DIRECTOR		
<i>Clima</i>		Guilliam Barboza Miranda		
Seco		AUTORES		Valentina Álvarez Ramos Lizardo Zabala Hernández
Lluvioso	X			
VALORACIÓN VISUAL				
VIVIENDA	V11-13 Modelo Florencia		LESIONES ENCONTRADAS	
AFECTACIÓN DE LAS LESIONES	Seguridad		Humedades	X
	Funcionalidad		Desprendimientos	
	Aspecto	X	Grietas	X
NIVEL DE INTERVENSIÓN	Imprescindible		Fisuras	X
	Necesaria		Erosión	
	Conveniente	X	Suciedad	
GRADO DE LESIÓN	Leve	X	Desgaste	
	Moderado		Hongos – Moho	X
	Fuerte		Manchas	X
	Severo		Perdida de Material	
Observaciones: La vivienda no fue intervenida antes de la visita, se observa humedad pronunciada en el patio, fisuras en la fachada, grietas en pisos y muros.				



ANEXO 13. FICHA TECNICA VIVIENDA V 11-13

Valentina Álvarez Ramos
Lizardo Zabala Hernández

Director: Guilliam Barboza Miranda.

Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa "Bonanza Vista" de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar.



Anexo 14. Ficha técnica Bonanza Vista 11-14

DATOS GENERALES		CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN		
Departamento	Bolívar	Edificación Colonial		
Municipio	Turbaco	Edificación Republicana		
Lugar	Ciudadela Bonanza	Edificación Alta		
Dirección	Bonanza Vista 11-14	Edificación Baja		X
Fecha	Agosto 2017	Edificación Alta Con Entrepisos		
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA				
¿La Edificación Se Encuentra en Uso?		SI	X	NO
UTILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Familiar	Hotel	Institucional	Comercial	Otros
X				
ENTORNO (AMBIENTE EXTERIOR)		DIRECTOR		
<i>Clima</i>		Guilliam Barboza Miranda		
Seco		AUTORES		Valentina Álvarez Ramos Lizardo Zabala Hernández
Lluvioso	X			
VALORACIÓN VISUAL				
VIVIENDA	V11-14 Modelo Florencia		LESIONES ENCONTRADAS	
AFECTACIÓN DE LAS LESIONES	Seguridad		Humedades	X
	Funcionalidad		Desprendimientos	
	Aspecto	X	Grietas	
NIVEL DE INTERVENSIÓN	Imprescindible		Fisuras	X
	Necesaria		Erosión	
	Conveniente	X	Suciedad	
GRADO DE LESIÓN	Leve	X	Desgaste	
	Moderado		Hongos – Moho	X
	Fuerte		Manchas	X
	Severo		Perdida de Material	
Observaciones: La vivienda no fue intervenida antes de la visita, se observa humedad pronunciada en el patio, fisuras en la fachada, grietas en pisos y muros.				



ANEXO 14. FICHA TECNICA VIVIENDA V 11-14

Valentina Álvarez Ramos
Lizardo Zabala Hernández

Director: Guilliam Barboza Miranda.

Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa "Bonanza Vista" de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar.



Anexo 15. Ficha técnica Bonanza Vista 11-34

DATOS GENERALES		CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN		
Departamento	Bolívar	Edificación Colonial		
Municipio	Turbaco	Edificación Republicana		
Lugar	Ciudadela Bonanza	Edificación Alta		
Dirección	Bonanza Vista 11-34	Edificación Baja		X
Fecha	Agosto 2017	Edificación Alta Con Entrepisos		
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA				
¿La Edificación Se Encuentra en Uso?		SI	X	NO
UTILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Familiar	Hotel	Institucional	Comercial	Otros
X				
ENTORNO (AMBIENTE EXTERIOR)		DIRECTOR		
<i>Clima</i>		Guilliam Barboza Miranda		
Seco		AUTORES		Valentina Álvarez Ramos Lizardo Zabala Hernández
Lluvioso	X			
VALORACIÓN VISUAL				
VIVIENDA	V11-34 Modelo Florencia		LESIONES ENCONTRADAS	
AFECCIÓN DE LAS LESIONES	Seguridad		Humedades	X
	Funcionalidad		Desprendimientos	X
	Aspecto	X	Grietas	X
NIVEL DE INTERVENSIÓN	Imprescindible		Fisuras	X
	Necesaria	X	Erosión	
	Conveniente		Suciedad	
GRADO DE LESIÓN	Leve		Desgaste	
	Moderado		Hongos – Moho	X
	Fuerte	X	Manchas	
	Severo		Perdida de Material	
Observaciones: La vivienda no fue intervenida antes de la visita, La vivienda presenta numerosas fisuras en pisos, muros y fachada; muchas grietas, desprendimientos y alta presencia de humedad sobre todo en el patio, debido a condiciones inadecuadas en drenaje				



Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar

Ψ



ANEXO 15. FICHA TECNICA V 11-34

Valentina Álvarez Ramos
Lizardo Zabala Hernández

Director: Guilliam Barboza Miranda.

Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar.



Anexo 16. Ficha técnica Bonanza Vista 12-6

DATOS GENERALES		CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN		
Departamento	Bolívar	Edificación Colonial		
Municipio	Turbaco	Edificación Republicana		
Lugar	Ciudadela Bonanza	Edificación Alta		
Dirección	Bonanza Vista 12-6	Edificación Baja		X
Fecha	Agosto 2017	Edificación Alta Con Entrepisos		
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA				
¿La Edificación Se Encuentra en Uso?		SI	X	NO
UTILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Familiar	Hotel	Institucional	Comercial	Otros
X				
ENTORNO (AMBIENTE EXTERIOR)		DIRECTOR	Guilliam Barboza Miranda	
<i>Clima</i>		AUTORES	Valentina Álvarez Ramos Lizardo Zabala Hernández	
Seco				
Lluvioso	X			
VALORACIÓN VISUAL				
VIVIENDA	V12-6 Modelo Bari		LESIONES ENCONTRADAS	
AFECTACIÓN DE LAS LESIONES	Seguridad		Humedades	X
	Funcionalidad		Desprendimientos	
	Aspecto	X	Grietas	
NIVEL DE INTERVENSIÓN	Imprescindible		Fisuras	X
	Necesaria		Erosión	
	Conveniente	X	Suciedad	
GRADO DE LESIÓN	Leve	X	Desgaste	
	Moderado		Hongos – Moho	X
	Fuerte		Manchas	X
	Severo		Perdida de Material	
Observaciones: La vivienda solo se inspecciono por fuera se observa humedad pronunciada, se presenció una fisura y humedad en la terraza				



ANEXO 16. FICHA TECNICA VIVIENDA V 12-6

Valentina Álvarez Ramos
Lizardo Zabala Hernández

Director: Guilliam Barboza Miranda.

Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar.



Anexo 17. Ficha técnica Bonanza Vista 12-8

DATOS GENERALES		CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN		
Departamento	Bolívar	Edificación Colonial		
Municipio	Turbaco	Edificación Republicana		
Lugar	Ciudadela Bonanza	Edificación Alta		
Dirección	Bonanza Vista 12-8	Edificación Baja		X
Fecha	Agosto 2017	Edificación Alta Con Entrepisos		
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA				
¿La Edificación Se Encuentra en Uso?		SI	X	NO
UTILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Familiar	Hotel	Institucional	Comercial	Otros
X				
ENTORNO (AMBIENTE EXTERIOR)		DIRECTOR		
<i>Clima</i>		Guilliam Barboza Miranda		
Seco		AUTORES		Valentina Álvarez Ramos Lizardo Zabala Hernández
Lluvioso	X			
VALORACIÓN VISUAL				
VIVIENDA	V12-8 Modelo Florencia		LESIONES ENCONTRADAS	
AFECTACIÓN DE LAS LESIONES	Seguridad		Humedades	X
	Funcionalidad		Desprendimientos	
	Aspecto	X	Grietas	
NIVEL DE INTERVENSIÓN	Imprescindible		Fisuras	X
	Necesaria		Erosión	
	Conveniente	X	Suciedad	
GRADO DE LESIÓN	Leve	X	Desgaste	
	Moderado		Hongos – Moho	X
	Fuerte		Manchas	X
	Severo		Perdida de Material	
Observaciones: La vivienda no fue intervenida antes de la visita, presencia de humedad alta, incluso dentro de la casa, fisuras pequeñas				



Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar



ANEXO 17. FICHA TECNICA VIVIENDA V 12-8

Valentina Álvarez Ramos
Lizardo Zabala Hernández

Director: Guilliam Barboza Miranda.

Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar.



Anexo 18. Ficha técnica Bonanza Vista 12-27

DATOS GENERALES		CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN		
Departamento	Bolívar	Edificación Colonial		
Municipio	Turbaco	Edificación Republicana		
Lugar	Ciudadela Bonanza	Edificación Alta		
Dirección	Bonanza Vista 12-27	Edificación Baja		X
Fecha	Agosto 2017	Edificación Alta Con Entrepisos		
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA				
¿La Edificación Se Encuentra en Uso?		SI	X	NO
UTILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Familiar	Hotel	Institucional	Comercial	Otros
X				
ENTORNO (AMBIENTE EXTERIOR)		DIRECTOR	Guilliam Barboza Miranda	
<i>Clima</i>		AUTORES	Valentina Álvarez Ramos Lizardo Zabala Hernández	
Seco				
Lluvioso	X			
VALORACIÓN VISUAL				
VIVIENDA	V12-27 Modelo Florencia		LESIONES ENCONTRADAS	
AFECTACIÓN DE LAS LESIONES	Seguridad	X	Humedades	X
	Funcionalidad		Desprendimientos	X
	Aspecto	X	Grietas	
NIVEL DE INTERVENSIÓN	Imprescindible		Fisuras	X
	Necesaria	X	Erosión	
	Conveniente		Suciedad	
GRADO DE LESIÓN	Leve		Desgaste	
	Moderado	X	Hongos – Moho	X
	Fuerte		Manchas	X
	Severo		Perdida de Material	
Observaciones: La vivienda no fue intervenida antes de la visita, se observa humedad pronunciada, desprendimiento en un balcón y fisuras en general.				



ANEXO 18. FICHA TECNICA VIVIENDA V 12-27

Valentina Álvarez Ramos
Lizardo Zabala Hernández

Director: Guilliam Barboza Miranda.

Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa “Bonanza Vista” de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar.



Anexo 19. Ficha técnica Bonanza Vista 12-28

DATOS GENERALES		CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN		
Departamento	Bolívar	Edificación Colonial		
Municipio	Turbaco	Edificación Republicana		
Lugar	Ciudadela Bonanza	Edificación Alta		
Dirección	Bonanza Vista 12-28	Edificación Baja		X
Fecha	Agosto 2017	Edificación Alta Con Entrepisos		
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA				
¿La Edificación Se Encuentra en Uso?		SI	X	NO
UTILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Familiar	Hotel	Institucional	Comercial	Otros
X				
ENTORNO (AMBIENTE EXTERIOR)		DIRECTOR		
<i>Clima</i>		Guilliam Barboza Miranda		
Seco		AUTORES		Valentina Álvarez Ramos Lizardo Zabala Hernández
Lluvioso	X			
VALORACIÓN VISUAL				
VIVIENDA	V12-28 Modelo Florencia		LESIONES ENCONTRADAS	
AFECTACIÓN DE LAS LESIONES	Seguridad	X	Humedades	X
	Funcionalidad		Desprendimientos	X
	Aspecto	X	Grietas	X
NIVEL DE INTERVENSIÓN	Imprescindible		Fisuras	X
	Necesaria	X	Erosión	
	Conveniente		Suciedad	
GRADO DE LESIÓN	Leve		Desgaste	
	Moderado		Hongos – Moho	X
	Fuerte	X	Manchas	X
	Severo		Perdida de Material	X
Observaciones: No se tiene conocimiento si la vivienda fue intervenida o no antes de la visita, se observa humedad muy pronunciada en pisos y entepiso, desprendimiento de material y grietas con aberturas superiores a 2cm que se extienden incluso por la parte transversal de los muros.				



Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa "Bonanza Vista" de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar

Ψ



ANEXO 19. FICHA TECNICA VIVIENDA V 12-28

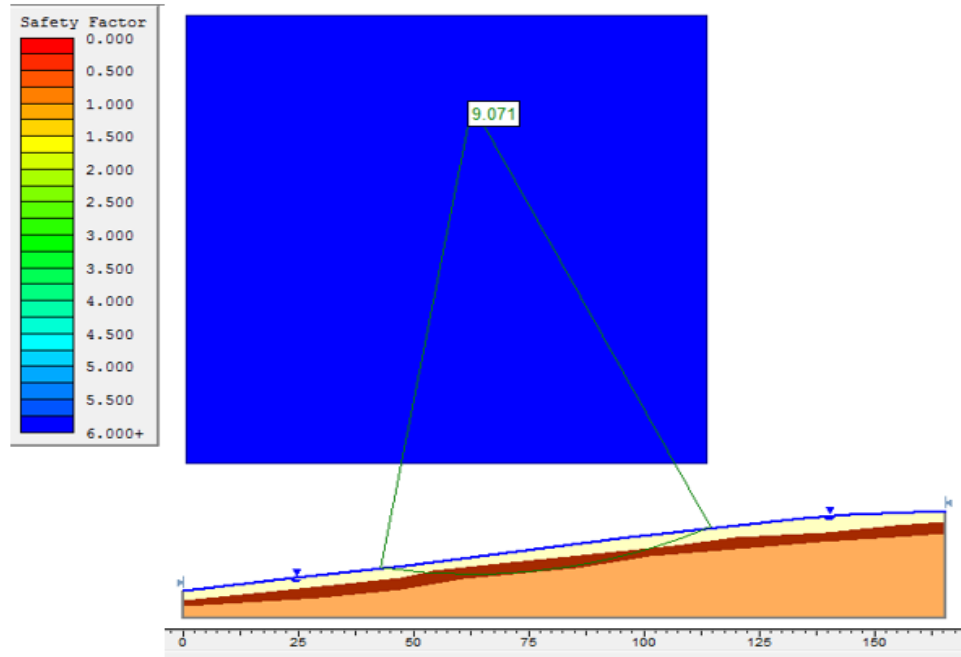
Valentina Álvarez Ramos
Lizardo Zabala Hernández

Director: Guilliam Barboza Miranda.

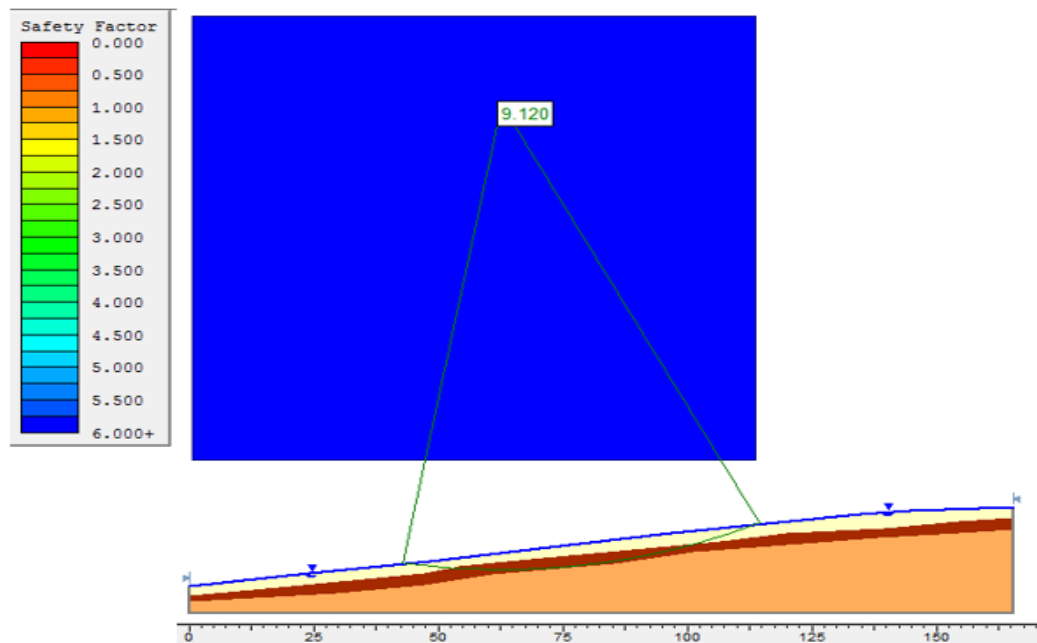
Evaluación geotécnica y diagnóstico hidrogeológico de los problemas de estabilidad de taludes que afectan a las viviendas de la etapa "Bonanza Vista" de la urbanización Ciudadela Bonanza en el municipio de Turbaco, Bolívar.



Anexo 20. Perfil modelado Estado Natural - Método de Fellenius con superficie de falla circular.

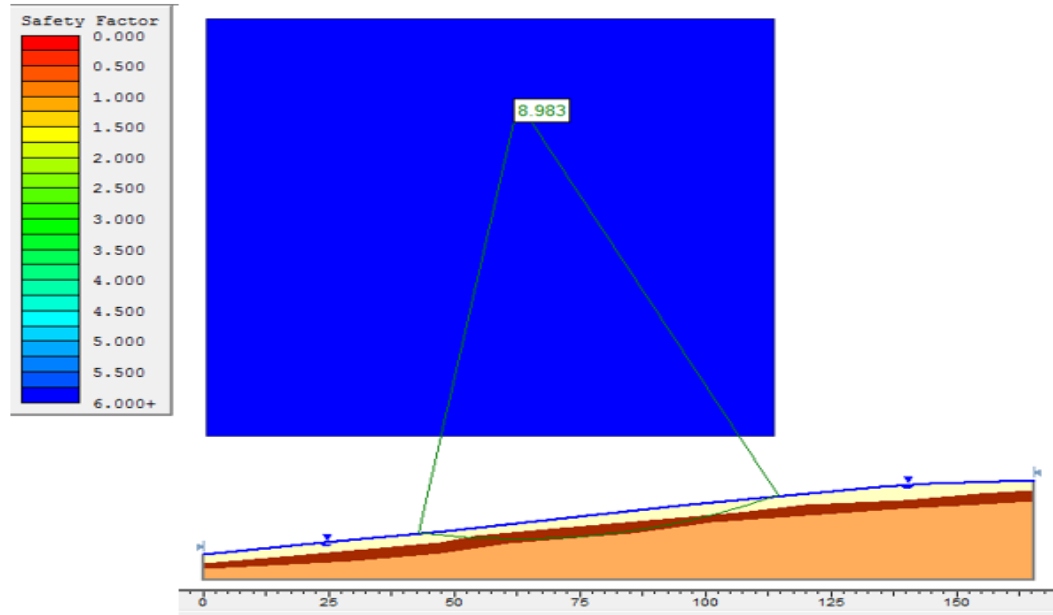


Anexo 21. Perfil modelado Estado Natural -Método de Bishop simplificado con superficie de falla circular.

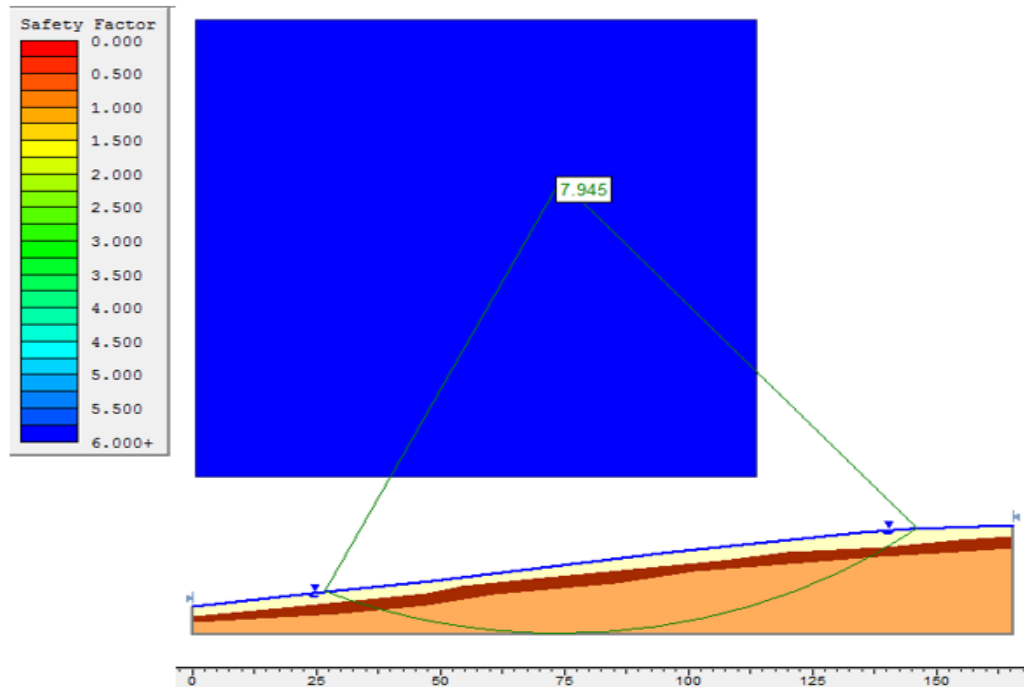




Anexo 22. Perfil modelado Estado Natural -Método de Janbu simplificado con superficie de falla circular.

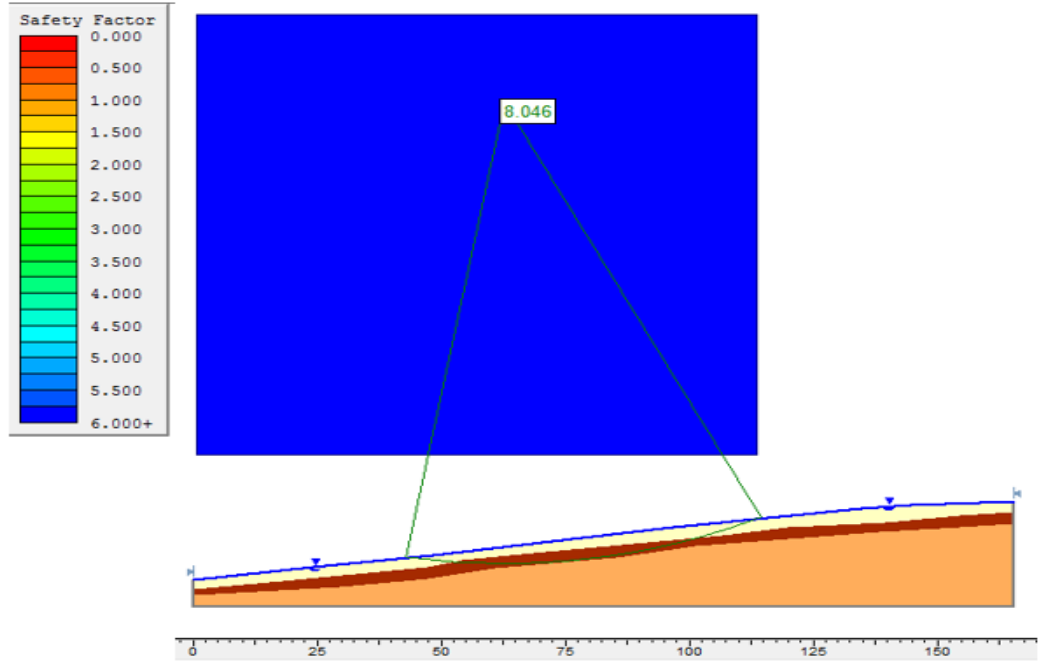


Anexo 23. Perfil modelado Saturado y sin sismo -Método de Fellenius con superficie de falla circular.

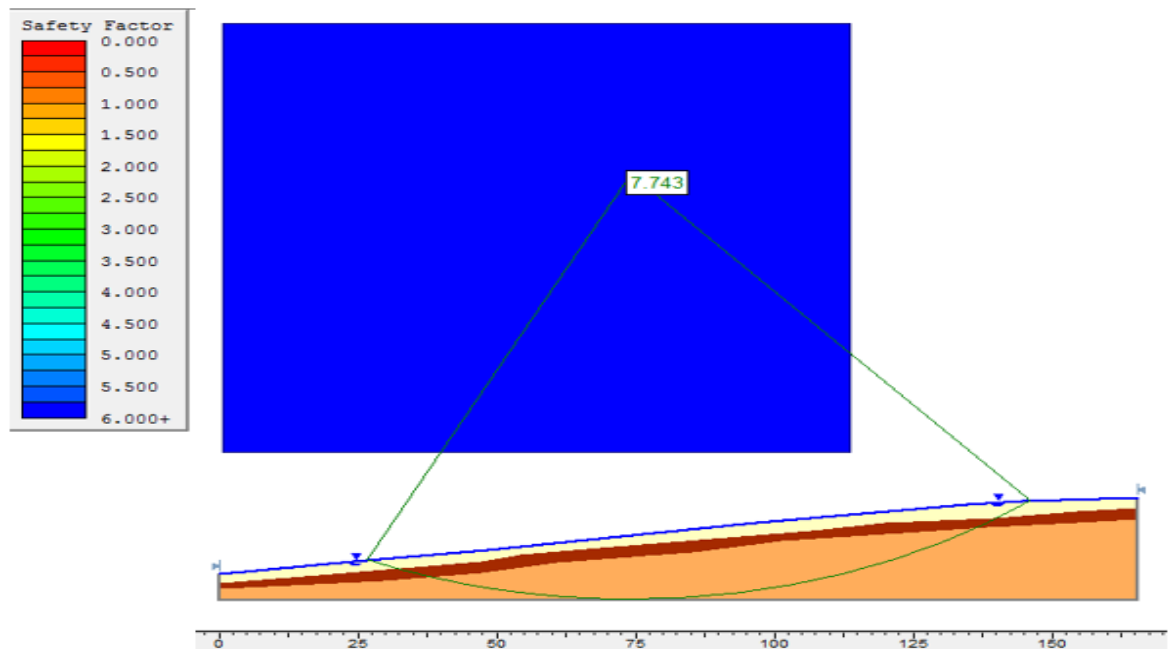




Anexo 24. Perfil modelado Saturado y sin sismo -Método de Bishop simplificado con superficie de falla circular.

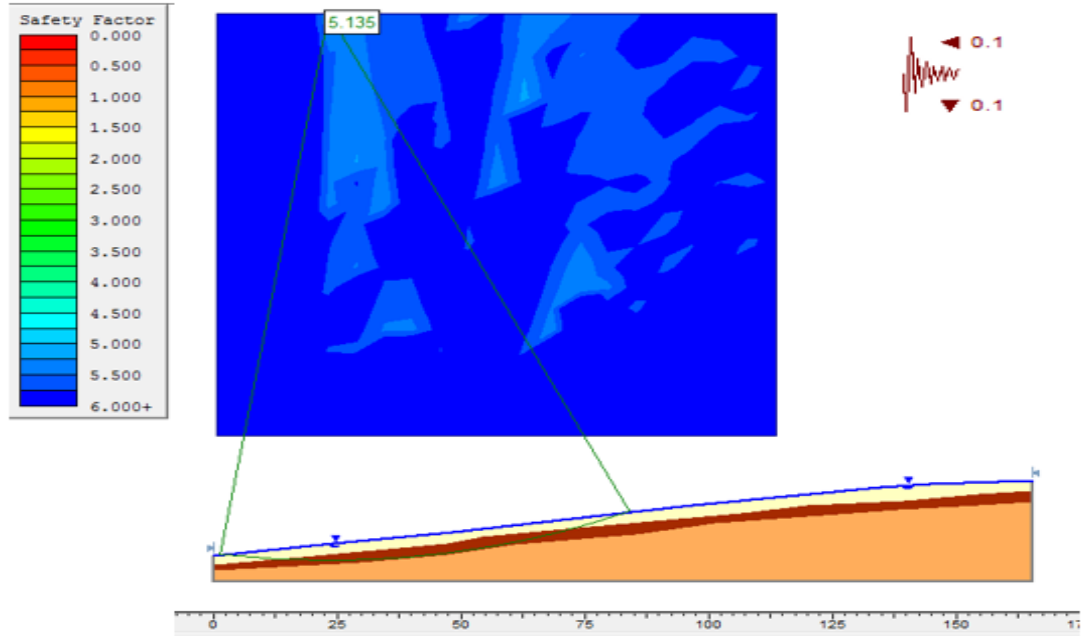


Anexo 25. Perfil modelado Saturado y sin sismo-Método de Janbu simplificado con superficie de falla circular.

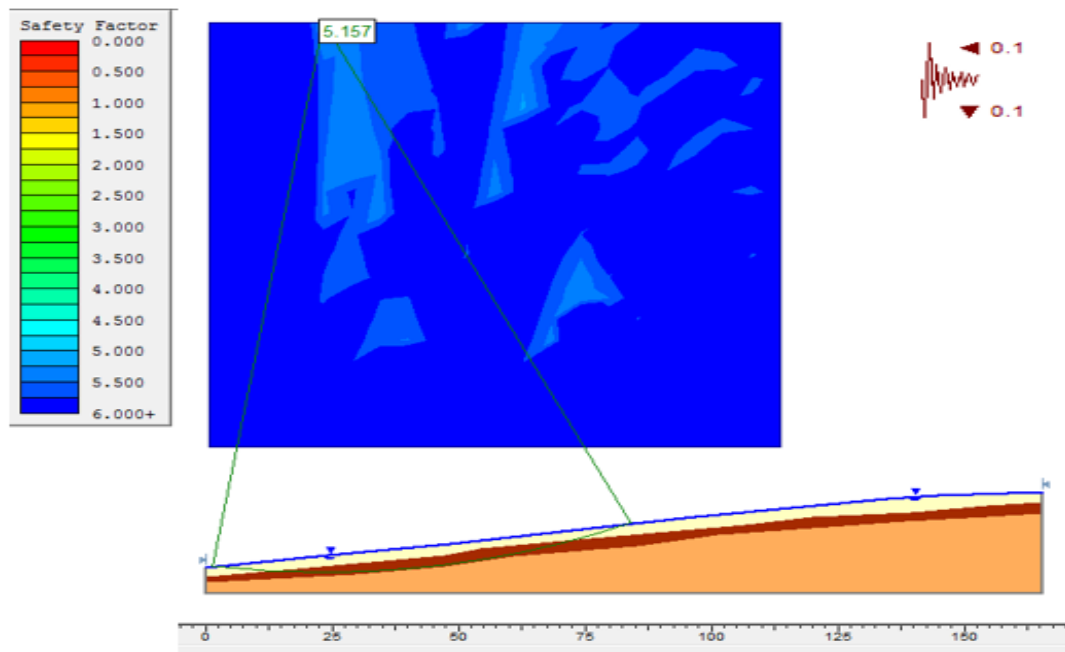




Anexo 26. Perfil modelado No saturado y con sismo -Método de Fellenius con superficie de falla circular.

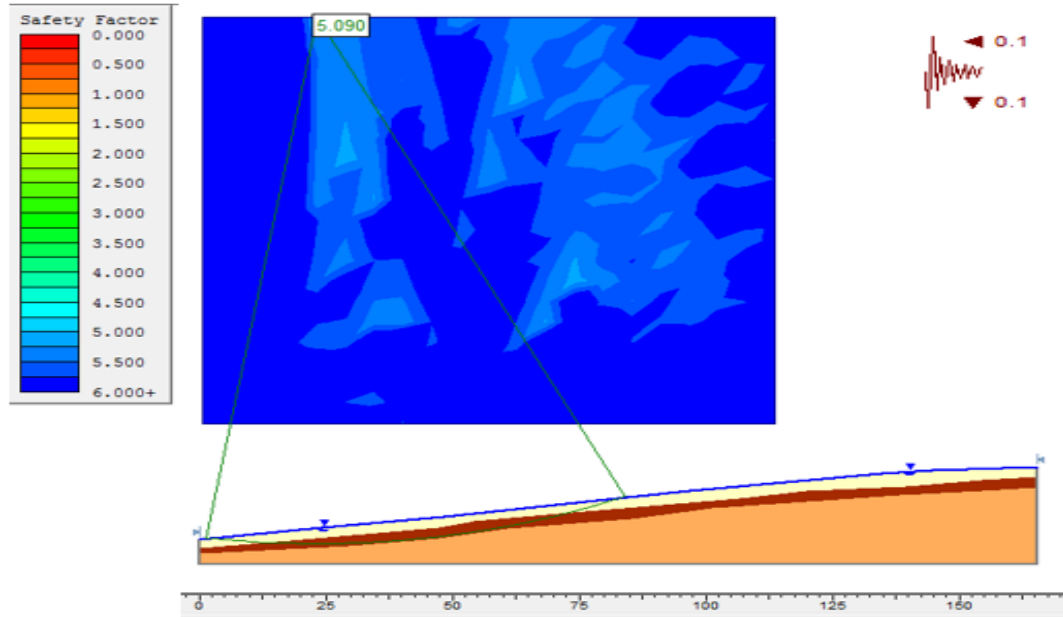


Anexo 27. Perfil modelado No saturado y con sismo -Método de Bishop simplificado con superficie de falla circular.

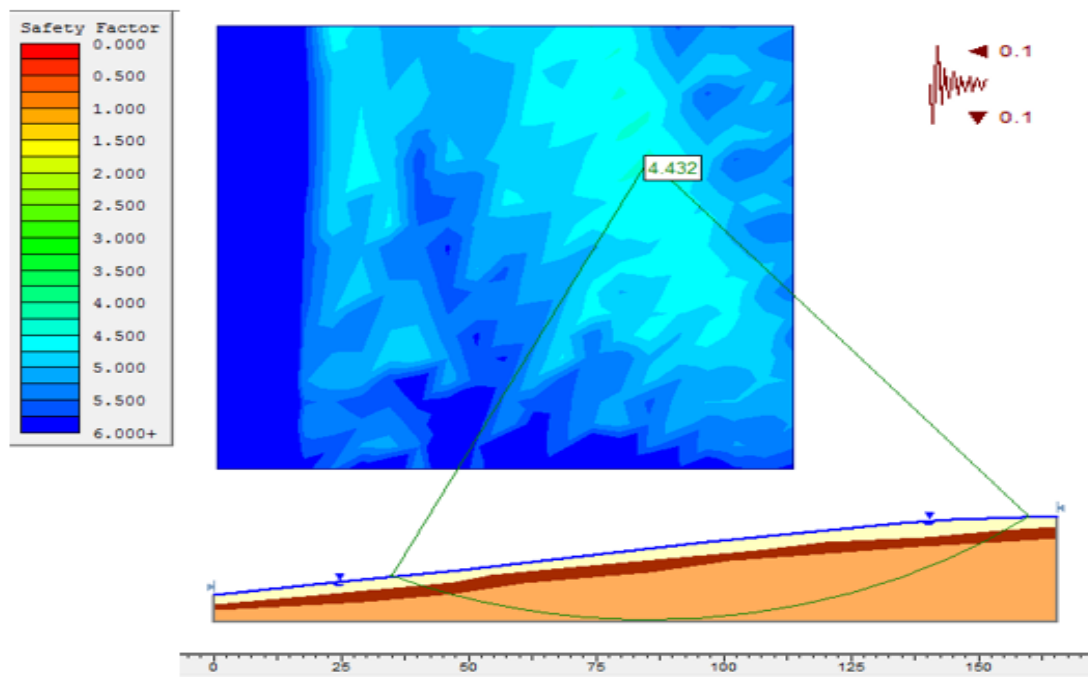




Anexo 28. Perfil modelado No saturado y con sismo -Método de Janbu simplificado con superficie de falla circular.

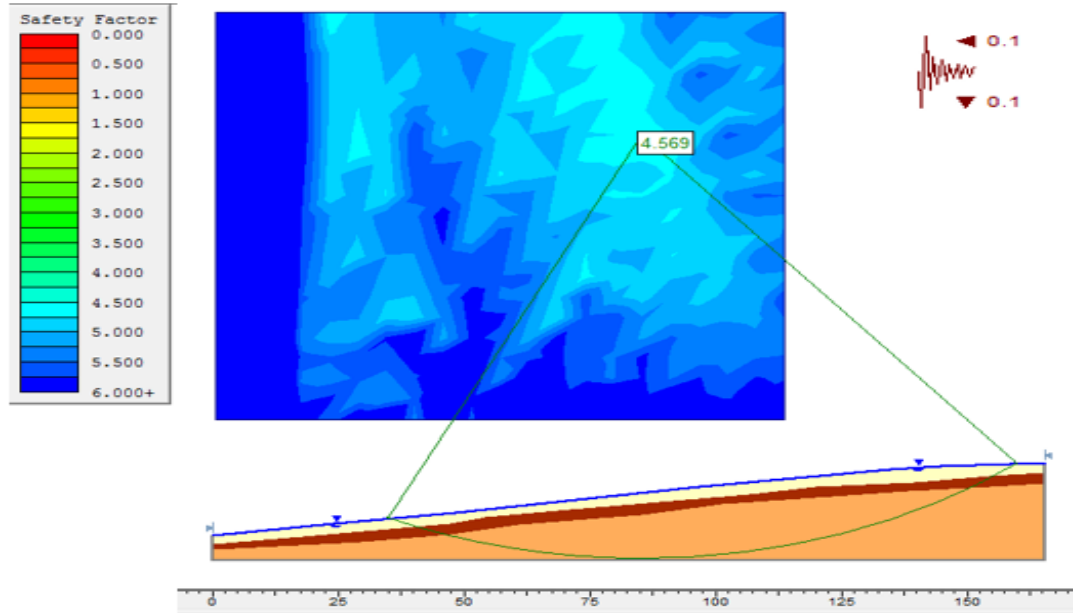


Anexo 29. Perfil modelado Saturado y con sismo -Método de Fellenius con superficie de falla circular.

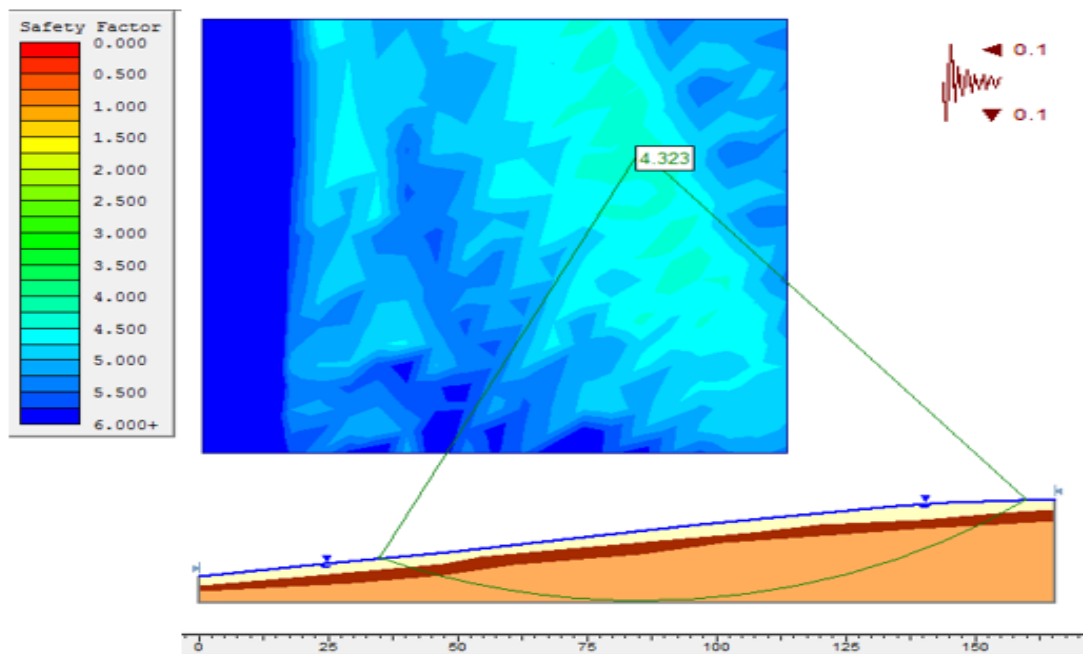




Anexo 30. Perfil modelado Saturado y con sismo -Método de Bishop simplificado con superficie de falla circular.

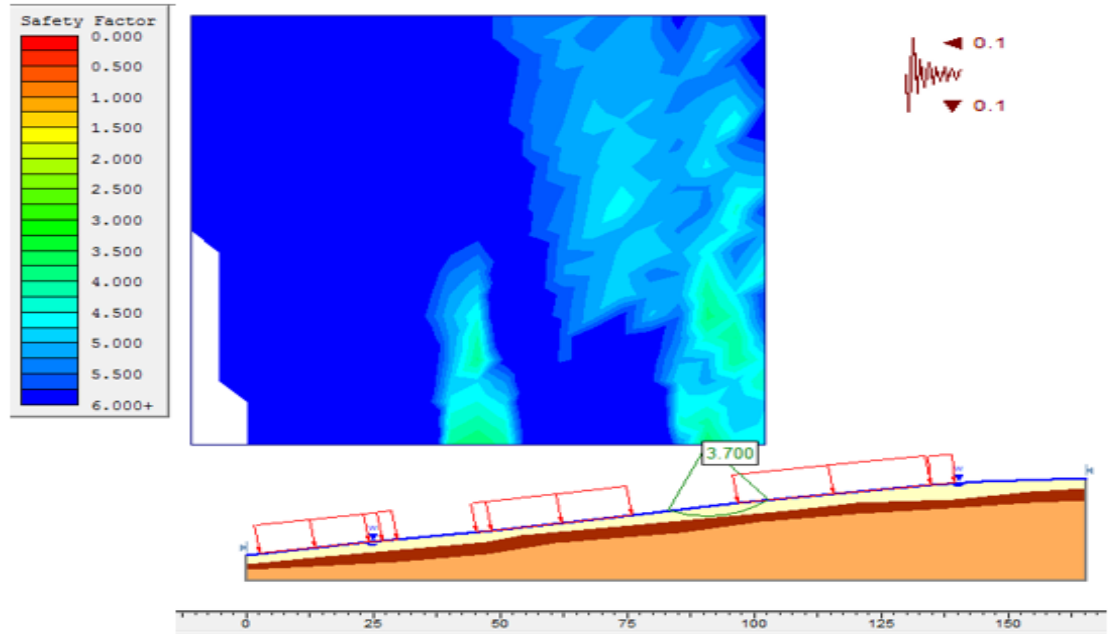


Anexo 31. Perfil modelado Saturado y con sismo -Método de Janbu simplificado con superficie de falla circular.

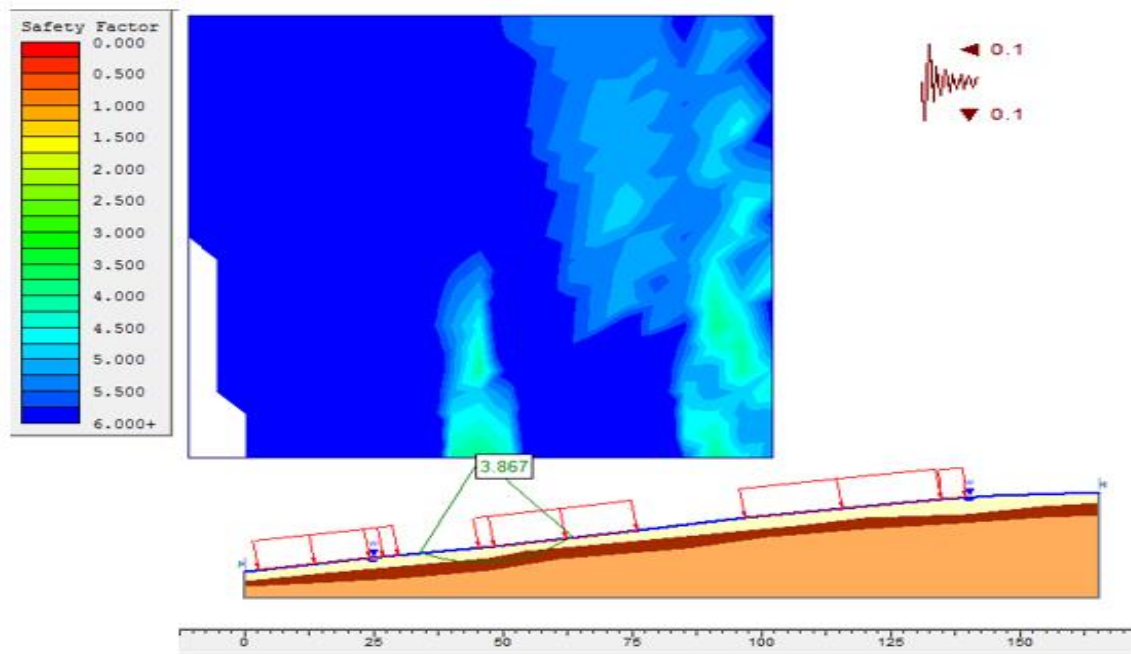




Anexo 32. Perfil modelado Con viviendas -Método de Fellenius con superficie de falla circular.



Anexo 33. Perfil modelado Con viviendas -Método de Bishop simplificado con superficie de falla circular.





Anexo 34. Perfil modelado Con viviendas -Método de Janbu simplificado con superficie de falla circular.

