

# PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA RÍO HONDO

## ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL



| CONTIENE   |   |
|------------|---|
| CAPITULO 5 | Caracterización área de influencia abiótica |

## TABLA DE CONTENIDO

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| 5         | CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA .....   | 8  |
| 5.1       | Medio abiótico .....   | 8  |
| 5.1.1     | Geología .....   | 8  |
| 5.1.1.1   | Geología regional .....  | 8  |
| 5.1.1.1.1 | Estratigrafía .....  | 10 |
| 5.1.1.2   | Geología local .....   | 10 |
| 5.1.1.2.1 | Esquistos moscovíticos con biotita (Pfi) .....   | 10 |
| 5.1.1.2.2 | Filitas moscovíticas (Pfm) .....   | 11 |
| 5.1.1.2.3 | Pizarras/filitas (Pp) .....  | 11 |
| 5.1.1.3   | Pórfidos Andesíticos (Tadh) .....  | 11 |
| 5.1.1.3.1 | Depósito coluvial (Qcd) .....  | 11 |
| 5.1.1.4   | Deposito aluvial .....   | 11 |
| 5.1.1.5   | Geología estructural .....   | 11 |
| 5.1.1.5.1 | Sistema de Falla de Palestina .....  | 12 |
| 5.1.1.5.2 | Falla Río Hondo .....  | 12 |
| 5.1.1.5.3 | Falla río Dulce .....  | 13 |
| 5.1.1.5.4 | Estructura del macizo rocoso .....   | 13 |
| 5.1.1.6   | Sismicidad .....   | 13 |
| 5.1.1.6.1 | Fuentes sismogénicas .....   | 13 |
| 5.1.1.6.2 | Parámetros fisiográficos .....   | 14 |
| 5.1.2     | Paisaje .....  | 15 |
| 5.1.2.1   | Establecimiento de las unidades de paisaje regional .....                                  | 16 |
| 5.1.2.1.1 | Descripción del proyecto dentro del componente paisajístico .....                          | 20 |
| 5.1.2.1.2 | Sitios de Interés Paisajístico .....   | 21 |
| 5.1.2.1.3 | Percepción cultural y nivel de interés de las comunidades frente a su entorno físico ..... | 21 |
| 5.1.2.2   | Programas relacionados con protección del paisaje .....                                    | 22 |
| 5.1.2.2.1 | Eventos culturales .....   | 23 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| 5.1.3     | Geomorfología.....   | 23 |
| 5.1.3.1   | Unidades del ambiente denudacional .....   | 24 |
| 5.1.3.2   | Unidades del ambiente estructural.....   | 24 |
| 5.1.3.3   | Morfodinámica.....   | 24 |
| 5.1.3.3.1 | Cálculo de las variables morfométricas para la cuenca del río Hondo.....                     | 24 |
| 5.1.3.3.2 | Mapa de pendientes de la cuenca del río Hondo .....  | 25 |
| 5.1.3.3.3 | Procesos morfodinámicos .....  | 25 |
| 5.1.3.3.4 | Perfil del suelo.....  | 26 |
| 5.1.4     | Geotecnia .....  | 26 |
| 5.1.4.1   | Caracterización de la matriz rocosa .....  | 26 |
| 5.1.4.2   | Grado de meteorización .....   | 26 |
| 5.1.4.3   | Descripción de las discontinuidades .....  | 27 |
| 5.1.4.4   | Índice de fracturamiento Jv .....  | 27 |
| 5.1.4.5   | Índice de resistencia geológico (G.S.I).....   | 27 |
| 5.1.4.6   | Caracterización Geotécnica Área de Interés PCH Río Hondo ....                                | 27 |
| 5.1.4.6.1 | Metodología .....  | 27 |
| 5.1.4.6.2 | Rehabilitación vía de acceso sector Cristales – Moro Seco (K0+0 al K0+900) .....             | 28 |
| 5.1.4.6.3 | Vía sector Morro seco – casa de máquinas (K0+900 -4+680 Vía 1, K0+000 – 1++1+815 Vía 2)..... | 29 |
| 5.1.4.6.4 | Tubería de conducción.....   | 29 |
| 5.1.4.6.5 | Captación.....   | 30 |
| 5.1.4.6.6 | Tanque de carga .....  | 30 |
| 5.1.4.6.7 | Tubería de presión .....   | 30 |
| 5.1.4.6.8 | Casa de maquinas .....   | 30 |
| 5.1.4.7   | Mapa Geotécnico Pequeña Central Hidroeléctrica Río Hondo ...                                 | 31 |
| 5.1.4.7.1 | Rocas parcialmente Meteorizadas.....   | 31 |
| 5.1.4.7.2 | Suelos .....   | 31 |
| 5.1.4.7.3 | Depósitos.....   | 32 |
| 5.1.5     | Suelos.....  | 32 |
| 5.1.5.1   | Caracterización suelos área de intervención PCH Río Hondo ....                               | 34 |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| 5.1.5.2    | Uso actual del suelo Área de Influencia PCH Río Hondo .....                  | 36 |
| 5.1.5.3    | Clasificación agrológica de los suelos.....                                  | 37 |
| 5.1.5.3.1  | Clase agrológica Vlesc2.....   | 37 |
| 5.1.5.3.2  | Clase agrológica Vllesc2 .....   | 37 |
| 5.1.5.3.3  | Clase agrológica Vllesc1 .....   | 38 |
| 5.1.5.4    | Uso potencial del suelo .....  | 38 |
| 5.1.5.5    | Conflictos de uso.....   | 38 |
| 5.1.5.6    | Muestreos de suelo.....  | 39 |
| 5.1.5.6.1  | Propiedades químicas de los suelos PCH río Hondo.....                        | 39 |
| 5.1.5.6.2  | Propiedades físicas.....   | 39 |
| 5.1.5.7    | Procesos erosivos y su relación con el tipo de suelo .....                   | 40 |
| 5.1.5.8    | Categorías de manejo ambiental .....   | 40 |
| 5.1.6      | Hidrología .....   | 40 |
| 5.1.6.1    | Ubicación de la zona de estudio .....  | 40 |
| 5.1.6.2    | Modelo digital de elevación (MDE).....                                       | 42 |
| 5.1.6.3    | Meteorología .....   | 42 |
| 5.1.6.4    | Precipitación.....   | 42 |
| 5.1.6.5    | Información de caudales .....  | 42 |
| 5.1.6.6    | Información de aforos .....  | 42 |
| 5.1.6.7    | Meteorología del IDEAM .....   | 43 |
| 5.1.6.7.1  | Información de precipitación .....   | 43 |
| 5.1.6.7.2  | Información de caudal.....   | 43 |
| 5.1.6.8    | Corrección del MDE y definición de cuencas hidrográficas .....               | 43 |
| 5.1.6.9    | Cálculo de parámetros morfométricos de las cuencas de interés.....           | 43 |
| 5.1.6.10   | Análisis exploratorio de las series de tiempo de precipitación y caudal..... | 43 |
| 5.1.6.10.1 | Resultados encontrados en series de precipitación .....                      | 44 |
| 5.1.6.10.2 | Resultados encontrados en series de caudal.....                              | 44 |
| 5.1.6.10.3 | Elaboración del mapa de precipitación media de largo plazo .....             | 44 |
| 5.1.6.10.4 | Distribución espacial de la precipitación .....                              | 45 |
| 5.1.6.11   | Campo de temperaturas medias de largo plazo.....                             | 45 |
| 5.1.6.12   | Campo de evapotranspiración media de largo plazo .....                       | 45 |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| 5.1.6.13   | Validación de campos de variables hidrometeorológicas.....                                 | 45 |
| 5.1.6.14   | Cálculo de caudales medios diarios en los sitios de interés .....                          | 46 |
| 5.1.6.14.1 | Descripción general del modelo de tanques para el cálculo de caudales medios diarios.....  | 46 |
| 5.1.6.14.2 | Calibración y validación del modelo .....  | 46 |
| 5.1.6.14.3 | Simulación de caudales medios diarios en los puntos de interés                             | 47 |
| 5.1.6.14.4 | Cálculo de caudales extremos en las cuencas de interés.....                                | 47 |
| 5.1.6.14.5 | Descripciones metodológicas.....   | 47 |
| 5.1.6.14.6 | Cálculo de caudales mínimos para diferentes períodos de retorno .....                      | 48 |
| 5.1.6.14.7 | Cálculo de caudales máximos para diferentes períodos de retorno .....                      | 48 |
| 5.1.6.15   | Cálculo de caudales ambientales haciendo uso de diferentes metodologías.....               | 48 |
| 5.1.6.15.1 | Descripción de la información hidrometeorológica .....                                     | 48 |
| 5.1.6.15.2 | Cálculo de caudales ambientales usando series de tiempo hidrológicas .....                 | 49 |
| 5.1.6.16   | Cálculo de tasas de transporte de sedimentos a nivel anual en las cuencas de interés ..... | 49 |
| 5.1.6.17   | Cálculo de tasas de transporte de sustancias de interés ambiental .....                    | 50 |
| 5.1.6.17.1 | Descripción de resultados de análisis de laboratorio .....                                 | 50 |
| 5.1.6.17.2 | Curva de calibración de la estación de medición de caudales ....                           | 50 |
| 5.1.6.18   | Cálculo de caudal de Garantía Ambiental Metodología EPM 2012 (Grecco 2012) .....           | 50 |
| 5.1.6.19   | Caudal Garantía Ambiental Metodología IDEAM .....  | 50 |
| 5.1.6.20   | Análisis fisicoquímico y microbiológico .....  | 51 |
| 5.1.7      | Uso del agua.....  | 51 |
| 5.1.7.1    | Caracterización de usos y usuarios .....   | 51 |
| 5.1.7.1.1  | Predios visitados .....  | 51 |
| 5.1.7.1.2  | Documento de identidad y nombre de predio.....   | 52 |
| 5.1.7.1.3  | Estado de legalidad en el uso del agua .....   | 52 |
| 5.1.7.1.4  | Obra de captación.....   | 52 |
| 5.1.7.1.5  | Vertimientos .....   | 52 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| 5.1.7.1.6 | Número habitantes por predio.....                        | 52 |
| 5.1.7.1.7 | Uso del agua.....  | 53 |
| 5.1.7.1.8 | Localización de usuarios.....                            | 53 |
| 5.1.8     | Hidrogeología.....                                       | 53 |
| 5.1.8.1   | Acuífero de depósitos coluviales.....                    | 54 |
| 5.1.8.2   | Rocas con flujo esencialmente a través de fracturas..... | 54 |
| 5.1.8.3   | Sistema acuífero grupo Cajamarca.....                    | 54 |
| 5.1.9     | Atmósfera.....   | 54 |
| 5.1.9.1   | Información meteorológica.....                           | 54 |
| 5.1.9.2   | Identificación de fuentes de emisiones atmosféricas..... | 54 |
| 5.1.9.3   | Monitoreo de calidad de aire.....                        | 55 |
| 5.1.9.4   | Ruido.....   | 55 |
| 5.1.9.4.1 | Receptores de ruido.....                                 | 55 |
| 5.1.9.4.2 | Resultados de la medición.....                           | 56 |
| 5.1.9.5   | Olores ofensivos.....                                    | 57 |

## LISTADO DE ILUSTRACIONES

|   |    |
|---|----|
| Ilustración 1. Mapa geológico regional de los alrededores de la zona del proyecto Hidroeléctrico del río Hondo. Fuente: INGEOMINAS (1993).....  | 9  |
| Ilustración 2. Vista de un afloramiento de las rocas metamórficas de la región en avanzado estado de meteorización química. ....  | 10 |
| Ilustración 3. Imagen Satelital 2016, Falla Río Hondo “Pequeña Central Hidroeléctrica Río Hondo”. Fuente: Google Earth Pro. ....  | 12 |
| Ilustración 4. Vista panorámica del valle del río Hondo donde se puede observar que las zonas intervenidas se localizan hacia las partes medias y altas de ambas vertientes. Las laderas cerca al cauce por ser donde se presentan las mayores pendientes no tienen intervención..... | 15 |
| Ilustración 5. Campaña de campo al sitio de interés – Río Hondo .....   | 41 |

## LISTADO DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Vías nuevas para la PCH Río Hondo. Fuente: Elaboración propia. ....  | 20 |
| Tabla 2. Sitios de Interes paisajistico PCH Río Hondo. Fuente: Elaboracion propia. ....                               | 21 |
| Tabla 3. Coeficientes de amplificación Fa y Fv. ....  | 26 |
| Tabla 4. Usos actuales definidos para el presente proyecto. Fuente: Elaboración propia. ....                          | 36 |
| Tabla 5. Receptores de ruido presentes en el área de influencia de la PCH Río Hondo. Fuente: Elaboración propia. .... | 56 |



## 5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

Para el proyecto Pequeña Central Hidroeléctrica Río Hondo, ubicado en el corregimiento de Florencia del municipio de Samaná – Caldas, en límites con el departamento de Antioquia, se tiene estipulado la construcción de obras para el aprovechamiento de las aguas del Río Hondo, metros abajo de la confluencia de este río con su mayor afluente río Claro, con una generación menor a 20 MW.

El área de influencia del medio abiótico, biótico, socioeconómico y cultural y cada uno de sus componentes fue estimada de acuerdo a los impactos significativos considerados debido a las obras, actividades y etapas de desarrollo del proyecto (Capítulo 4). Por lo tanto, la zona afectada por el proyecto presenta las siguientes características, que se dividen por componentes ambientales:

### 5.1 Medio abiótico

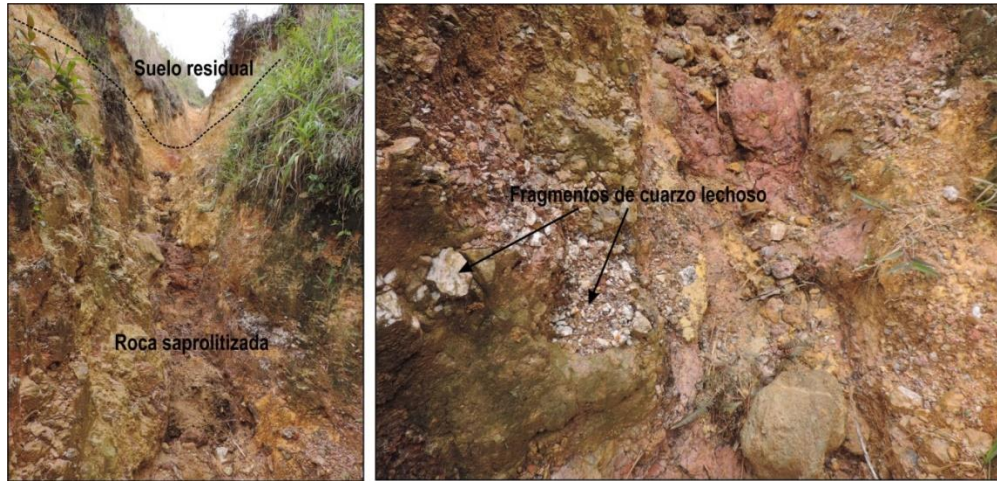
Para este medio, se tuvo en cuenta las obras principales del proyecto como: captación, línea de conducción, tanque de carga, tubería de carga, casa de máquinas, nuevas vías a construir y zonas de depósito de materiales, las cuales se encuentran diseñadas a nivel superficial, sin intervención subterránea.

#### 5.1.1 *Geología*

##### 5.1.1.1 Geología regional

Regionalmente la zona de influencia está en el flanco oriental de la Cordillera Central de Colombia, donde predominan las rocas metamórficas del Complejo Cajamarca, las cuales consisten en pizarras, filitas, cuarcitas, esquistos verdes y esquistos cuarzo grafitosos. Las rocas ígneas en la zona están constituidas por cuerpos plutónicos de textura porfirítica que se han intruido entre las rocas metamórficas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).





**Ilustración 2.** Vista de un afloramiento de las rocas metamórficas de la región en avanzado estado de meteorización química.

El suelo residual consiste en un material arcilloso de color rojizo donde no es posible reconocer la roca original, mientras que en la roca saprolitizada, aunque está totalmente alterada, aún se puede reconocer la roca de donde se deriva el saprolito.

#### 5.1.1.1.1 Estratigrafía

Como complemento al estudio Geológico realizado en el año 2015 para el proyecto PCH Río Hondo, en el año 2008 se realizó la caracterización Geológica del área del proyecto:

- Grupo Cajamarca (Paleozoico)

Se encuentra conformado por variedad de rocas. En el área del proyecto se encuentran los esquistos sericíticos, con bajo grado de metamorfismo.

#### 5.1.1.2 Geología local

Las rocas más abundantes son las metamórficas que varían en composición y son el resultado de metamorfismo regional de intensidad variable.

##### 5.1.1.2.1 Esquistos moscovíticos con biotita (Pfi)

Los esquistos moscovíticos son rocas de bajo grado de metamorfismo y afloran en el sitio de bocatoma. En el sitio donde se proyecta iniciar la conducción, los esquistos se presentan en estado fresco y de excelente calidad geotécnica, siendo de esperarse que, hacia el interior del macizo rocoso, la calidad sea aún mejor.

#### 5.1.1.2.2 Filitas moscovíticas (Pfm)

Este es el tipo de rocas que afloran sobre la margen izquierda del río Hondo, en el sitio de casa de máquinas. En este sitio, son pocos los afloramientos de estas rocas debido a que están cubiertas con los depósitos de cono aluvial.

#### 5.1.1.2.3 Pizarras/filitas (Pp)

Estas son rocas de color gris con desarrollo de foliación claramente visible, de grano muy fino y de excelente condición geotécnica.

#### 5.1.1.3 Pórfidos Andesíticos (Tadh)

El Pórfido Andesítico según definido por Guzmán, C.<sup>1</sup>, como un cuerpo intrusivo de color gris oscuro, textura porfídica con fenocristales de plagioclasa, fenocristales de biotita y “ojos” de cuarzo de hasta 1 mm. Es una roca de color gris oscuro a gris pardusco de textura porfídica.

#### 5.1.1.3.1 Depósito coluvial (Qcd)

Este depósito está formado por fragmentos de rocas de tamaños variables desde unos pocos cm hasta 2- 3 m de diámetro, que fueron transportados tanto por el río Hondo como por la quebrada que drena a través del depósito.

#### 5.1.1.4 Depósito aluvial

Estos depósitos están asociados a los sedimentos transportados como material de arrastre de las corrientes. En el lecho de las corrientes donde afloran las unidades de basamento, predominan los cantos de rocas metamórficas y sedimentarias tales como esquistos, cuarcitas, pizarras y metaarenitas.<sup>2</sup>

#### 5.1.1.5 Geología estructural

Como se mencionó precedentemente, todos los contactos entre las rocas metamórficas de la zona son fallados. El único cuerpo de roca ígnea identificado en la zona es el criptodomo. Durante el trabajo de campo no se encontraron

---

<sup>1</sup> Guzmán, C.; 1991. Alteración y mineralización de los Pórfidos Dioríticos del sector central, yacimiento El Teniente. Citado por Burgos, L. & Celhay, F. NUEVOS ANTECEDENTES PETROGRÁFICOS Y GEOQUÍMICOS DEL “PÓRFIDO ANDESÍTICO” YACIMIENTO EL TENIENTE. XI Congreso Geológico Chileno. Chile. 2006. p. 191. En: MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Junio. 2016. (18 de junio). Bogotá. D.C. Auto 371. En: <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/autos/43-auto%20371%20jul%202016.pdf>

<sup>2</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Junio. 2016. (18 de junio). Bogotá. D.C. Auto 371. En: <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/autos/43-auto%20371%20jul%202016.pdf>

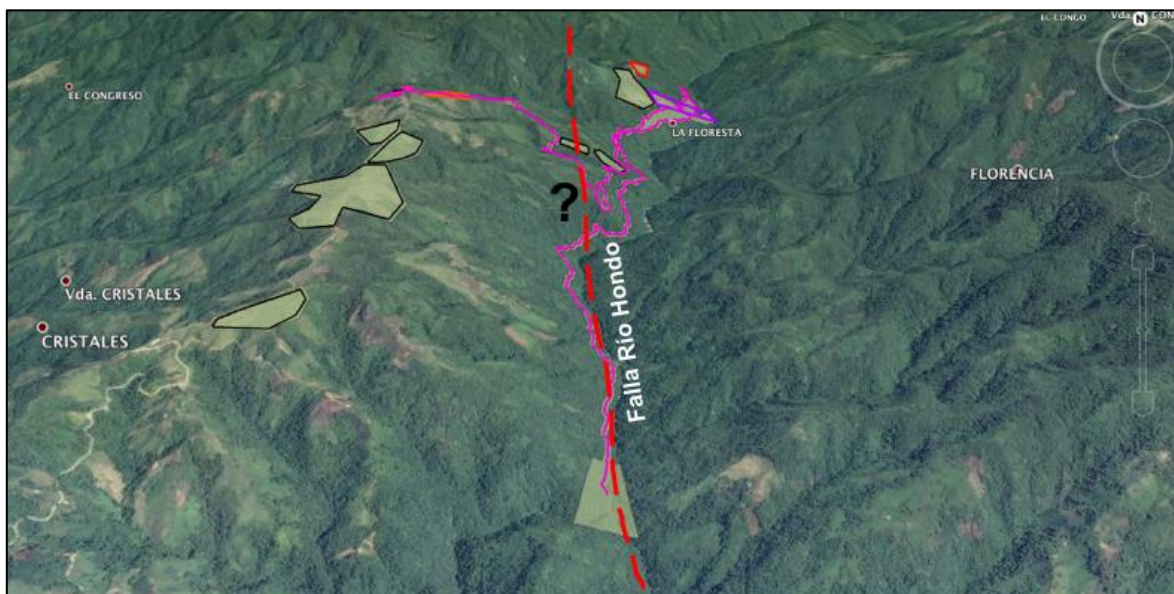
evidencias de actividad tectónica reciente, por lo que permite clasificar la zona como tectónicamente estable.

El Departamento de Caldas, está enmarcado dentro de dos grandes sistemas de fallas aproximadamente paralelas entre sí, conformado por el sistema de fallas Palestina y el sistema Cauca-Romeral. (Ingeominas, 2001). El sistema de fallas de Palestina, cuyo trazo principal transcurre en cercanías del área del presente estudio, desarrolla además fallas satélites y lineamientos.

#### 5.1.1.5.1 Sistema de Falla de Palestina

Los estudios sobre esta estructura la definen en una longitud de unos 350 km, que se comporta como una falla sinistral (lateral izquierda) inversa de alto ángulo. Su expresión morfológica es fuerte, afectando fundamentalmente a las rocas metamórficas del Grupo Cajamarca, generando en ellas un alto fracturamiento.

Localmente el proyecto se ve afectado por una falla regional, de componente en rumbo, aunque debido a su cobertura no se ha podido determinar aun el sentido del rumbo, con una dirección de aproximadamente N30°E a N40°E que controla el curso del río.



**Ilustración 3.** Imagen Satelital 2016, Falla Río Hondo “Pequeña Central Hidroeléctrica Río Hondo”. Fuente: Google Earth Pro.

#### 5.1.1.5.2 Falla Río Hondo

La falla río Hondo está marcada por un fuerte alineamiento topográfico que controla el curso del río Hondo; afecta la unidad de metamorfitas de Marulanda y un apófisis del Batolito de Sonsón y produce una faja amplia de rocas intensamente replegadas.

#### 5.1.1.5.3 Falla río Dulce

La falla río Dulce aparece en el extremo norte de la plancha 206 afectando la tonalita del Batolito de Sonsón; se considera como una falla de rumbo de dirección predominante N 40oE paralela a la Falla Samaná Sur y separada de ésta unos 5 km.

#### 5.1.1.5.4 Estructura del macizo rocoso

Con base en el estudio desarrollado en campo, tres (3) familias de discontinuidades fueron identificadas, cuyos rumbos y buzamientos se indican en la siguiente tabla. La orientación de dos familias son semiparalelas a las excavaciones de las estructuras de apoyo y soporte.

#### 5.1.1.6 Sismicidad

La zona del proyecto, de acuerdo con el mapa general de amenaza sísmica de Colombia (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010), se localiza en la zona de amenaza sísmica intermedia, es decir, zonas del país en donde la aceleración horizontal ( $A_a$ ) máxima esperada, o aceleración horizontal pico efectiva del sismo de diseño. Un sismo de diseño es aquel cuyos efectos tienen una probabilidad de solo 10% de ser excedidos en un lapso de 50 años.

##### 5.1.1.6.1 Fuentes sismogénicas

Son sistemas de fallas geológicas y fallamientos profundos que originan sismos, al producirse una ruptura en las rocas, por la liberación súbita de energía acumulada. La falla de Romeral, las fallas del río Cauca, la falla de Palestina, son entre otros sitios, potenciales fuentes sismogénicas.

Se puede afirmar que aunque hay gran acumulación de fallas geológicas en el Departamento de Caldas, no hay muchos registros de sismos asociados, lo que indica que la presencia de fallas geológicas no siempre coincide con una acumulación de sismos, debido a que los esfuerzos se da más en unas fallas que en otras, situación que está controlada más que por el tipo de rocas presentes, por la dirección de esfuerzos como consecuencia de la deriva de los continentes, condición que para el caso particular del río Hondo, indica que la zona es estable sísmicamente, lo que significa que hay poca probabilidad de que se genere un sismo en la zona del proyecto, como consecuencia de la tectónica presente, ya que no se tienen evidencias de que esta zona sea una fuente sismogénica, como si ocurre en otras zonas del Departamento de Caldas.

Las regiones aparentemente libres de terremotos, han experimentado actividad sísmica subsecuente, cuando dentro de ellas se han creado grandes embalses (sismicidad inducida), lo que no aplica para el proyecto río Hondo, puesto que no se

va a construir un embalse, sino que se va a conducir el agua a través de una tubería superficial desde el sitio de bocatoma hasta un punto arriba de la casa de máquinas, sin posibilidad alguna de generar sismicidad inducida. El hecho de que el proyecto esté ubicado en una zona de amenaza sísmica intermedia y cuyas fallas geológicas no tienen evidencia de ser activas, la zona del proyecto se puede catalogar como estable, desde el punto de vista sísmico.

#### 5.1.1.6.2 Parámetros fisiográficos

La cuenca del río Hondo se encuentra en el centro de la Cordillera Central de Colombia, haciendo parte de una de las subcuencas del río Samaná Sur, en el Departamento de Caldas. El río Hondo nace a una elevación de 2.300 msnm y drena en sentido norte hasta su confluencia con el río Samaná Sur. Las cabeceras de los dos principales cauces, el río Claro y el río Hondo, están ubicadas dentro del Parque Natural Nacional Selva de Florencia, esta selva es un remanente de bosque de niebla natural de aproximadamente 6.000 hectáreas, con alturas entre 800 y 2.200 msnm (CORPOCALDAS, 2000). Información publicada en internet estima una extensión de 10.019 hectáreas para el PNN Selva de Florencia (<http://www.parquesnacionales.gov.co/PNN/portel/libreria/pdf/GuiaSelvadeFlorencia.pdf>).

Las áreas superiores de las cuencas de ríos Hondo y Claro hacen parte de la zona protegida del Parque Natural Nacional Selva de Florencia, por lo que se encuentran con presencia de bosques. Las partes medias y bajas de las cuencas están lejos del borde externo del parque, de ahí que el proyecto no afectará la zona protegida. En estas zonas, las cuencas medias de los dos ríos presentan una alta intervención por parte de los propietarios de las tierras, con un claro predominio de pastizales para el pastoreo. Pero esta intervención solo se da hacia las partes medias y altas de las vertientes; en las partes cerca al cauce, las altas pendientes no permiten la actividad agrícola, por lo que la cuenca puede catalogarse como de buena protección.



**Ilustración 4.** Vista panorámica del valle del río Hondo donde se puede observar que las zonas intervenidas se localizan hacia las partes medias y altas de ambas vertientes. Las laderas cerca al cauce por ser donde se presentan las mayores pendientes no tienen intervención.

En la zona del proyecto desde la bocatoma hasta la casa de máquinas, el río a pesar de la poca pendiente, es bastante caudaloso, debido a la dureza de las rocas por donde discurre y a la gran cantidad de bloques de roca, tanto en el lecho como en las orillas, que impiden un flujo sereno del agua. Todas las quebradas y ríos fluyen en valles de paredes verticales o cañones de cientos de metros de profundidad. El clima es ecuatorial y las variaciones de temperatura son pocas. La precipitación en toda el área es suficiente para mantener la vegetación durante todo el año.

De acuerdo con información recibida de habitantes de la zona, no existen captaciones para usos agrícolas, pecuarios o humanos, en el tramo de río entre la bocatoma y la descarga del proyecto. Las actividades de pesca se desarrollan básicamente desde un sitio ubicado hacia la mitad del trazado de la conducción, hasta la desembocadura en el río Samaná. Aguas arriba de este sitio hay un salto en el lecho del río que impide el remonte de peces. A lo largo del tramo comprendido entre la captación y la bocatoma, hay varios tributarios del río Hondo, sobre todo en la margen derecha, lo que permite una rápida recarga en el tramo de río al que se le disminuirá el caudal, ayudando a mantener el caudal. La buena condición del bosque en las partes cercanas al lecho del río, mantiene ambas vertientes libres de problemas de erosión, siendo esta una cuenca de muy buena protección.

### 5.1.2 Paisaje

Para determinar las unidades de paisaje se trabajó con las coberturas vegetales. Para la descripción de las unidades de paisaje local, se utilizó la información primaria tomada en campo, con el fin de determinar el área de influencia del



presente proyecto. Ahora desde la perspectiva escénica, los análisis de paisaje (tanto ecológico, como visual) permiten una lectura integral del territorio.

#### 5.1.2.1 Establecimiento de las unidades de paisaje regional

La escala de análisis a nivel de paisaje ecológico, permite comprender dinámicas del territorio, identificar relaciones entre factores bióticos y abióticos, modelados a su vez por los aspectos socioculturales de la zona. El análisis se orientó a las unidades de paisaje, y a los elementos de paisaje en el que se destaca el mosaico matriz-parche-corredor, junto con los procesos relacionados con la funcionalidad del paisaje.

##### *Análisis estructural del paisaje*

Este es un análisis integrado de los factores formadores y elementos del paisaje, tomando como base las unidades de paisaje (es decir, la unidad básica homogénea observable, compuesta por estructuras resultado de la interacción y dinámica de los factores que rigen y modelan el paisaje).

##### *Análisis de unidades de paisaje dentro de la PCH Río Hondo*

Para describir e identificar las unidades de paisaje, se realizó el análisis respectivo, logrando así una clasificación del paisaje basada en la geoforma, cobertura vegetal y actividad antrópica.

En cuanto a las coberturas vegetales que se identificaron en el área, se observa que estas son características del zonobioma húmedo tropical del Magdalena. La identificación de las coberturas se realizó con base en la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia en 2010 utilizando el máximo nivel de identificación.

Teniendo en cuenta lo anterior, se identificaron para el área del proyecto un total de 49 unidades de paisaje, las cuales se distribuyen en un área de 3560,17 hectáreas.

Como patrón general de las unidades de paisaje agrupadas en esta geoforma, se pudo observar que la actividad antrópica dominante corresponde a la actividad ganadera y los cultivos como café, caña de azúcar, maíz. Sin embargo, dentro de estas geoformas predominan la unidad de paisaje de origen natural bosque denso alto de tierra firme.

En términos de representatividad, las unidades de paisaje agrupadas en la Sierra desnuda (Dsd) corresponden al 17,65% del área de intervención del proyecto PCH Río Hondo, y al igual que sucede con las geoformas de laderas erosivas, las unidades de paisaje asociada al mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Dsd-243) y el bosque denso alto de tierra firme (Dsd-31111) son las más representativas dentro de esta geoforma. Dentro de esta misma unidad geomorfológica se diferencian otras unidades de paisaje representativas asociadas

a actividades productivas como los pastos enmalezados, pastos limpios, destinados principalmente a la actividad ganadera. Esta condición indica una alta transformación de las unidades de paisaje, debido a la intervención antrópica observada en toda el área de estudio.

Las unidades de paisaje dentro de la geoforma de Loma y sierra de presión (Sslp) ocupan el 16,76% del área de intervención. Dentro de esta geoforma, El Bosque denso alto de tierra firme (Sslp-31111) representa el 8,69% del área de estudio, mientras que el Arbustal denso (Sslp-3221) ocupa el 2,84%. Esta condición indica que las unidades de paisaje asociadas con coberturas naturales en términos de representatividad son las más importantes de esta unidad geomorfológica. Las demás unidades de paisaje enmarcada dentro de la Loma y sierra de presión se asocian con Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Sslp-243), Pastos Limpios (Sslp-231), Pastos Enmalezados (Sslp-233); estas unidades de origen antrópico representan el menos del 5% del área de estudio.

Dentro de la geoforma de Lomo denudado fueron definidas unidades de paisaje que representan el 14,56% del área de intervención del proyecto Río Hondo. La unidad de paisaje de origen natural asociada con el Bosque denso alto de tierra firme (Dlde-31111) es la más representativa de esta geoforma, ocupando 6,23% del área de estudio. Dentro de esta geoforma, el Arbustal denso (Dlde-3221) es la segunda unidad de paisaje más representativa puesto que ocupa el 4,05% de la zona caracterizada. Esta situación indica que las unidades de paisaje asociadas con esta geoforma, son mayoritariamente de origen natural. Las unidades de paisaje de origen antrópico dentro de esta geoforma, ocupan menos del 5% y entre estas se encuentran coberturas como Pastos Limpios (Dlde-231), Pastos Enmalezados (Dlde-233) y el Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Dlde-243).

Los Cerros Residuales representan el 8,08% del área de estudio. En esta geoforma la unidad de paisaje asociada con el Bosque denso alto de tierra firme (Dcrs-31111) ocupa el 5,69% del área de intervención, es decir más del 60% de dicha geoforma. Las demás unidades de paisaje dentro de esta geoforma se asocian con coberturas de origen antrópico relacionadas con actividades agropecuarias como el cultivo de caña de azúcar, café, maíz, etc, enmarcadas dentro de coberturas de Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Dcrs-243), Mosaico de pastos y cultivos (Dcrs-242).

Las demás unidades de paisaje se encuentran asociadas a geoformas que ocupan menos del 16% del área de intervención del proyecto Río Hondo. Dentro de estas unidades se encuentran las Colinas Residuales, Loma denudada, Lomeríos muy disectados y Ladera Ondulada, asociadas en su mayor parte con coberturas naturales como el Bosque denso de tierra firme en Colina Residual (Dcr-31111), el Arbustal denso (Dcr-3221) en Colina Residual. Las demás unidades de paisaje en términos de representatividad se asocian con coberturas modificadas por actividades humanas como el Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (2.4.3), el Mosaico de pastos con espacios naturales (2.4.2) y los Pastos Limpios (2.3.1). De acuerdo con lo anterior las unidades de paisaje agrupadas en estas

geoformas son de alta heterogeneidad y representan espacios naturales importantes para la conservación de las dinámicas horizontales del paisaje.

#### *Elementos del paisaje identificados para el área de estudio PCH Río Hondo*

Los elementos del paisaje identificados en el área de estudio PCH Río Hondo se relacionan con corredor de recurso ambiental, parche introducido y parche remanente.

Para el área de intervención del proyecto, se pudo identificar que el segundo elemento dominante, es decir, el parche introducido representa el 41,55% del área de estudio, mostrando coberturas de pastos limpios, pastos enmalezados, mosaico de pastos y cultivos, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales. Estas coberturas son utilizadas para actividades agropecuarias tales como el cultivo de café, caña de azúcar, maíz y para la ganadería.

En cuanto a los elementos naturales, el corredor de recurso ambiental se encuentra representado por cuerpos de agua: ríos, abarcando un área de 13,99 ha equivalente al 0,39% del área de intervención. Dichos espacios proporcionan hábitat y recursos complementarios como refugio y alimento, especialmente para especies que pueden estar asociadas a otro tipo de elementos, como los parches remanentes.

Como se ha mencionado, otro de los elementos presentes en el área de intervención del proyecto Río Hondo corresponde a los parches remanentes, que corresponden a las áreas relictuales de Bosque abierto alto de tierra firme y Arbustal denso. Estos elementos de paisaje representan el 58,04 % del área de intervención.

#### *Análisis de percepción, calidad y fragilidad del paisaje*

Este análisis permite conocer la calidad del paisaje, la fragilidad y en su conjunto definir la visibilidad. La evaluación de la fragilidad de paisaje se realizó para las 49 unidades de paisaje, resultantes del análisis de paisaje ecológico para el área de intervención del proyecto Río Hondo.

Una vez realizado el análisis de fragilidad, se pudo observar que el 9,87% de las unidades fue calificada con una fragilidad ALTA. Dicho porcentaje se encuentra representado por las unidades de paisaje que tienen como referente común un alto grado de transformación, ligado a actividades económicas, productivas e industriales. Con esto, se encuentran agrupadas las unidades de paisaje asociadas a Pastos Limpios y Pastos Enmalezados.

Respecto a las unidades de paisaje que fueron calificadas con una fragilidad MEDIA estas representan el 31,69% del área de intervención y agrupan aquellas unidades asociadas Mosaico de pastos y cultivos, mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales. Cabe mencionar que el mantenimiento de elementos naturales modera la absorción visual de los contrastes generados por la transformación del paisaje, aunque son vulnerables a presentar cambios rápidos en el corto plazo.

Finalmente, las unidades de paisaje evaluadas con fragilidad paisajística BAJA representan el 58,44% del conjunto analizado. Este conjunto agrupa las unidades de paisaje asociadas a las coberturas remanentes y coberturas sucesiones intermedias e iniciales (Bosque abierto alto de tierra firme, Arbustal denso).

### *Integridad escénica*

Este atributo corresponde a la evaluación del efecto que tienen los elementos artificiales e introducidos en el paisaje, sobre el observador, que generan discordancia o impactos visuales significativos. De esta forma, para las unidades de paisaje del área de intervención, el 58,44% de las unidades evaluadas presentaron una integridad escénica MUY ALTA, representada por las unidades de paisaje agrupadas en los Ríos, Bosque denso alto de tierra firme y Arbustal denso.

Respecto a las unidades de paisaje calificadas con integridad escénica ALTA constituyen el 41,56% y están representadas por las unidades asociadas a áreas de Pastos limpios y enmalezados, los Mosaicos de pastos y cultivos, que si bien pueden encontrarse relacionados con actividades productivas están son de pequeña escala o mantienen elementos como vegetación dispersa o asociada, generando un contraste positivo con el entorno adyacente, aportando a la integridad escénica.

### *Calidad paisajística*

La calidad paisajística corresponde a la apreciación estética del entorno, por lo que la percepción del observador resulta clave en este análisis. Se identificó que la mayor representatividad la tuvieron las unidades evaluadas con calidad paisajística alta, seguida por las unidades con calidad paisajística media.

Las unidades evaluadas con calidad paisajística alta, se encuentran asociadas a los remanentes de coberturas naturales y procesos sucesionales iniciales e intermedios (Bosque denso de tierra firme, Arbustal denso y los ríos). Estas unidades se consideran raras en el paisaje, y han mantenido la presencia de elementos naturales como la vegetación y la presencia de recurso hídrico, cualidades que aportan singularidad y apreciación en el paisaje. Igualmente son armoniosas con el entorno, siendo visualmente acordes con el paisaje regional.

Respecto a las unidades de paisaje calificadas con calidad media, estas se relacionan con las coberturas de pastos limpios, enmalezados y los Mosaico de pastos con espacios naturales. En estas unidades se han conservado elementos naturales, además en espacios como los pastos enmalezados se han mantenido procesos de sucesión temprana, lo que genera un contraste cromático y escénico moderado con el entorno adyacente.

Como complemento de la evaluación de la calidad del paisaje, el análisis de sensibilidad visual permite evaluar la probabilidad de observación por parte de la población residente y flotante del área de intervención, de los efectos y cambios visuales que ocurren por las diferentes actividades que se desarrollan en la zona de estudio, incluidas aquellas propias del proyecto. Para el caso del área de estudio, el relieve montañoso, sumado a la poca presencia de vías relacionadas con los cultivos de palma y de comunicación con los centros poblados, disminuye la probabilidad de observación por parte de los transeúntes y habitantes de sector, incidiendo directamente en la sensibilidad visual.

#### 5.1.2.1.1 Descripción del proyecto dentro del componente paisajístico

El análisis de paisaje descrito, muestra un paisaje modelado por coberturas naturales de Bosque denso de tierra firme, arbustal denso, con corredor de recurso ambiental representado por el río Hondo, así como parches introducidos representados por pastos limpios, pastos enmalezados, mosaico de pastos y cultivos y mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales. Con lo anterior, los posibles impactos que se podrían expresar en el paisaje por la ejecución de las actividades del proyecto, se relacionan con el cambio en los contrastes de los colores, líneas, texturas y formas de los elementos nativos de esta zona, debido a la inmersión de elementos discordantes relacionados con las actividades constructivas y de instalación de estructuras asociadas a la actividad de generación de energía eléctrica de pequeña escala.

Como se describe en el *Capítulo 3 “Descripción del proyecto”*, las obras principales del proyecto se encuentran proyectadas sobre la margen izquierda del río Hondo aguas debajo de la confluencia del río Claro, en área de influencia directa de las veredas La Reina, Guayaquil, Cristales, La Italia, Las Mercedes, La Floresta y Raudales, del corregimiento de Florencia. En el sitio de captación confluyen los dos principales cauces de la Subcuenca: el río Hondo y el río Claro; ambos ríos nacen en el Parque Nacional Natural Selva de Florencia, en las cotas 2.300 y 2.100 respectivamente. Para la construcción y operación, es necesario la construcción de nuevos corredores viales los cuales unen los puntos entre la zona de campamentos y la tubería de carga y casa de máquinas, y a lo largo de la tubería de conducción. Estas vías serían de carácter permanente para facilitar la operación de la Pequeña Central Hidroeléctrica. A continuación, se listan los corredores nuevos con la longitud aproximada, para los cuales se presentará el diseño final en estudios posteriores (Tabla 1. Vías nuevas para la PCH Río Hondo. Fuente: Elaboración propia.):

**Tabla 1. Vías nuevas para la PCH Río Hondo. Fuente: Elaboración propia.**

| TRAMO                        | LONGITUD (Kilómetros) |
|------------------------------|-----------------------|
| Morro seco – Tanque de carga | 4.5                   |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| Tanque de carga – Casa de Máquinas | 2.8 |
| Tubería de conducción              | 4.3 |

#### 5.1.2.1.2 Sitios de Interés Paisajístico

Los sitios de interés paisajístico están relacionados con los referentes culturales en el territorio. Para el área de estudio se identificaron (por los habitantes) estos sitios asociados directamente con el cauce actual del río Hondo (sitios recreativos y de baño), por la importancia que tienen para la comunidad. Las coordenadas de los sitios de interés paisajístico registrados dentro del área de intervención del proyecto, se presenta a continuación en la Tabla 2. Sitios de Interes paisajistico PCH Río Hondo. Fuente: Elaboracion propia.

**Tabla 2. Sitios de Interes paisajistico PCH Río Hondo. Fuente: Elaboracion propia.**

| SITIO DE INTERES PAISAJISTICO                | NORTE       | ESTE         | ALTITUD (m.s.n.m) |
|--|-------------|--------------|-------------------|
| Sitio paisajístico 1:<br>Cauce del río Hondo | 5°35'13.18" | 75°03'04.58" | 794               |
| Sitio paisajístico 2:<br>Cauce del río Hondo | 5°37'23.51" | 75°02'34.37" | 574               |

#### 5.1.2.1.3 Percepción cultural y nivel de interés de las comunidades frente a su entorno físico

Se realizó la observación de las diferentes unidades de paisaje con habitantes de la zona, además desde cada punto de observación, se realizó la medición del alcance visual hacia cada unidad, para determinar el grado de accesibilidad visual al que se encuentran expuestas las unidades analizadas.

##### *Escalas visuales*

Estas mediciones se realizaron desde zonas donde se pudiera observar el paisaje con gran amplitud, para determinar la influencia de la distancia y factores externos (climáticos y atmosféricos), en el grado de apreciación de la comunidad frente a estas unidades.

Los resultados de este mostraron que cerca del 99,67% del área se encuentra en una categoría de escala visual media, donde la mayoría de elementos pueden ser apreciables y diferenciables a distancias moderadas (menores a 2km), a lo que se

suma la ausencia de barreras visuales que restringen la observación de las unidades. Como parte de esta categoría están entonces las unidades asociadas a Pastos limpios, pastos enmalezados, Mosaico de pastos y cultivos, Mosaico de pastos con espacios naturales, el Bosque denso alto de tierra firme y el Arbustal denso. Las unidades de paisaje asociadas a los planos lejanos corresponden al 0,33% y están representadas por los ríos; estas áreas son observables a escalas mayores a 2 km.

#### *Nivel de interés*

El nivel de interés está representado por el grado de valoración y apreciación que tienen los observadores permanentes y flotantes sobre las unidades de paisaje, para ello se empleó como fuente de información, entrevistas semi-estructuradas (anexo 5.7), acompañadas por recorridos de observación, donde se pudo evidenciar que el 58,44% de las unidades de paisaje despiertan un interés alto por parte de las comunidades.

En cuanto al nivel de interés medio, este representa el 41,55% del total evaluado, y se relaciona con unidades de paisaje con cierto grado de transformación. Estas unidades son medianamente valoradas por estar asociadas a una bonanza económica, debido a que son aprovechables para la cría de ganado y cultivos de café, maíz, caña de azúcar.

#### 5.1.2.2 Programas relacionados con protección del paisaje

Los programas relacionados con la protección del paisaje en áreas aledañas al presente proyecto, fueron tomados del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Samaná-Acuerdo N°3 de febrero de 2004. De acuerdo con esto, el área de estudio se localiza dentro del corregimiento Florencia-Cristales (Artículo 28. Organización y división político administrativa). Este corregimiento, según el artículo 35, hace parte de los Centros de Activación Rural (CAR) que corresponden a centros de encuentro y comercio relativamente poblados, en donde se desarrollan diferentes actividades de la vida urbana (educación, asistencia en salud, recreación, deporte, cultura, comercio, servicios).

El artículo 211 de dicho POT, establece algunas recomendaciones para la protección del paisaje dentro del municipio de Samaná, especialmente en la zona rural. Dichas recomendaciones corresponden a:

1. La comunidad tiene derecho a disfrutar de paisajes urbanos y rurales que contribuyan a su bienestar físico y espiritual.
2. Se prohibirá la construcción de obras en suelos de protección.
3. Prohibir la tala o la siembra o la alteración de la configuración de lugares del paisaje localizado en suelos de protección.

4. En la realización de las obras, las personas o entidades urbanizadoras, públicas y privadas procuraran mantener la armonía con la estructura general del paisaje.

5. Se destacan especialmente entre ellas las referentes a la restitución del paisaje a su estado original, propendiendo a dar una línea similar a la existente antes de la explotación.

#### 5.1.2.2.1 Eventos culturales

Entre los eventos más importantes que se celebran anualmente en diferentes espacios samaneños, se destacan:

- Fiestas cívicas Parque Nacional Natural Selva de Florencia en el corregimiento de Florencia.
- Fiestas del Retorno en el corregimiento de Berlín
- Fiestas del Café en la vereda El Silencio.
- Fiestas de la cultura en la vereda Yarumal.

Otros focos turísticos dignos de ser exaltados dentro del municipio de Samaná corresponden a:

- Parque Nacional Natural Selva de Florencia en el corregimiento de Florencia, en donde se ofrecen caminatas ecológicas dirigidas para apreciar especies endémicas de flora y fauna. Se encuentra integrada a los Parques Naturales de Colombia.
- Las playas del río Samaná ubicadas en límites del corregimiento de Florencia y el departamento de Antioquia, desde donde se disfruta la impetuosidad de las montañas enmarcando el recorrido amplio y generoso de las aguas cristalinas del río Samaná. Son playas amplias para hacer camping.
- La represa de Hidromiel I en inmediaciones de la vereda Sasaima.

#### 5.1.3 Geomorfología

En la zona de la cuenca del río Hondo y áreas vecinas se identificaron 15 unidades geomorfológicas agrupadas en dos ambientes: denudacional y estructural. A continuación, se hace referencia a las unidades geomorfológicas encontradas y referenciadas en el estudio *“Geología, Geomorfología, Geología estructural del área de influencia del proyecto hidroeléctrico río hondo, ubicado en el oriente del departamento de Caldas. Geólogo Gustavo Adolfo González Cardona, 2015”*.



#### 5.1.3.1 Unidades del ambiente denudacional

Este ambiente está determinado por la acción combinada de procesos de meteorización, erosión y transporte de materiales terrígenos desde las partes altas de las laderas hacia las partes bajas o hacia las partes planas de menor altitud donde se acumulan. En la zona estudiada se identificaron las siguientes unidades del ambiente denudacional: Colina residual (Dcr), cerro residual (Dcrs), escarpe facetado (Def), cono o lóbulo de flujo de detritos (Dlfd), loma denudada (Dld), lomo denudado (Dlde), lomeríos disectados (Dldi), ladera erosiva (Del), lomeríos muy disectados (Dlmd), ladera ondulada (Dlo), loma residual (Dlor), sierra denudada (Dsd).

#### 5.1.3.2 Unidades del ambiente estructural

Debido a la predominancia de las unidades de ambiente denudacional en la zona, solo se identificaron tres (3) unidades de ambiente estructural, las cuales están directamente relacionadas con la posición de las fallas geológicas que atraviesan la cuenca del río Hondo. Ellas son: Espolón facetado (Sefc), sierra (Ss), sierras y lomos de presión (Ssip).

#### 5.1.3.3 Morfodinámica

Los procesos morfodinámicos corresponden a una serie de acciones sucesivas y/o simultáneas y sinérgicas a través de las cuales los agentes morfogenéticos, son capaces de modelar las formas de la superficie terrestre. Recientemente, el impacto cada vez más intensivo de las actividades humanas, ha modificado muchos de los procesos descritos, acelerando los fenómenos erosivos en las laderas mediante la modificación de la cobertura vegetal o interviniendo en los sistemas fluviales a través de posibles obras de represas, diques y canales, entre otros. En muchos casos su intervención tiende a acentuar los procesos actuales, tal como la escorrentía en las zonas urbanas, la cual es muy frecuente en el sector, pero en algunos casos las modificaciones del terreno llegan a constituir geformas totalmente nuevas, ambiente denominado aquí como antrópico.

##### 5.1.3.3.1 Cálculo de las variables morfométricas para la cuenca del río Hondo

La medición se hizo a partir del DTM elaborado por la Empresa Atlas Ingeniería, para los proyectos hidroeléctricos. La amplitud se calculó mediante el promedio de las longitudes de las líneas que atraviesan la cuenca en sentido perpendicular a su orientación, y con separación entre línea y línea de 200 m.

#### 5.1.3.3.2 Mapa de pendientes de la cuenca del río Hondo

Este mapa se calculó a partir del DTM suministrado por GENSA (contrato No. 084-2014 – ATLAS INGENIERÍA), mediante el cálculo del gradiente de pendiente en dirección X y Y y su procesamiento en un SIG.

Las pendientes más bajas están a lo largo del cauce de los ríos Hondo y Claro y en las cimas que forman las divisorias de aguas mayores. La cuadrícula está cada 2 km. Las altas pendientes en la cuenca del río Hondo y la presencia de rocas metamórficas duras ha permitido el desarrollo de una densa red de drenajes, con una gran capacidad para evacuar agua lluvia rápidamente tan pronto ésta alcanza los canales.

Como se mencionó precedentemente, el sitio estimado para la bocatoma es en los encuentros de los ríos Hondo y Claro, siendo desde este punto hacia arriba en la cuenca la zona aferente para la hidroeléctrica. El área de esta zona es de 59008841 m<sup>2</sup>, equivalentes al 59% de toda la cuenca.

Para la PCH Río Hondo, durante su revisión de fotografías aéreas se puede evidenciar que los procesos morfodinámicos y el cambio en el curso de los ríos y drenajes superficiales, es muy bajo.

#### 5.1.3.3.3 Procesos morfodinámicos

La zona de estudio se encuentra sobre la Cordillera Central, la cual se ve afectada por actividad sísmica, tectonismo y principalmente por fenómenos naturales acelerados por procesos antrópicos. A continuación, se encuentran los tipos de procesos morfodinámicos como erosión hídrica y movimientos en masa, presentes en la zona.

##### *Erosión*

En el área de estudio, existe el proceso de erosión hídrica (es decir, la causada por la acción del agua en las zonas de ladera), en un nivel ligero a moderado. En los alrededores existen nacimientos de agua, que combinados con las altas pendientes (100%) que existen en la zona, conllevan al arrastre de sedimentos formando cárcavas y movimientos en masa.

##### *Movimiento en Masa*

Para la zona de estudio se identificaron movimientos de masa tipo caída o desplome. Las pendientes de la zona, son los principales detonantes. Se observan movimientos intermitentes, donde están involucrados los esquistos fracturados del Grupo Cajamarca tamaño bloque y parte del suelo de roca o ceniza meteorizada.

#### 5.1.3.3.4 Perfil del suelo.

- Definición de la zona de amenaza.
- Definición del tipo perfil del suelo.

Los suelos de la zona de estudio se ajustan a un suelo con perfil tipo C, por lo tanto, el Coeficiente de amplificación Fa y Fv del suelo para la zona de períodos cortos del espectro es de:

**Tabla 3.** Coeficientes de amplificación Fa y Fv.

| Coeficiente      | Valor |
|------------------|-------|
| Perfil del suelo | C     |
| Fa               | 1.2   |
| Fv               | 1.6   |

#### 5.1.4 Geotecnia

De las evaluaciones hechas al macizo rocoso, puede decirse que las rocas de los terrenos a intervenir serán predominantemente duras a moderadamente blandas, fracturadas y parcialmente meteorizadas. Las condiciones de agua que se esperan en la zona de influencia de las obras, se relacionarán con goteos, zonas húmedas y algunos flujos y se filtrará a través de las fracturas de las rocas y a través de la masa de materiales rocosos en los depósitos poco a nada consolidado. Con los resultados de las evaluaciones realizadas al macizo, se puede concluir que, en los macizos rocosos seleccionados para desarrollar las obras, predominarán los terrenos Buenos (tipo II), Regulares (tipo III) y los Malos (tipo IV y V), debido al alto fracturamiento y el grado de meteorización que afecta a estas rocas.

##### 5.1.4.1 Caracterización de la matriz rocosa

La descripción de los materiales geológicos con fines ingenieriles requiere determinar sus propiedades básicas y obtener parámetros para su clasificación geomecánica. Estas características se obtienen mediante la descripción de perfiles de afloramientos rocosos, exploración del subsuelo, muestreo de suelos y rocas, ensayos in situ y análisis de laboratorio.

##### 5.1.4.2 Grado de meteorización

De acuerdo con la metodología aplicada, se tiene en primer lugar una clase donde se ubican los suelos transportados y los suelos residuales. En los suelos transportados se encuentran los depósitos coluviales y aluviales, así como las cenizas volcánicas. Por su parte, los suelos residuales se dividen en varios horizontes, dependiendo del grado de alteración que presenten.

#### 5.1.4.3 Descripción de las discontinuidades

Los tipos de discontinuidades que se pueden diferenciar en un afloramiento rocoso incluyen las diaclasas, planos de estratificación, laminación, foliación, fallas, diques y superficies de contacto entre rocas sedimentarias y metamórficas o ígneas.

#### 5.1.4.4 Índice de fracturamiento $J_v$

Mide la intensidad de fracturamiento de un macizo rocoso y se define como la sumatoria del número de discontinuidades por familia, encontrados por metro cúbico, en un afloramiento.

#### 5.1.4.5 Índice de resistencia geológico (G.S.I)

El valor del índice GSI (Geological Strength Index - índice de Resistencia Geológica) fue introducido por Hoek (1994) y Hoek et al. (1995) y permite estimar la reducción de la resistencia del macizo rocoso para distintas condiciones geológicas.

Es importante contar con un estimado de las cargas de las estructuras, con la finalidad de seleccionar el sistema de fundación más adecuado y pueda además reportar un abanico de posibilidades geométricas y de profundidad para el rango de cargas actuantes.

#### 5.1.4.6 Caracterización Geotécnica Área de Interés PCH Río Hondo

Los valores de caudal obtenido se interpretaron mediante pruebas de permeabilidad, realizadas en dos de los cuatro sondeos perforados en la zona de captación, calculando los valores de permeabilidad y definiendo el tipo de flujo presente durante cada uno de los ensayos, datos en los cuales se basan las recomendaciones de impermeabilización necesarias para este sector del macizo rocoso.

##### 5.1.4.6.1 Metodología

Dentro de la concepción que se establece para desarrollar un proyecto de PCH, usualmente, se tienen en cuenta cuatro componentes básicos a saber: el análisis socio-económico, la evaluación y determinación de la obra civil necesaria, la selección del equipamiento electromecánico y el emplazamiento de la infraestructura eléctrica necesaria para su correcta conexión a las redes de transmisión y distribución.

Durante la construcción y diseño se deben tener muy en cuenta los medios geológicos y geotécnicos, en cada una de las zonas a intervenir. El diseño de las estructuras hidráulicas principales, tales como: bocatoma/captación, canal de derivación, desarenador, sistema de conducción de baja presión (tubería de conducción), tanque de carga, tubería de presión y canal de agua turbinada.

Los deslizamientos de tierra son uno de los procesos geológicos más destructivos. Un gran porcentaje de pérdidas por deslizamientos, son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se implementan las medidas de prevención o control, para lo cual se hace una breve descripción del comportamiento de cada uno de los diferentes tipos de material encontrados sobre el área de influencia directa del proyecto y construcción de obras ingenieriles. Aunque en todos los sistemas de montañas ocurren deslizamientos de tierra, algunas regiones son más susceptibles a las amenazas por movimientos del terreno. Las zonas montañosas tropicales son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos de tierra, debido a que generalmente se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia tales como el relieve, la sismicidad, la meteorización y las lluvias intensas. (Suarez, 1998).

El proyecto “Pequeña Central Hidroeléctrica Río Hondo” comprende para su construcción, diferentes intervenciones ingenieriles, que van desde la rehabilitación de la vía que lleva de la vereda Cristales a la Escuela Morro Seco, construcción de nuevas vías tanto de la dicha escuela hasta casa de máquinas y captación para la adecuación de la tubería de conducción.

El perfil de meteorización es muy importante en la estabilidad de los taludes en un suelo residual, porque este generalmente controla la superficie de falla potencial, el mecanismo de falla, el régimen de hidrología subterránea y la distribución de la presión de poros (Brand, 1985).

En los siguientes ítems, se da una explicación y recomendaciones iniciales sobre las obras a construir, sin embargo, en el Anexo 5.1 geología y Geotecnia se encuentra el informe de la caracterización geotécnica realizada por Altair Ingenieros.

#### 5.1.4.6.2 Rehabilitación vía de acceso sector Cristales – Moro Seco (K0+0 al K0+900)

La rehabilitación de dicha vía de acceso no cuenta con grandes excavaciones o cotes de talud importantes, para lo cual solo requiere de algunos arreglos en la base, ampliaciones y adecuación de majo de aguas, contando con mejora en empradizaciones en los taludes, lo cual evitara posibles erosiones por efecto de lluvias en el sector.

### *Empradización y tratamiento de zonas planas*

La revegetalización de las zonas de depósito de coluvión y/o ceniza volcánica, se realiza mediante preparación de mezcla para que la semilla se desarrolle. Una vez teniendo el terreno de aplicación totalmente explanado, se hacen pequeños surcos, para que la semilla permanezca introducida después de su riego manual, permitiendo el prendimiento del pasto.

#### 5.1.4.6.3 Via sector Morro seco – casa de máquinas (K0+900 -4+680 Vía 1, K0+000 – 1++1+815 Vía 2)

Las formaciones superficiales de este sector están conformadas por suelos residuales. La mayoría de los taludes son aparentemente estables y estáticos, pero realmente son sistemas dinámicos en evolución, susceptibles a cualquier intervención o corte de excavación para la conformación de la vía. Este puede desestabilizarse con el tiempo y la ocurrencia de un deslizamiento (fenómeno propio de ese proceso).

- Comportamiento

Los coluviones son muy inestables en excavaciones y cimentaciones. Una situación particularmente crítica se presenta en el caso de depósitos de coluvión con matriz arcillosa, expuestos en laderas con fuerte inclinación conformadas por esquistos muy fracturadas y meteorizadas, situación común en las carreteras de Colombia en la cordillera oriental y afines con el proyecto PCH Río Hondo. La mayor parte de los deslizamientos y flujos en estas carreteras se presentan en estos materiales.

Cada uno de los diferentes estados de falla o deslizamientos en suelos residuales, cenizas volcánicas, coluviones o la suma de todos estos, con unos espesores que pueden variar desde los 2 hasta los 10 metros de espesor según su topografía y origen. Para mitigar el riesgo y las posibles afecciones que estos tipos de deslizamientos pueden generar al momento de iniciar ejecución de la construcción de la vía, se propone la bioingeniería y la vegetación como la estabilidad de los taludes.

#### 5.1.4.6.4 Tubería de conducción

La zona de conducción o tubería, será conformada por medio de una vía, la cual generará cortes de los taludes adyacentes a la margen derecha de la quebrada la Rica, conformados por rocas metamórficas (Esquistos cuarzo-grafitosos) pertenecientes al Complejo Cajamarca y depósitos de vertiente (coluviones) de aproximadamente 1 – 3 metros, esto debido a las fuertes pendientes presentes en la zona, lo cual genera una gran incertidumbre y altas probabilidades de inestabilidad durante la conformación de la vía para la tubería de conducción.

La zona de conducción es la más susceptible a sufrir problemas de deslizamientos de tierra, debido a que generalmente, se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia: topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas.

#### 5.1.4.6.5 Captación

Son obras hidráulicas cuya función es regular y captar un caudal determinado de agua, en este caso, para la producción de energía hidroeléctrica.

Las bocatomas o captaciones nos permiten tomar el agua de los ríos, garantizando que la captación de agua será una cantidad constante, a la vez impide el ingreso de materiales sólidos y flotantes. Además, debe proteger el resto del sistema hidráulico del ingreso de avenidas o embalses que pudieran producirse en las épocas lluviosas y/o de crecientes extraordinarias. Para tener en cuenta, La Falla Río Hondo, que controla el trazado del río que lleva su mismo nombre, estaría cruzando sobre todo el eje de la presa o Azud, adicional para la fase de diseño y construcción, evaluar cada una de las crecientes y épocas invernales en la zona, su máximo histórico de inundación y capacidad de arrastre. Además de la alta porosidad de los materiales, lo cual es posible generar fugas y escapes hidráulicos durante la formación del pondaje.

#### 5.1.4.6.6 Tanque de carga

Las principales funciones del tanque de carga o de presión son: permitir la conexión entre el sistema de conducción y la tubería de presión, producir la sedimentación y eliminación de materiales sólidos que pudiera transportar el sistema de conducción, impidiendo de esta forma la entrada a la tubería de presión de materiales sólidos, de arrastre y flotantes. También debe desalojar el exceso de agua en las horas en que la cantidad consumida por las turbinas es inferior al caudal de diseño.

#### 5.1.4.6.7 Tubería de presión

Son tuberías que transportan agua bajo presión hasta la turbina, se conectan con la cámara de carga, para que desde allí empiece el sistema de conducción de alta presión.

#### 5.1.4.6.8 Casa de maquinas

Denominada también Sala de Turbinas o Central, se encuentran los grupos eléctricos para la producción de la energía eléctrica -Conjunto turbina-altenador, turbina y generador, así como los elementos de regulación y funcionamiento. El agua que cae de la presa hace girar las turbinas que impulsan los generadores eléctricos.

En general la casa de máquinas de la PCH Río Hondo se encuentra situada en terrazas aluviales o depósitos resientes del río Hondo, se debe tener en cuenta la profundidad de dicho depósito, ya que las estructuras que allí reposan, tienen unas tolerancias a las deformaciones muy bajas o casi nulas, por tal razón los diseños de cimentación deben de ser muy rigurosos y a su vez las exploraciones geotécnicas que se lleva en curso, con el fin de garantizar la durabilidad y los no asentamientos de este.

#### 5.1.4.7 Mapa Geotécnico Pequeña Central Hidroeléctrica Río Hondo

A continuación, se exponen los resultados, de acuerdo al mapa de zonificación geotécnica del proyecto.

##### 5.1.4.7.1 Rocas parciamente Meteorizadas

###### *Rocas Blandas UCS <15 MPa (I1)*

###### *Pes – esquistos cuarzo – sericiticos*

Su dureza depende del grado de silicificación. En la zona presentan una meteorización ligera y hasta los 20 metros de profundidad tienen mala calidad geotécnica debido al alto grado de fracturamiento.

###### *Pfi – esquistos cuarzo moscoviticos*

En el sector de la escuela Las Mercedes se registran altamente alterados, habiéndose generado una capa de suelo residual limoso a partir de los mismos.

###### *Rocas de Dureza media 15 MPa < UCS < 50 MPa (I2)*

###### *Pes – esquistos cuarzo grafitosos*

Su dureza varía entre 15 y 50 Mpa dependiendo del grado de silificación. Se intercalan en la zona del pondaje y azud con niveles de cuarcitas que alcanzan un UCS de hasta 88 MPa. Rocas duras 15 MPa < UCS < 100 MPa (I3).

###### *Pfm – filitas – Tadh cuarcitas*

(Pfm) Filitas de grano muy fino y foliación ligeramente marcada, de color gris verdoso, de dureza media a alta (UCS estimado entre 50 y 100 MPa). Los primeros metros presentan un grado de alteración y fracturamiento fuerte, sin embargo, en promedio después de los 15 metros de profundidad su calidad geotécnica pasa a ser buena.

##### 5.1.4.7.2 Suelos

- *Suelos blandos UCS < 0.025 Mpa*
- *Generados a partir de cenizas volcánicas (II1)*



Suelos generados a partir de la alteración química y física de depósitos piroclásticos, principalmente de cenizas volcánicas. Su matriz varía entre arcillosa de alta plasticidad y limosa de plasticidad media baja. Su espesor promedio es de 4 metros en la zona alta (carretera que comunica los caseríos de Cristales y Morro Seco), y alcanza hasta 15 de metros en el sector de los sondeos de ZODME 7 y VÍA 2.

- *Suelos de dureza media a alta  $0.025 \text{ MPa} < UCS < 0.2 \text{ MPa}$*

Generados a partir de los esquistos cuarzo moscovíticos de la formación Pfi

Suelo residual limoso de baja plasticidad, color gris. Se presentan en el sector de la Escuela Las Mercedes y en la carretera Cristales - Morro Seco debajo de la capa de cenizas volcánicas altamente alteradas. Su dureza varía entre FIRME Y MUY FIRME.

#### 5.1.4.7.3 Depósitos

- *Depósito coluvial (III1) Qdc*

Deposito coluvial de espesor variable. En estos se presenta perdida de agua de perforación y baja recuperación de muestra, condiciones que sugieren que alcanzan solamente un grado de compacidad medio, ofreciendo un módulo de reacción lateral bajo.

- *Depósito aluvial (III2) Qda*

Durante las dos perforaciones (TQ 8 y TQ9) en el sitio donde se ubicara la casa de máquinas, se registró un espesor para este depósito que varía entre 9 y 12 metros, atravesando bloques de hasta 1.5 metros de espesor. Se presentó derrumbe de las paredes del pozo en los primeros 2 metros.

- *Depósito piroclástico (III2) Qcp*

Este material se diferencia de las cenizas volcánicas en el grado de alteración que presentan, siendo principalmente MUY FIRMES. Se presenta en el sector de los sondeos VIA 2 y ZODME 9.

#### 5.1.5 Suelos

Para el caso del proyecto de estudio en el municipio de Samaná, se encuentran en su mayoría clasificación de VII y en menor proporción una clasificación con categoría IV, de acuerdo con lo observado en el Diagnóstico Ambiental de Caldas, realizado en el año 2015.

Al consultar entidades como el Instituto Geológico Agustín Codazzi (IGAC) se encuentra que el área de Influencia del proyecto, tanto directa como indirecta, se

encuentra en suelo de Clase VII con relieve muy escarpado, pendientes mayores del 50%, nivel de fertilidad alto a muy bajo. Dadas las limitaciones tan graves que presenta esta clase, su uso se limita a la vegetación forestal y en las áreas de pendientes menos abruptas, a potreros con mayor cuidado. Requiere manejo extremadamente cuidadoso, especialmente en relación con la conservación de las cuencas hidrográficas.

El IGAC, ha clasificado las unidades para el departamento de Caldas de la siguiente manera:

- *Asociación GUARINO-Samaná:* son susceptibles a la erosión y en la actualidad son destinados a la ganadería. Se localizan en las terrazas bajas de la parte media de la cuenca del río Dulce. Son moderadamente bien drenados, profundos a moderadamente profundos, ligeramente ácidos, contenido bajo a medio de materia orgánica, niveles altos de calcio y disponibilidad de fosforo media a baja.
- *Consociación CABAÑAS:* en alturas comprendidas entre los 3000 y 3600 metros sobre el nivel del mar, estos suelos presentan una coloración oscura y son ricos en materia orgánica, profundos y bien drenados. Su relieve es ligeramente ondulado a fuertemente quebrado y escarpado susceptible a la erosión.
- *Asociación SANTA ISABEL-Pensilvania:* son suelos formados a partir de cenizas volcánicas (en algunos sectores) y rocas metamórficas en relieves quebrados a escarpados. Localizados entre los 2000 y 3000 metros de altura sobre el nivel del mar. Registran procesos erosivos provenientes de la deforestación y el sobre pastoreo.
- *Consociación SANTA ISABEL:* son suelos profundos de color oscuro y se tornan amarillos a medida que ganan profundidad. Su textura es franca y franco-arcillosa con algo contenido de materia orgánica y pH ácido. Localizados entre los 2000 y 3000 m.s.n.m. en zonas que varían de onduladas a fuertemente quebradas y escarpadas, son susceptibles a la erosión.
- *Asociación AZUFRADO – Líbano:* estos suelos son superficiales a moderadamente profundos, bien a excesivamente drenados con colores pardo a pardo grisáceo muy oscuro y pH ácidos a muy ácidos con contenido regular de materia orgánica moderado. Se localiza en cercanías al río La Miel, vereda las Colonias, corregimiento de Arboleda y la Quebra de San Daniel, entre otros.
- *Asociación AZUFRADO-Río Samaná:* por su escasa profundidad efectiva, las actividades agropecuarias se ven restringidas. Su uso principal es la ganadería y su cobertura boscosa. Están ubicados en los alrededores del corregimiento Pueblo Nuevo, en las áreas de relieve fuertemente quebrado a escarpado y pendientes largas y empinadas. Sufren de procesos erosivos ligero a moderados como escurrimientos difusos, reptación y deslizamientos.

- *Consociación LIBANO*: los suelos de esa unidad están dedicados a la explotación agrícola con cultivos de café, plátano, caña y frutales y a la producción ganadera. En algunos sectores se evidencian escurrimientos difusos y desprendimientos. Se localiza en la zona de clima medio en relieve quebrado a fuertemente quebrado.
- *Tierras Misceláneas*: estos se los están ubicados en las cuchillas de Miraflores y La Picona y en los alrededores de Moravia. Presentan restricciones para cualquier actividad agropecuaria, debido a las fuertes pendientes y a los afloramientos rocosos, algunos de estos suelos son muy superficiales con un desarrollo incipiente. En gran parte se encuentran cubiertos con vegetación arbustiva y arbórea.

Es importante resaltar que en la zona se evidencia un proceso de transición, donde las habitantes víctimas del desplazamiento forzado por la violencia han estado retornando a la región, por lo que se observan cambios de cobertura vegetal de un estado de sucesión natural a pastos limpios y diferentes tipos de cultivos.

#### 5.1.5.1 Caracterización suelos área de intervención PCH Río Hondo

Para esta caracterización se tuvo en cuenta los antecedentes geológicos de la zona, encontrando dos fallas geológicas regionales, una que controla en parte el curso del río Hondo y otra que hace lo propio con el río Claro, siendo normal que los contactos entre los diferentes tipos de rocas metamórficas sean fallados.

#### Nomenclatura de las unidades cartográficas

La delimitación de las unidades cartográficas de suelo, se realizó a partir del mapa de suelos del departamento de Caldas, elaborado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) en el año 2004. Dicha cartografía fue corroborada con un trabajo de campo, así como con el establecimiento de las unidades geomorfológicas.

#### *Descripción general de los suelos identificados en el área de interés PCH Río Hondo*

Esta descripción corresponde a las descripciones realizadas por el INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC), complementado con un trabajo de campo. La metodología seguida en campo corresponde a una apertura de calicatas en cada una de las unidades cartográficas de suelo a intervenir. Las calicatas corresponden a una serie de excavaciones que se hacen en el suelo, con el fin de conocer características típicas de los horizontes que conforman un perfil edafológico

Dentro del área de intervención se identificaron tres (3) unidades cartográficas de suelo: ERef1, FRde1, RRef1. Las dos primeras unidades cartográficas corresponden a suelos (ERef1 y FRde1) de las vertientes de montaña de clima medio, húmedo y muy húmedo. Las vertientes de estos suelos tienen alturas entre 1.000 y 2.000 m.s.n.m, en una formación vegetal de bosque muy húmedo

premontano, aunque algunas áreas pueden presentar una zona de vida de bosque pluvial premontano; las precipitaciones fluctúan entre 2.500 y 5.750 mm y las temperaturas entre 18° y 24°. El relieve varía desde fuertemente ondulado a escarpado, con pendientes predominantes de 12-50% y en ocasiones mayores.

Por su parte la unidad RRef1 se agrupan en los suelos de vertientes de montaña de clima cálido húmedo a muy húmedo, con alturas entre 300 a 1000 msnm, compuesto por materiales litológicos de rocas sedimentarias y metamórficas, en un relieve ligeramente ondulado a escarpado.

#### *Unidad cartográfica Azufrado – Samaná*

Esta unidad cartográfica de suelo (ERef1) se localiza en la mayor parte del área de intervención del proyecto. Son suelos en donde los depósitos de cenizas volcánicas han desaparecido por acción geológica y/o antrópica, permitiendo el afloramiento de materiales de origen metamórfico. La actividad agropecuaria está restringida debido a las fuertes pendientes y a la poca profundidad efectiva de los suelos, limitada por la presencia de materiales rocosos continuos o fragmentados muy cerca de la superficie. Estas tierras se encuentran afectadas por erosión ligera a moderada. La asociación está conformada por suelos de los conjuntos Azufrado (Typic Troporthents) en un 45%, Río Samaná (Lithic Troporthents) en un 35% y La Gallera (Typic Dystropepts) en un 20%.

Dentro de esta unidad cartográfica de suelo fueron realizadas cuatro (4) descripciones de perfiles de suelos, correspondientes a dos (2) calicatas, un (1) perfil sobre un carretable (que conduce al sector de bocATOMA) y un perfil de suelo tomado del estudio del IGAC (2004).

#### *Unidad cartográfica Florencia (Consociación Florencia)*

Esta unidad cartográfica de suelo denominada Consociación Florencia (FRde1) se localiza hacia la parte oriental del área de interés del proyecto PCH Río Hondo. Se caracteriza por presentar suelos con depósitos espesos de cenizas volcánicas. En general, son profundos a muy profundos, con bajos contenidos de nutrientes y altos contenidos de materiales amorfos que impiden el aprovechamiento del fósforo por los cultivos.

La consociación está compuesta por los suelos del conjunto Florencia (Entic Hydric Dystrandeps) en un 85% e inclusiones de suelos del conjunto Líbano (Hydric Dystrandeps). Los suelos del conjunto Florencia se desarrollaron a partir de depósitos espesos de cenizas volcánicas y se caracterizan por ser profundos, tixotrópicos, bien drenados, bien aireados.

### Unidad cartográfica río Moro

Los suelos correspondientes a esta unidad se ubican en las estribaciones de la Cordillera Central, en las vertientes más bajas de los ríos Samaná, Moro y La Miel. En el área de estudio se localiza en la parte norte y central del proyecto Río Hondo, corresponden a suelos provenientes de estratos rocosos poco alterados.

Los suelos están dedicados a la explotación ganadera extensiva en pastos generalmente enrastrados. En estos sectores la tala de los bosques y el mal uso de los suelos ocasionan fenómenos de erosión tales como escurrimientos difusos, desprendimientos, deslizamientos, patas de vaca (terraceo). La actividad agropecuaria está muy limitada, debido a las pendientes muy escarpadas y a la poca profundidad efectiva de los suelos. La asociación está conformada por los conjuntos Río Moro (Typic Troprothents) en un 50%, Río La Miel (Lithic Troprothents) en un 30% y Culata (Typic Dystropepts) en un 20%.

#### 5.1.5.2 Uso actual del suelo Área de Influencia PCH Río Hondo

Los usos actuales del suelo fueron establecidos a partir de las coberturas vegetales definidas en el proyecto. Los nombres que aquí se proponen fueron tomados del modelo de Geodatabase del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. La *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.* presenta el uso actual del suelo para el presente proyecto.

**Tabla 4.** Usos actuales definidos para el presente proyecto. Fuente: Elaboración propia.

| GRUPO USO    | USO ACTUAL                         | DESCRIPCIÓN   |
|--------------|------------------------------------|---|
| Agricultura  | Sistemas agrosilvopastoriles (ASP) | Comprende los territorios dedicados a cultivos agrícolas, como maíz, caña de azúcar.  |
| Ganadería    | Pastoreo semi intensivo(PSI)       | Representan zonas cubiertas por gramíneas naturales e introducidas, que no muestran evidencia de manejo agronómico                          |
| Conservación | Protección                         | Corresponde a aquellos lugares destinados para la conservación del medio ambiente. Las coberturas predominantes son el Bosque denso alto de |

| GRUPO USO                 | USO ACTUAL                | DESCRIPCIÓN  |
|---------------------------|---------------------------|--|
|                           |                           | tierra firme, el Arbustal Denso.                     |
| Cuerpos de Agua Naturales | Cuerpos de Agua Naturales | Corresponde al cauce actual del río Hondo, río Claro |

Los usos actuales destinados para conservación son las más representativas dentro del área de estudio. Esto suelos ocupan un área de 2016,96 hectáreas representadas en un 56,66% de la zona del proyecto. Los suelos utilizados para sistemas silvopastoriles representan el 29,76% del área del proyecto. Por su parte la ganadería representada por el uso de pastoreo semintensivo ocupa 469,83 Ha, las cuales corresponden al 13,20%, tal como se puede observar

### 5.1.5.3 Clasificación agrológica de los suelos

Dentro del área de estudio fueron identificadas tres (3) clases agrológicas:

#### 5.1.5.3.1 Clase agrológica Vlesc2

Dentro de esta clase se encuentra la unidad cartográfica de suelo FRde (Consociación Florencia). Los suelos presentan limitaciones para la actividad agropecuaria debido a las condiciones de alta humedad, fuertes pendientes, susceptibilidad a la erosión y a las características químicas de los suelos que muestran baja disponibilidad de nutrientes y altos contenidos de materiales amorfos. Se recomienda la explotación de estas tierras para ganadería, con utilización de pastos mejorados, así como la reforestación y la conservación de la vegetación natural para proteger los nacimientos y corrientes de agua.

#### 5.1.5.3.2 Clase agrológica Vllesc2

Dentro de esta clase se encuentra la unidad cartográfica de suelo ERef de las vertientes de montaña, de relieve fuertemente quebrado a escarpado y clima medio muy húmedo. La actividad agropecuaria está limitada debido a las fuertes pendientes, a la poca profundidad efectiva de los suelos, a la baja fertilidad y a la

alta humedad. Las tierras están dedicadas a una explotación ganadera extensiva con pastos naturales, cubiertos generalmente con rastrojos y una agricultura de subsistencia con cultivos de caña, maíz, frijol, café, frutales, etc (IGAC, 2006).

#### 5.1.5.3.3 Clase agrológica Vllesc1

Esta clase ocupa áreas de colinas y vertientes de montaña en un relieve quebrado a escarpado. La actividad agropecuaria está muy limitada por las fuertes pendientes, erosión y alta susceptibilidad a la erosión, escasa profundidad efectiva y lluvias deficientes en unos casos y excesiva en otros. Gran parte de esta zona se utiliza en ganadería extensiva, con pastos cubiertos con rastrojos en algunas áreas. También algunos sectores de las áreas más húmedas existen cultivos de cacao, maíz, frijol y caña en regular estado (IGAC, 2006).

#### 5.1.5.4 Uso potencial del suelo

De acuerdo con IGAC, el uso potencial del suelo tiene gran similitud con las clases agrológicas descritas; puesto que, a partir de las limitaciones o condiciones del suelo, se pueden establecer los usos potenciales que tiene el terreno para una actividad específica. El uso potencial del suelo para el proyecto eléctrico Río Hondo, se realizó teniendo en cuenta los nombres y nomenclaturas propuestas en el Modelo de Almacenamiento Geográfico (Geodatabase) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, de acuerdo con la resolución 2182 del 23 de diciembre de 2016.

#### 5.1.5.5 Conflictos de uso

Para el establecimiento de los conflictos de uso de suelo para el área de estudio, fue utilizado la clasificación de los conflictos de uso publicado por el IGAC “Uso Adecuado y conflictos de uso de tierras de Colombia, 2002, con los nombres propuestos en el Modelo de Almacenamiento Geográfico (Geodatabase) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, de acuerdo con la resolución 2182 del 23 de diciembre de 2016.

Las unidades cuyo uso actual corresponden a los usos definidos en su misma clase agrológica se clasifican como Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado, con símbolo SC. Las unidades cuyo uso actual corresponde a una clase agrológica superior se clasifican como sub utilizadas, símbolo cartográfico SUL, Ej. Suelos de clase agrológica 5 con uso que corresponde a la clase 7. Atendiendo que las categorías agrológicas son decrecientes entre 1 y 8 en su capacidad de uso. Las unidades cuyo uso actual corresponde a una clase agrológica ubicada dos niveles arriba de aquella a la que corresponde, se clasifica como sub utilización moderada, símbolo cartográfico SUM. Las unidades cuyo uso actual corresponden a una clase agrológica ubicada en más de dos niveles arriba de la clase a la que corresponden,

se clasifican como sub utilización severa, símbolo cartográfico SV. Ej. Suelos de categoría 1, con uso en unidades silvopastoriles que corresponden a la clase 4, implican una sub utilización severa.

#### 5.1.5.6 Muestreos de suelo

Dentro del proyecto río Hondo fue efectuado una verificación y control de las unidades cartográficas, a partir de una toma de muestras de suelo en cada una de las calicatas efectuadas. Estas muestras fueron enviadas al Laboratorio Nacional de Suelos del IGAC para su respectivo análisis.

De acuerdo con la nomenclatura asignada tanto en el laboratorio del IGAC, como durante el trabajo de campo y posteriores análisis, la muestra de suelo denominada VT-Talleres 01, corresponde a la zona de Taller provisional del proyecto PCH Río Hondo, la VT-Talleres 02, corresponde a la zona de campamentos, mientras que VT-Tanques 01, corresponde al sector de Tanques de Carga o Almenara.

##### 5.1.5.6.1 Propiedades químicas de los suelos PCH río Hondo

Los resultados del laboratorio de suelos, contemplan el estado y comportamiento de las propiedades químicas de las muestras de suelos estudiadas (pH, pH, capacidad de intercambio catiónico, contenido de nutrientes).

De acuerdo con la concentración normal de suelos de Handbook Of Reference Methods for Plant Analysis, 1998, los parámetros evaluados determinan suelos con un bajo contenido de nutrientes, lo cual evidencia suelos poco fértiles.

##### 5.1.5.6.2 Propiedades físicas

###### *Textura*

Cada uno de los horizontes de suelo, fueron clasificados de acuerdo con su contenido de limo, arcilla y arena. Según lo evaluado, el horizonte 1 de la calicata 1 presenta una clase textural F Ar A (Franco Arcillosa arenosa), el horizonte 2 de la calicata 2 fue clasificado con FA (Franco Arenosa), por su parte el horizonte 1 de la calicata 3 fue clasificada con una clase textural F Ar A (Franco Arcillosa Arenosa). En general los horizontes de suelo analizados son principalmente arenosos

###### *Humedad*

La humedad del suelo juega un papel importante en ciertos fenómenos como la evapotranspiración y la infiltración, consecuentemente desde los puntos de vista hidrológico y agrícola. La humedad se encuentra inmediatamente debajo de la superficie del suelo ya que es retenida por éste.



Las condiciones de humedad se asocian a la composición particular de estos terrenos, que presentaron cantidades significativas de arena los cuales reducen el tiempo de retención del agua en la matriz edáfica.

#### 5.1.5.7 Procesos erosivos y su relación con el tipo de suelo

Los suelos de la unidad RRef1 son susceptibles a presentar procesos erosivos, debido al alto contenido de humedad, a la ocurrencia de heladas. Dichos terrenos al ser utilizados para el cultivo de papa y la ganadería extensiva, pueden acelerar los procesos erosivos. Al arar, los suelos quedan desprotegidos de la vegetación natural y son fácilmente sometidos a los procesos de arrastre por acción de las aguas lluvias y a grandes desprendimientos por la gravedad. Gran parte del área se utiliza en ganadería extensiva, con pastos cubiertos con rastrojos en algunas áreas. La tala y la quema de los bosques y el uso indebido de los suelos en ganadería, han provocado el avance de la erosión hasta la formación de procesos erosivos tales como surcos y cárcavas.

Los suelos pertenecientes a la unidad ERef1 son susceptibles a presentar procesos erosivos debido a la exploración ganadera extensiva con pastos naturales, cubiertos generalmente con rastrojos y una agricultura de subsistencia con cultivos de caña, maíz, frijol, café. En términos generales las unidades cartográficas de suelo presentes en el área de estudio, presentan una alta susceptibilidad a la generación de procesos erosivos, debido básicamente a su composición edafológica, al uso actual del suelo y a las altas pendientes.

#### 5.1.5.8 Categorías de manejo ambiental

El área de estudio de la PCH Río Hondo, de acuerdo con la zonificación presentada en el POMCA del Río Samaná Sur, se encuentra dentro de dos zonas de manejo: conservación y protección ambiental de restauración, áreas de restauración ecológica y áreas para la protección agrícola, ganadería y uso sostenible de recursos naturales.

#### 5.1.6 Hidrología

La zona de estudio se caracteriza por las altas pendientes de su cuenca y del canal principal, por presentar altas precipitaciones, con más de 6000 mm/año en promedio en la zona de interés, lo que a su vez hace que se tengan rendimientos hídricos muy altos, ubicándose por encima de 120 L/(km<sup>2</sup> \* año).

##### 5.1.6.1 Ubicación de la zona de estudio

La cuenca del río Hondo se encuentra en el nororiente del departamento de Caldas, ocupando gran parte de su área sobre el municipio de Samaná (**¡Error! No se**

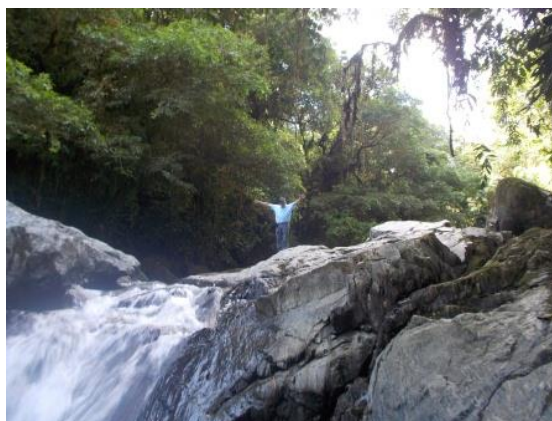
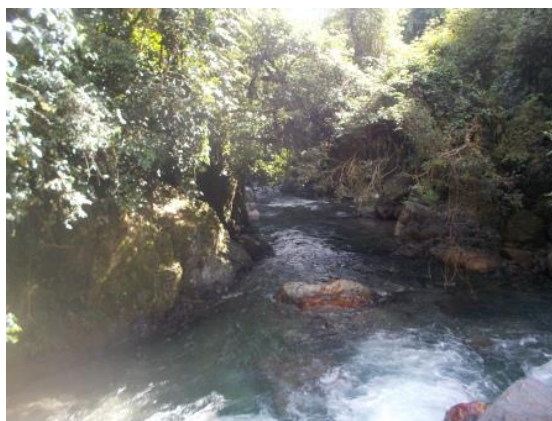
**encuentra el origen de la referencia.**) Hace parte de la cuenca del río Samaná desembocando a la altura de 450 m.s.n.m. a 11 km aguas abajo del punto de interés. La cuenca de estudio se encuentra constituida principalmente por las corrientes del Hondo con afluente principal la corriente del río Claro sobre la margen derecha, con punto de control 80 metros aguas abajo de esta confluencia, punto en el cual se realizan los cálculos para caudales de diferentes regímenes hidrológicos.

En la zona se pudo apreciar la composición del lecho en cantos y arenas (Ilustración 5. Campaña de campo al sitio de interés – Río Hondo

izq. Sup.), con márgenes empinadas en roca y vegetación abundante (Ilustración 5. Campaña de campo al sitio de interés – Río Hondo

der. Sup.). Adicionalmente se identificó la presencia de saltos y piscinas (Ilustración 5. Campaña de campo al sitio de interés – Río Hondo

izq. y der. Inf.) donde de forma natural es posible la disipación de energía dadas las velocidades puede alcanzar un río con estas características. Dichas observaciones son características propias de ríos de montaña con altas pendientes y capacidad de arrastre de un tamaño característico importante.



## Ilustración 5. Campaña de campo al sitio de interés – Río Hondo

### 5.1.6.2 Modelo digital de elevación (MDE)

La información de elevación SRTM de 30 m se realizó mediante el complemento HidroSIG del software MapWindows 4.8.8. Este complemento fue creado al interior del Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, de Departamento de Geociencias y Medio Ambiente, de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín y está orientado a la estimación y análisis de variables hidrológicas, climáticas y geomorfológicas para la planificación del recurso hídrico. Dicha herramienta se encuentra de forma libre en la web (ver: <http://www.medellin.unal.edu.co/~hidrosig/>) que permite realizar estimaciones y análisis de variables hidrológicas, climáticas y geomorfológicas para la planificación y cuantificación del recurso hídrico.

### 5.1.6.3 Meteorología

La información hidrometeorológica fue suministrada por GENSA y el IDEAM entre climatología, precipitación y caudal. Cabe resaltar que las estaciones que aquí son descritas no son usadas en su totalidad para los análisis que se realizan en el presente estudio, ya sea por mala calidad de los registros o por corta longitud de la serie. Para cada estación se definen los años que presentan, el código, el nombre, las fuentes de registro, los años efectivos donde se registran datos, porcentaje de datos faltantes y las coordenadas de ubicación.

### 5.1.6.4 Precipitación

En total se contó con 22 estaciones, realizándose análisis de estas series a diferente resolución temporal (diaria, mensual y anual).

### 5.1.6.5 Información de caudales

Se contó con cuatro (4) estaciones de caudal, de las cuales Marquetalia y Samaná Medio referían con resolución horaria, para fechas en específico entre 2010 y 2013. No se consideró necesario describir detalles en particular para dichas estaciones, ya que la corta extensión de las series no permite realizar un análisis de las mismas para la utilidad del presente trabajo.

### 5.1.6.6 Información de aforos

Se cuenta con seis (6) aforos realizados en la confluencia del río Claro con el río Hondo realizados entre un mes correspondiente al trimestre de lluvias (mayo) y un

mes correspondiente a un trimestre de precipitación baja (junio), bajo condiciones normales del Niño Oscilación del Sur (ENSO).

#### 5.1.6.7 Meteorología del IDEAM

Se identifican las estaciones de influencia en la zona donde se encuentra la cuenca Samaná que a su vez abarca la cuenca del río Hondo a la altura del proyecto, motivación del presente estudio, y en la entrega al río Samaná. Adicionalmente, como cuenca de interés para verificación y validación del modelo hidrológico se tiene en cuenta la cuenca del río Claro hasta su entrega al Hondo.

##### 5.1.6.7.1 Información de precipitación

En total se contó con 28 estaciones de las cuales se realizaron análisis de las series a diferente resolución temporal (diaria, mensual y anual).

##### 5.1.6.7.2 Información de caudal

Se tuvo a información 12 estaciones en la zona de estudio, con Puente López y Puente Variante como estaciones de solo un año de registro, razón por la cual no se realiza la descripción detallada de las mismas.

#### 5.1.6.8 Corrección del MDE y definición de cuencas hidrográficas

La información de elevación se presenta en forma raster con pixeles, donde contiene un valor de altura sobre el nivel del mar; el cual representa el valor medio de la altura tomado sobre todos los puntos al interior del píxel, donde se ubican las cuencas del punto de presa y entrega al Samaná del río Hondo.

#### 5.1.6.9 Cálculo de parámetros morfométricos de las cuencas de interés

Para este cálculo se tuvo en cuenta los parámetros morfométricos, como: área de drenaje, longitud de la cuenca, longitud del cauce principal, factor de forma, alturas extremas, perímetro, pendiente de la cuenca, pendiente del cauce principal, tiempo de concentración.

#### 5.1.6.10 Análisis exploratorio de las series de tiempo de precipitación y caudal

En este análisis se identifica la consistencia de los registros, donde su comportamiento en el tiempo puede detectarse mediante inspección visual a partir de estadísticos descriptivos que enriquecen el conocimiento físico de las variables de interés.

El objetivo de estos análisis además del reconocimiento del comportamiento de los registros, es el aprovechamiento profundo de la información con la cual se cuenta para el desarrollo del trabajo.

A continuación, se presentan casos particulares donde se aprecian diferentes tipos de inconsistencias:

#### 5.1.6.10.1 Resultados encontrados en series de precipitación

A continuación, se presentan las series de tiempo y las curvas simples de masa junto con el índice ONI de la NOAA, que representa las anomalías de temperatura del océano Pacífico relacionadas con la celda de Walker (ENSO).

El caso de la estación Arboleda se exhibe un cambio anómalo de precipitaciones menores entre 1980 y 1982 indicado por las líneas amarillas que representan la media para los periodos que conservan las mismas características. Dicho cambio no tiene correspondencia con anomalías positivas en el índice ONI, que representa años Niño, y tiene como consecuencia disminución de la lluvia en el país.

Para la estación Nariño es claro que la curva de masa tiene una evolución satisfactoria sin cambios de pendiente a través de los años, a pesar de contener un aumento de lluvia para 1997 llegando aproximadamente hasta los 1800 mm mensuales.

La estación IDEAM Dorada presenta inconsistencias con valores cero en diversas fechas y adicionalmente con alta discontinuidad en la serie (muchos valores faltantes durante todo el registro. Esta estación, a pesar de contar con registros efectivos de 50 años, la calidad de la serie no se considera como satisfactoria dadas las discontinuidades en toda su longitud y no se tiene en cuenta como posible información para el desarrollo de los análisis requeridos para el presente informe.

De forma similar el análisis se realiza para la totalidad de las estaciones.

#### 5.1.6.10.2 Resultados encontrados en series de caudal

Para el caso de caudales se realiza el mismo tratamiento aplicado anteriormente, en cual se encuentra que para la estación Butantán se presenta gran cantidad de datos faltantes entre 1981 y 1997, además de no ser evidente la evolución de la serie. La estación Puente Linda, tiene cambios de media en tres tramos temporales de los registros. El caso de la estación Pte Carretera los órdenes de magnitud de caudal tienen una elevación importante que se ve reflejada no solo en la serie de tiempo, sino en la curva de masa.

#### 5.1.6.10.3 Elaboración del mapa de precipitación media de largo plazo

Es un proceso de análisis hidrológico, se tiene como insumo las estaciones pluviométricas como una de las fuentes primarias para el proceso de disponibilidad del recurso en un área de interés.

Es importante tener presente para el desarrollo y comprensión de los resultados en la interpolación pluviométrica, que existe un punto crítico donde a medida que se eleva la altura, la precipitación no aumenta, sino que disminuye.

#### 5.1.6.10.4 Distribución espacial de la precipitación

Para las definiciones de las técnicas de interpolación espacial, puede consultarse en (Rendón Álvarez, 2014).

La precipitación reportada para las estaciones de máxima y mínima altura, fueron asociados para alturas por debajo y por encima. De esta forma se logra agregar menor incertidumbre al modelo ya que no se cuenta con información adicional.

#### 5.1.6.11 Campo de temperaturas medias de largo plazo

Dada la escasez de información en la cuenca, el reconocimiento de la distribución espacial de la temperatura se estima mediante la regionalización propuesta por Cenicafé (Chavez, y otros, 1998) con la elevación sobre el nivel del mar como el parámetro que proporciona información primaria en la determinación de la variable objetivo. Para diferentes regiones geográficas en el país se propone una parametrización específica.

#### 5.1.6.12 Campo de evapotranspiración media de largo plazo

La evapotranspiración es un parámetro de alta importancia en el balance hídrico de largo plazo que describe la pérdida de agua del sistema a la atmósfera por evaporación física y transpiración vegetal.

#### 5.1.6.13 Validación de campos de variables hidrometeorológicas

Con los campos de precipitación y evapotranspiración hallados a partir de otras variables, se aplica la herramienta de integración del complemento HIDROSIG para validar la información espacial obtenida de cada parámetro hidrometeorológico. Es necesario aclarar que estaciones como La Esperanza (IDEAM) y Cataratas (IDEAM), no fueron tomadas en cuenta, dado que el delineamiento de las cuencas de encontraba por fuera de los límites de la zona delimitada de estudio. Dado que se tienen los registros de dichas estaciones y se ha realizado el análisis exploratorio de los datos, se halla el caudal de largo plazo para cada una y se compara con los hallados mediante el software que tiene como insumo los campos ya mencionados. De esta manera se calculan los errores entre los observados y los simulados para

elegir el mapa de precipitación y evapotranspiración que mejor describe el comportamiento hidrológico de la zona.

#### 5.1.6.14 Cálculo de caudales medios diarios en los sitios de interés

##### 5.1.6.14.1 Descripción general del modelo de tanques para el cálculo de caudales medios diarios

El modelo de tanques consiste en un modelo hidrológico agregado, que puede ser representado por cuatro tanques de almacenamiento.

Una descripción del modelo de tanques de mayor detalle puede encontrarse en (Vélez, y otros, 2010) (Vélez, 2001)

##### 5.1.6.14.2 Calibración y validación del modelo

Dado que en el punto de interés no se cuenta con información de estaciones in-situ de caudal, se hace uso de la información disponible sobre la cuenca Samaná que cuenta con dos estaciones de caudal sobre el cauce, la estación Puente Linda y Butantán. Se analizan las series de tiempo diarias de caudal de cada una para garantizar la continuidad en la misma y a su vez poder contar con precipitación coincidente en tiempo para el montaje del modelo de tanques. La estación Butantán presentó grandes faltantes entre los años 1979 y 1997, contando con 10 años continuos de 1968 a 1978 y 5 años entre 1998 al 2002, sin embargo, para los 10 años de registros de caudal no se contaba con series de precipitación coincidentes en tiempo y se considera que 5 años no son suficientes para el proceso de calibración y validación del modelo hidrológico. Por consiguiente, se toma la estación Puente Linda con registros continuos sin cambios en la media entre 1983 y 1994 (12 años) y coincidentes con las fechas disponibles de las estaciones de precipitación analizadas.

La información de precipitación se evaluó con varios criterios, entre ellos su ubicación espacial respecto a la cuenca con punto de control en Puente Linda, en segundo lugar, la verificación de la precipitación media anual con el mapa de precipitación a largo plazo y finalmente el tiempo de registro, así como también la calidad de los datos. Dentro de la cuenca se encontraron las estaciones Nariño (GENSA) y Arboleda (GENSA) y Puente Linda (GENSA) en el punto de control. Para la estación Nariño se identificaron valores no coherentes, especialmente en el periodo seleccionado para la calibración y validación, razón por la cual se decide no hacer uso de esta estación. En el caso de Arboleda, a pesar de los faltantes en la serie, no se exhiben datos no coherentes en el periodo ya mencionado, y se define como estación a usar. En el caso de Puente Linda, los registros a partir de 1988 hasta 1996 presentan inconsistencias importantes con aumento anómalo en la amplitud de la serie. Dicho rango en el tiempo es importante, ya que se encuentran

dentro del rango disponible de la estación de caudal de Puente Linda, razón por la cual se define no tomarla en cuenta para el modelo de tanques.

Dado que la estación Arboleda representa, de forma general, las condiciones de precipitación a largo plazo de un 50% del área de cuenca, se define la estación Pensilvania (GENSA), que, aunque no se encuentra ubicada al interior de la cuenca, su valor de precipitación media a largo plazo, es coherente con el mapa de precipitación en la parte media y alta de la cuenca. Adicionalmente, presenta cercanía al área y la calidad de los datos se considera buena. Finalmente, se tiene Puente Linda con caudal y las dos estaciones ya mencionadas de precipitación con algunos faltantes por completar para el periodo de 12 años seleccionado para la calibración y validación del modelo. La estación de caudal tenía pocos faltantes a escala diaria que fueron solventados con periodos de variabilidad y magnitud similares.

#### 5.1.6.14.3 Simulación de caudales medios diarios en los puntos de interés

La metodología de tanques se usó como herramienta para la simulación de caudales en la estación de Puente Linda. Allí se obtuvo una serie diaria de 1983 a 2013, mediante la cual se calcularon la serie el río Hondo en el punto de entrega al Samaná y el punto de presa aplicando factores de transposición para la generación de las series sintéticas.

#### 5.1.6.14.4 Cálculo de caudales extremos en las cuencas de interés

En la determinación de caudales extremos para el presente trabajo se hizo uso de dos metodologías. La primera se encuentra relacionada con caudales mínimos correspondiente al análisis de frecuencia de la serie presentada en el ítem anterior, y la segunda se encuentra asociada al cálculo de hidrogramas unitarios calculada a partir del software HEC-HMS del *Hydrologic Engineering Center* del *U.S. Army Corps of Engineers*.

#### 5.1.6.14.5 Descripciones metodológicas

##### *Análisis de Frecuencia*

Para el cálculo se parte de una serie de tiempo, donde la muestra observada (lluvias, caudales, temperaturas, sismos, etc.) tiene determinadas características estadísticas.

##### *Hidrógrafas Unitarias*



Los métodos utilizados para determinar el caudal máximo asociado a diferentes períodos de retorno, son los métodos lluvia escorrentía basados en las Hidrógrafas Unitarias Sintéticas de Clark, Snyder y el S.C.S. De esta manera se generan los hidrogramas de escorrentía directa que se asumirán como las crecientes de diseño.

#### 5.1.6.14.6 Cálculo de caudales mínimos para diferentes períodos de retorno

Tal como expuso precedentemente, se aplican dos ajustes: Tipo Gumbel y Lognormal tipo II. Ambos tienen en cuenta dos momentos estadísticos, donde la incertidumbre asociada se considera menor que para metodologías donde se consideran momentos mayores a los dos primeros de la serie. En los ajustes se aplica la prueba de Cramer-von Mises y Kolmogorov-Smirnov para una significancia del 95%.

#### 5.1.6.14.7 Cálculo de caudales máximos para diferentes períodos de retorno

Para la cuenca con punto de interés sobre la entrega al Samaná se tuvo influencia de las estaciones Florencia, Puente Linda y Agua Bonita, mientras que la cuenca asociada al punto de presa se tiene influencia de las dos primeras mencionadas.

#### 5.1.6.15 Cálculo de caudales ambientales haciendo uso de diferentes metodologías.

Dado que más del 60% de la energía en Colombia es producida a partir de aprovechamientos hidroeléctricos, es de gran importancia conocer el comportamiento estacional que poseen los caudales de los ríos que se encuentran involucrados en tal generación, y cuya variabilidad se ve afectada directamente por el comportamiento del clima. Dado lo anterior, se debe diferenciar el comportamiento de los caudales medios, en una región de estudio en el territorio colombiano, en tres épocas climáticas claramente diferenciadas: 1) Períodos el Niño, 2) Períodos La Niña y 3) Períodos Neutrales.

##### 5.1.6.15.1 Descripción de la información hidrometeorológica

En este numeral se trabaja con la información de la serie de caudales medios diarios obtenida para el río Hondo en el sitio de presa, haciendo uso del método de transposición de caudales, de la serie de tiempo obtenida en la estación Puente Linda.

#### *Efectos de fenómenos climáticos de macroescala en la cuenca de estudio*

Para el análisis detallado de los caudales medios diarios en el sitio de interés, se separaron teniendo en cuenta si pertenecían a temporadas neutrales o estaban bajo

la influencia del fenómeno ENSO en cualquiera de sus dos fases, fría o cálida, haciendo uso del índice ONI (Oceanic Niño Index) (Revisado en 2015 en: [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)).

#### 5.1.6.15.2 Cálculo de caudales ambientales usando series de tiempo hidrológicas

Para el cálculo de los caudales ambientales a nivel mensual, según lo requiere el MADS, se procede a la elaboración de curvas de duración mensual, así como al cálculo de los caudales 7Q10 y Q95.

##### *Cálculo de los caudales Q95 para diferentes períodos climáticos*

Los caudales medios diarios fueron separados de acuerdo con el período climático y al mes del año al que pertenecían, de esta manera se generaron las curvas de duración por período climático y por mes.

##### *Cálculo del caudal 7Q10*

Como segundo paso, para el cálculo de caudales ambientales, usando datos hidrológicos, la metodología propuesta por el MADS, establece que se deben calcular los caudales mes a mes y para cada período climático.

##### *Comparación entre los caudales Q95 y 7Q10*

Como siguiente paso, la metodología propuesta por el MAVDT, propone que se haga una comparación de los caudales obtenidos para cada mes y para cada período climático, mediante el caudal con probabilidad de excedencia del 95% y el caudal 7Q10, escogiéndose el mayor entre ambos para cada mes y para cada período climático.

##### *Análisis de afectación de las curvas de caudales medios diarios*

El siguiente paso en la metodología propuesta por el MADS, es realizar un análisis de la afectación de la curva de duración el cual consiste en analizar cómo varían los caudales medios diarios con probabilidades de excedencia mayores al 70%. Se establece que la curva de duración en dicho intervalo no debe sufrir una alteración que conlleve a un factor de alteración menor que 0.5.

#### 5.1.6.16 Cálculo de tasas de transporte de sedimentos a nivel anual en las cuencas de interés

Dado que la cuenca de estudio es considerada como una cuenca de altas pendientes donde dominan los procesos de producción, se define hacer uso de la ecuación correspondiente a la metodología, que proporciona menor incertidumbre en los resultados.

#### 5.1.6.17 Cálculo de tasas de transporte de sustancias de interés ambiental

Teniendo en cuenta que el estudio Hidrológico para la PCH Río Hondo se realizó en el año 2014, el cálculo de tasas de transporte de sustancias de interés ambiental se realizó de acuerdo a la fecha de este estudio, por tanto, las caracterizaciones realizadas posteriores a la hidrología no pudieron ser tenidas en cuenta para este ítem, además porque los términos de referencia TdR 014 carece de este ítem.

##### 5.1.6.17.1 Descripción de resultados de análisis de laboratorio

En la zona de estudio se encuentran asentamientos aislados dedicados principalmente a la agricultura y actividades pecuarias. Dichas labores se asocian a cargas orgánicas considerables, donde la presencia de coliformes tiene mayor probabilidad, dadas las descargas domésticas y heces de animales. Sin embargo, cabe mencionar que gran área de la parte alta de la cuenca exhibe cobertura vegetal densa donde no se desarrollan actividades de naturaleza antrópica.

##### 5.1.6.17.2 Curva de calibración de la estación de medición de caudales

Los datos obtenidos corresponden a cuatro 4 campañas que se vienen adelantando desde finales del año 2014, en las cuales se han realizado aforos y ya se encontraba en funcionamiento la estación de medición de niveles.

#### 5.1.6.18 Cálculo de caudal de Garantía Ambiental Metodología EPM 2012 (Grecco 2012)

Como cumplimiento a los términos de referencia emitidos a través de la resolución 1519 de julio de 2017 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se realiza el cálculo del Caudal de Garantía ambiental aplicando la metodología de EPM (Grecco 2012), con la cual se aplican cuatro pasos básicos los cuales incluyen variables ambientales.

#### 5.1.6.19 Caudal Garantía Ambiental Metodología IDEAM

Para este estudio se toman los registros de caudales medios diarios en el sitio proyectado para la captación y de aquí se obtuvieron los caudales mínimos mensuales, a los cuales se les calculó el 25%, para obtener así los resultados.

#### 5.1.7 Calidad de agua

Para el desarrollo del proyecto Pequeña Central Hidroeléctrica Río Hondo, se requiere el uso del recurso hídrico. En el análisis de los resultados se toman en cuenta los criterios establecidos para el agua cruda en el Decreto 1076 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.

##### 5.1.6.20 Análisis fisicoquímico y microbiológico

Este análisis es realizado con el fin de obtener una parte representativa del agua superficial, sobre la que tendrá influencia el proyecto PCH Río Hondo, además de establecer la situación actual teniendo en cuenta el desarrollo de actividades agropecuarias y domésticas de la zona, para así poder identificar las condiciones actuales de calidad de agua y establecer un control de las variaciones que se puedan generar en las variables fisicoquímicas y bacteriológicas de interés. Los muestreos de calidad de agua del río Hondo fueron realizados en tres (3) periodos, a final del año 2017 (noviembre y diciembre) y febrero de 2018, los cuales corresponden a invierno, transición y verano, respectivamente.

En febrero de 2018, se observa que los niveles más elevados de oxígeno pertenecen a los puntos de monitoreo ubicados en los ríos Hondo y Claro, los cuales presentan una turbulencia mayor que las otras fuentes analizadas y el menor valor se detectó en el SAM03, que es una quebrada con una escasa corriente. Sin embargo, todos los puntos presentan condiciones aceptables y que cumplen con las normas para la conservación de flora y fauna y uso en recreación); al ubicarse en los rangos de 5-8 y 8-12 mg/l, el oxígeno disuelto presenta una condición aceptable a buena para la mayoría de las especies acuáticas.

#### 5.1.7 Uso del agua

##### 5.1.7.1 Caracterización de usos y usuarios

Cabe anotar que a finales del año 2017 y principios del año 2018, se realizó una actualización de dichos usuarios del recurso hídrico para el área de influencia definida finalmente.

###### 5.1.7.1.1 Predios visitados

De acuerdo con los análisis efectuados a partir de la información consignada en la planilla de cargue de información se tiene que el 16.4% de las visitas se realizaron en la vereda de Cristales (15.4%), Raudales (11.3%), Guayaquil (8.5%), El Porvenir (7.3%), La Floresta (6.5%), la Selva (5.5%), Buenos Aires (5.3%) y Villa Hermosa (5.1%); el restante de veredas posee un nivel de visitas iguales o inferiores al 3.2% del total de visitas desarrolladas.

#### 5.1.7.1.2 Documento de identidad y nombre de predio

Con la información levantada en campo se tiene que del universo de predios visitados, en el 66% fue posible conseguir el número de identificación (cédula de ciudadanía) y el 34% no fue posible; en el caso del nombre del predio se obtuvo que en el 63% fue posible, mientras que el 37% no, verificando esta última condición en la base IGAC. Tenencia de la tierra

Si bien en la zona se tienen un alto número de predios deshabitados, de acuerdo con la información consignada en la planilla de cargue se pudo establecer que el 92% la tenencia de la tierra es de propietarios, el 7% no se cuenta con información y el 1% es administrado.

#### 5.1.7.1.3 Estado de legalidad en el uso del agua

Es de indicar que ninguno de los predios visitado cuenta con permiso (concesión) para el uso del agua por parte de la autoridad ambiental; situación que los deja en estado de informalidad; aunque cabe precisar que de acuerdo con los datos de aforos realizados, estas extracciones de agua son bajas, comparadas con el universo de fuentes existentes en el territorio.

#### 5.1.7.1.4 Obra de captación

Tal como se indicó e ilustró en desarrollo del presente documento, el agua es extraída de los diferentes cuerpos hidricos mediante el empleo de estructuras “artesanales” diseñadas mas desde la necesidad de abastecimiento e ingenio de las personas. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan las condiciones de manejo del agua.

#### 5.1.7.1.5 Vertimientos

Debido a condiciones de tipo social, el desarrollo productivo y habitacional en el área de estudio es bajo, asociando los mismos a actividades muy puntualizadas. Es

de indicarse que la mayor cantidad de vertimientos se encuentran asociados a labores domésticas.

#### 5.1.7.1.6 Número habitantes por predio

Con respecto a este ítem, se tiene que en el 18% de los predios visitados habitan entre 1 y 4 personas, en el 7% habitan entre 5 y 10 personas, en el 0.2% más de 10 personas, en el 17% el predio no se encuentra habitado y el 58% no se cuenta con información, ya que al predio no fue posible acceder por recomendaciones de los facilitadores del proyecto y por no poseer vías que pudiesen facilitar la llegada; aunque la misma comunidad reconoce que los predios se encuentran en total abandono.

#### 5.1.7.1.7 Uso del agua

De acuerdo con la información observada en la zona, se tiene que las extracciones de agua encontradas en campo se centran en 29 fuentes de menor orden; sobre el cauce del río Hondo no se encontraron extracciones de agua debido a las condiciones topográficas del terreno que encañonan su cauce e imposibilitan su uso. Adicionalmente no existe un desarrollo productivo elevado y de alta rentabilidad que permita considerar la extracción de agua del río Hondo a través de sistemas de bombeo. En lo que respecta a las extracciones encontradas en las fuentes, se tiene que el mayor porcentaje de aflores realizados se encuentran en el rango comprendido entre 0.01 l/s y 0.1 l/s, lo que permite evidenciar de manera a priori, que el uso del agua es bajo, casi que destinado a atender necesidades básicas (uso doméstico). Es necesario indicar que los aflores realizados corresponden a un dato puntual y no podrían ser considerados como una tendencia en lo que respecta a nivel de producción de la fuente.

#### 5.1.7.1.8 Localización de usuarios

Se tomó como punto de partida la base predial para efectos del inventario, no obstante debido a condiciones limitantes que imposibilitaron acceder a una porción de los predios, se extendió el área de trabajo aguas arriba del punto inicialmente definido, condición que permitió contrastar las formas de manejo del agua en estos nuevos espacios frente a los predios localizados en la zona inicialmente abordada, estableciéndose que existe similitud; adicionalmente debido a las condiciones altas de precipitación que se presentan en la zona, el agua lluvia se convierte en la base para atender las necesidades de los cultivos. Las veredas visitadas correspondieron a: Cristales, El Porvenir, Guayaquil, La Floresta, La Italia, La Reina, Las Mercedes, Raudales.

Durante el desarrollo de las visitas de campo se evidenció que el nivel de extracción de caudal de los cuerpos de agua es bajo, primando el uso doméstico, ya que en la

mayoría de los casos la precipitación surte las necesidades hídricas de los cultivos; de igual manera en los recorridos se constató que el agua del río Hondo no es empleada debido a las condiciones topográficas que ofrece la cuenca (encañonamiento) lo que haría costoso este tipo de acciones (bombeos).

### 5.1.8 Hidrogeología

Las unidades hidrogeológicas identificadas son las siguientes:

#### 5.1.8.1 Acuífero de depósitos coluviales

Corresponden a depósitos asociados a movimientos en masa y posterior acumulación en zonas de ladera de menor pendiente, conformados por fragmentos tamaño bloques, cantos y gravas de rocas metamórficas. Los depósitos más espesos se encuentran hacia el parte aguas y la zona de morro seco y sector de Magallanes, se interpreta como un antiguo proceso de remoción/acumulación que cubrió un paleo-relieve (cañada- vaguada).

#### 5.1.8.2 Rocas con flujo esencialmente a través de fracturas

Se incluye en esta clasificación al Sistema Acuífero Grupo Cajamarca, debido a la similitud que presenta litológica y estratigráficamente sus correspondientes unidades hidrogeológicas representadas por Esquistos Cuarzo Sericíticos, Esquistos Cuarzo Grafíticos y Grafítico, y Cuarzitas, caracterizados por desarrollar una porosidad secundaria por fracturas y diaclasa.

#### 5.1.8.3 Sistema acuífero grupo Cajamarca

El mencionado sistema acuífero ocupa la mayor parte del área investigada, conformando una secuencia litológica de sedimentos ricos en materia orgánica, arenas cuarzosas, flujos lávicos y tobas.

### 5.1.9 Atmósfera

#### 5.1.9.1 Información meteorológica

La Información que hace referencia este numeral fue ejecutada en el estudio de hidrología a cargo de la empresa Gotta Ingeniería Agua Ambiente en noviembre de 2015 y su información se encuentra descrita ampliamente en el *numeral 5.1.6 Hidrología*. En cuanto al registro de temperatura en la zona de estudio, se extrajo la información proporcionada por Cenicafé debido a la escasez de información de

este tipo en la cuenca de estudio, la cual fue trabajada con la metodología (Chávez, y otros, 1998).

#### 5.1.9.2 Identificación de fuentes de emisiones atmosféricas

En las visitas y recorridos en la zona, principalmente en los puntos donde estarán ubicadas las obras del proyecto PCH Río Hondo, no se evidenciaron fuentes fijas o móviles de emisión de contaminantes atmosféricos. La zona tiene pocos habitantes y carece de industrias que generen contaminantes, su caracterización socioeconómica evidencia un abandono de la propiedad hace algunos años debido a los problemas de orden público, pero en la actualidad se encuentra en un proceso de retorno de los propietarios a las fincas.

#### 5.1.9.3 Monitoreo de calidad de aire

Actualmente en la zona no se evidencian fuentes fijas ni móviles de emisión de contaminantes atmosféricos además en los puntos donde se tendrán los frentes de trabajo hace parte de una zona rural en su mayoría con poca intervención antrópica en especial a lo que refiere a actividades que puedan generar contaminantes atmosféricos. En el momento de construcción del proyecto, donde se tiene proyectado la construcción de vías, estructuras, paso de vehículo, entre otros, se generará material particulado, por lo tanto, en esta fase se establecen como los límites establecidos por la legislación colombiana para la formulación de planes de monitoreo; para el primer monitoreo realizado al inicio de la construcción de la Pequeña Central Hidroeléctrica este se determinará como línea base de la calidad del aire del proyecto.

#### 5.1.9.4 Ruido





Durante el monitoreo de ruido ambiental del proyecto, se identificó que existen fuentes de ruido principalmente por el tránsito ocasional de vehículos por la vía que conecta el corregimiento de Florencia con el municipio de Sonsón (Antioquia) buses tipo escalera intermunicipales, vehículos particulares y motocicletas. Otra fuente de ruido la representan las actividades antrópicas de los habitantes de las fincas dispersas y caseríos del área rural (Caserío Cristales) y especialmente ruidos de origen natural por animales (perros, aves de corral, ganado). En el momento de iniciar construcción se realizará aforo de vehículos que transitan por la vía de Florencia a Puente Linda para establecer el valor inicial para este parámetro.

##### 5.1.9.4.1 Receptores de ruido

En el área de influencia del proyecto PCH-Río Hondo se detectaron receptores de ruido representados por los habitantes del caserío Cristales y Morro Seco, así como



fincas aledañas dispersas en el área. Se evidenciaron receptores críticos como la institución Educativa Pio XII Sede La Reina en el caserío Cristales. También se encuentra la Escuela “Nueva Las Mercedes” ubicada en el sector de Campamento.

| Imagen  | Coordenadas  | Receptor  | Terreno entre fuente y receptor                              |
|---|--|---|--|
|    | <p>Longitud:<br/>75° 3'55.87"O<br/>Latitud:<br/>5°35'22.78"N</p> | <p>Institución Educativa Pio XII – Sede La Reina- Cristales</p> | <p>Árboles, vegetación arbustiva</p>                         |
|   | <p>Longitud:<br/>75° 3'35.46"O<br/>Latitud:<br/>5°36'53.45"N</p> | <p>Escuela Nueva Las Mercedes</p>                               | <p>Árboles, vegetación arbustiva</p>                         |
|  | <p>Longitud:<br/>75° 4'1.63"O<br/>Latitud:<br/>5°35'29.19"N</p>  | <p>Caserío Cristales</p>  | <p>Árboles, vegetación arbustiva</p>                         |
|  | <p>Longitud:<br/>75° 2'50.77"O<br/>Latitud:<br/>5°37'16.72"N</p> | <p>Fincas dispersas</p>   | <p>Terreno llano árboles nativos y vegetación arbustiva.</p> |

**Tabla 5.** Receptores de ruido presentes en el área de influencia de la PCH Río Hondo.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 5.1.9.4.2 Resultados de la medición

Se presentan los resultados de las mediciones efectuadas en el área de influencia del proyecto “PCH-Río Hondo” llevadas a cabo durante los periodos diurno y nocturno con mediciones en día festivo y hábil, así como los ajustes calculados para las mediciones, con respecto al estándar máximo permisible de nivel de ruido para cada sector, según Resolución 0627 de 2006 emitida por el hoy MADS.

De acuerdo con los resultados obtenidos para el periodo diurno, los niveles de ruido más bajos se obtuvieron en aquellos sitios distantes de las principales fuentes ruidosas identificadas; es así como en los puntos denominados P03-Campamento y P04 Tanque de carga se cumple con el estándar permisible para el horario diurno siendo más bajos los registrados en día hábil. En todos los puntos en horario nocturno se supera el estándar máximo permisible de 45 dB pero tal situación no tiene origen en actividades antrópicas sino que está más relacionado con la actividad nocturna de la fauna local por insectos y reptiles que emiten sonidos continuos y de alto nivel. Los mayores niveles de ruido se registran en el punto P02 Captación donde obviamente la mayor fuente ruidosa es el cauce del río Hondo ya que en este sector no se registran actividades que generen los niveles de ruido registrados. Los niveles percentil 90 que indican los niveles de ruido que se mantienen durante el 90% del tiempo de medición indican que para el periodo diurno en día hábil se cumple el estándar permisible en los sitios P01-Cristales, P03-Campamento y P04-Tanque de Carga y solo se supera en los sitios cercanos al cauce del río Hondo (P02 Captación y P05 Casa máquinas).

En el escenario actual y a partir de las modelaciones de ruido ejecutadas para cada uno de los periodos, se puede observar que los mayores niveles de ruido se presentan en la zona de Cristales y en el tramo vial hacia el caserío de Morro Seco, aunque se presenta un bajo tráfico vehicular, este representa la mayor fuente de ruido en la zona. En un escenario en el cual se desarrollen las actividades de construcción del proyecto, se debe considerar la ampliación de vías existentes y la construcción de tramos viales que permitan la entrada de la mano de obra, los equipos, materiales e insumos requeridos para todas las obras civiles del proyecto.

En la operación del proyecto, se espera una reducción en la frecuencia y el tipo de tránsito de vehículos por las vías existentes que permitan la entrada de la mano de obra, los equipos, materiales e insumos requeridos para la normal operación del proyecto. Los focos de ruido se concentrarían en el tanque de carga y en casa de máquinas donde deben mantenerse niveles de ruido inferiores a los permitidos para actividades industriales.

#### 5.1.9.5 Olores ofensivos

En las visitas a la zona de influencia del proyecto no se identificaron fuentes ni focos de olores ofensivos, al igual se realizó el análisis sobre las diferentes etapas del proyecto y tampoco se identificó una actividad o fuente generadora de olores ofensivos que pudiera afectar de alguna manera la zona o la comunidad que habita en el área de influencia.