

Estudio de pre-factibilidad y factibilidad para proyectos de vivienda para cinco antiguos espacios territoriales de capacitación y reincorporación ETCR

CONTRATO NO. 752 DE 2020

INFORME FINAL ANTIGUO ETCR FILIPINAS

Un proyecto de:
Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

Ejecutado por:
Universidad Nacional de Colombia - sede Medellín



9 de enero de 2021

Estudio de pre-factibilidad y factibilidad para proyectos de vivienda para cinco antiguos espacios territoriales de capacitación y reincorporación ETCR.

Un proyecto de:
Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

Jonathan Tybalt Malagón González
Ministro

Carlos Alberto Ruiz Martínez
Viceministro de Vivienda

Felipe Walter Correa
Director del Sistema Habitacional

Equipo apoyo técnico Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

Alan Guillermo Asprilla Reyes, Dirección Sistema Habitacional

Maria Alejandra Garcia Montero, Dirección Sistema Habitacional

Andrea Carolina Torres León, Dirección Ssistema Habitacional

Liliana Caicedo Mora, Dirección de Espacio Urbano y Territorial

Mario Helberto Leal Noriega, Dirección de Espacio Urbano y Territorial

Autor:

Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín

Juan Camilo Restrepo Gutiérrez
Vicerrector

Verónica Catalina Botero Fernandez
Decana Facultad de Minas

Equipo de trabajo:

Edier V. Aristizábal G., Ingeniero Geólogo, PhD.

Director del Proyecto

Coordinadores temáticos

Elizabeth Arboleda Guzmán, Antropóloga, PhD

Edwin Fabián García Aristizábal, Ingeniero Civil, PhD

Coordinación técnica

Mariana Vásquez Guarín, Ingeniera Geóloga

Equipo de profesionales

Federico José Gómez Cardona, Ingeniero Geólogo

Karolina Naranjo, Ingeniera Geóloga

Juan David Ramírez Sierra, Geólogo

Ricardo Jaramillo, Geólogo Jr

Carlos José Gaviria Arbeláez, Ingeniero Civil, MsC

Johnnatan Arley Palacio Cordoba, Ingeniero civil

Juan Carlos Guzmán Martínez, Ingeniero civil

Alejandro García Ramírez, Ingeniero civil

Luis Martínez Hernández, Geógrafo

Maria Clara Castrillón Palacio, Arquitecta

Katlina Guarín, Ingeniera catastral, Esp

Victor Alexander Villa Monsalve, Administrador ambiental, Esp

Juan Guillermo Zuluaga, Arquitecto constructor y Abogado

Lina Maria Posada, Arquitecta, Esp

Ana Yadira Saldarriaga, Abogada, Esp

Maria Isabel Jaramillo, Antropóloga Esp

Yessica Tatiana Soto, Socióloga

Melissa Bolaño, Arquitecta

Auxiliares de ingeniería

Mariana Sierra Arboleda, Estudiante auxiliar Ingeniería Geológica

David Ortiz Bermudez, Estudiante auxiliar Ingeniería Geológica

John Kleider Garcia, Estudiante auxiliar Ingeniería Geológica

Emanuel Castillo Cardona, Estudiante auxiliar Ingeniería Geológica

Luis Alfredo Martínez Franco, Estudiante auxiliar Ingeniería Geológica

Daissy Milenys Herrera Posada, Estudiante auxiliar Ingeniería Ambiental

Wilson Arbey Diaz Uruena, Estudiante auxiliar Ingeniería ambiental

Índice general

1. Generalidades	26
1.1. Objeto	26
1.2. Alcances	27
1.3. Localización del área de estudio	27
1.4. Evolución de la ocupación territorial.	29
1.4.1. Contexto Geológico y Geomorfológico	29
1.5. Condiciones de lluvia del área de estudio	32
1.5.1. Variación temporal	32
1.5.1.1. Datos estaciones pluviométricas IDEAM	33
1.5.1.2. Datos estimados por satélite CHIRPS	40
1.5.2. Correlación IDEAM-Chirps	42
1.5.3. Variación espacial	43
1.6. Información secundaria	45
1.6.1. Estudios previos	45
1.6.2. Información Cartográfica	46
I Viabilidad Jurídica	52
2. Viabilidad Jurídica	53
2.1. Antecedentes	54
2.2. Viabilización del antiguo ETCR Filipinas a la luz de la norma de ordenamiento territorial vigente	56
2.2.1. Vigencias POT	57
2.2.2. Procedimiento de revisión y ajuste de los POT	60
2.2.2.1. Revisión Ordinaria del POT	61
2.2.2.2. Modificación excepcional de norma urbanística	66

2.2.2.3.	Creación de un marco normativo excepcional para proyectos de vivienda y usos complementarios para el proceso de reincorporación	70
2.2.2.4.	Posturas jurídicas frente a la revisión de los POT	72
2.2.3.	Caracterización y análisis general de la norma territorial del municipio de Arauquita	77
2.2.3.1.	Análisis de tenencia antiguo ETCR Filipinas	77
2.2.3.2.	Caracterización general físico espacial	80
2.2.3.3.	Norma general territorial aplicable al predio	81
2.2.3.4.	Cálculo de aprovechamientos urbanísticos o intensidad en los usos del suelo	89
2.3.	Conclusiones	91
II	Viabilidad Sanitaria	105
3.	Viabilidad Sanitaria	106
3.1.	Variables del diseño	106
3.2.	Normatividad	107
3.3.	Proyección poblacional	108
3.3.1.	Modelo de proyección de población	109
3.4.	Caudales de diseño	111
3.4.1.	Dotación de agua	111
3.4.2.	Caudal de diseño sistema de tratamiento de agua potable	113
3.4.3.	Caudal de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales	114
3.4.4.	Oferta hídrica	114
3.4.4.1.	Descripción de la fuente	114
3.4.4.2.	Cálculo de la oferta	115
3.4.4.3.	Cálculo de caudal ambiental	115
3.4.4.4.	Disponibilidad hídrica	117
3.5.	Caracterización y calidad de agua a tratar	118
3.5.1.	Calidad de agua para consumo humano	119
3.5.2.	Calidad de vertimiento para aguas residuales	120
3.6.	Tratamiento de aguas crudas	120
3.7.	Tratamiento de aguas residuales	121
3.7.1.	Proceso aerobio	122

3.7.2.	Proceso anaerobio	122
3.7.3.	Proceso anóxico	122
4.	Metodología de Alternativas	125
4.1.	Tipos de tratamiento de aguas	126
4.2.	Alternativas de la PTAP	127
4.2.1.	Alternativa 1. (Coagulación+ floculación+ sedimentación+ filtración, desinfección)	127
4.2.2.	Alternativa 2 (Filtración directa + desinfección)	128
4.2.3.	Alternativa 3. (Tanque de agua cruda + micro y ultra-filtración + desinfección)	129
4.3.	Alternativas de la PTAR	129
4.3.1.	Alternativa 1. (Lodos Activados + Sedimentación)	129
4.3.2.	Alternativa 2 (UASB + FAFA+ Sedimentación)	130
4.3.3.	Alternativa 3. (Laguna facultativa y/o anaerobia)	131
4.4.	Matriz de decisión	132
4.4.1.	Aplicabilidad del proceso	133
4.4.2.	Generación de Residuos	133
4.4.3.	Aceptación por parte de la Comunidad	133
4.4.4.	Flexibilidad de la tecnología para adecuación a cumplimiento de cambio normativo	133
4.4.5.	Vida útil	134
4.4.6.	Requerimientos de Área	134
4.4.7.	Costos	134
4.4.8.	Diseño y Construcción	134
4.4.9.	Operación	134
4.4.10.	Entorno e Impacto al Medio Ambiente	135
4.5.	Operación matriz de decisión	135
4.5.1.	Ponderación de Rubros	136
4.5.2.	Características cuantificables de Alternativas	137
4.5.3.	Análisis de Información existente	140
4.5.4.	Calificaciones Matriz PTAP	141
4.5.5.	Calificaciones Matriz PTAR	145
4.6.	Matriz de decisión y calificaciones	150
4.6.1.	Matriz de decisión PTAP	151
4.6.2.	Matriz de decisión PTAR	152

4.7. Resultados y conclusiones	153
5. Captación y Aducción de agua cruda para tratamiento	155
5.1. Captación	155
6. Planta de Tratamiento de Agua Potable	156
6.1. Diagrama de flujo de procesos	158
6.2. Tren de tratamiento de aguas	159
6.2.1. Dosificación de productos químicos para clarificación y desinfección	159
6.2.1.1. Cálculo de la dosificación de oxidante	159
6.2.1.2. Cálculo de la dosificación de coagulante	160
6.2.1.3. Ajuste de pH y floculación	161
6.2.1.4. Cálculo dosificación de desinfectante	161
6.2.2. Captación	162
6.2.3. Tanques de Oxidación	162
6.2.4. Floculador-Sedimentador de Manto de Lodos (FSML)	163
6.2.5. Sistema de filtración	165
6.2.6. Tanque de contacto	167
6.2.7. Tanque de almacenamiento	168
6.3. Tren de tratamiento de lodos	170
6.3.1. Pozo de lodos	171
6.3.2. Espesador hidráulico	171
6.3.3. Lechos de secado	171
6.4. Componentes generales	173
6.4.1. Caseta de operación	174
6.4.2. Vías y andenes dentro de la planta	175
7. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	177
7.1. Diagrama de flujo de procesos	179
7.2. Tren de tratamiento de aguas	180
7.2.1. Canal de entrada y pretratamiento	180
7.2.2. Tanque de igualación de caudales	181
7.2.3. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente Mezcla Completa (UASB)	182
7.2.4. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)	184
7.2.5. Sedimentador secundario de alta tasa	185

7.2.6.	Canal de salida y aforo	186
7.2.7.	Estructura de descarga	187
7.3.	Tren de tratamiento de lodos	187
7.3.1.	Deshidratación de lodos	187
7.3.2.	Disposición de biosólidos	189
7.4.	Componentes generales	189
7.4.1.	Caseta de operación	190
7.4.2.	Vías y andenes dentro de la planta	190
7.4.3.	Alternativas de ubicación PTAR	191

III Viabilidad por Amenaza

<i>Estudios Básicos de Amenaza</i>	194
------------------------------------	------------

8. Amenaza por Movimientos en masa 195

8.1.	Marco normativo de gestión del riesgo	196
8.2.	Definición del área de influencia para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa	198
8.3.	Procesos morfodinámicos	198
8.4.	Evaluación de la susceptibilidad por movimientos en masa	201
8.4.1.	Unidad de análisis y área mínima cartografiable	201
8.4.2.	Variables predictoras	202
8.4.2.1.	Inclinación de la ladera (IL)	202
8.4.2.2.	Pendiente (S)	202
8.4.2.3.	Relieve relativo (RR)	203
8.4.2.4.	Rugosidad (Rug)	203
8.4.2.5.	Índice de humedad topográfica (TWI)	203
8.4.2.6.	Índice de posición topográfica (TPI)	203
8.4.2.7.	Elevación relativa al cauce (EAS)	203
8.4.2.8.	Distancia al drenaje siguiendo la pendiente (DDS)	204
8.4.2.9.	Geología Superficial (Gs)	204
8.4.2.10.	Evolución de las coberturas (Ec):	204
8.4.2.11.	Cinemático (Cin)	204
8.4.2.12.	Curvatura total (Cu)	204
8.4.3.	Selección de variables y estimación de pesos por AHP	204
8.4.4.	Descripción de variables y estimación de pesos de las clases	207
8.4.4.1.	Geología Superficial (Gs)	207

8.4.5.	Evolución de las coberturas(Ec)	211
8.4.5.1.	Índice de humedad topográfica (TWI)	219
8.4.5.2.	Relieve relativo (RR)	221
8.4.5.3.	Pendiente (S)	223
8.4.5.4.	Elevación relativa al cauce (EAS)	224
8.4.5.5.	Curvatura (Cu)	225
8.4.5.6.	Mapa de susceptibilidad con AHP y asignacion directa	229
8.4.6.	Modelo de susceptibilidad	229
8.5.	Amenaza por movimientos en masa detonados por lluvia	231
8.5.1.	SHALSTAB	231
8.6.	Amenaza por movimientos en masa detonados por sismo	234
8.6.1.	Sismicidad histórica	234
8.6.2.	Metodología - Bloque deslizante de Newmark	236
8.7.	Mapas de amenaza	240
9.	Amenaza por Inundaciones	245
9.1.	Definición del área de influencia para la evaluación de inundaciones	245
9.2.	Catalogo histórico de eventos	246
9.3.	Estimación de caudales máximos	247
9.3.1.	Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia	247
9.3.2.	Modelo lluvia escorrentía - modelo de tanques	247
9.3.3.	Análisis de frecuencia	254
9.4.	Zonificación de manchas de inundación a escala de cuenca	257
9.5.	Dinámica Fluvial	261
10.	Definición de áreas con condición de amenaza o riesgo	267
10.1.	Ocupación Territorial	267
10.1.1.	Áreas con condición de amenaza (ACA)	269
10.1.2.	Áreas con condición de riesgo (ACR)	270
10.2.	Medidas no estructurales	271
10.2.0.1.	Recomendaciones específicas	273

IV Viabilidad por Amenaza

<i>Estudios de Detalle</i>	274
11. Caracterización geológica a detalle	275
11.1. Información cartográfica de detalle	275
11.2. Estudio de suelos	277
11.2.1. Prospección sísmica	278
11.2.2. Análisis de laboratorio	280
11.2.3. Zonas geotécnicas homogéneas	282
11.3. Geomorfología Local	285
11.4. Morfodinámico	285
11.5. Unidades geológicas superficiales	286
12. Amenaza por Inundaciones	291
12.1. Descripción del modelo hidrodinámico bidimensional	291
12.1.1. Caudales de simulación	293
12.1.2. Rugosidad	294
12.1.3. Condiciones de borde y condiciones iniciales	294
12.2. Categorización de amenaza por inundación	295
12.3. Resultados	296
12.4. Amenaza final por inundaciones	297
13. Vulnerabilidad	303
13.1. Vulnerabilidad social	303
13.1.1. Fragilidades socioeconómicas	306
13.1.2. Capacidades sociales	309
13.2. Vulnerabilidad física	311
13.2.1. Vulnerabilidad por Inundaciones	312
13.2.1.1. Curvas de daño	313
13.2.1.2. Mapa de vulnerabilidad por Inundación	315
14. Riesgo	318
14.1. Riesgo actual	319
14.2. Riesgo prospectivo	319
14.3. Esquema de aproximación espacial	319
14.3.1. Prototipo vivienda rural	323
14.3.1.1. Evaluación de riesgo prospectivo	323
14.4. Riesgo Socioeconómico	324

14.4.1. Matriz de riesgo	326
15. Medidas de mitigación y remediación	328
15.1. Medidas no estructurales	328
15.1.1. Umbrales de lluvia	330
15.1.1.1. Umbrales de lluvia estaciones IDEAM escala diaria	330
15.1.1.2. Umbrales de lluvia de satélite CHIRPS escala mensual	331
15.1.1.3. Umbrales de lluvia como sistemas de alerta temprana (SAT)	333
15.1.2. Estrategias para el aprovechamiento del suelo	334
15.2. Medidas estructurales	335
V Esquema de aproximación espacial	338
16. Esquema de aproximación espacial	339
16.1. Planteamiento espacial	339
16.1.1. Equipamientos	341
16.1.2. Viviendas	342
16.1.3. Infraestructura vial	344
16.2. Borrador norma urbanística objeto de ajuste en Arauquita . . .	344
16.2.1. Componente general	345
16.2.2. Componente rural	345
16.3. Presupuesto	351
16.3.1. Equipamientos	351
16.3.2. Viviendas	352
16.3.3. Infraestructura vial	352
16.3.4. Tratamiento de agua	353
VI Concepto	354
17. Concepto técnico de viabilidad	355

VII Anexo	357
18. Anexos	358
18.1. Anexo 1 Levantamiento topográfico	358
18.2. Anexo 2 Estudios subsuelo	358
18.3. Anexo 3 Documentos normativos	359
18.4. Anexo 4 Cálculos y estudios Agua	359
18.5. Anexo 5 Cálculos presupuesto de vivienda	360
18.6. Anexo 6 Estándares Cartográficos	360

Índice de figuras

1.	Ubicación de los antiguos ETCR a nivel nacional	25
2.	Localización del antiguo ETCR Filipinas en el municipio de Arauquita.	28
3.	Evolución de la ocupación.	30
4.	Mapa geomorfológico 1:100.000 predio Filipinas	33
5.	Estaciones IDEAM cercanas al antiguo ETCR-Filipinas	34
6.	Precipitación diaria multianual estación Arauquita	35
7.	Precipitación diaria multianual estación Morichal	35
8.	Precipitación diaria multianual estación Matezamuro	36
9.	Precipitación mensual multianual para la estación Arauquita, A)Valores medios, máximos y mínimos. B)Precipitación media mensual multianual para meses con ocurrencia del El Niño y La Niña	37
10.	Precipitación mensual multianual para la estación Matezamuro, A)Valores medios, máximos y mínimos. B)Precipitación media mensual multianual para meses con ocurrencia del El Niño y La Niña	37
11.	Precipitación mensual multianual para la estación Morichal, A)Valores medios, máximos y mínimos. B)Precipitación media mensual multianual para meses con ocurrencia del El Niño y La Niña	38
12.	Precipitación anual multianual de la estación Arauquita, donde, las barras color rojo representan la ocurrencia de El Niño, el color azul La Niña y el gris periodos Neutros.	39
13.	Precipitación anual multianual de la estación Matezamuro, donde, las barras color rojo representan la ocurrencia de El Niño, el color azul La Niña y el gris periodos Neutros.	39

14.	Precipitación anual multianual de la estación Morichal, donde, las barras color rojo representan la ocurrencia de El Niño, el color azul La Niña y el gris periodos Neutros.	39
15.	Precipitación diaria multianual estimación CHIRPS a nivel de cuenca	41
16.	Precipitación mensual multianual CHIRPS a nivel de cuenca, a)Valores medios, máximos y mínimos. b)Precipitación media mensual multianual para meses con ocurrencia del El Niño y La Niña	41
17.	Precipitación anual multianual CHIRPS a nivel de cuenca, donde, las barras color rojo representan la ocurrencia de El Niño, el color azul La Niña y el gris periodos Neutros.	42
18.	Correlación a escala diaria de la información dada por los pluviómetros del IDEAM y CHIRPS en las estaciones A)Araucuita, B) Matezamuro y C) Morichal.	42
19.	Correlación a escala mensual de la información dada por los pluviómetros del IDEAM y CHIRPS en las estaciones A)Araucuita, B) Matezamuro y C) Morichal.	43
20.	Correlación a escala anual de la información dada por los pluviómetros del IDEAM y CHIRPS en las estaciones A)Araucuita, B) Matezamuro y C) Morichal.	43
21.	Variación espacial de la A)Precipitación diaria media (PDMEd) y B)Precipitación diaria máxima (PDMax)	44
22.	Variación espacial de la A)Precipitación mensual media (PDMEd), B)Precipitación mensual máxima (PDMax) y C)Precipitación mensual mínima (PDMin)	45
23.	Imagen satelital representativa de la misión Sentinel 1 del año 2020.	47
24.	Imagen satelital representativa de la misión Sentinel 2 del año 2020.	48
25.	Imagen satelital representativa de la misión Landsat 8 del año 2020.	49
26.	Imagen satelital representativa de la misión Landsat 5 del año 1986.	50
27.	Proceso de creación de los antiguos ETCR. Fuente Convenio 752 de 2020	56

28.	Cronograma aproximado de ejecución para la revisión ordinaria del PBOT	65
29.	Cronograma aproximado de ejecución para un escenario de modificación excepcional de norma urbanística	68
30.	Cronograma aproximado para un escenario Ley	71
31.	Clasificación del suelo en el Antiguo ETCR Filipinas. Fuente: Cartografía PBOT, Cartografía PBOT, Municipio de Arauquita	82
32.	Uso potencial del Suelo antiguo ETCR Filipinas (Municipio de Arauquita)	83
33.	Modelo de ordenamiento territorial en el antiguo ETCR Filipinas (Municipio de Arauquita)	84
34.	Actividad Rural en el antiguo ETCR Filipinas (Municipio de Arauquita)	85
35.	Usos Propuestos en el antiguo ETCR Filipinas (Municipio de Arauquita), 5: Conservación de Bosque Nativo, 9: Reforestación de fuentes hídricas con especies nativas.	86
36.	Estructura Ecológica en el antiguo ETCR Filipinas (Municipio de Arauquita)	87
37.	Importancia Ambiental en el antiguo ETCR Filipinas (Municipio de Arauquita)	88
38.	Áreas Prioritarias conservación de la biodiversidad en el antiguo ETCR Filipinas (Municipio de Arauquita)	89
39.	Norma urbanística general para el suelo rural. Fuente: PBOT - R-09	90
40.	Norma urbanística general para el suelo rural. Fuente: PBOT R-10	90
41.	Area Neta Urbanizable en el antiguo ETCR ElPorvenir.	91
42.	Centro Poblado de referencia Filipinas (Arauquita).	102
43.	toma de agua a través de pozo en el antiguo ETCR Filipinas . .	115
44.	Curva de duración de caudales - río Ele	116
45.	Curva de duración de caudales - caño La Arenosa	116
46.	Ciclo anual de caudales río Ele año medio	118
47.	Ciclo anual de caudales caño La Arenosa año medio	118
48.	Balance de masas.	126
49.	Tren tratamiento PTAP Alternativa 1.	128
50.	Tren tratamiento PTAP Alternativa 2.	128

51.	Tren tratamiento PTAP Alternativa 3.	129
52.	Tren tratamiento PTAR Alternativa 1.	130
53.	Tren tratamiento PTAR Alternativa 2.	131
54.	Tren tratamiento PTAR Alternativa 3.	132
55.	Calidad de la fuente.	141
56.	Matriz de decisión PTAP.	151
57.	Matriz de decisión PTAR.	152
58.	Esquema 3D de la PTAP.	157
59.	Diagrama de flujo de procesos en la PTAP.	158
60.	Esquema Floculador Sedimentador de Manto de Lodos (FSML).	164
61.	Esquema del filtro en arena.	166
62.	Esquema Tanque de contacto.	169
63.	Esquema Tanques de almacenamiento.	169
64.	Esquema del espesador hidráulico.	172
65.	Esquema de los lechos de secado.	173
66.	Estratificación de la estructura del lecho de secado (medidas en metros).	173
67.	Vista en planta de la distribución propuesta en la PTAP.	174
68.	Esquema 3D de la PTAR.	178
69.	Diagrama de flujo de procesos en la PTAR.	179
70.	Canal de entrada y pretratamiento de las aguas residuales.	180
71.	Esquema del reactor UASB.	183
72.	Esquema del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).	184
73.	Modelo del Sedimentador Secundario con paneles de tasa alta.	185
74.	Esquema de los lechos de secado.	188
75.	Estratificación de la estructura del lecho de secado (medidas en metros).	188
76.	Vista en planta de la distribución propuesta en la PTAR.	189
77.	Alternativas de ubicación adicional para PTAR	192
78.	Localización del área de estudio del antiguo ETCR Filipinas	199
79.	Inventario procesos morfodinámicos Filipinas - Cuenca C	200
80.	Inventario procesos morfodinámicos Filipinas - Cuenca C	200
81.	Matriz de correlación	205
82.	Mapa de unidades superficiales en el área de influencia para la evaluación de amenaza en el antiguo ETCR Filipinas	208

83.	Depósito Qaa en el área de influencia para la evaluación de amenaza en el antiguo ETCR Filipinas. a) y b) Perfil de suelo en el polígono norte junto con el material extraído. c) y d) Perfil de suelo en el polígono sur junto con el material extraído	209
84.	Depósito Qaalim en el área de influencia para la evaluación de amenaza en el antiguo ETCR Filipinas. a) y b) Perfil de suelo en el polígono norte junto con el material extraído. c) y d) Perfil de suelo en el polígono sur junto con el material extraído	210
85.	Depósito Qa en el área de influencia para la evaluación de amenaza en el antiguo ETCR Filipinas. a) y b) Perfil de suelo junto con el material extraído.	211
86.	Depósito Qall en el área de influencia para la evaluación de amenaza en el antiguo ETCR Filipinas. a) y b) Perfil de suelo junto con el material extraído.	211
87.	Depósito Qall en el área de influencia para la evaluación de amenaza en el antiguo ETCR Filipinas, mostrando el límite entre la llanura de inundación del río Ele y su respectiva terraza	212
88.	Índice vegetación normalizado Filipinas año 1990-2020	213
89.	Representación estadística NDVI Filipinas	214
90.	Coberturas actuales.	215
91.	Tonalidades resultantes de combinación NDVI multitemporal	216
92.	Representación multitemporal NDVI	217
93.	Evolución de las coberturas multitemporal.	218
94.	Cambio coberturas año 1991-2020	220
95.	Mapa Índice de humedad topográfica del antiguo ETCR Filipinas	222
96.	Mapa Índice de relieve relativo del antiguo ETCR Filipinas	223
97.	Mapa Índice de la pendiente del antiguo ETCR Filipinas	224
98.	Mapa Índice de la elevación relativa al cauce del antiguo ETCR Filipinas	226
99.	Mapa de Curvatura Perfil y Plana del antiguo ETCR Filipinas	227
100.	Mapa de Curvatura del antiguo ETCR Filipinas	228
101.	Gráfica de clases de geoformas por su porcentaje en área del antiguo ETCR Filipinas	228
102.	Susceptibilidad continua por movimientos en masa.	229
103.	Susceptibilidad final por movimientos en masa.	230

104. amenaza por movimientos en masa detonados por lluvia correspondiente al periodo de retorno de 10 años. 234

105. Amenaza por movimientos en masa detonados por lluvia correspondiente al periodo de retorno de 100 años. 235

106. Amenaza por movimientos en masa detonados por lluvia correspondiente al periodo de retorno de 500 años. 235

107. Registro sismicidad histórica municipio de Arauquita 236

108. Sismicidad histórica municipio de Arauquita 236

109. Bloque deslizante método de Newmark 237

110. Amenaza por movimientos en masa detonados por sismo. a) Escenario #1 condición seca. b) Escenario #2 condición saturada. . 240

111. Mapa de amenaza por movimiento en masa 242

112. Cuencas Filipinas 246

113. Ubicación de Estaciones pluviográficas en las cuencas Ele y La Arenosa 248

114. Curvas IDF 248

115. Esquema de funcionamiento del modelo 250

116. Ubicación estaciones de precipitación y caudal IDEAM Respecto a las cuencas 253

117. CDC entre la serie estimada y la observada 254

118. Serie de caudal estimada y observada 255

119. Serie de caudal sintética para el río Ele 255

120. Serie de caudal sintética para el caño La Arenosa 255

121. Prueba de bondad de ajuste río Ele 257

122. Prueba de bondad de ajuste río Ele 258

123. Descripción HAND, fuente: (Rennó y cols., 2008) 259

124. HAND río Ele 260

125. Ejemplo - calado río Ele 260

126. Zonificación amenaza por inundación en el antiguo ETCR Filipinas 261

127. Dinámica fluvial río Ele 263

128. Zona inundación, combinación Landsat 5 263

129. Zona inundación, combinación Sentinel 1 264

130. Zona inundación año 2018, mediante historial Landsat 5,7 y 8 . 265

131. Ocupación territorial 268

132. Levantamiento Construcciones 269

133.	Zonas en condición de amenaza para el predio del antiguo ETCR.	270
134.	Zonas en condición de riesgo para el predio del antiguo ETCR. .	272
135.	Resultado del trabajo realizado con LIDAR, Elaborado con el software <i>Quick Terrain Reader</i> v 8.2.0	276
136.	277
137.	Exploración	278
138.	Esquema ensayo de refracción sísmica (ASTM, 2011)	279
139.	Perfil 2D V_s línea 1	281
140.	Variabilidad en los límites de consistencia de la zona 1 mediante la Carta de plasticidad de Casagrande.	284
141.	Mapa de unidades geomorfológicas en el antiguo ETCR Filipinas. Divagación de cauce activo (Fdc)	286
142.	Mapa morfodinámico del antiguo ETCR Filipinas.	287
143.	Mapa de unidades geológicas superficiales (UGS) en el antiguo ETCR Filipinas. Depósitos de Orillales (Qa)	288
144.	Materiales superficiales	289
145.	Caño La Arenosa - antiguo ETCR Filipinas	292
146.	Procedimiento para zonificación de amenaza por inundación . .	293
147.	Categorización de amenaza por inundaciones	296
148.	Distribución espacial del calado	298
149.	Distribución espacial de la velocidad de flujo.	299
150.	Zonificación de amenaza por inundaciones ajustada geomorfológicamente.	300
151.	Zonificación final de amenaza por inundaciones.	301
152.	Fragilidad social y económica antiguo antiguo antiguo ETCR . .	306
153.	Capacidades antiguo ETCR	310
154.	Funciones de daño según la profundidad de inundación en construcciones residenciales bajo diferentes materiales (material mixto, MIX; madera, WOD; mampostería, MAS; concreto, CON; acero/metal, MET). Adaptado de J, L, y Orellana (2020).	313
155.	Daño por inundación en el antiguo ETCR Filipinas	316
156.	Elementos actuales dentro del antiguo ETCR Filipinas	320
157.	Propuesta predios para viviendas	321
158.	Viviendas guías	322

159. Prototipo vivienda rural proyectada	323
160. Daño por inundación en elementos prospectivos en el antiguo ETCR Filipinas	324
161. Viviendas proyectadas dentro del antiguo ETCR Filipinas . . .	325
162.	326
163. Umbral de lluvia estación Arauquita IDEAM	332
164. Umbral de lluvia estación Matezamuro IDEAM	332
165. Umbral de lluvia estación Morichal IDEAM	333
166. Umbral de lluvia para satélite CHIRPS Río Ele	333
167. Umbral de lluvia para satélite CHIRPS Caño La arenosa	334
168. Restricciones normativas	340
169. Evaluación de amenazas	341
170. Propuesta de predios	343
171. Propuesta infraestructura vial	344
172. Costo total	353

Índice de tablas

1.	Estaciones pluviométricas del IDEAM cercanas al antiguo ETCR Filipinas.	33
2.	Análisis de la propiedad inmueble El Porvenir	77
3.	Calculo de aprovechamiento de viviendas.	92
4.	: Propuesta general de modificación e incorporación de artículos revisión PBOT.	96
5.	Información Centro Poblado de referencia	102
6.	Cálculo de densidad del Centro Poblado de referencia	103
7.	Proyección poblacional para los años establecidos en el periodo de diseño	110
8.	Usos del agua en viviendas.	112
9.	Volumen de subsistencia para el antiguo ETCR de estudio.	113
10.	Porcentaje de uso de agua de los proyectos productivos del antiguo ETCR Filipinas.	113
11.	Caudal ambiental cuencas abastecedoras	117
12.	Disponibilidad hídrica año seco y año medio para las corrientes abastecedoras	118
13.	Caracterización de agua cruda según el grado de polución de la fuente (de Desarrollo Economico, 2000).	119
14.	Composición típica agua residual doméstica (Metcalf, Eddy, y Tchobanoglous, 1979).	120
15.	Ponderación de factores según criterios	137
16.	Cálculos alternativas PTAP	137
17.	Cálculos alternativas PTAR	139
18.	Composición típica agua residual doméstica	140
19.	Calificaciones de PTAP	141

20.	Calificaciones de PTAR	146
21.	Procesos de remoción de parámetros del agua cruda.	159
22.	Dosificación de coagulante.	161
23.	Dosificación desinfectante en la PTAP.	162
24.	Dimensiones del FSML.	164
25.	Dimensiones del filtro propuesto.	166
26.	Dimensiones del tanque de contacto.	167
27.	Dimensiones del tanque de almacenamiento.	168
28.	Tiempo de vaciado del tanque.	170
29.	Concentración de parámetros en el agua de salida de la planta.	187
30.	Escala de importancia relativa. modificada de (Saaty, 1980)	206
31.	Matriz de calificación AHP	207
32.	Pesos de las variables	207
33.	Unidades geológicas presentes en el área de influencia para la evaluación de amenaza en el antiguo ETCR Filipinas con pesos asignados	212
34.	Cambio de cobertura antiguo ETCR Filipinas	220
35.	Índice de humedad topográfica antiguo ETCR Filipinas	221
36.	Tabla Índice de relieve relativo del antiguo ETCR Filipinas	222
37.	Tabla Índice de la pendiente del antiguo ETCR Filipinas	224
38.	Tabla Índice de la elevación relativa al cauce del antiguo ETCR Filipinas	225
39.	Rangos de las geoformas	226
40.	Clases de geoformas con sus respectivas áreas de ocupación en la zona de estudio y el peso asignado para la evaluación de la amenaza.	227
41.	Mapa de susceptibilidad Filipinas.	230
42.	Parámetros geotécnicos para las unidades geológicas superficiales	233
43.	Escenarios de lluvia establecidos para periodos de retorno (Tr) de 10, 100 y 500 años.	234
44.	Parámetros geotécnicos para las unidades geológicas superficiales	239
45.	Parámetros calibrados para el modelo de tanques	254
46.	Prueba de bondad de ajuste para el análisis de frecuencias - caudales río Ele	256

47.	Prueba de bondad de ajuste para el análisis de frecuencias - caudales caño La Arenosa	256
48.	Caudales máximos para diferentes tiempos de retorno del río Ele	256
49.	Caudales máximos para diferentes tiempos de retorno del caño La Arenosa	257
50.	Clasificación perfiles del suelo a partir de Tabla A.2.4.4 NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)	279
51.	Distribución ensayos de laboratorio	281
52.	Recopilación de parámetros obtenidos mediante ensayos de laboratorio	282
53.	Caudales de simulación - inundaciones	293
54.	Valores de referencia para coeficiente de rugosidad de Manning .	295
55.	Esquema elementos para establecer la vulnerabilidad	307
56.	Escala de valoración	308
57.	Escala de valoración	311
58.	Funciones de daño según categorías de construcción y valores para los materiales de las estructuras. Donde h =profundidad de inundación y mf =factor de material.	314
59.	Categoría y tipos de material para diferentes elementos de construcción	314
60.	Factores en la implementación de la metodología para las estructuras antiguo ETCR Filipinas.	315
61.	326
62.	Áreas aprovechamiento del suelo	335
63.	influencia de instituciones educativas y unidades productivas . .	342
64.	uso del suelo	348
65.	Uso con áreas mínimas y máximas	348
66.	Densidad habitacional	348
67.	Cesiones urbanísticas	349
68.	Resumen costo equipamientos	352
69.	Resumen de costo para viviendas por tipología	352
70.	Resumen costo infraestructura vial	352
71.	Resumen costo tratamiento de agua	353

.

Introducción

El Gobierno de Colombia suscribió con el grupo armado FARC-EP el acuerdo final para la terminación del conflicto armado donde se dispuso, en el subpunto 3.1.4.1 del punto 3, referido al Fin del Conflicto, la creación, inicialmente, de 20 Zonas Veredales Transitorias de Normalización (ZVTN) y 7 Puntos Transitorios de Normalización (PTN). Con la terminación de las ZVTN el 15 de agosto del 2017, se iniciaron los Espacios Territoriales de Capacitación y Reincorporación (ETCR), los cuales son administrados por la Agencia para la Reincorporación y Normalización (ARN). Los ETCR tenían una duración de 24 meses, es decir, que el 15 de agosto de 2019 terminó su figura jurídica transitoria. Desde el principio se consideró que el término de dicho plazo no representaría la desaparición o desalojo de los 24 antiguos Espacios habitados por los excombatientes y sus familias. Por lo que el Gobierno puso en marcha una estrategia para la transición de algunas de estas zonas que presentan dificultades de permanencia en los actuales territorios, debido a riesgos por fenómenos de origen natural, limitaciones en vías de acceso y en la provisión de servicios públicos, entre otros factores, y de consolidación para las otras zonas.

Bajo este contexto, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio contrató con la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, los estudios de pre-factibilidad y factibilidad de 5 ETCR que permitiera su desarrollo dentro del territorio (Figura 1), considerando las condiciones de amenaza por fenómenos naturales y disponibilidad de saneamiento, al igual que el marco normativo de ordenamiento territorial.

El presente informe corresponde al Informe final para el antiguo ETCR denominado Filipinas, localizado en el departamento de Arauca. El presente informe contiene, de acuerdo con la minuta del contrato, la compilación y análisis normativo referente y necesario para el desarrollo de proyectos de vivienda en los antiguos ETCR; La evaluación del recurso hídrico para el abastecimiento y el diseño de una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) y Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR); el estudio de viabilidad de amenaza en los fenómenos de movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en escala 1:25.000 y 1:2.000 y finaliza con la elaboración de un presupuesto estimado de ejecución del proyecto de vivienda y uso complementarios.

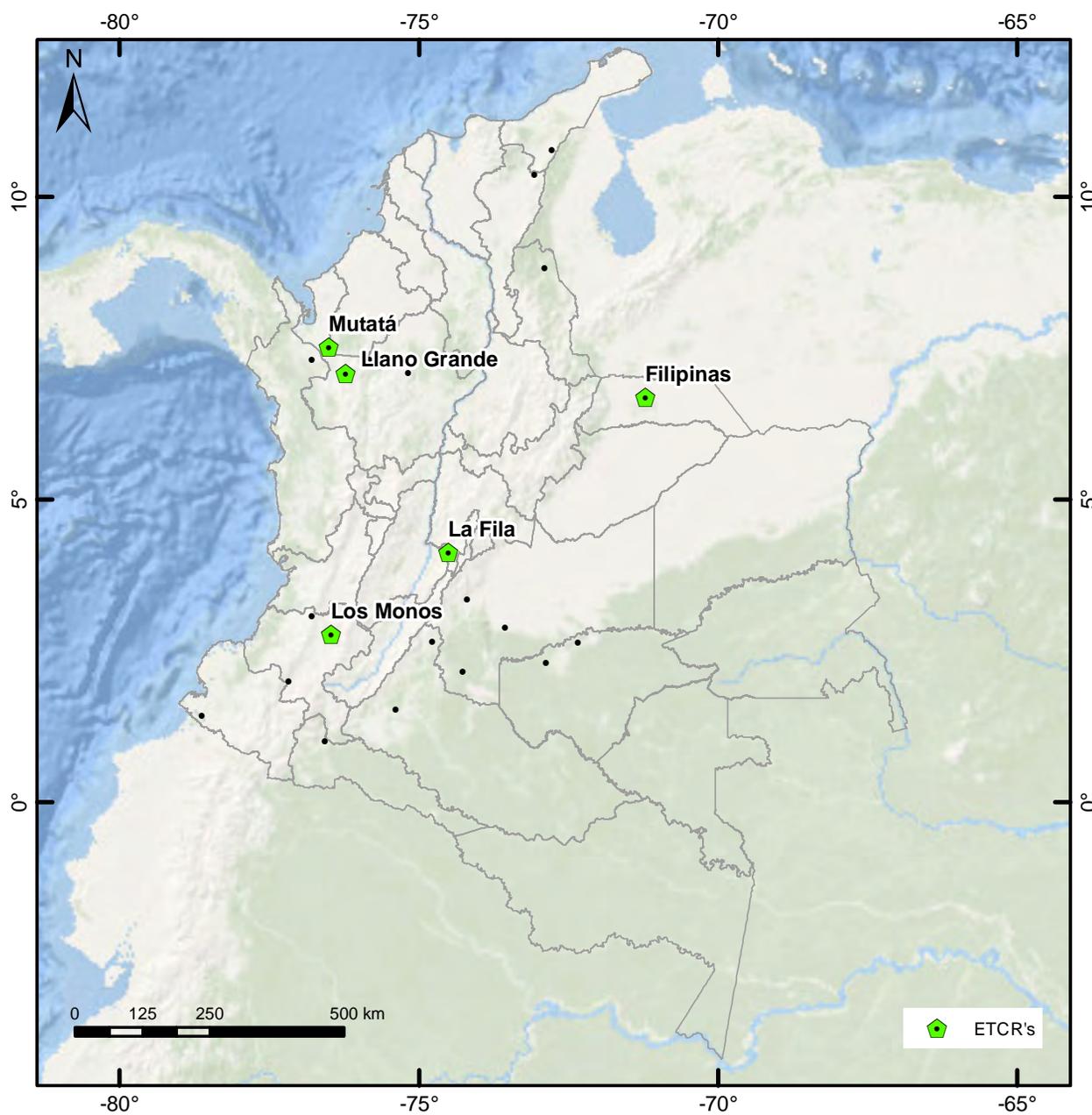


Figura 1: Ubicación de los antiguos ETCR a nivel nacional

Capítulo 1

Generalidades

1.1. Objeto

El presente estudio tiene como objetivo general elaborar estudios de pre-factibilidad y factibilidad para establecer la viabilidad jurídica, técnica y económica de la construcción de proyectos de vivienda en (5) cinco antiguos Espacios Territoriales de Capacitación y Reincorporación, con el fin de otorgar una solución de vivienda permanente para la población en proceso de reincorporación y sus familias.

Para lograr dicho objeto se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Avanzar técnicamente para el otorgamiento de soluciones de vivienda para las personas que se encuentren en proceso de reincorporación y sus familias que habitan los antiguos ETCR.
- Ofrecer las garantías técnicas para que hombres y mujeres en proceso de reincorporación puedan acceder al derecho de contar con una vivienda digna y propia

Los (5) cinco antiguos ETCR seleccionados para los estudios son:

1. **Filipinas, municipio de Arauquita, departamento de Arauca**
2. Los Monos, municipio de Caldono, departamento de Cauca
3. Llano Grande, municipio de Dabeiba, departamento de Antioquia
4. La Fila, municipio de Icononzo, departamento de Tolima
5. Mutatá, municipio de Mutatá, departamento de Antioquia

1.2. Alcances

El presente estudio apunta a la viabilidad en términos jurídicos, de amenaza por fenómenos naturales y disponibilidad de recurso hídrico del antiguo ETCR Filipinas. Para establecer dicha viabilidad se elaborarán estudios normativos en el marco del ordenamiento territorial colombiano; al igual que los estudios básicos de amenaza y estudios de detalle por movimientos en masa, inundaciones y avenida torrenciales regulados por el Decreto 1077 de 2015 para la incorporación de la gestión del riesgo de desastres en los planes de ordenamiento territorial (POT). Finalmente, se evaluará la viabilidad de la disponibilidad de agua potable y vertimiento de aguas sucias, con los diseños de la estructura de captación, planta de potabilización y tratamiento de aguas residuales.

Cada uno de estos estudios y los resultados de viabilidad se realizan de acuerdo con las particularidades en cada uno de los territorios. Por lo tanto, aunque el alcance es uno solo en dirección de la viabilidad en términos jurídicos, de amenaza y de disponibilidad del recurso hídrico, el acercamiento a cada territorio y el desarrollo metodológico pueden ser diferentes. Sin embargo este ajuste a las particularidades de cada antiguo espacio territorial se concreta a medida que se avance en el trabajo en terreno de la mano de los actores locales.

1.3. Localización del área de estudio

El antiguo ETCR Filipinas se localiza en la vereda Filipinas del municipio de Arauquita (Figura 2), ubicado en la zona norte del departamento de Arauca en la cuenca del río Orinoco. En su contexto territorial el municipio, conocido como el más grande dentro del Departamento de Arauca, cuenta una superficie de 3281km^2 . Tiene abundantes cursos de agua, que nacen en su mayoría en la cordillera Oriental y corren en dirección Este a través de un terreno plano, lo que origina en su trayecto numerosos ríos y caños secundarios. La riqueza hídrica está representada en lagunas, humedales, numerosos ríos, caños y quebradas. Entre los principales drenajes están el río Arauca, el Lipa, el Ele y el río Caranal.

La economía rural del municipio se basa principalmente en la ganadería extensiva y semiextensiva con sistemas de cría, levante y ceba, se tiene un amplio sistema de producción ganadera de doble propósito. Se tiene producción petrolera con el complejo petrolífero de Caño Limón que representa el mayor renglón generador de ingresos para el municipio y aportando la mano de obra calificada y no calificada lo que incrementa el ingreso *per cápita* de sus habitantes, Alcaldía

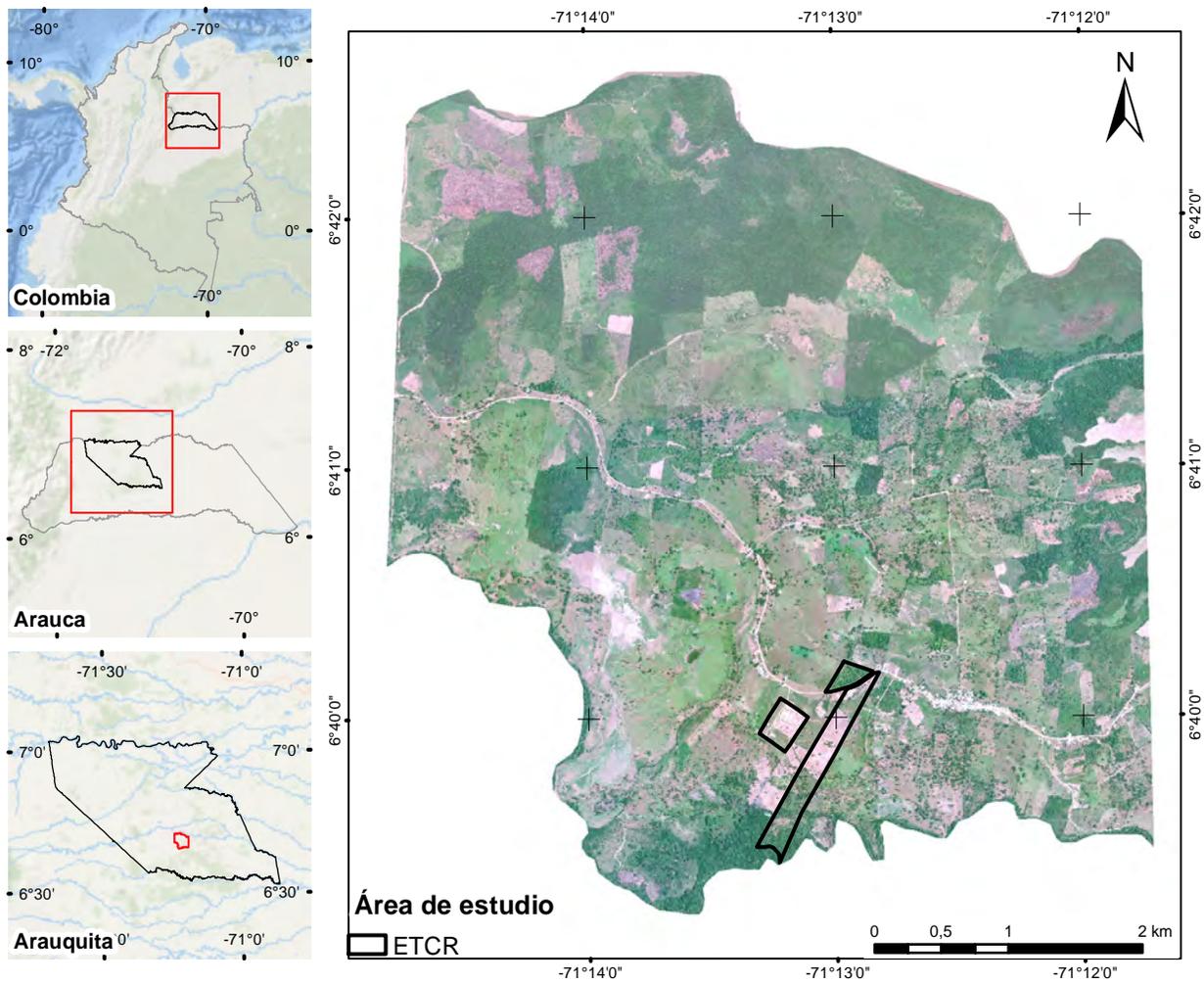


Figura 2: Localización del antiguo ETCR Filipinas en el municipio de Arauquita.

de Arauquita Arauca (2015)

De acuerdo con El representante legal del antiguo ETCR en Filipinas del municipio de Arauquita, Nelson Quintero, el antiguo ETCR está conformada por 171 excombatientes entre hombre y mujeres que se encuentran allí con sus familias ¹, actualmente desarrollando actividades productivas agropecuarias.

La explotación de hidrocarburos ha representado para el municipio el renglón de mayor relevancia dentro de la actividad económica, y que genera la mayoría de empleos en la población, incrementando el ingreso *percapita* de sus habitantes y mejoras en la infraestructura vial, apoyo a saneamiento básico, educación y salud del municipio específicamente en la zona de influencia.

¹<https://meridiano70.co/filipinas-etcr-excombatientes/>

1.4. Evolución de la ocupación territorial.

Contando con una visualización de cuenca y áreas aledañas al antiguo ETCR se realiza una revisión para considerar el desarrollo comunitario a través de las imágenes existentes de la zona que cuenten con la resolución para identificar la presencia de viviendas como indicador de la ocupación. En la cuenca no se encuentran construcciones en imágenes satelitales anteriores al año 1991, momento en el cual no existía tampoco la vía que hoy comunica Pueblo Nuevo con Filipinas. Para el año 1996, ya se cuenta con la vía e inicios del poblado Filipinas.

En la Figura 3 se puede apreciar la evolución de la ocupación en la cuenca desde el año 1991 hasta el presente. Este análisis se realiza en la plataforma *Google Earth Engine* a través del algoritmo *Random Forest* al realizar una clasificación supervisada de las imágenes satelitales de Sentinel 2 para el año 2020, Landsat 8 para el año 2017 y Landsat 5 para los años 1996 y 1991.

A partir del año 2017 se observa la aparición de construcciones en lo que ahora constituye el predio del ECTR y aumentan las construcciones asociadas al poblado Filipinas extendiéndose sobre la vía. Para el año 2020 se llega a un área urbana de cerca de $132.000\ m^2$ dado el crecimiento de las construcciones en el antiguo ETCR y las asociadas al poblado y a la vía. Esto representa un alto crecimiento en la ocupación urbana que constituye un área 20 veces más extensa en 3 años. Como contraste el norte de la zona conserva su cobertura vegetal a lo largo de los años sin presencia de construcciones.

1.4.1. Contexto Geológico y Geomorfológico

El antiguo ETCR Filipinas se localiza en la plancha geológica 139-Betoyes INGEOMINAS (2010) sobre la cuenca antepaís de los Llanos Orientales. En cuanto al marco tectónico la cuenca de los llanos orientales se caracteriza por un monoclinado inclinado suavemente hacia el oeste, y una débil estructuración tectónica con un incipiente fallamiento normal de carácter antitético que involucra la sucesión pre-mesozoica y meso-cenozoica (INGEOMINAS, 2010).

El subsuelo de este territorio corresponde a una plataforma en rocas pre-mesozoicas, sobre la cual descansa una gruesa secuencia de rocas meso-cenozoicas de diverso origen y edad. INGEOMINAS (2010) define esta zona como una cuenca *Foreland*, definida como una depresión originada entre la faja orogénica en la cordillera Oriental y el cratón de la Guayana. El área de influencia para

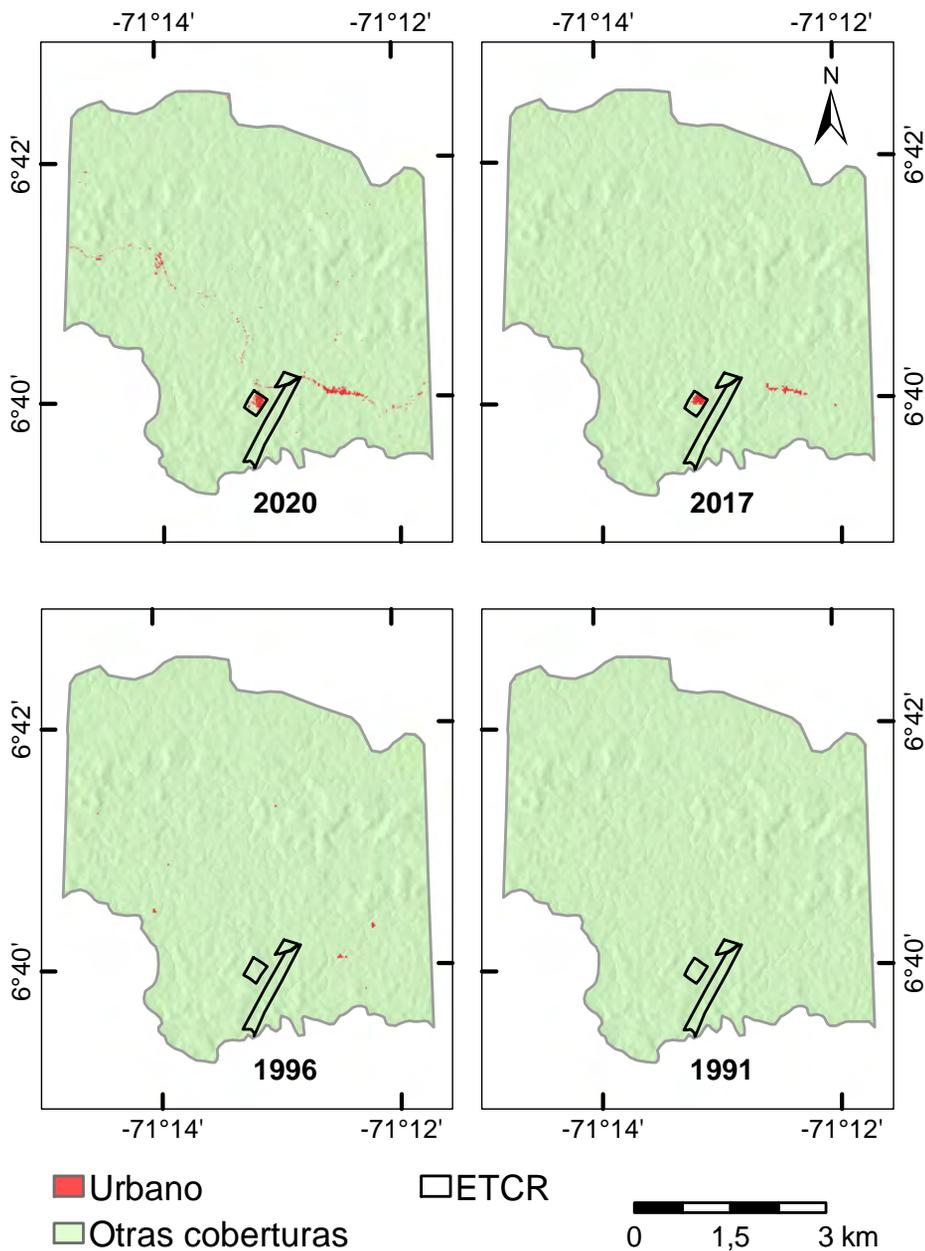


Figura 3: Evolución de la ocupación.

los estudios de amenaza por movimientos en masa está cubierta en su totalidad por depósitos cuaternarios no consolidados de origen aluvial en facies de ríos meándricos. La baja incisión de los cauces principales y secundarios, unida a la horizontalidad de la secuencia aluvial, no permiten conocer sino unos pocos metros de la cubierta mas recientes que se considera de edad Holoceno (INGEOMINAS, 2010).

Estos depósitos cuaternarios de origen aluvial en la zona de estudio lo conforman depósitos aluviales en llanuras inundables asociadas a material orgánico y recientes, y depósitos de orillales. Las llanuras inundables conforman un paisaje plano, entre los 140 y los 180 m.s.n.m., caracterizado por la presencia de áreas inundables o bajos, que se pueden relacionar lateralmente con humedales y en menor proporción por bancos (zonas ligeramente más altas) no inundables. Comúnmente los depósitos que conforman los bancos son limo-arenosos, mientras que los que constituyen los bajos tiene composición arcillosa. Los depósitos de orillales forman una llanura homogénea casi completamente plana, con mínimas manifestaciones de relieve interno y una incisión muy baja de los cauces, mejor de 5m en los ríos principales y de 3m en los caños mas importantes. Esta conformada por sedimentos finos, en lo fundamental arcillas, limos y arenas muy finas a finas, sobre las que se desarrolla un horizonte A de suelo orgánico inmaduro de 0,2 a 0,5m. Los depósitos aluviales en llanuras inundables son depósitos recientes adyacentes a los ríos y caños principales, asociados con su dinámica meándrica. Esta unidad puede tener un carácter pantanoso o también conformar diques que resaltan ligeramente del nivel de inundación, formando altos (secos).

Geomorfológicamente en el área de estudio se encuentran geoformas asociadas a un ambiente fluvial que Incluye las geoformas que se originan por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca (SGC, 2015) (Figura 4). Las unidades que se encuentran en la zona de estudio son descritas por SGC (2015) como planos anegadizos como superficies casi planas e irregulares, con pendiente suave. Se localizan en áreas planas mal drenadas. Su origen está relacionado a procesos de encharcamiento temporal, que de manera general bordean las cuencas de decantación. Su depósito está constituido por sedimentos finos limo y arcillosos. Están asociados a una gran superficie plana con dispersión de las aguas de inundación de los ríos principales y caños menores, que pierden su caudal temporalmente en los periodos de alta pluviosidad. Fisiográficamente, conforman un paisaje plano, ubicado entre los 140 y 180 m.s.n.m caracterizado por la presencia de áreas inundables o bajos, que se pueden relacionar lateralmente con humedales y en menor proporción por bancos (zonas ligeramente más altas) no inundables. Comúnmente los depósitos que conforman los bancos son limo-arenosos, mien-

tras que los que constituyen los bajos tienen composición arcillosa. Divagación de cauce activo (Fdc), geoforma activa, configurada a partir de una dinámica aluvial horizontal y se ensancha en función de la Llanura aluvial baja. Es un escenario dinámico donde el río transporta, acumula y re-moviliza grandes volúmenes de material de arrastre, Q_a . Se distinguen acumulaciones aluviales extensas dispuestas en planicies con aportes de sedimentos de desbore relacionados con inundaciones o encharcamientos ocasionales. Las planicies aluviales contienen acumulaciones de materiales transportados por los ríos que nacen en la cordillera Oriental y se caracterizan por presentar ocasionalmente una morfología de bajos, diques laterales y antiguos cauces parcialmente rellenos. Estos depósitos aluviales forman una llanura homogénea, casi completamente plana con mínimas manifestaciones de relieve interno y una incisión muy baja de los cauces. Las llanuras de inundación se localizan bordeando los cauces fluviales, donde es limitado localmente por escarpes de terraza. Adyacente a las corrientes y caños principales se presentan depósitos recientes en llanuras de inundación asociados a la acción dinámica actual y desborde recurrente de los ríos. Las llanuras de inundación se caracterizan por presentar relieve plano, tono grises de textura homogénea donde no hay vegetación y tonos oscuros heterogéneos donde ella existe (inundación).

1.5. Condiciones de lluvia del área de estudio

El estudio y análisis de la precipitación es una herramienta fundamental para el conocimiento de procesos morfodinámicos dominantes en la zona. Este estudio se realiza a partir de dos fuentes de datos de precipitación, uno de las estaciones pluviométricas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), con el objeto de conocer la precipitación medida sobre la superficie, y de los datos de precipitación estimada por el satélite CHIRPS v2p0 (*Climate Hazards center InfraRed Precipitation with Station data*) a cargo y desarrollado por UC Santa Barbara (UCSB) y la NASA. Con la información recolectada se desea conocer el comportamiento y variabilidad de la lluvia a nivel de cuenca a diferentes escalas temporales y espaciales.

1.5.1. Variación temporal

A continuación se presenta el análisis multitemporal de la variable precipitación en el área de influencia del antiguo ETCR Filipinas, utilizando las estaciones del IDEAM y los datos del CHIRPS.

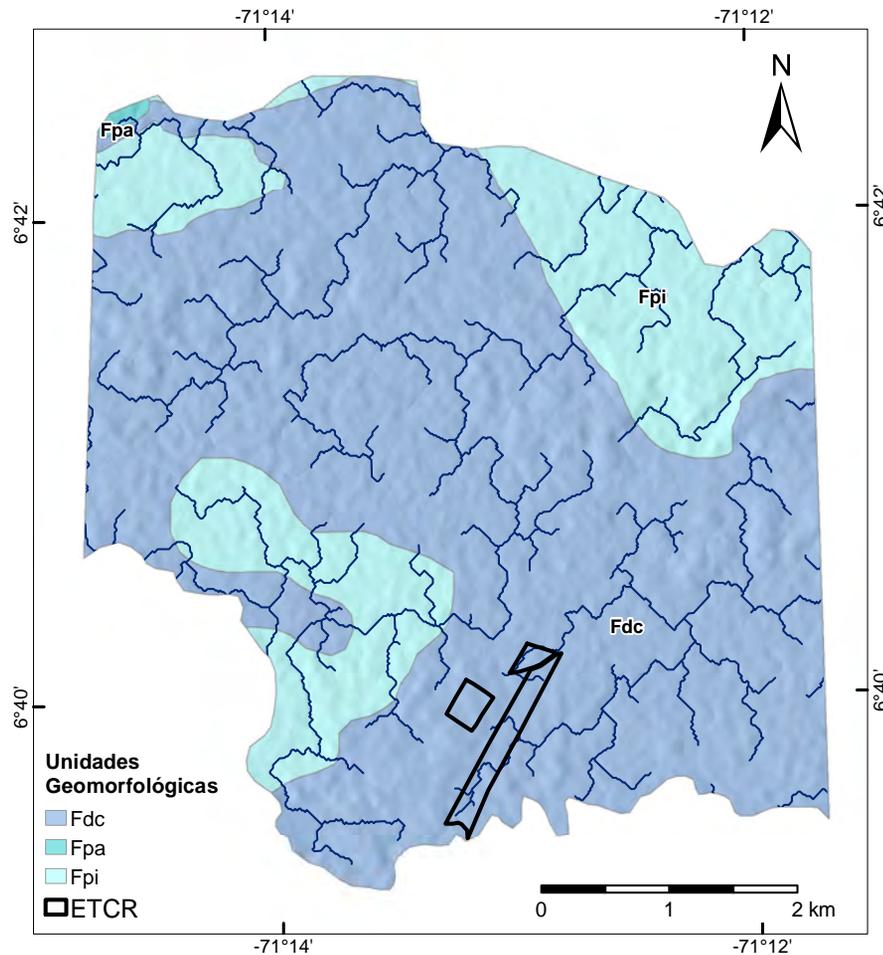


Figura 4: Mapa geomorfológico 1:100.000 predio Filipinas

1.5.1.1. Datos estaciones pluviométricas IDEAM

Se tomaron las estaciones pluviométricas del IDEAM más cercanas al área de estudio del antiguo ETCR-Filipinas, las cuales son mostradas en la Tabla 1 y su ubicación se visualiza en la Figura 5.

La Tabla 1 presentan los datos de la estación utilizada y el porcentaje de datos faltantes. Los datos faltantes son completados con la última observación válida vecina registrada.

Tabla 1: Estaciones pluviométricas del IDEAM cercanas al antiguo ETCR Filipinas.

Estación	Código	Inicio del registro	Datos faltantes (%)
ARAUQUITA	37050010	1972-06-01	5,5
MATEZAMURO	37050040	1983-05-09	7,1
MORICHAL	36030030	1982-12-18	12,7

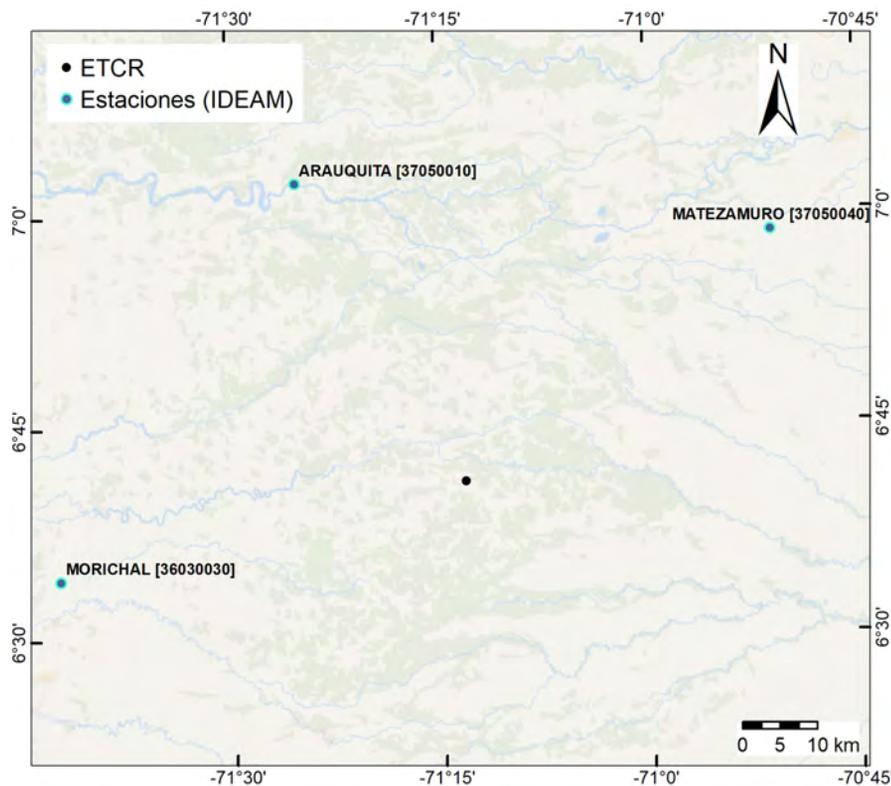


Figura 5: Estaciones IDEAM cercanas al antiguo ETCR-Filipinas

Precipitación diaria multianual IDEAM. Los datos de precipitación se analizaron en diferentes escalas temporales como se mencionó anteriormente. Los resultados mostrados en esta sección hacen referencia al análisis de las precipitaciones diarias multianuales, donde se busca los valores medios y máximos para cada uno de los días, los resultados se muestran en las Figuras 6, 8 y 7, donde la línea azul pálida representa la precipitación máxima diaria multianual (PDMax), la línea azul oscuro es la PDMax con promedio móvil de 5 días (PDMA), la línea negra pálida son los datos de precipitación media diaria multianual (PDMean) y la línea negra representa PDMean con promedio móvil de 5 días (PMDMA).

Dentro de los resultados obtenidos se obtiene que, para la estación Arauquita (Figura 6), reporta que los valores máximos de precipitaciones diarias multianuales oscilan entre 10 a 200 mm/día y precipitación media diaria multianual, varía al rededor de los 5,4 mm/día, así mismo se muestra que en la estación Morichal (Figura 7) posee valores van desde los 10 a los 200 mm/día y en lo que respecta la precipitación media diaria multianual, esta oscila al rededor de los 7 mm/día, por último se tiene a la estación Matezamuro (Figura 8), la

cual presenta precipitaciones máximas diarias multianuales que fluctúan entre los 10 a los 140 mm/día, y las precipitaciones diarias multianuales oscilan al rededor de los 5,3 mm/día; esta última estación, a comparación con las demás evaluadas, es que la que reporta la menor precipitación máxima que se puede alcanzar en un día.

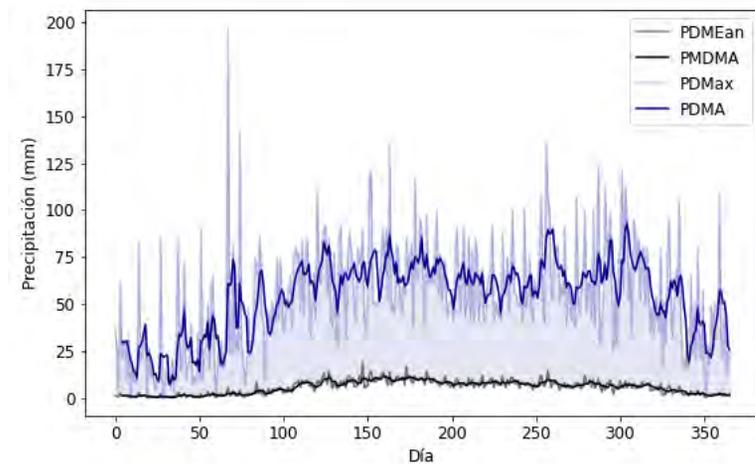


Figura 6: Precipitación diaria multianual estación Arauquita

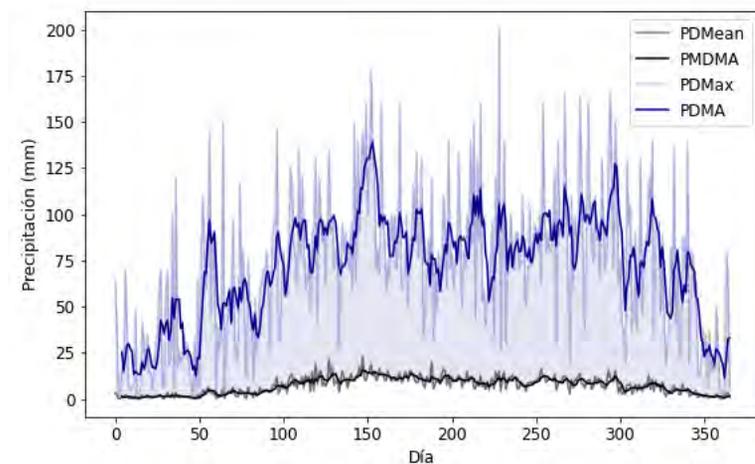


Figura 7: Precipitación diaria multianual estación Morichal

Adicionalmente, se puede mostrar que de los resultados obtenidos, la precipitación media diaria multianual de todas las estaciones presenta sus valores máximos entre el día 120 (principios de Mayo) hasta el día 200 (Mediadios de Julio).

Precipitación mensual multianual con estaciones IDEAM. Los resul-

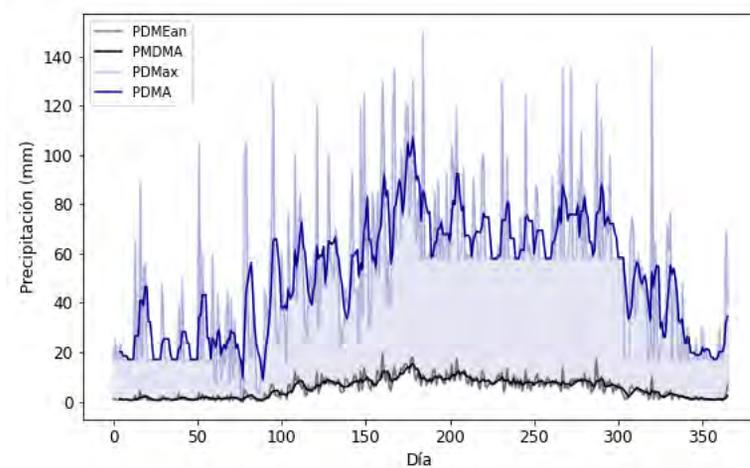


Figura 8: Precipitación diaria multianual estación Matezamuro

tados obtenidos para cada una de las estaciones, se encuentran en las Figuras 9, 10 y 11.

De lo obtenido de las precipitaciones medias multianuales en todas las estaciones, se puede entender que las precipitaciones sobre el territorio son unimodales con periodos fuertes de precipitación en los meses Mayo, Junio y Julio, donde el mes donde caen más precipitaciones es Junio alcanzando precipitaciones por encima de los 200 mm/mes; por otro lado, se poseen periodos de sequía intensa en los meses Diciembre, Enero y Febrero, donde en Enero, el cual es el mes más seco, puede existir precipitaciones cercanas a los 0 mm/mes. Así mismo, se puede mostrar que, con respecto a las precipitación máxima mensual multianual estas pueden variar entre los 100-1200 mm/mes, 100-1700 mm/mes y 100-1000 mm/mes para las estaciones Arauquita, Matezamuro y Morichal respectivamente, de aquí se puede determinar que la estación sobre la cual ha caído las mayores precipitaciones a escala mensual, es la estación Matezamuro. Por otra parte, el promedio de la precipitación media mensual multianual es de 165,5, 160,6 y 212,9 mm/mes para las estaciones Arauquita, Matezamuro y Morichal respectivamente. En lo que respecta a la precipitación mínima alcanzada en cada una de las estaciones, es importante resaltar que el registro más bajo se presenta en la estación Arauquita, donde se visualiza que en cada uno de los meses las precipitaciones lograron alcanzar al menos los 0 mm/mes.

Analizando los resultados mostrados en las Figuras 9B, 10B y 11B sobre la precipitación media mensual multianual en periodos EL Niño y La Niña, se tiene que el comportamiento es distinto a lo esperado, es decir, en meses El Niño hay más precipitaciones que en periodos La Niña, esto es debido a que

el impacto de El Niño es más intenso e inmediato al occidente que al oriente del país (Poveda, 2004), además el IDEAM 2007 ha reportado que durante el primer trimestre del segundo año con ocurrencia de un típico El Niño, la alteración más probable es que ocurra de condiciones normales a excesos de las precipitaciones sobre la región Orinoquía de Colombia, así mismo en el primer trimestre del segundo año con ocurrencia de un evento La Niña, se evidencia un déficit de precipitaciones sobre el Orinoco Colombiano.

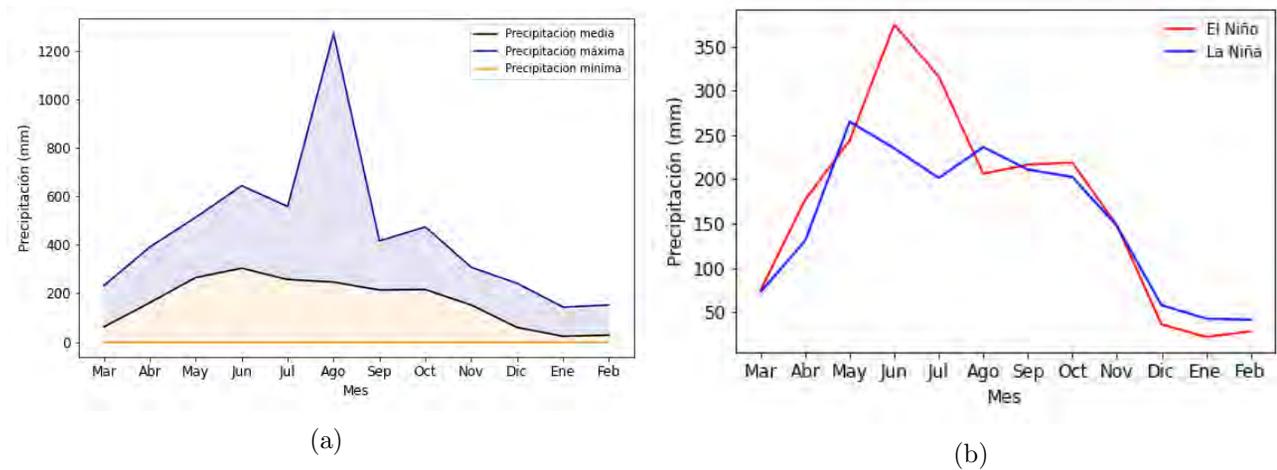


Figura 9: Precipitación mensual multianual para la estación Arauquita, A)Valores medios, máximos y mínimos. B)Precipitación media mensual multianual para meses con ocurrencia del El Niño y La Niña

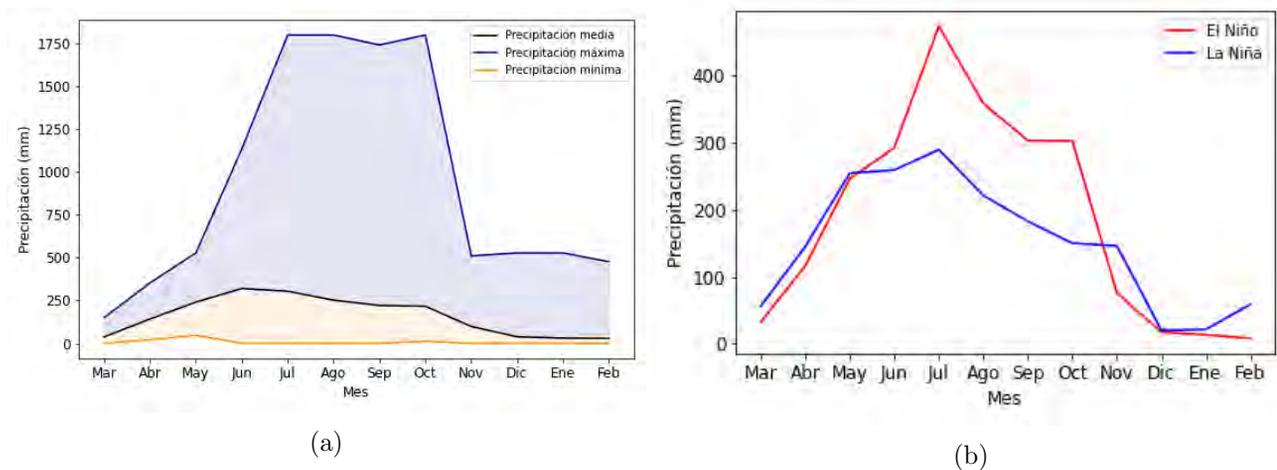


Figura 10: Precipitación mensual multianual para la estación Matezamuro, A)Valores medios, máximos y mínimos. B)Precipitación media mensual multianual para meses con ocurrencia del El Niño y La Niña

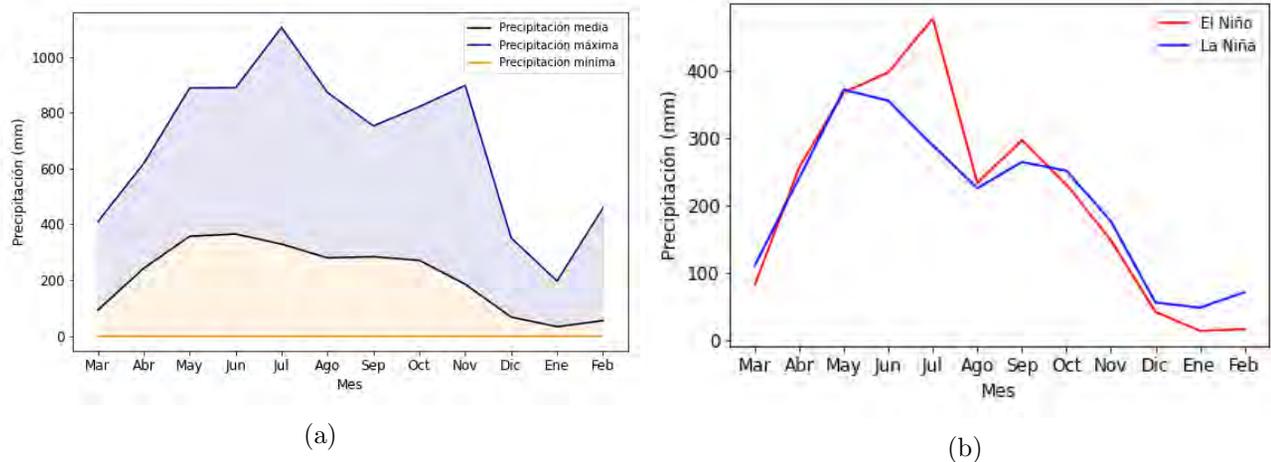


Figura 11: Precipitación mensual multianual para la estación Morichal, A)Valores medios, máximos y mínimos. B)Precipitación media mensual multianual para meses con ocurrencia del El Niño y La Niña

Precipitación Anual con estaciones IDEAM. El ENSO es un fenómeno natural del estado de la atmósfera y el océano sobre el pacífico central (NOAA, 2020). Este tiene influencias sobre las anomalías hidrológicas en Colombia, es decir, se presentan anomalías negativas de precipitación y afluencias durante eventos El Niño y lo opuesto cuando se atraviesa por periodos La Niña (Poveda y Mesa, 2015). Para evaluar la influencia del ENSO se utiliza el *The bi-monthly Multivariate El Niño/Southern Oscillation index* (MEI), el cual acopla variables tales como presión del nivel del mar, temperatura superficial del mar, vientos zonales y meridionales y la radicación de onda larga saliente (NOAA, 2020); dependiendo de las anomalías en las variables mencionadas, este índice determina los meses de ocurrencia El Niño, La Niña o Neutro. Por otro lado, para establecer estas condiciones pero a escala anual, se procede a clasificar cada año utilizando la frecuencia de cada fase según el MEI.

El ENSO es un acontecimiento cuasi-periódico con una frecuencia, en promedio, cuatrianual (Poveda y Mesa, 2015), por tanto, estudiar las precipitaciones anuales nos permite observar la recurrencia del evento y los cambios producidos en las precipitaciones a escala anual. Los resultados para cada una de las estaciones, se presentan en las Figuras 12, 13 y 14. En lo obtenido, se puede evidenciar la periodicidad de los eventos El Niño y La Niña.

Los periodos reportados con las máximas precipitaciones en cada una de las estaciones son, por encima de los 3000, cercanos a los 8000 y 6000 mm/mes para las estaciones Arauquita, Matezamuro y Morichal respectivamente, además,

estos años reportados coincide con periodos El Niño según lo reporta el MEI. Con respecto a las precipitaciones anuales mínimas, esta se encuentra por debajo de los 500 mm/mes para las estaciones Arauquita y Morichal, por otra parte, en la estación Matezamuro se poseen lluvias mínimas al año al rededor de los 1000 mm/mes. Por otro lado, la precipitación media a escala anual, se tiene la siguiente información 1991, 4, 1940, 5 y 2574, 2 mm/año para las estaciones Arauquita, Matezamuro y Morichal, respectivamente, de aquí se puede observar que la estación que más precipitaciones reporta es Morichal.

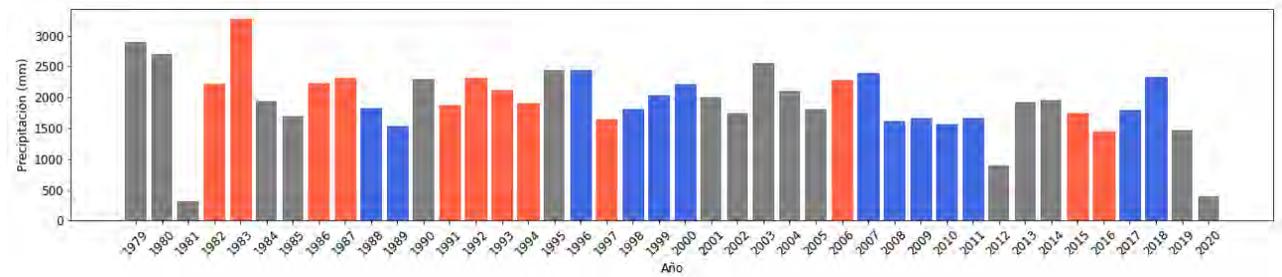


Figura 12: Precipitación anual multianual de la estación Arauquita, donde, las barras color rojo representan la ocurrencia de El Niño, el color azul La Niña y el gris periodos Neutros.

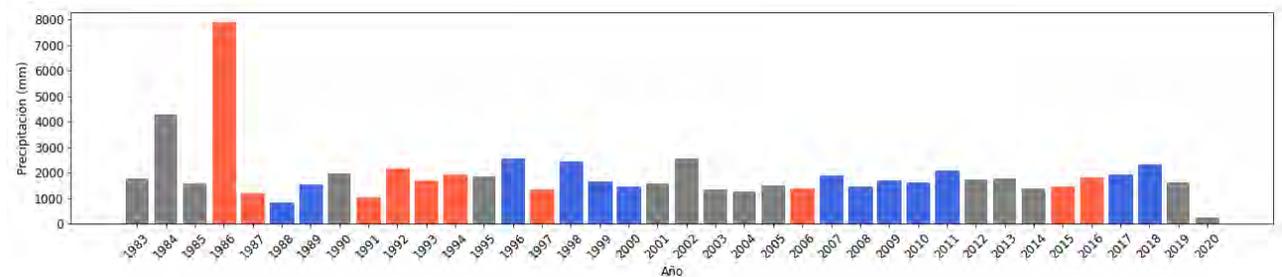


Figura 13: Precipitación anual multianual de la estación Matezamuro, donde, las barras color rojo representan la ocurrencia de El Niño, el color azul La Niña y el gris periodos Neutros.

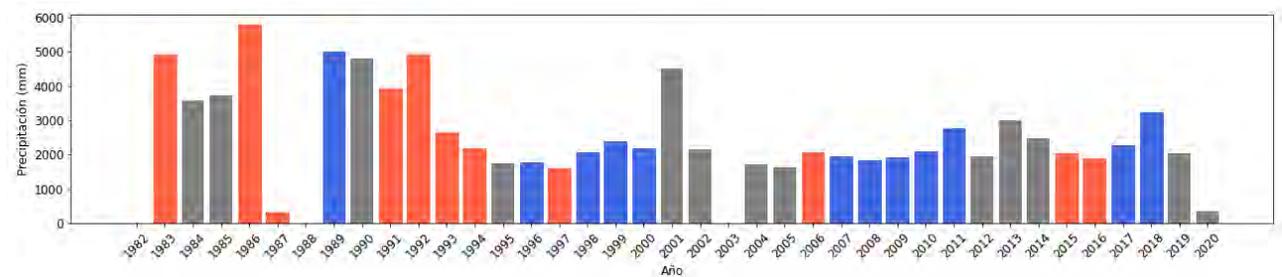


Figura 14: Precipitación anual multianual de la estación Morichal, donde, las barras color rojo representan la ocurrencia de El Niño, el color azul La Niña y el gris periodos Neutros.

1.5.1.2. Datos estimados por satélite CHIRPS

Además del uso de los datos pluviométricos de IDEAM se ejecutó el análisis de la precipitación estimada por satélite. Una de las ventajas de CHIRPS es su registro de datos de estimación de la precipitación para todo el planeta desde 1981 hasta la actualidad y su resolución espacial con celdas de 5,5km, el cual es de los insumos de lluvia satelital más detallados.

A partir del procesamiento realizado en la plataforma de *Google Earth Engine* se elaboró un algoritmo en dicha plataforma para conocer la cantidad de lluvia que el satélite CHIRPS estima se precipita sobre la cuenca donde se encuentra el antiguo ETCR, desde el año 1981 hasta el 2020. Es importante aclarar que en este caso, el código mencionado, agrega la precipitación distribuida de toda la cuenca a un solo valor, esto permite realizar cálculos del comportamiento de la precipitación en distintas escalas de tiempo (diarias, mensuales y anuales), similar al elaborado para la estación del IDEAM. Cabe resaltar que se hace el uso de las dos herramientas con fines complementarios en el análisis de lluvia para aproximarse desde diferentes fuentes al comportamiento de las variaciones climáticas en el área de estudio, esto permite profundizar más en el conocimiento de la amenaza por torrencialidad y establecer umbrales y sistemas de alerta temprana para la zona, como medidas no estructurales que mitigan las condiciones de riesgo.

Precipitación diaria multianual CHIRPS. Los resultados mostrados en la Figura 15 hacen referencia al análisis de las precipitaciones diarias multianuales sobre la cuenca del río Ele, con valores medios y máximos para cada uno de los días del año. Se puede evidenciar que según los datos registrados por CHIRPS se observan precipitaciones máximas (línea color azul opaco) por encima de los 120 mm/día y la precipitación media (línea negra opaca) puede oscilar alrededor de los 0-15 mm al día.

Precipitación mensual multianual CHIRPS. Las Figura 16 señala que las precipitaciones media mensual multianual sobre el territorio es unimodal, lo cual es concorde con el análisis realizado previamente de los datos brindados por el IDEAM, con periodos de lluvias fuertes en los meses de Mayo, Junio y Julio y precipitaciones medias oscilan entre los 50 hasta por encima de los 300 mm/mes, por otra parte los valores máximos de la precipitación mensual multianual, puede llegar a alcanzar precipitaciones del orden de los 550 mm/mes, en contraste, las precipitaciones mínimas alcanzadas rozan los 0 mm/mes.

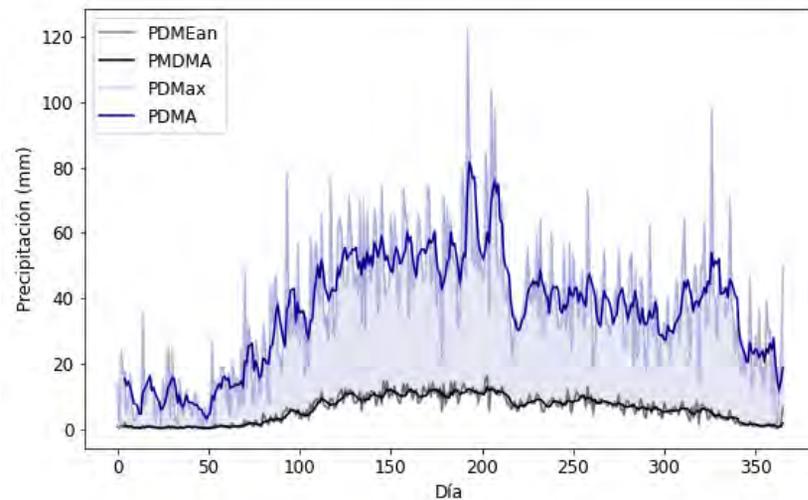


Figura 15: Precipitación diaria multianual estimación CHIRPS a nivel de cuenca

En lo que respecta a la precipitación media mensual multianual en meses El Niño y La Niña (Figura 16b), se visualiza que, según lo captado por CHIRPS, no existe una relación clara de que las anomalías de precipitación sea provocados por la influencia del ENSO sobre el territorio, lo que contrarresta la evidenciado al momento de analizar la información brindada por el IDEAM.

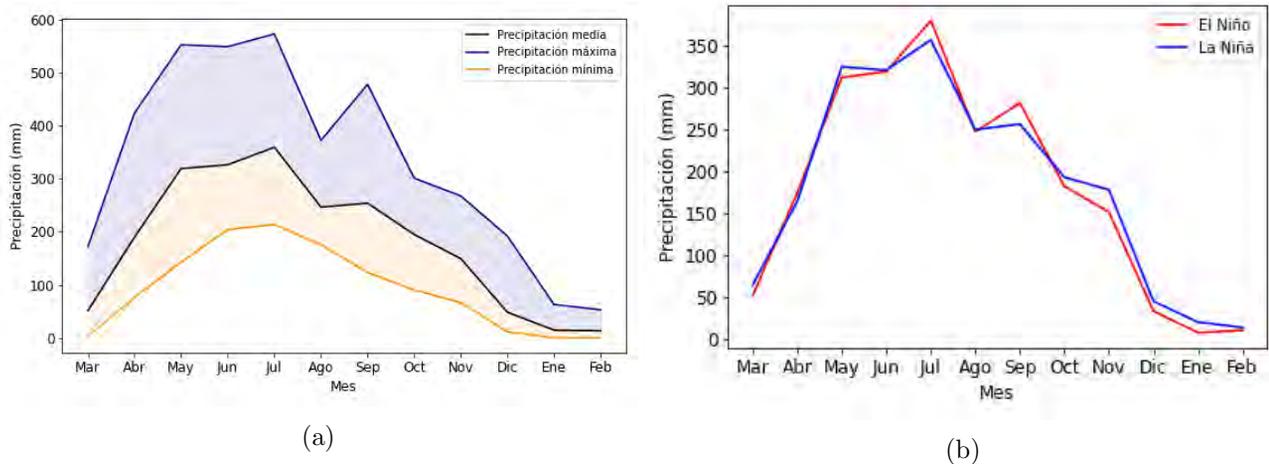


Figura 16: Precipitación mensual multianual CHIRPS a nivel de cuenca, a) Valores medios, máximos y mínimos. b) Precipitación media mensual multianual para meses con ocurrencia del El Niño y La Niña

Precipitación Anual CHIRPS. La Figura 17, señala los valores de lluvia anual, registrados por CHIRPS, oscilan entre 2000 a 3000 mm/año en la cuenca que se encuentra el antiguo ETCR. Se puede evidenciar que, los cambios en las

magnitudes de las precipitaciones a escala anual no es suficientemente perceptible con la ocurrencia de un evento macro-climático, como lo es El Niño o La Niña.

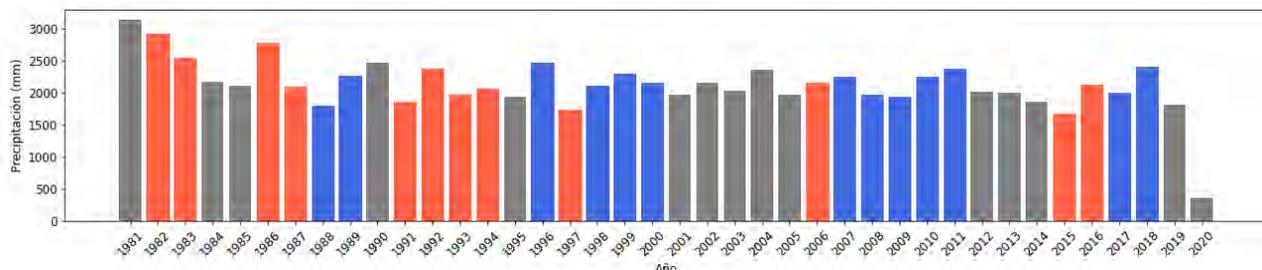


Figura 17: Precipitación anual multianual CHIRPS a nivel de cuenca, donde, las barras color rojo representan la ocurrencia de El Niño, el color azul La Niña y el gris periodos Neutros.

1.5.2. Correlación IDEAM-Chirps

Teniendo en cuenta que existen distintas fuentes de información para la precipitación, se evaluó la correlación entre la estación del IDEAM y CHIRPS para la zona de estudio. Por tanto, se procede a tomar los datos dados por CHIRPS, en la ubicación exacta donde se encuentra el pluviómetro del IDEAM y se compara con los datos registrados en la estaciones Arauquita, Matezamuro y Morcihal, agregando los datos a escala diaria, mensual y anual.

Los resultados a escala diaria son mostrados en la Figura 18, y se visualiza que, en todas las estaciones, no existe una correlación definida entre las variables, más específicamente se tiene que, el coeficiente de correlación de Pearson entre CHIRPS y las estaciones es de 0,26, 0,18 y 0,18 para las estaciones Arauquita, Matezamuto y Morichal, respectivamente, lo cual respalda lo evidenciado en la Figura 18.

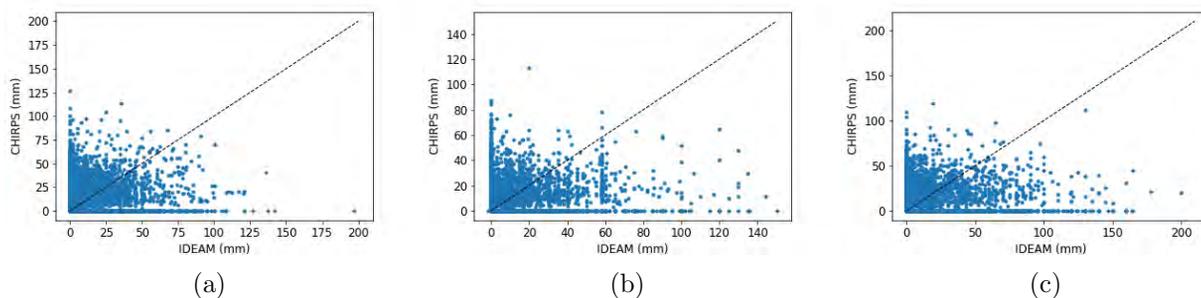


Figura 18: Correlación a escala diaria de la información dada por los pluviómetros del IDEAM y CHIRPS en las estaciones A)Arauquita, B) Matezamuro y C) Morichal.

En lo que respecta a los resultados de la correlación a escala mensual, como se puede observar en las Figura 19, se evidencia una relación significativa entre los resultados brindados por el IDEAM y CHIRPS, esto es respaldado por los resultados del coeficiente de correlación de Pearson donde se posee valores de 0,7, 0,6 y 0,65 para las estaciones Arauquita, Matezamuro y Morichal, respectivamente.

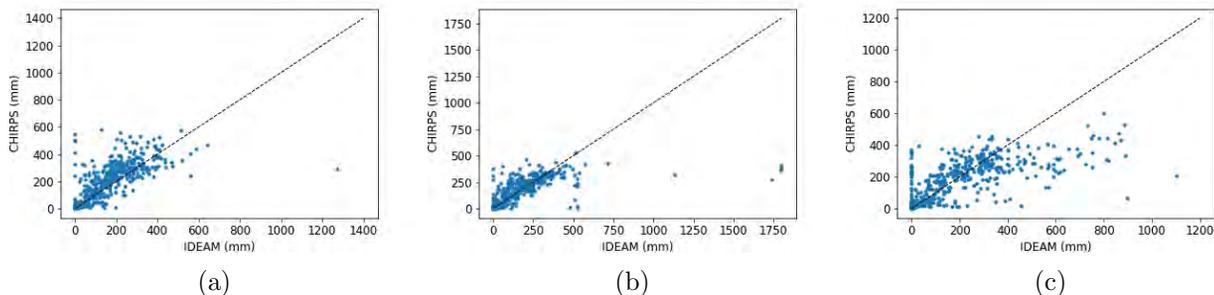


Figura 19: Correlación a escala mensual de la información dada por los pluviómetros del IDEAM y CHIRPS en las estaciones A)Arauquita, B) Matezamuro y C) Morichal.

La comparación de la información brindada por CHIRPS y el IDEAM a escala anual, se evidencia en las Figuras 20, donde, la correspondencia entre los datos no es evidente, en este caso se poseen coeficientes de correlación de Pearson de 0,37,0,47 y 0,2 para las estaciones Arauquita, Matezamuro y Morichal, respectivamente, por tanto se puede intuir que la relación de las variables a escala anual no es significativa.

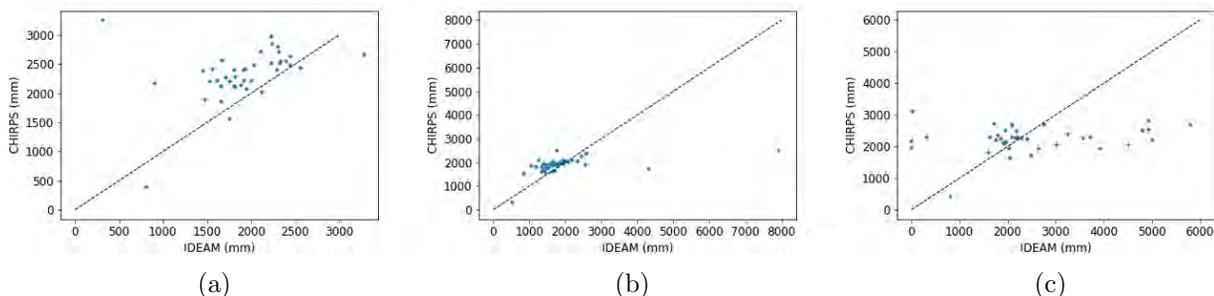


Figura 20: Correlación a escala anual de la información dada por los pluviómetros del IDEAM y CHIRPS en las estaciones A)Arauquita, B) Matezamuro y C) Morichal.

1.5.3. Variación espacial

La información satelital permite evaluar cuál es la distribución espacial de las precipitaciones sobre la zona de estudio, esto debido a que el número de

estaciones del IDEAM no son representativas para poseer un conocimiento certero de como cambian a nivel espacial las precipitaciones en el sitio de interés. Por tanto, se evalúa la distribución espacial de las precipitaciones, a distintas escalas de tiempo, utilizando la información brindada por CHIRPS sobre la cuenca, especialmente a escala mensual y anual de acuerdo con los resultados anteriores.

Precipitación diaria multianual CHIRPS. La precipitación diaria distribuida se encuentra en la Figura 21, donde, se puede observar que en promedio, la zona oeste de la cuenca es donde se presentan las máximas precipitaciones y los valores medios diarios pueden oscilar entre los 5,8 a 6,2 mm/día. Por otro lado las precipitaciones máximas a escala diaria (Figura 21b) han ocurrido principalmente en la zona central de la cuenca del río Ele alcanzando los 143,2 mm/día.

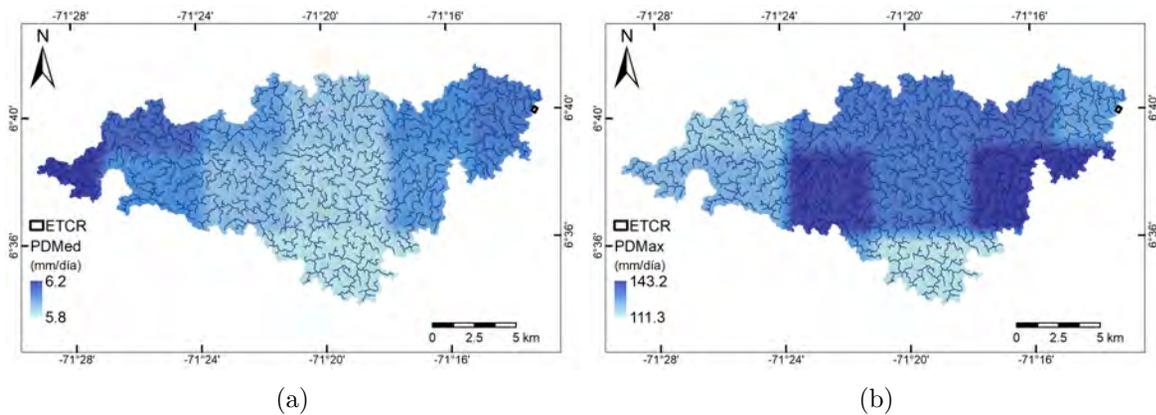


Figura 21: Variación espacial de la A)Precipitación diaria media (PDMed) y B)Precipitación diaria máxima (PDMMax)

Precipitación mensual multianual CHIRPS. En lo que respecta a la distribución espacial de las precipitaciones a escala mensual, se tienen los resultados mostrados en la Figura 22, donde, al igual que a escala diaria, la máxima precipitación media mensual (Figura 22 A), ocurren al oeste de la cuenca y los valores en los cuales varía es entre los 175,2 a los 188,5 mm/mes, así mismo se puede evidenciar en el mapa de precipitaciones máximas (Figura 22 B), que la zona donde ha caído más agua, a escala mensual, es en la zona nor-este y nor-oriental de la cuenca, con precipitaciones de 651,4 mm/mes. Por el contrario, se tiene lo mostrado en la Figura 22 C donde se visualiza la distribución espacial de las precipitaciones mínimas, y se puede observar que sobre todo el territorio se han logrado obtener precipitaciones de 0 mm al mes, según lo reportado por CHIRPS.

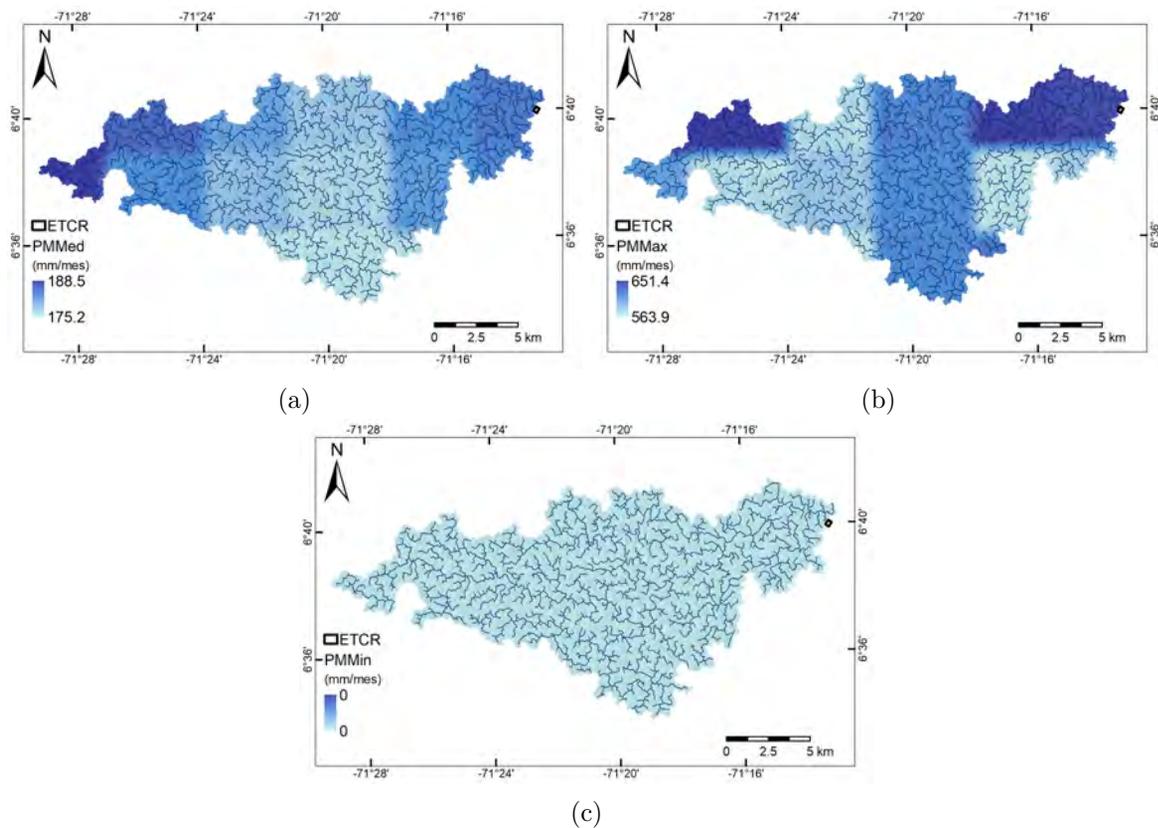


Figura 22: Variación espacial de la A)Precipitación mensual media (PDMed), B)Precipitación mensual máxima (PDMax) y C)Precipitación mensual mínima (PDMin)

1.6. Información secundaria

1.6.1. Estudios previos

Teniendo en cuenta el área de estudio y el alcance del proyecto, se realizó una búsqueda de información secundaria existente de la región y el municipio, en donde se encuentra el antiguo ETCR Filipinas. A continuación se describen de forma general, los estudios de mayor importancia para el municipio de Arauquita:

- **Estado del arte del ordenamiento territorial en Arauca (Editorial de la Revista “Proyección”, 2008):** Este documento recopila información relacionada con el proceso histórico de ordenamiento territorial en el departamento de Arauca, donde identifica, planes, proyectos, POT, PBOT, EOT municipales, políticas entre otros documentos.
- **Análisis ambiental y estructura actual del territorio (Del y De, 2016):** Este documento describe de forma amplia el territorio y aporta

diferentes análisis para la comprensión de la zona. Además, hace un estudio de cada municipio con los cauces más importantes de ellos.

- **Estructura territorial de Arauca y su evolución desde la población (Arauca, No, y Departamental, 2016):** En este documento se realiza una recopilación o base de datos de todos los municipios del departamento de Arauca, donde se hace énfasis en el caserío Filipinas como antiguo ETCR.

1.6.2. Información Cartográfica

Para los Estudios Básicos de Amenaza se utilizaron los modelos digitales de elevación disponibles de la misión ALOS PALSAR de la Agencia de Exploración Aeroespacial Japonesa (JAXA) en colaboración con la Administración Nacional Espacial y Aeronáutica (NASA) (<https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/>). El satélite ALOS durante su operación (May 16, 2006 – April 22, 2011), colectó imágenes de radar en escenas de 50 km x 70 km de todo el planeta cada 45 días aproximadamente a través de su sensor PALSAR (*Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar*). Las imágenes PALSAR están disponibles según 3 niveles de procesamiento con correcciones de terreno y radiométrico (1.0-Imagen Cruda, 1.1-Datos comprimidos o 1.5-Imagen expandida) en formato CEOS con una resolución radiométrica de 16 bits.

Para la región ecuatorial donde se encuentra Colombia, entre latitudes 60°N y 57°S, la mejor resolución espacial disponible por la misión es de 12,5 m del modelo denominado SRTMGL1 en forma to geotiff y con datum EGM96 (*Earth Gravitational Models*), el cual utilizado por el geoide de referencia del WGS (*World Geodesic System*).

En términos de imágenes satelitales disponibles, se utilizaron las misiones de observación terrestre *Sentinel* de la Agencia Espacial Europea y *Land-sat* de la Administración Nacional Espacial y Aeronáutica (NASA) y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Estas imágenes se obtuvieron y procesaron a través de la herramienta *Google Earth Engine* (<https://earthengine.google.com/>).

Sentinel-1 (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1>) es una misión que se compone de una constelación de dos satélites, Sentinel-1A y Sentinel-1B, que comparten el mismo plano orbital y fue lanzada en el año 2014. Estos satélites operan día y noche un radar de apertura sintética (SAR) de la banda C y proporcionan imágenes sin importar el clima o la nubosidad

presente. Cada escena capturada cuenta con cuatro bandas de polarización que permiten las combinaciones VV: co-polarización sencilla del transmisor vertical con el receptor vertical, HH: co-polarización sencilla del transmisor horizontal con el receptor horizontal, VV + VH: polarización cruzada de doble banda del transmisor vertical con el receptor horizontal y HH + HV: polarización cruzada de doble banda del transmisor horizontal con el receptor vertical (ESA, 2020; GoogleEarthEngine, 2020b).

De esta misión para la zona de estudio se cuenta con registro desde el año 2014 y se obtienen imágenes anuales procesadas en la plataforma *Google Earth Engine* de la cual se presenta una imagen representativa en la Figura 23 correspondiente al año 2020.

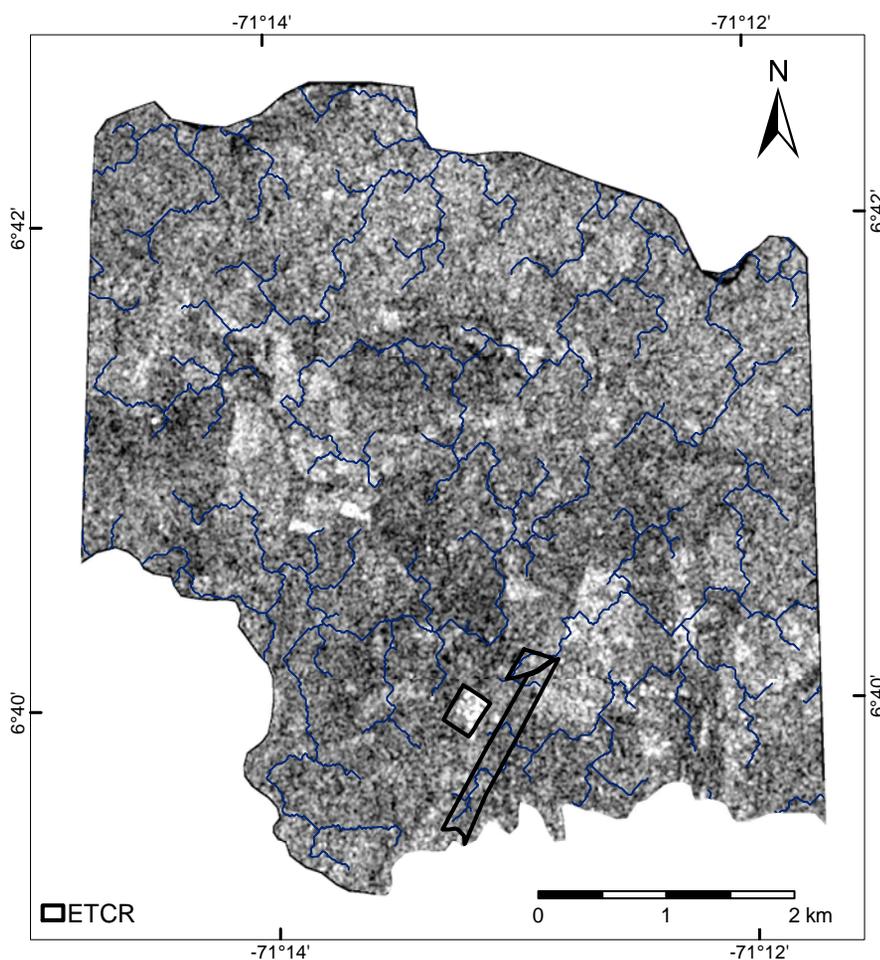


Figura 23: Imagen satelital representativa de la misión Sentinel 1 del año 2020.

Sentinel-2 (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>) es una misión multispectral lanzada en el año 2015 que se compone de 13 bandas. Las primeras cuatro son las bandas del espectro visible: azul (450-520

nm), verde (540-570 nm) y rojo (650-680 nm) y el infrarrojo cercano (780-900 nm) que tienen una resolución espacial de 10 m. Adicionalmente presenta cuatro bandas en el infrarrojo visible y cercano (VNIR; 690-710 nm, 730-740 nm, 770-790 nm y 850-870 nm) y dos bandas de infrarrojo de onda corta (SWIR; 1.560-1.650 nm y 2.100-2.280 nm) para aplicaciones como nieve, hielo y detección de nubes o evaluación de la humedad de la vegetación con resolución espacial de 20 m. Y, finalmente, tres bandas de 60 m de resolución espacial centradas en la detección de nubes y corrección atmosférica para aerosoles (430-450 nm), vapor de agua (930-950 nm) y detección de cirros (1360-1390 nm) (ESA, 2020; GoogleEarthEngine, 2020b).

De esta misión para la zona de estudio se cuenta con registro desde el año 2018 y se obtienen imágenes anuales procesadas en la plataforma *Google Earth Engine* para reducir su cobertura de nubes. Se presenta una imagen representativa en la Figura 24 correspondiente al año 2020.

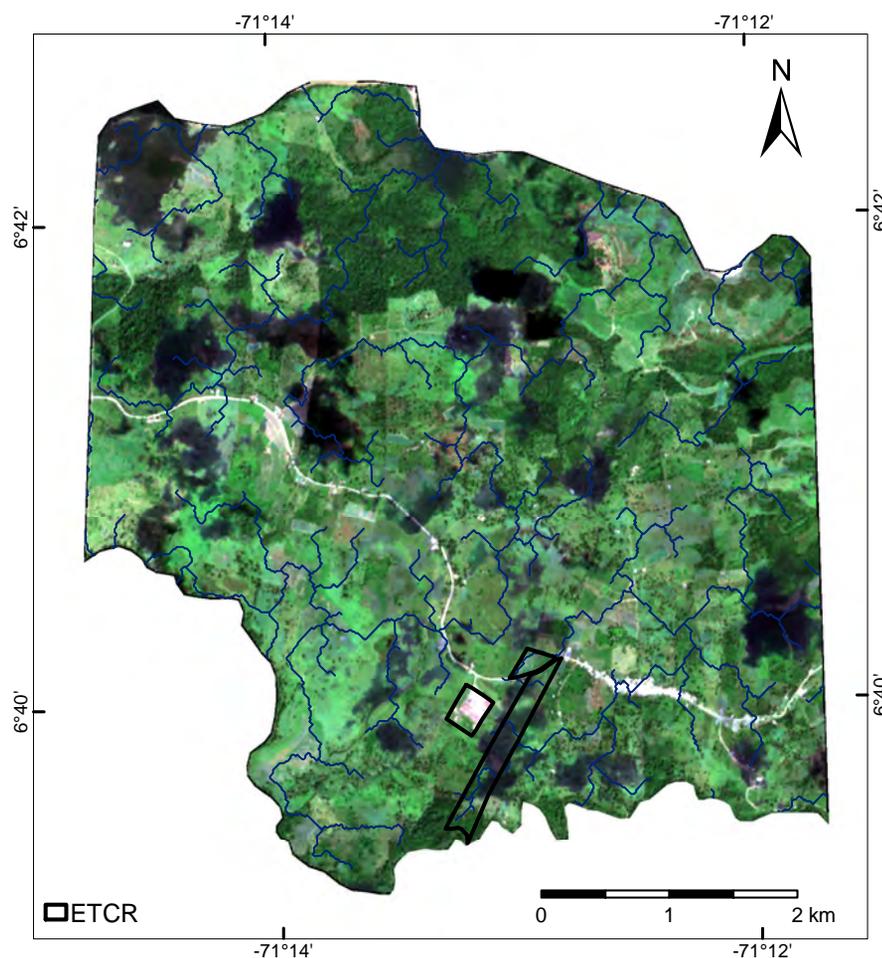


Figura 24: Imagen satelital representativa de la misión Sentinel 2 del año 2020.

En cuanto al programa Landsat (<https://landsat.gsfc.nasa.gov/>), se cuenta con imágenes de los satélites Landsat 8, Landsat 7, Landsat 5 y Landsat 4, donde se cuenta con bandas del espectro visible: azul (452-512 nm), verde (533-590 nm) y rojo (636-673 nm), además del infrarrojo cercano (851-879 nm) y dos bandas de infrarrojo de onda corta (1.566-1.651 y 2.107-2.294 nm) con resolución espacial de 30 m. Además, cuenta con una banda pancromática (503-676 nm) con resolución de 15 m y dos bandas térmicas (10.600-11.190 y 11.500-12.510 nm) con resolución de 100 m (GoogleEarthEngine, 2020a; NASA, 2020).

De Landsat 8 se cuenta para la zona de estudio con registros desde el año 2013 procesadas en la plataforma *Google Earth Engine* para reducir su cobertura de nubes. La Figura 25 corresponde a una imagen del año 2020 que cubre el antiguo ETCR Filipinas.

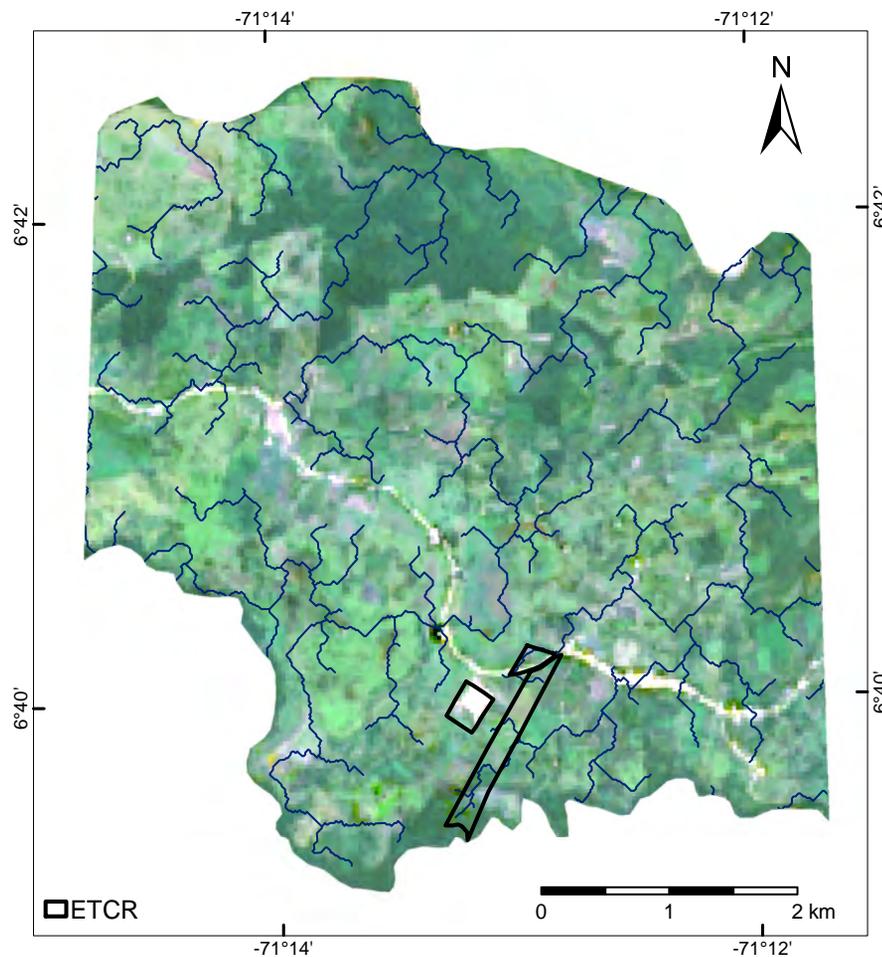


Figura 25: Imagen satelital representativa de la misión Landsat 8 del año 2020.

En cuanto al satélite Landsat 7 se cuenta con imágenes de la zona de estudio desde el año 1999, sin embargo esta misión cuenta con un defecto en el

Corrector de Línea de Escaneo (SLC, por sus siglas en inglés) que genera un bandeamiento sobre sus productos (GoogleEarthEngine, 2020a; NASA, 2020). Del satélite Landsat 5 se cuenta con registro del antiguo ETCR Filipinas desde el año 1984 hasta el año 2011, aunque no de forma continua. Finalmente, del Landsat 4 se cuenta con registros entre los años 1988 y 1993, aunque no de forma continua. La Figura 26 presenta una de las imágenes más antiguas del programa Landsat 5 que se obtuvo de la zona de estudio, año 1986.

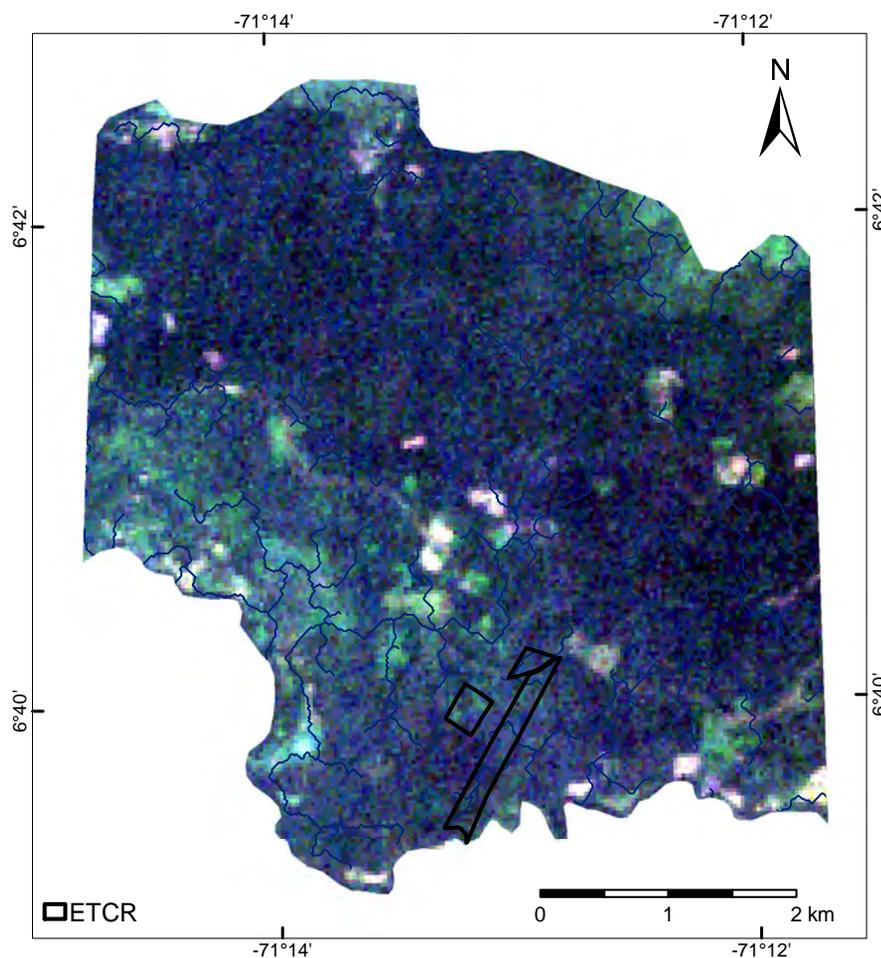


Figura 26: Imagen satelital representativa de la misión Landsat 5 del año 1986.

Referencias

- Alcaldía de Arauquita Arauca. (2015). *Nuestro municipio*. Descargado de https://web.archive.org/web/20151203205214/http://www.arauquita-arauca.gov.co/informacion_general.shtml
- Arauca, D. E., No, C. I., y Departamental, O. (2016). ESTRUCTURA TERRITORIAL DE ARAUCA Y SU CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No . 532 DE PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEPARTAMENTAL ” Universidad de los Llanos – Gobernación de Arauca. (532), 1–63.
- Del, E., y De, C. I. N. (2016). ANÁLISIS AMBIENTAL Y. (532), 1–87.
- Editorial de la Revista “Proyección”. (2008). Ordenamiento Territorial en Argentina. (532), 1852–6.
- ESA. (2020). *Sentinel missions*. Descargado de <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions>
- GoogleEarthEngine. (2020a). *Landsat collection*. Descargado de <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/landsat>
- GoogleEarthEngine. (2020b). *Sentinel collection*. Descargado de <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel>
- INGEOMINAS. (2010). *Informe Final Plancha 139-Betoyes* (Inf. Téc.). doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
- Montealegre, J. (2007). Modelo institucional del ideam sobre el efecto climático de los fenómenos el niño y la niña en colombia. *Instituto De Hidrologia, Meteorologia Y Estudios Ambientales, Ideam*.
- NASA. (2020). *Landsat science*. Descargado de <https://landsat.gsfc.nasa.gov/>
- NOAA. (2020). *Multivariate enso index version 2 (mei.v2)*. Descargado de <https://psl.noaa.gov/enso/mei/>
- Poveda, G. (2004). La hidroclimatología de colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. *Rev. Acad. Colomb. Cienc*, 28(107), 201–222.
- Poveda, G., y Mesa, Ó. J. (2015). Las fases extremas del fenómeno enso (el niño y la niña) y su influencia sobre la hidrología de colombia. *Tecnología y ciencias del agua*, 11(1), 21–37.
- SGC. (2015). *PROPUESTA METODOLÓGICA SISTEMÁTICA PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS GEOMORFOLÓGICOS ANALÍTICOS APLICADOS A LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000. ANEXO A GLOSARIO DE TÉRMINOS GEOMORFOLÓGICOS* (Inf. Téc.). Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Parte I

Viabilidad Jurídica

Capítulo 2

Viabilidad Jurídica

Introducción

El capítulo tiene como propósito analizar el sustento normativo que permita viabilizar la futura Fase III (Construcción) del proyecto de vivienda en el antiguo ETCR- localizado en el municipio de Arauquita, para que aquellas personas que hicieron dejación de las armas puedan acceder a una vivienda en condiciones dignas, producto de un ejercicio de planificación del territorio rural, de modo que se constituya en uno de los elementos que contribuyan a la consolidación de estos espacios como territorios de paz.

Recogiendo lo anterior, el presente capítulo tendrá en cuenta en el análisis, no solo la zona donde se ubica el antiguo ETCR, sino los territorios aledaños al mismo, con el propósito de lograr su cohesión territorial en una zona determinada, donde puedan unirse esfuerzos y verse beneficiados de las políticas públicas derivadas de la firma del Acuerdo de Paz, direccionadas hacia el fortalecimiento comunitario, consolidando un territorio que les permita habitarlo dignamente y donde se les garantice en el tiempo un desarrollo socio ambiental y productivo, lo cual implica su articulación con los respectivos Planes de Ordenamiento Territorial (POT), y el consecuente licenciamiento urbanístico a ser autorizado por el municipio, como requisito esencial para adelantar acciones de urbanización o parcelación y construcción así como autorizaciones de subdivisión de inmuebles, lo cual es necesario para la individualización de derechos de propiedad a través de Escritura Pública o excepcionalmente a través de acto administrativo.

Finalmente, desde el componente normativo se establecerán los escenarios de viabilización del proyecto de vivienda para el antiguo ETCR indicando las rutas jurídicas y recomendaciones que se tendrían para su incorporación e implementación en las normas urbanísticas del municipio objeto de estudio, de

acuerdo al estado de vigencia de su Esquema de Ordenamiento Territorial.

2.1. Antecedentes

En cumplimiento del mandato constitucional consagrado en el artículo 22 de la Constitución Política de Colombia que establece “La paz es un derecho y un deber de obligatorio cumplimiento”, el Gobierno de Colombia, suscribió con el grupo armado FARC-EP el acuerdo final para la terminación del conflicto en el cual se dejaron plasmados seis ejes temáticos que tienen que ver con i) Reforma rural integral, ii) Participación Política, iii) Fin del conflicto, iv) Solución Integral al problema de las Drogas ilícitas y v) Acuerdo sobre las víctimas del conflicto y vi) Mecanismos de implementación y verificación . El Acuerdo Final para la terminación del conflicto y la construcción de una paz estable y duradera, fue refrendado el 30 de noviembre de 2016 por el Congreso de la República.

En este caso, el eje temático que nos compete abordar es el de la reforma rural integral, con miras a establecer la viabilidad jurídica del desarrollo o construcción de los proyectos de vivienda en los antiguos Espacios Territoriales de Capacitación y Reincorporación - ETCR. Sin embargo, antes de adentrarnos en el estudio normativo o marco jurídico que permitirá establecer el sustento legal o viabilidad jurídica para la formalización de los proyectos de vivienda, es necesario, conocer como fue el proceso de surgimiento de estas zonas y el espíritu con el cual fueron creadas.

La Ley 1779 de 2016, modificatoria de la Ley 418 de 1997 en el párrafo 3° del artículo 8 dispuso la creación de unas zonas rurales con carácter temporal para adelantar en ese momento las actividades propias del proceso de paz, como negociación y firma de acuerdos. Conforme a esta facultad se expedieron los decretos 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025 y 2026 de 2016, y 150 de 2017, por los cuales se establecieron las Zonas Veredales Transitorias de Normalización (ZVTN) y los Puntos Transitorios de Normalización (PTN), con el objetivo de *“garantizar el Cese al Fuego y de Hostilidades Bilateral y Definitivo y Dejación de Armas (CFHBD-DA)”* e *“iniciar el proceso de preparación para la reincorporación a la vida civil de las estructuras de las FARC-EP en lo económico, lo político y lo social de acuerdo con sus intereses”*, las cuales fueron prorrogadas en su duración por los Decretos números 901 de 29 de mayo de 2017 hasta el 29 de julio de 2017 y 1274 de 28 de julio de 2017

hasta el 15 de agosto de 2017.

Por su parte, el artículo 3° del Decreto número 1274 de 28 de julio de 2017 estableció que las Zonas Veredales Transitorias de Normalización - ZVTN y los Puntos Transitorios de Normalización - PTN, una vez terminados, se convertirían en los antiguos Espacios Territoriales de Capacitación y Reincorporación - ETCR.

Así las cosas, con el fin de crear un marco jurídico para la implementación y el funcionamiento de los antiguos ETCR, se expidió el Decreto 2026 de 2017 con el fin de dar continuidad al proceso de reincorporación a la vida civil por parte de los ex miembros de las FARC-EP, determinando expresamente que estos espacios son lugares para el desarrollo de actividades que faciliten la reincorporación a la vida civil en lo económico, lo social y lo productivo (...)”

La norma en mención, dispuso igualmente que la Agencia para la Reincorporación y Normalización (ARN) tiene la responsabilidad de administrar los bienes muebles e inmuebles necesarios para el funcionamiento de los Espacios Territoriales de Capacitación y Reincorporación de los ex miembros de las FARC-EP para su reincorporación a la vida civil y la implementación de proyectos productivos, así como los procesos de formación para la comunidad en general.

Con respecto a su duración este decreto en el artículo 5°, dispuso que los Espacios Territoriales de Capacitación y Reincorporación tendrían una duración de dos (2) años contados a partir de la fecha establecida en los artículos 1 y 2 del Decreto 1274 de 2017, permitiendo la posibilidad de modificarlos, suprimirlos o prorrogarlos según las necesidades del caso. Conforme a esto, su vigencia se extendió hasta el 15 de agosto de 2019.

De igual forma dispuso en el artículo 6° que la administración de estos espacios, estaría a cargo del Fondo de Programas Especiales para la Paz hasta el 31 de marzo de 2018 o una vez finalizada la transferencia de cada uno de los antiguos ETCR, señalando además que dentro de este término, dicho Fondo debía efectuar la transferencia de los bienes destinados para el funcionamiento de los Espacios Territoriales de Capacitación y Reincorporación a la Agencia para la Reincorporación y la Normalización (ARN).

Por su parte el párrafo 1° del artículo 6° señaló lo siguiente:

“La Agencia para la Reincorporación y la Normalización (ARN) adelantará las acciones correspondientes en el territorio con el fin de establecer las necesidades que permitan adelantar las actividades de reincorporación a la vida civil de los ex miembros de FARC-EP y gestionará en coordinación con la Agencia

Nacional del Territorio (ANT), en el marco de sus competencias, los trámites administrativos a que haya lugar para la adquisición de predios”.

En síntesis, este fue el origen de los Espacios Territoriales de Capacitación y Reincorporación - ETCR cuya vigencia de acuerdo con las normas revisadas, expiró el 15 de agosto de 2019. Sin embargo, dada su importancia al constituirse en los territorios donde se podrá concretar y materializar la paz, hay que propender por su permanencia en el tiempo no bajo esta misma denominación sino a través de la creación de una ruta jurídica que permita su desarrollo y ocupación en el territorio garantizando su integración con las comunidades aledañas y donde se posibilite el derecho a vivir dignamente y en ejercicio pleno de sus derechos de ciudadanía, de modo que como colectivo formalizado dentro del ordenamiento jurídico sean partícipes de la toma de decisiones por parte del Estado, en la definición de políticas públicas.



Figura 27: Proceso de creación de los antiguos ETCR. Fuente Convenio 752 de 2020

2.2. Viabilización del antiguo ETCR Filipinas a la luz de la norma de ordenamiento territorial vigente

En el siguiente apartado se desarrollará el tema de la vigencia a partir del análisis de las normas que regulan la materia contrastadas con los actos admi-

nistrativos por los cuales se adoptó el PBOT del municipio, esto con el fin de establecer si se encuentra vigente o no, para una vez establecida esta condición, presentar las alternativas de incorporación del antiguo ETCR al Plan Básico de Ordenamiento Territorial, señalando 3 rutas o caminos para su implementación, acompañadas cada una de ellas de los aspectos más relevantes que tendrán incidencia al momento de su incorporación. Así mismo se presenta un cronograma en el cual se especifica el paso a paso que va desde la apropiación presupuestal hasta la etapa final de solicitud de licencia del proyecto, su construcción y la entrega de las viviendas.

2.2.1. Vigencias POT

La revisión y ajuste de los POT está contemplada en el artículo 28 de la Ley 388 de 1997, modificado por el artículo segundo de la Ley 902 de 2004, reglamentado por el Decreto Único 1077 de 2015, modificado a su vez por el artículo 120 del Decreto Ley 2106 de 2019:

Los planes de ordenamiento territorial deberán definir la vigencia de sus diferentes contenidos y las condiciones que ameritan su revisión, en concordancia con los siguientes parámetros:

1. El contenido estructural del plan tendrá una vigencia de largo plazo, que para este efecto se entenderá como el correspondiente a tres períodos constitucionales de las administraciones municipales y distritales.
2. Los contenidos de los componentes urbanos y rurales de mediano plazo tendrán una vigencia correspondiente al término de dos períodos constitucionales de las administraciones municipales.
3. Los contenidos urbanos y rurales de corto plazo y los programas de ejecución regirán durante un período constitucional completo de la administración municipal y distrital completo, habida cuenta de las excepciones que resulten lógicas en razón de la propia naturaleza de las actuaciones contempladas o de sus propios efectos.
4. Las revisiones estarán sometidas al mismo procedimiento previsto para su aprobación y deberán sustentarse en parámetros e indicadores de seguimiento relacionados con cambios significativos en las previsiones sobre población urbana; la dinámica de ajustes en usos o intensidad de los usos del suelo; la necesidad o conveniencia de ejecutar proyectos de impacto

en materia de transporte masivo, infraestructuras, expansión de servicios públicos o proyectos de renovación urbana; la ejecución de macroproyectos de infraestructura regional o metropolitana que generen impactos sobre el ordenamiento del territorio municipal o distrital, así como en la evaluación de sus objetivos y metas del respectivo plan.

No obstante, si al finalizar el plazo de vigencia establecido no se ha adoptado un nuevo plan de ordenamiento territorial, seguirá vigente el ya adoptado.

5. Las autoridades municipales y distritales podrán revisar y ajustar los Planes de Ordenamiento Territorial o sus componentes una vez vencido el período constitucional inmediatamente anterior.

En las revisiones de los Planes de Ordenamiento se evaluará por los respectivos Alcaldes los avances o retrocesos, y se proyectarán nuevos programas para el reordenamiento de los usos de servicios de alto impacto referidos a la prostitución y su incompatibilidad con usos residenciales y dotacionales educativos.

De igual manera esta normatividad fue compilada por el Decreto 1077 de 2015¹ en la subsección 3, artículo 2.2.2.1.2.3.3 el cual establece que los Concejos Municipales o Distritales, por iniciativa del alcalde podrán revisar y ajustar los contenidos de largo, mediano o corto plazo de los Planes de Ordenamiento Territorial, siempre y cuando haya vencido el término de vigencia de cada uno de ellos, según lo establecido en dichos planes; posibilitando que en el corto plazo sean revisadas las normas urbanísticas complementarias, en el mediano plazo las normas urbanísticas generales y en el largo plazo las normas urbanísticas estructurales, con sus respectivos contenidos.

Resalta la norma en mención que las revisiones deben estar sustentadas en parámetros e indicadores de seguimiento relacionados con cambios significativos en la población urbana, la necesidad de realizar ajustes en usos o intensidad de los usos del suelo, la necesidad o conveniencia de ejecutar proyectos de impacto en materia de transporte masivo, infraestructuras, expansión de servicios o proyectos de renovación urbana; la ejecución de macroproyectos de infraestructura regional o metropolitana que generen impactos sobre el ordenamiento del territorio municipal o distrital, así como en los resultados de seguimiento y evaluación de los objetivos y metas del respectivo Plan.

¹En adelante se entenderán incorporadas las normas del Decreto 1232 de 2020 en el Decreto 1077 de 2015 por el efecto jurídico que así lo dispuso.

Ahora bien, con relación a la vigencia de los POT, el artículo 2.2.2.1.2.2 del Decreto 1077 de 2015 señala que la vigencia del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) se establecerá de acuerdo con lo señalado en el artículo 28 de la Ley 388 de 1997, modificado por el artículo 120 del Decreto Ley 2106 de 2019, o la norma que lo modifique, adicione o sustituya.

Especificando en el párrafo de éste artículo que el término de vigencia corresponde al cumplimiento de la vigencia de largo plazo del plan de ordenamiento territorial, durante tres períodos constitucionales completos.

Adicionalmente en el Artículo 2.2.2.1.2.2.3 al referirse a las condiciones para adelantar la concertación con la Corporación Autónoma Regional o autoridad ambiental competente, señaló en el párrafo transitorio que los proyectos del Plan de Ordenamiento Territorial o su revisión o modificación que se radiquen completos y en debida forma ante la autoridad ambiental competente hasta el 31 de marzo de 2021, podrán presentarse cumpliendo con los contenidos establecidos en las normas vigentes antes de la modificación establecida por la presente norma. Así las cosas, los municipios que están en este momento en proceso de revisión y/o modificación tienen plazo hasta la citada fecha para presentar sus POT con las normas anteriores a la expedición de este decreto, de lo contrario tendrán que armonizar sus normas a los nuevos parámetros o directrices señaladas por el Decreto 1077 de 2015.

A continuación se presentan los actos administrativos mediante el cual se adoptó el PBOT del municipio de Arauquita con sus respectivas modificaciones o revisiones, a fin de establecer el estado de su vigencia de cara a emprender el tipo de revisión o ajuste.

- Acuerdo 061 de 2000 (Primer PBOT No suministrado)
- Acuerdo 016 de Mayo 25 de 2007 (No suministrado).
- **Acuerdo 032 de Dic 04 de 2009 (Modificación excepcional de norma urbanística según lo establecido en el numeral 13 de los considerandos del citado Acuerdo).**

Nota: Es importante aclarar el Acuerdo 32 de 2009 se justifica como una revisión ordinaria y a la vez como una modificación de norma urbanística lo cual induce a error; no obstante al generarse en el articulado normas urbanísticas Estructurales y Generales, así mismo al

no determinarse vigencias del corto, mediano y largo plazo del PBOT y al no ser suministradas por el Municipio los Acuerdos 61 de 2000 y 32 de 2007, se infiere que el Acuerdo 32 de 2009 corresponde a una modificación excepcional de norma urbanística debido a los contenidos del PBOT.

Vigencia:

- Expirada en su contenido de largo plazo el 31 de diciembre de 2011.

2.2.2. Procedimiento de revisión y ajuste de los POT

Luego de la evaluación de la vigencia del PBOT del municipio de Arauquita, se concluye que sus contenidos de corto, mediano y largo plazo han expirado, aunque mientras se adopte un nuevo POT se considera que el cuerpo normativo se encuentra vigente y puede continuar aplicando norma urbanística con base en el Acuerdo Municipal 032 de 2009, pero en el evento de ajustarse el articulado del POT deberá necesariamente adelantarse sus modificaciones a través de la revisión ordinaria del POT de largo plazo al considerarse el único proceso que habilita la modificación de Objetivos y Estrategias de Largo Plazo y el establecimiento de vigencia de Contenidos en consonancia con lo establecido en el artículo 28 de la ley 388 de 1997 y el artículo 6, Numeral 9 de la ley 1551 de 2012. Por su parte la modificación excepcional de norma urbanística se considera sólo aplicable en aquellos municipios donde no han expirado los contenidos de largo plazo, máxime cuando este tipo de ajuste tiene prohibición expresa de ampliar vigencia del POT y se considera procedente solamente cuando se realiza para ajustar algunas normas en pro del cumplimiento de los objetivos y estrategias de largo y mediano plazo. Por todo lo anterior y ante la ausencia de norma aplicable para el caso en concreto se recomienda su utilización durante la vigencia de los contenidos de largo plazo (3 períodos constitucionales); y una tercera opción es la creación de un trámite extraordinario de aprobación de normas urbanísticas, todo ello con miras a que el antiguo ETCR sea debidamente incorporado en el ordenamiento territorial municipal con la finalidad de habilitar su licenciamiento urbanístico en los términos del Artículo 99 de la ley 388 de 1997. Seguidamente se desarrollarán las 3 alternativas posibles de incorporación de los antiguos ETCR al ordenamiento territorial.

2.2.2.1. Revisión Ordinaria del POT

La revisión y ajuste de los POT está contemplada en las Leyes 388 de 1997 y 1551 de 2012 reglamentadas en el Decreto 1077 de 2015 modificado por el 1232 de 2020. De acuerdo con estas normas se podrán revisar y ajustar por iniciativa del alcalde los contenidos de largo, mediano o corto plazo de los Planes de Ordenamiento Territorial, siempre y cuando haya vencido el término de vigencia de cada uno de ellos, según lo establecido en dichos planes, posibilitando que en el corto plazo sean revisadas las normas urbanísticas complementarias, en el mediano plazo las normas urbanísticas generales y en el largo plazo las normas urbanísticas estructurales, con sus contenidos, así:

La Ley 388 de 1997 concibe las Normas Urbanísticas de la siguiente manera:

Normas urbanísticas estructurales. Son las que aseguran la consecución de los objetivos y estrategias adoptadas en el componente general del plan y en las políticas y estrategias de mediano plazo del componente urbano.

Estas normas incluyen diferentes aspectos, que puedan vincularse o relacionarse con los alcances de un centro poblado:

- Clasificación y delimitación de los suelos
- Las que definan las características de las unidades de actuación o las que establecen criterios y procedimientos para su caracterización, delimitación e incorporación posterior, incluidas las que adoptan procedimientos e instrumentos de gestión para orientar, promover y regular las actuaciones urbanísticas vinculadas a su desarrollo.

Normas urbanísticas generales. Son aquellas que permiten establecer usos e intensidad de usos del suelo, así como actuaciones, tratamientos y procedimientos de parcelación, urbanización, construcción e incorporación al desarrollo de las diferentes zonas comprendidas dentro del perímetro urbano y suelo de expansión. Por consiguiente, otorgan derechos e imponen obligaciones urbanísticas a los propietarios de terrenos y a sus constructores, conjuntamente con la especificación de los instrumentos que se emplearán para que contribuyan eficazmente a los objetivos del desarrollo urbano y a sufragar los costos que implica tal definición de derechos y obligaciones.

En consecuencia, además de las regulaciones que por su propia naturaleza quedan contenidas en esta definición, hacen parte de las normas urbanísticas, entre otras:

- Las especificaciones de aislamientos, volumetrías y alturas para los procesos de edificación.
- La adopción de programas, proyectos y macroproyectos urbanos no considerados en el componente general del plan.
- Las características de la red vial secundaria, la localización y la correspondiente afectación de terrenos para equipamientos colectivos de interés público o social a escala zonal o local, lo mismo que la delimitación de espacios libres y zonas verdes de dicha escala.
- Las especificaciones de las redes secundarias de abastecimiento de los servicios públicos domiciliarios.
- Las especificaciones de las cesiones urbanísticas gratuitas, así como los parámetros y directrices para que sus propietarios compensen en dinero o en terrenos, si fuere del caso.
- Las demás previstas en la Ley o que se consideren convenientes por las autoridades municipales.

Normas complementarias. Se trata de aquellas relacionadas con las actuaciones, programas y proyectos adoptados en desarrollo de las previsiones contempladas en los componentes general y urbano del plan de ordenamiento, y que deben incorporarse al Programa de ejecución que trata el artículo 18 de la Ley 388 de 1997. También forman parte de este nivel normativo, las decisiones sobre las acciones y actuaciones que por su propia naturaleza requieren ser ejecutadas en el corto plazo y todas las regulaciones que se expidan para operaciones urbanas específicas y casos excepcionales, de acuerdo con los parámetros, procedimientos y autorizaciones emanadas de las normas urbanísticas generales.

Entre otras, pertenecen a esta categoría:

- La declaración e identificación de los terrenos e inmuebles de desarrollo o construcción prioritaria.
- La localización de terrenos cuyo uso es el de vivienda de interés social y la reubicación de asentamientos humanos localizados en zonas de alto riesgo.
- Las normas urbanísticas específicas que se expidan en desarrollo de planes parciales para unidades de actuación urbanística y para otras operaciones como macroproyectos urbanos integrales y actuaciones en áreas con tratamientos de renovación urbana o mejoramiento integral.

Las normas para la urbanización y construcción de vivienda no podrán limitar el desarrollo de programas de vivienda de interés social, de tal manera que las especificaciones entre otros de loteos, cesiones y áreas construidas deberán estar acordes con las condiciones de precio de este tipo de vivienda.

Para aprobar y adoptar las revisiones de los POT se surtirán los mismos trámites de concertación, consulta y aprobación previstas en los artículos 24 y 25 de la Ley 388 de 1997.

También podrá ser adoptado mediante Decreto por el Alcalde municipal en caso que el Concejo Municipal no lo adopte dentro del plazo de 90 días definido para esto.

La modificación introducida al Decreto 1077 de 2015 mediante Decreto 1232 de 2020 estableció los contenidos y elementos mínimos sustanciales de los POT para llevar a cabo los procedimientos de revisión, adopción o modificación de este instrumento, señalando en el artículo 2.2.2.1.2.2.1 los documentos que deben conformar así:

0. Documento de seguimiento y evaluación.
1. Diagnóstico y su cartografía.
2. Documento técnico de soporte (DTS) que contiene (i) los componentes general, urbano y rural, (ii) los programas y proyectos, (iii) los Instrumentos de gestión y financiación, (iv) el programa de ejecución y la (v) la cartografía.
3. Proyecto de Acuerdo: Es la propuesta de acto administrativo mediante el cual se adoptará el Plan de Ordenamiento Territorial - POT, su estructura coincidirá con la del Documento Técnico de Soporte y lo aprobará en toda su extensión incluida su cartografía
4. Documento resumen: Es el documento con la explicación didáctica de los problemas existentes y las propuestas para resolverlos que corresponden a las decisiones adoptadas en el Acuerdo. Debe incluir una breve descripción de la realización de las instancias de consulta y concertación, así como de la participación ciudadana. Se emplea como medio de divulgación y socialización. (Artículos 2.2.2.1.2.2.1 y 2.2.2.1.2.3.1 del Decreto 1077 de 2015).

Esta ruta conlleva la evaluación de los componentes (General, Urbano y Rural) de los diferentes POT; el alcance de la revisión dependerá de la vigencia

del instrumento según lo establecido en el artículo 28 de la ley 388 de 1987, modificado por el Decreto Ley 2106 de 2019 y su relación con el período constitucional de alcaldes lo cual define el tipo de normas urbanísticas objeto de revisión según la jerarquía establecida en el Art 15 de la ley 388 de 1997 a iniciativa del alcalde municipal, así:

- Corto Plazo: Normas complementarias.
- Mediano Plazo: Normas Urbanísticas Generales.
- Largo Plazo: Normas Urbanísticas Estructurales.

Finalmente se interpreta que la disposición consignada en el Artículo 6, numeral 9 de la ley 1551 de 2011 corresponde a la vigencia máxima de los contenidos de largo plazo del POT los cuales se consideran fijos de 12 años o 3 períodos completos constitucionales de los alcaldes.

En la figura 28², se presenta un posible cronograma de ejecución del proyecto habitacional en un escenario de **revisión ordinaria del PBOT** como punto de partida y culminando con la entrega de viviendas de interés social rural.

²El tiempo máximo de aprobación del POT en el Consejo es de máximo 90 días calendario, pero podría tramitarse en menos tiempo según lo determine el Reglamento Interno del Concejo después de surtir un debate en comisión y un debate en plenaria. En caso de no aprobación por parte del Concejo podrá ser adoptado por Decreto del Alcalde superados los 90 días de sesión sin haberse tomado decisión de aprobación o desaprobación.

En este escenario de revisión ordinaria del PBOT se recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Su incorporación en debida forma al PBOT haría que el antiguo ETCR quede armonizado normativamente con el resto del territorio municipal, surtiendo debidamente todas las etapas de divulgación, participación y concertación con los actores institucionales y la comunidad en general.
- Por lo que implica una revisión ordinaria del PBOT se debe disponer de un tiempo estimado como mínimo de 18 meses, por lo cual se hace necesario ante la necesidad de implementar en el menor tiempo posible la norma urbanística para la debida ejecución del proyecto habitacional del antiguo ETCR de una apuesta decidida entre las autoridades locales en alianza con el Gobierno Nacional para sacar adelante esta iniciativa.
- El Decreto 1077 de 2015 en su artículo 2.2.2.1.2.3.3 establece los contenidos y la forma como se debe abordar la revisión del PBOT, por lo tanto, esta norma permite adoptar unos nuevos planes de ordenamiento territorial con una visión más integral apostándole a la sostenibilidad social, económica y ambiental de los territorios municipales
- Se debe tener presente que el Concejo Municipal puede efectuar cambios al proyecto de Acuerdo que se presente, excepto en aquellos asuntos de concertación ambiental, a menos que sea para volver las normas en esta materia más restrictivas. El costo del proceso de revisión ordinaria es mayor que el de modificación excepcional de norma urbanística porque implica la revisión y ajuste de todos los componentes del PBOT.

2.2.2.2. Modificación excepcional de norma urbanística

Este procedimiento de modificación excepcional de normas urbanísticas de los Planes de Ordenamiento Territorial en los apartes que correspondan deberán acoger lo dispuesto en la Ley 388 de 1997 y sus Decretos reglamentarios 879 de 1998, 4002 de 2004, 1077 de 2015 y 1232 de 2020. Esta modificación podrá emprenderse en cualquier momento a iniciativa del Alcalde municipal, demostrando con estudios técnicos los motivos que llevan a dicha modificación.

La modificación excepcional de alguna o algunas de las normas urbanísticas de carácter estructural o general del Plan de Ordenamiento Territorial, tienen por objeto asegurar la consecución de los objetivos y estrategias territoriales de

largo y mediano plazo definidas en los componentes General, Urbano y Rural del Plan de Ordenamiento Territorial.

Adicionalmente las modificaciones excepcionales de norma urbanística no podrán ampliar los términos de vigencia de los planes de ordenamiento territorial ni las de sus componentes o contenidos y tampoco podrán modificar los objetivos y estrategias de largo y mediano plazo definidas en los componentes General, Urbano y Rural del Plan de Ordenamiento Territorial.

En la figura 29³, se presenta un posible cronograma de ejecución del proyecto habitacional en un escenario de **modificación excepcional de norma urbanística del PBOT** como punto de partida y culminando con la entrega de viviendas de interés social rural.

³El tiempo máximo de aprobación del POT en el Consejo es de máximo 90 días calendario, pero podría tramitarse en menos tiempo según lo determine el Reglamento Interno del Concejo después de surtir un debate en comisión y un debate en plenaria. En caso de no aprobación por parte del Concejo podrá ser adoptado por Decreto del Alcalde superados los 90 días de sesión sin haberse tomado decisión de aprobación o desaprobación.

En este escenario de modificación excepcional de normas urbanísticas del PBOT se recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Su incorporación en debida forma al PBOT haría que el antiguo ETCR quede armonizado normativamente con el resto del territorio municipal, surtiendo debidamente todas las etapas de divulgación, participación y concertación con los actores institucionales y la comunidad en general.
- El procedimiento de modificación excepcional de norma urbanística está contemplado en el Decreto 1077 de 2015 en su artículo 2.2.2.1.2.3.4 el cual permite hacer la modificación de alguna o algunas de las normas urbanísticas de carácter estructural o general del plan.
- El proceso de modificación excepcional puede agilizarse en la medida en que las entidades participen, concerten y aprueben el proyecto de PBOT en un corto tiempo sin hacer uso de los términos máximos permitidos por la ley 388 de 1997.
- Se debe tener presente que el Concejo Municipal puede efectuar cambios al proyecto de Acuerdo que se presente, excepto en aquellos asuntos de concertación ambiental a menos que sea más restrictivas, a menos que sea para volver las normas en esta materia más restrictivas.
- El municipio puede focalizarse exclusivamente en las normas urbanísticas que requieran ser ajustadas para dar viabilidad legal y urbanística del antiguo ETCR.
- El costo del proceso de modificación excepcional es menor que el de un proceso de revisión ordinaria porque implica solo la revisión de los contenidos que la motivan.
- Finalmente, con el ánimo de generar un camino medianamente rápido, ajustado a la necesidad de habilitar el proyecto de vivienda en el corto plazo y amparados en el marco normativo ordinario, se recomienda generar un artículo adicional en el Decreto 1077 de 2015 que habilite la modificación excepcional de Norma Urbanística así haya operado el vencimiento de los contenidos de largo plazo del POT, cuando involucre una modificación de las clases y categorías del suelo en cumplimiento del proceso de paz con las extintas FARC-EP, incluso que se posibilite el ajuste a los objetivos y estrategias de largo plazo en el evento de ser necesario, así mismo ampliar la vigencia del PBOT.

2.2.2.3. Creación de un marco normativo excepcional para proyectos de vivienda y usos complementarios para el proceso de reincorporación

Es claro que las dos rutas antes estudiadas requieren ajustes en el instrumento de planificación municipal, lo cual implica el agotamiento de una serie de etapas que pueden tomarse varios años, lo cual afecta el interés de las diferentes partes en generar soluciones de viviendas en los ETCR de manera rápida y oportuna, entendiendo la precariedad y ocupación provisional de las diferentes familias.

Debido a la problemática antes planteada, una tercera opción es tramitar ante el Congreso una Ley que permita al Presidente de la República, por una sola vez y amparado en el interés constitucional de alcanzar la Paz, producto de los acuerdos de la Habana entre el Gobierno Nacional y las antiguas FARC-EP, 1) Autorizar al Gobierno Nacional por ministerio de la ley, a la construcción proyectos de vivienda y usos complementarios para el proceso de reincorporación sin necesidad de contar con la autorización de los Concejos Municipales vía POT, así mismo dicha ley debe 2) Permitir a Notarios la suscripción de Escrituras Públicas de Subdivisión de inmuebles y Constitución de Reglamentos de Propiedad Horizontal -RPH-.

En la Figura 30 se presenta un posible cronograma de ejecución del proyecto habitacional en un escenario de Ley como punto de partida y culminando con la entrega de viviendas de interés social rural.

En este escenario de Ley se recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Un proyecto de Ley de Vivienda de esta naturaleza es muy posible que se apruebe ante el interés nacional que existe de dar cumplimiento a los Acuerdos de la Habana por parte del Gobierno Nacional.
- Se Se viabilizaría en un menor término el licenciamiento del proyecto de vivienda.
- Por economía procesal este sería el camino más expedito para lograr la incorporación de los antiguos ETCR en el ordenamiento territorial.
- El compromiso adquirido por el Gobierno Nacional en el sentido de suministrar la norma urbanística para la incorporación de los antiguos ETCR a los planes de ordenamiento territorial viabilizaría el licenciamiento y ejecución del proyecto de vivienda esperado.
- La materialización del proyecto de vivienda una vez el Gobierno Nacional suministre las normas urbanísticas a que hace alusión el artículo 33 del Proyecto de Ley de Vivienda, requerirá ser incorporado al ordenamiento territorial y a su adecuada implementación.

2.2.2.4. Posturas jurídicas frente a la revisión de los POT

A continuación se presentan los argumentos que se han dado en materia de revisión de POT cuando la vigencia de éste se encuentra expirada en sus contenidos de largo plazo, donde las diferentes interpretaciones van desde afirmar que vencidos los contenidos del componente General del Plan no se puede adoptar uno nuevo mediante una revisión excepcional de norma urbanística y otra postura más flexible, como la del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio que sostiene que es posible efectuar una revisión de la norma urbanística así la vigencia de 12 años de los contenidos de largo plazo se encuentre expirada.

Con el fin de ilustrar el tema y mostrar las diferentes miradas existentes al respecto, se citan los siguientes conceptos:

- **Concepto de la Procuraduría General de la Nación** que, con motivo del proceso de revisión y ajuste de los Planes de Ordenamiento Territorial, dirigió en el año 2013 a los Alcaldes Municipales y Distritales, Concejos Municipales y Distritales, Personeros Municipales y Consejos Territoriales de Planeación, en el cual expresamente señaló:

“3. Sobre el alcance de las revisiones y modificaciones a los POT. Todo proceso de revisión de los contenidos de corto y mediano plazo y de modificación excepcional de las normas urbanísticas del POT debe respetar la prevalencia de jerarquía de los contenidos de largo plazo, las normas urbanísticas estructurales que concretan el modelo de ordenamiento y “la estructura urbano-rural e intraurbana que se busca alcanzar a largo plazo, los cuales deberán regir, al menos, durante tres (3) periodos constitucionales de los alcaldes municipales o distritales.

Solo en la revisión del plan por vencimiento de la vigencia de largo plazo, se podrá realizar un replanteamiento del contenido estratégico (Procuraduría General de la Nación, 2013)”.

Luego, al referirse a la modificación excepcional de norma urbanística puntualizó:

4.3 Modificación excepcional de normas urbanísticas. De acuerdo con el artículo 15 de la Ley 388 de 1997, la modificación excepcional de alguna o algunas de las normas urbanísticas de carácter estructural o general del POT, que tengan por objetivo asegurar la consecución de los objetivos y estrategias territoriales de la largo y mediano plazo definidas en los componentes general y urbano del POT, puede emprenderse en cualquier momento, a iniciativa del alcalde municipal o distrital, siempre y cuando se demuestren y soporten técnicamente los motivos que dan lugar a su modificación, pero solamente mediante la revisión general del POT se podrá modificar el modelo territorial vigente.

El marco normativo establece que solo es posible realizar la revisión de los objetivos y estrategias del POT al vencimiento de la vigencia de largo plazo. Así mismo, el artículo 12 de la Ley 810 de 2003, hace referencia únicamente a “revisar y hacer ajustes” a los planes de ordenamiento ya adoptados y vigentes, por lo que no es posible a través del procedimiento de modificación excepcional adoptar uno nuevo.” ...

- **Concepto de la Sala de Consulta y Servicio Civil del Consejo de Estado (Consejo de Estado, 2013).** Con ocasión de la consulta que le formuló el Ministro del Interior de la época con relación a la vigencia del Plan de Ordenamiento Territorial – POT de Bogotá D.C.; al procedimiento

de modificación excepcional de las normas urbanísticas y a las competencias para adoptar y modificar el POT, permite inferir en su respuesta que una vez expirada la vigencia del POT se debe emprender una revisión ordinaria del mismo, descartando la posibilidad de hacer la revisión a través del procedimiento de una modificación excepcional de las normas urbanísticas. La Sala consultada, luego de establecer la fecha de vigencia del POT de Bogotá, lo cual tuvo que hacer debido a que el Decreto Distrital 619 de 2000, revisado por el decreto 469 de 2003, en el artículo 118, había modificado la vigencia del contenido general del POT, señalando que su vigencia sería igual “a la del tiempo que falta para terminar la actual administración del Distrito Capital y cuatro períodos constitucionales de gobierno de las próximas administraciones”. Y en tal sentido puntualizó lo siguiente: “La actual administración” a que se refería la norma era la del Alcalde Antanas Mockus Sivickas, quien expidió el decreto de revisión, cuyo período terminaba el 31 de diciembre de 2003. Los cuatro períodos constitucionales de gobierno de las próximas administraciones distritales se refieren a las administraciones de los Alcaldes Luis Eduardo Garzón (2004-2007), Samuel Moreno Rojas (2008-2011, con el encargo de la Dra. Clara López Obregón de junio a diciembre de 2011), Gustavo Petro Urrego (2012-2015) y el siguiente de 2016 a 2019. En consecuencia, el componente general del POT de Bogotá D.C. quedó con vigencia hasta el 31 de diciembre de 2019.”

Sin embargo, la Sala objeto de consulta, a la luz del artículo 6° de la Ley 1551 de 2012 “Por la cual se dictan normas para modernizar la organización y el funcionamiento de los municipios” precisó que la vigencia del POT de Bogotá D.C., fue reducida por virtud de esta norma, de cuatro (4) a tres (3) periodos constitucionales de la administración distrital, rigiendo por lo tanto hasta el 31 de diciembre de 2015. Esta posición la adopta amparada en el argumento de ser dicho mandato de orden legal y posterior, prevaleciendo sobre lo dispuesto por el artículo 118 del decreto distrital 469 de 2003.

Con esta claridad, la Sala resuelve de fondo el interrogante acerca de si la actual administración distrital ha debido presentar un proyecto de revisión total del POT y no una modificación excepcional, a lo cual se responde que dicha administración, de acuerdo con la norma antes transcrita, no está obligada en la actualidad a presentar un proyecto de revisión total del POT, pero sí estará obligada dentro de los seis (6) meses anteriores al 31 de diciembre de 2015, fecha de vencimiento de la vigencia del POT de Bogotá

D.C., a iniciar el trámite para la formulación del nuevo plan o su revisión o ajuste”

El Decreto 1077 de 2015 establece la vigencia de largo plazo del plan de ordenamiento territorial en tres periodos constitucionales completos, lo cual refuerza la tesis menos flexible que señala que al estar cumplida la temporalidad definida en el componente General del POT, vale decir, lo relativo a sus objetivos, estrategias y contenidos estructurales de largo plazo, se hace necesario emprender una revisión general de la norma territorial municipal. Para quienes sostienen esta tesis, esto se encuentra lógico y coherente, en la medida en que en ese estado de la norma es menester que se defina y actualice para los entes municipales un nuevo modelo de ocupación territorial acorde a las cambiantes dinámicas de los territorios, independientemente que se hayan o no cumplido estos contenidos de largo plazo.

- **Concepto del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.** Sin embargo, El Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, mediante concepto 2015ER0005670, con ocasión de la consulta que le formulara la Secretaría de Planeación del Distrito de Cartagena, respecto a la posibilidad de continuar adelantando un proceso de modificación excepcional de norma urbanística ya iniciado, no obstante encontrarse agotada la vigencia de largo plazo del POT, deja abierta la posibilidad de efectuar una modificación excepcional de norma urbanística, así todos los contenidos del Plan de Ordenamiento se encuentren vencidos, argumentando que mientras no se efectúe una revisión general del mismo, éste continúa vigente y además porque las normas no han establecido un límite de tiempo para iniciar este proceso.

El Ministerio en este concepto expresó lo siguiente:

“¿Puede seguir adelantándose el proceso de modificación del Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito de Cartagena de Indias o, en su defecto se debe adelantar el proceso de revisión del Plan de Ordenamiento Territorial de Cartagena de Indias?”

El trámite del proyecto de Modificación Excepcional de Norma Urbanística puede seguirse siempre y cuando el mismo cumpla con las condiciones normativas dispuestas para estos casos, así como con las reglas de procedimiento, siendo necesario que en este caso en particular finalizar el proceso de concertación con la autoridad ambiental, para lo cual se requiere el pronunciamiento del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, del cual

dependerá las acciones a seguir respecto a este proyecto y por lo tanto, determinar si se debe continuar con el trámite ante las siguientes instancias de concertación, consulta y aprobación.

En consecuencia, siempre y cuando el proyecto de modificación excepcional del Distrito de Cartagena cumpla con las condiciones técnicas y procedimentales establecidas en las normas que regulan este tipo de procesos, será posible adoptar dicha modificación sin perjuicio de que se realice la revisión general del POT.

“¿Puede seguir adelantándose el proceso de modificación excepcional del Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito de Cartagena de Indias concomitante con el proceso de revisión del Plan de Ordenamiento Territorial de Cartagena de Indias?”

“¿Qué término tiene la administración para iniciar el proceso de revisión del Plan de Ordenamiento Territorial de Cartagena de Indias?”

Como ya se señaló anteriormente la modificación excepcional de norma urbanística permite el ajuste de normas específicas establecidas en los POT, así mismo, las normas que regulan el ordenamiento del territorio disponen que al finalizar el plazo de vigencia de todos los contenidos del Plan de Ordenamiento, se debe proceder a adoptar la revisión general del mismo, señalando que mientras se adelanta este proceso continúa vigente el POT adoptado y teniendo presente que la modificación excepcional en ningún caso reemplaza la revisión general de un POT.

De acuerdo con la información remitida respecto a las vigencias del POT del Distrito de Cartagena, se observa que la vigencia del mismo se encuentra vencida, y por lo tanto existe la obligación de adelantar la revisión general del Plan durante este periodo de conformidad con lo dispuesto en las Leyes 388 de 1997 y 1551 de 2012, sin embargo no se ha establecido un límite de tiempo para este proceso. En esa medida el Alcalde Distrital, como máximo orientador de la planeación en la respectiva entidad territorial, será responsable de determinar la pertinencia y oportunidad para iniciar el proceso de revisión del POT, y por ende de coordinar la formulación oportuna del proyecto del plan, de someterlo a consideración del Consejo de Gobierno, y velar porque se surtan todas las fases para su aprobación.”

2.2.3. Caracterización y análisis general de la norma territorial del municipio de Arauquita

Para este estudio se toma como unidad de análisis EL PREDIO entendido éste como el área de interés para el desarrollo del proyecto de vivienda por parte del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, en el cual se pretende materializar las soluciones habitacionales en cumplimiento de lo definido en el Acuerdo de Paz.

Este análisis en consecuencia abordará una caracterización general en cuanto a lo espacial y tenencia del predio a partir de la información primaria y secundaria recolectada a lo largo del proceso. Finalmente se evaluarán las posibilidades del predio a la luz de la norma vigente a nivel municipal y demás normas que le sean aplicables, generando recomendaciones de cara a la viabilización del proyecto de vivienda.

Así mismo, desde el punto de vista jurídico se presenta el estudio de tenencia del predio donde se encuentra el antiguo ETCR Filipinas , cuyo análisis se hace a partir de la revisión de los títulos de adquisición como también del folio de matrícula inmobiliaria o certificado de tradición, a fin de establecer información relevante acerca del estado jurídico del inmueble con relación a su identificación física, la naturaleza pública o privada, la cadena de tradición hasta el o los propietarios actuales. Igualmente el examen advierte sobre la existencia o no de gravámenes que puedan afectar o limitar la propiedad y por último se concluye sobre la viabilidad jurídica del predio, es decir, si se encuentra saneado o requiere algún tipo de actuación o trámite de cara a su futura negociación.

2.2.3.1. Análisis de tenencia antiguo ETCR Filipinas

En la Tabla 2 se presenta el estudio de títulos realizado al certificado de tradición del predio **El Porvenir**.

Tabla 2: Análisis de la propiedad inmueble El Porvenir

Análisis de la propiedad

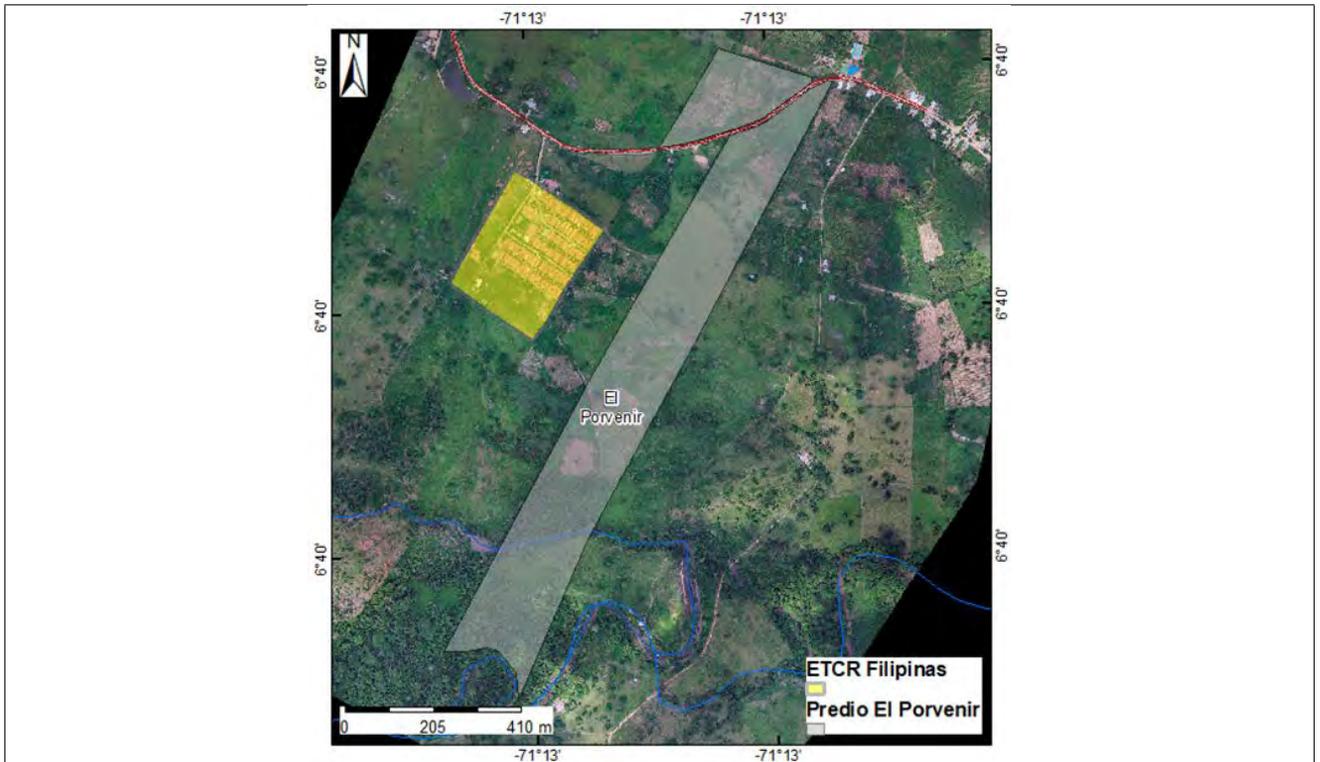


Figura: antiguo ETCR Filipinas (Municipio de Arauquita)

Fuente: - Levantamiento Topográfico Predio El Povernir
 Vereda Caño Claro - Municipio Arauquita
 Departamento Arauca. Noviembre 2020

ARN Agencia para la Reincorporación y la Normalización
 Escritura 516 del 30 de abril de 2018.

Cartografía Básica Digital Integrada. República de Colombia.
 Escala 1:100.000. IGAC

Departamento:	Arauca
Municipio	Tame
Vereda	Filipinas
Nombre del Predio	El Porvenir
Tipo de Predio	Rural
Código Catastral	81794000000000000003954000000000
Área según catastro	No registra
Área según título	25 HA + 5.750 m ²
Folio de Matricula Inmobiliaria	410-35813

Fecha de Apertura del folio	30-04-1997
Documento y/o acto jurídico por el cual se da apertura el FMI	Escritura 1351 del 23-12-1996 Notaría Única de Tame (Compraventa)
Estado del folio	Activo
Folio Matriz	410-27413
Folios segregados	Ninguno
Porcentaje de Derecho	Asociación para la Vida y la Paz –ASOVIP NIT 9011314834 100 %
Naturaleza Jurídica	Privado
<p>Linderos: Tomados de la Escritura Pública 516 del 30 de abril de 2018 de la Notaría Única de Tame.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ NOROESTE: Colinda con Beatriz Merchan, en mil setecientos cinco (1.705) metros. ▪ NORESTE: Colinda con Benjamin Gutiérrez Padilla, en noventa y tres punto veinticinco (93,25) metros. ▪ SURESTE: Colinda con Yolanda Maldonado de Santos, en cuatrocientos cuarenta y ocho (448) metros y con Cesar Antonio Toloza, en mil cuarenta y seis punto cincuenta (1.046,50) metros. ▪ SUROESTE: Colinda con Cañada La Arenosa, en trescientos veintiséis (326) metros y encierra. 	
<p>Concepto: Este predio fue adquirido por la Asociación para la Vida y la Paz –ASOVIP por compra efectuada al señor Anderson Rodríguez Rodríguez, como consta en la Escritura Pública 516 del 30 de abril de 2018 de la Notaría Única de Tame, debidamente registrada en la anotación 07 del folio de matrícula inmobiliaria.</p>	

Tradición: La tradición se encuentra ajustada a derecho, es consecuencia de una cadena lógica de dominio, el predio se encuentra libre de gravámenes, limitaciones al dominio, embargos, medidas cautelares, títulos de falsa tradición y afectación a vivienda familiar. Por lo tanto, es un predio que desde el punto de vista jurídico se encuentra saneado, Se realizó estudio de títulos al folio de matrícula inmobiliaria Numero **410-35813** del 17-09-2020, Total anotaciones 7.

Observaciones Técnicas: Este predio se encuentra en una zona de conflicto limítrofe con el Municipio de Tame por discordancia en el límite municipal, por esta razón el código catastral y la matricula inmobiliaria corresponden a dicho municipio. La delimitación del predio obedece al levantamiento topográfico de Noviembre 2020, elaborado por la ARN (Agencia para la Reincorporación y la Normalización) con un área de **27 Hectáreas y 6517 metros cuadrados**. El polígono suministrado en dicho levantamiento no corresponde en su totalidad a la descripción de linderos de la escritura pública 351 de 23-12-96 Notaria Única de Tame; por lo tanto, se debe corroborar esta información para no correr el riesgo de disponer de un área de la cual no se tiene un título inmobiliario, ya que se tiene en el levantamiento topográfico un área adicional de 1,9233 hectáreas. Se observa coincidencia la longitud de los linderos Noroeste y Sureste; y diferencias importantes en los linderos Noreste y Suroeste. Se recomienda especialmente la verificación del lindero Noroeste.

2.2.3.2. Caracterización general físico espacial

La población inicial determinada para conformar este antiguo ETCR Filipinas fue de **428 personas** (*según la ARN se tiene una potencial demanda de personas en reincorporación para atención con vivienda de 183 (Agencia para la Reincorporación y la Normalización, 2020)*), lo cual permite evidenciar la consolidación de un asentamiento nucleado que difiere de las características propias del entorno rural disperso y productivo de la zona.

Los materiales del asentamiento hablan del carácter transitorio con el que fue construido: Superboard como cerramiento exterior, estructuras en perfilera metálica y cubiertas a dos aguas en zinc. Los módulos habitacionales son adosados, cuentan con energía eléctrica y acueducto, y disponen de unidades sanitarias compartidas entre diferentes módulos.

Como parte del proceso de consolidación del asentamiento algunos de es-

tos módulos han sido intervenidos por los habitantes y producto de esto han surgido usos complementarios como tienda comunitaria, tiendas particulares, papelerías, peluquerías, taller de zapatos, ebanistería, bares, oficinas y taller para el procesamiento de Sasha Inchi.

También cuentan con espacios de apoyo para la capacitación y reincorporación, biblioteca, guardería que hace las veces de centro de desarrollo infantil, salón comunal y puesto de salud.

Los proyectos productivos que la comunidad viene desarrollando están asociados al cultivo de la Sacha Inchi, iniciativa empresarial mediante la cual agricultores, campesinos y exguerrilleros aprovechan la biodiversidad y convierten la planta con alto contenido de Omega 3, 6 y 9, antioxidantes y proteína, en productos alimenticios. De igual forma se han implementado cultivos de plátano, maíz y yuca, avicultura, apicultura, piscicultura, cría de cerdos y novillos, que inciden en las características del paisaje circundante del antiguo ETCR.

2.2.3.3. Norma general territorial aplicable al predio

El municipio de Arauquita cuenta con los siguientes Acuerdos Municipales:

- **Acuerdo 061 de 2000:** Mediante el cual se adopta el Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio.
- **Acuerdo 016 de Mayo 25 de 2007.**
- **Acuerdo 032 de Diciembre 04 de 2009:** Por el cual se ajusta el Plan Básico de Ordenamiento Territorial del municipio de Arauquita, adoptado mediante el Acuerdo no. 061 de 2000. Es sobre esta norma sobre la cual se hace el análisis normativo territorial aplicable al predio.

Los siguientes son los elementos determinantes de la norma aplicables al predio donde se tiene previsto desarrollar el proyecto habitacional.

Normas urbanísticas municipales aplicables:

Clasificación suelo: La Figura 31 contiene la delimitación de las áreas correspondientes a la clasificación del suelo para el antiguo ETCR Filipinas.

- Suelo Rural: 26,02 Ha.
- Suelo de Protección: Área forestal protectora productora 1,63 Ha.

Usos del suelo:

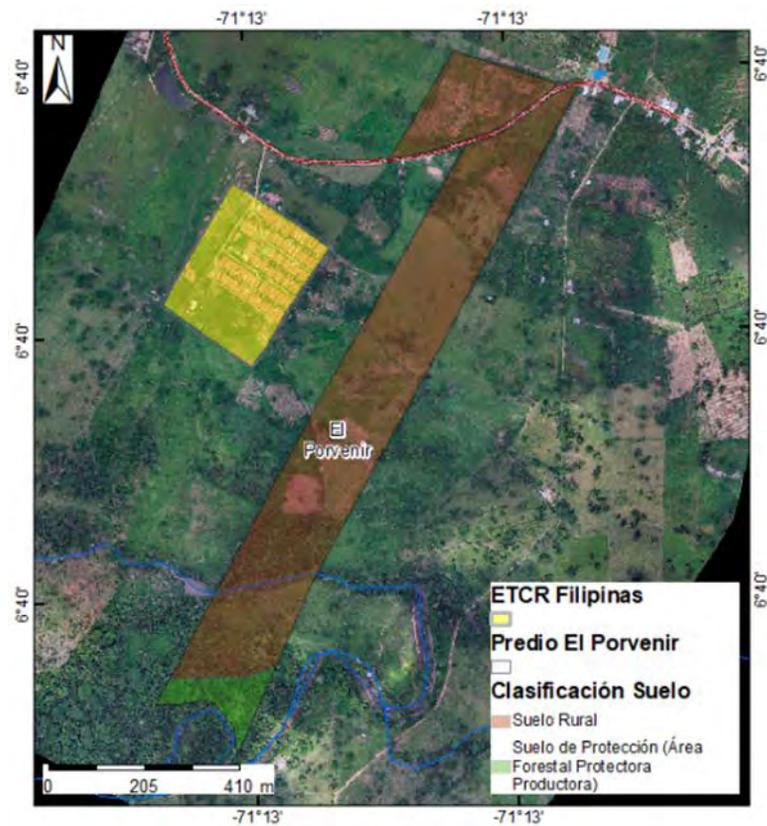


Figura 31: Clasificación del suelo en el Antiguo ETCR Filipinas. Fuente: Cartografía PBOT, Cartografía PBOT, Municipio de Arauquita

- El predio El Porvenir dentro del Diagnóstico del PBOT evidenció como principales limitantes del suelo las siguientes: Drenaje pobre, inundaciones periódicas, encharcamientos prolongados. Adicionalmente baja fertilidad, alta saturación de aluminio y presencia de zurales de manera dispersa. Y recomendando la implementación de cultivos comerciales de arroz, maíz y yuca, realizando prácticas de drenaje (Vhs).

Específicamente a la zona asociada al drenaje Cañada La Arenosa se estableció de presencia de nivel freático, encharcamiento e inundaciones frecuentes, algunos sectores presentan abundante pedregosidad. Por lo tanto la recomendaciones de uso sugieren actividades de conservación de flora, fauna y de los recursos hidrológicos existentes (VhIIs).

La Figura 32 presenta la delimitación de las áreas Vhs y VhIIs en el area que corresponde al antiguo ETCR Filipinas.

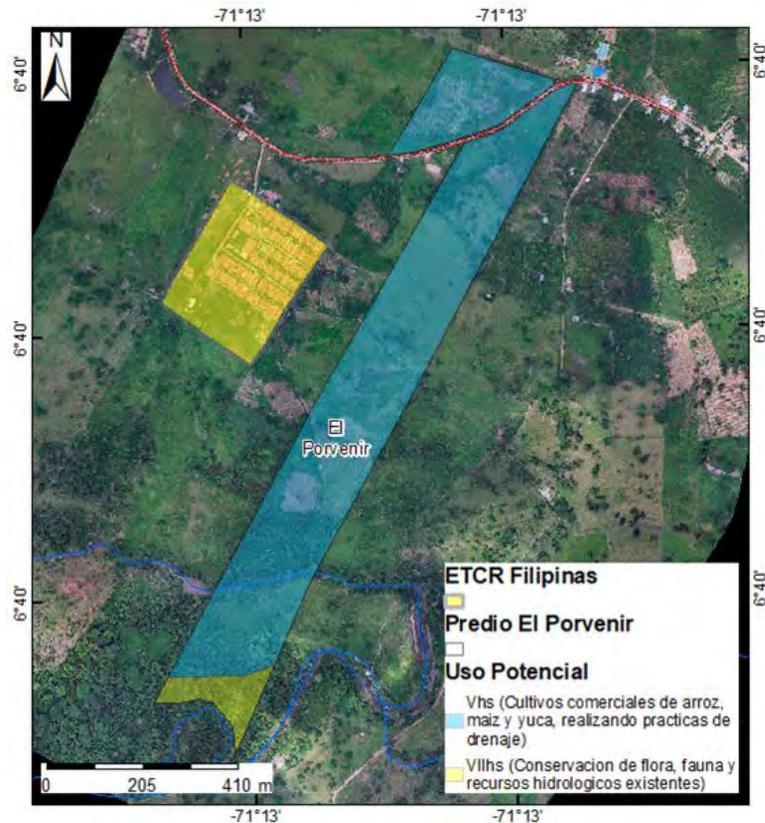


Figura 32: Uso potencial del Suelo antiguo ETCR Filipinas (Municipio de Arauquita)

- Con fundamento en lo anterior, para esta zona y otras con características similares el artículo 105 del PBOT define normativamente el uso agropecuario bajo la clasificación de Agropecuario extensivo. Señalando para su manejo los siguientes lineamientos:
 - a) *En todos los casos, pero especialmente en cultivos temporales, se deberán implementar prácticas de conservación del suelo y control de erosión.*
 - b) *Se deberá evitar el riego por gravedad o por inundación.*
 - c) *Se puede lograr la intensificación pecuaria mediante pastos de corte y estabulación en pequeña escala y lejos de las viviendas, con recirculación del estiércol. De igual manera, se pueden utilizar prácticas agrícolas intensivas en pequeña escala.*
 - d) ***Un mínimo del 20 % del predio debe dedicarse a uso forestal protector-productor, con el fin de establecer una malla ambiental en todo el municipio.***

El predio dentro de la clasificación de actividades en suelo rural se encuentra categorizado dentro del artículo 113 como Actividad Agropecuaria Extensiva 2 y como se muestran en el modelo de ordenamiento territorial y las áreas de actividad rural del PBOT (Ver Figs. 33 y 34).

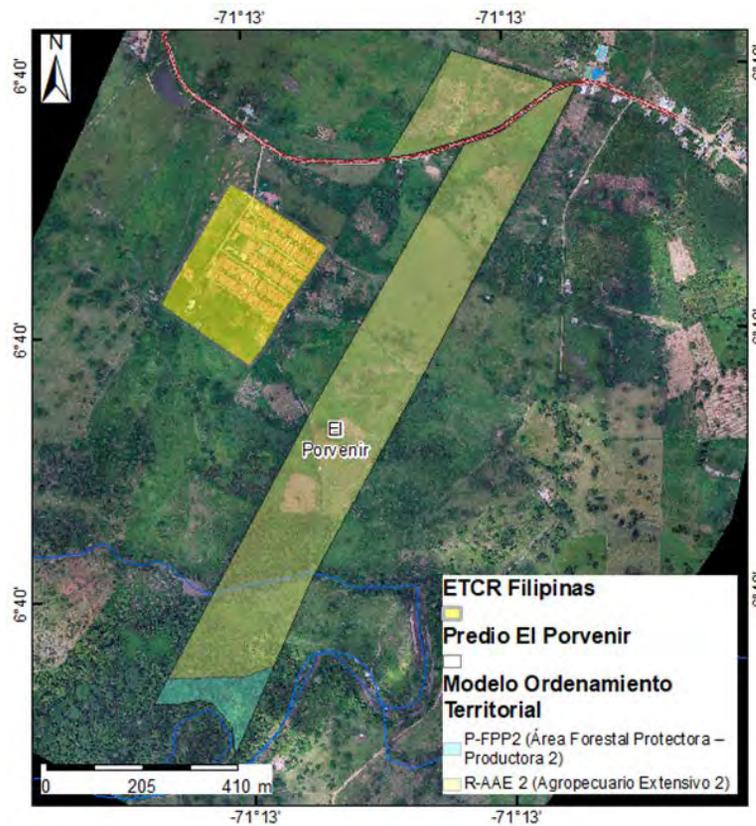


Figura 33: Modelo de ordenamiento territorial en el antiguo ETCR Filipinas (Municipio de Arauquita)

Por su parte el artículo 114 define la asignación de usos por áreas de actividad en suelo rural, señalando para la Actividad Agropecuaria Extensiva 2 lo siguiente:

- **Usos Principales:** *Agropecuario extensivo; Reforestación de fuentes hídricas con especies nativas* (Figura 35)
- **Usos Compatibles:** *Recreación pasiva; Investigación para desarrollo de programas basados en la biodiversidad; Forestales; Plantación selectiva de especies nativas maderables tolerantes a inundaciones; Vivienda del propietario o Vivienda Campesina.*
- **Usos Condicionados:** *Agroforestería; Pesca controlada; Actividades de uso sostenible de la biodiversidad; Ecoturismo; Comercio y Servicios Grupo*

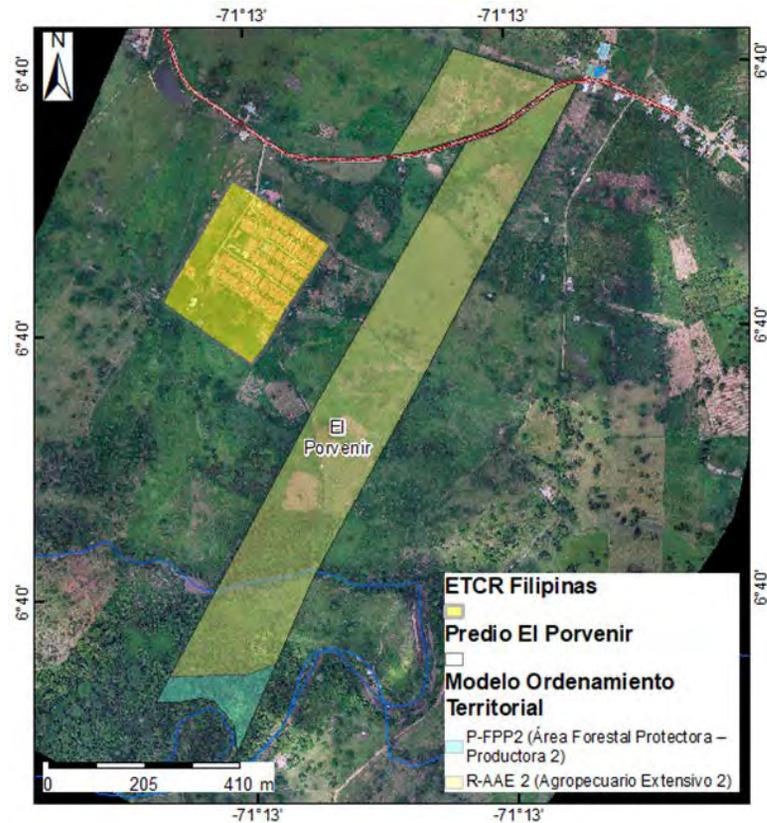


Figura 34: Actividad Rural en el antiguo ETCR Filipinas (Municipio de Arauquita)

I y Grupo II, Institucional Grupo I y Grupo II, Agroindustria. Exploración y Explotación de hidrocarburos y explotación de materiales de construcción.

- **Usos Prohibidos:** Desarrollo urbanístico, minería, tala, quema y caza.

Determinantes de ordenamiento territorial: (Figura 36)

- **Suelo de Protección:** Asociado al retiro hídrico catalogado como área forestal protector productor.
- **Estructura Ecológica Principal:** Dentro de la Estructura Ecológica Principal del Orden Municipal El predio El Porvenir hace parte de en su costado suroeste de las **Áreas de Protección del Sistema Hídrico y de las Áreas Forestales Protectoras Productoras** asociadas a las áreas de protección no declaradas definidas en el artículo 17 del PBOT, catalogadas como áreas ricas en diversidad biológica y como áreas estratégicas para la flora y fauna silvestre, especies endémicas y amenazadas con un área de 1.63 ha,

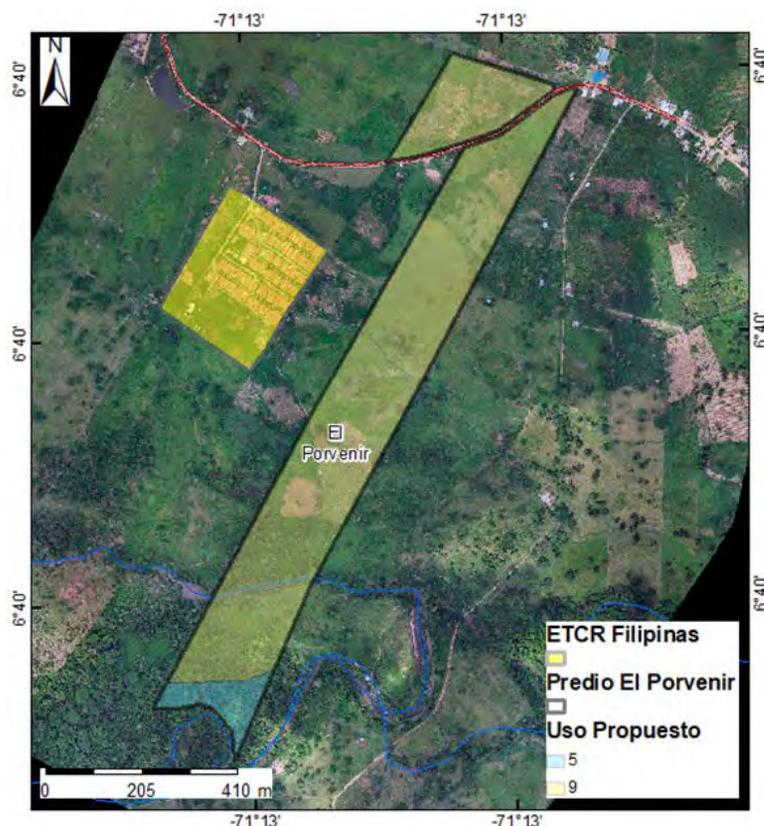


Figura 35: Usos Propuestos en el antiguo ETCR Filipinas (Municipio de Araucuita), 5: Conservación de Bosque Nativo, 9: Reforestación de fuentes hídricas con especies nativas.

El PBOT en el plano de DR-11 IMPORTANCIA AMBIENTAL (Figura 37), define todo el predio dentro de las **Zonas de Moderada Importancia Ambiental Tipo 2 (ZMIA 2)** correspondiente a las áreas de relieve plano a ligeramente ondulado, de mayor intervención antrópica, importantes para el sostenimiento alimenticio de la población Araucana.

Otras fuentes consultadas:

- REEA (Registro Único de Ecosistemas y Áreas Naturales): No registra información en esta consulta.
- SIAC (Sistema de Información Ambiental de Colombia),
 - Registro en el Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia (SPNN) de área de Prioridad Nacional de Conservación Conpes 3680 (Bosques naturales del helobioma Amazonia y Orinoquia)
 - Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH): Áreas Priorizadas para Conservación de la Biodiversidad

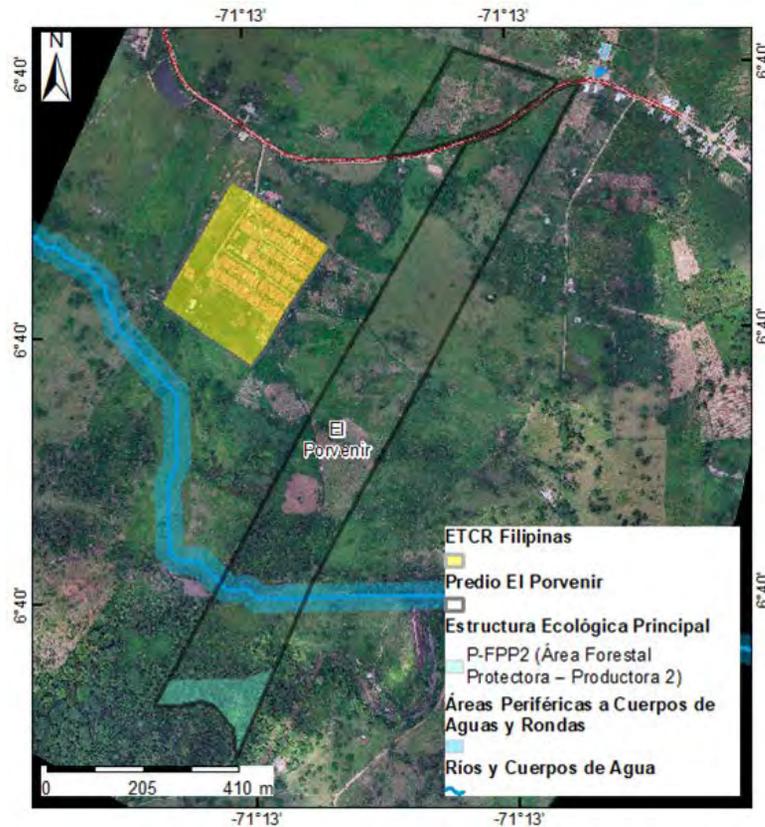


Figura 36: Estructura Ecológica en el antiguo ETCR Filipinas (Municipio de Arauquita)

(Complejo de humedales ríos Lipa y Ele). No obstante el potencial ambiental de los suelos, a noviembre 29 de 2020 no existe declaratoria de área protegida, por lo cual no es determinante ambiental que restrinja los usos del suelo al Municipio, (Figura 38).

- **Líneas de alta tensión:** No se encuentran infraestructuras asociadas.
- **Cuerpos de agua:** Quebrada La Arenosa (Lindero Suroeste).
- **Ronda de cuerpo de agua:** 30 metros de ancho a cada lado de las márgenes de quebradas, caños y arroyos, sean permanentes o no (artículo 19 PBOT)
- **Amenazas:** En el artículo 28 se define la Amenaza Sísmica, que para el caso de Arauquita todo el territorio tiene amenaza sísmica intermedia. En el artículo 32 establece que el predio se localiza en una zona con condición de amenaza por incendio forestal.

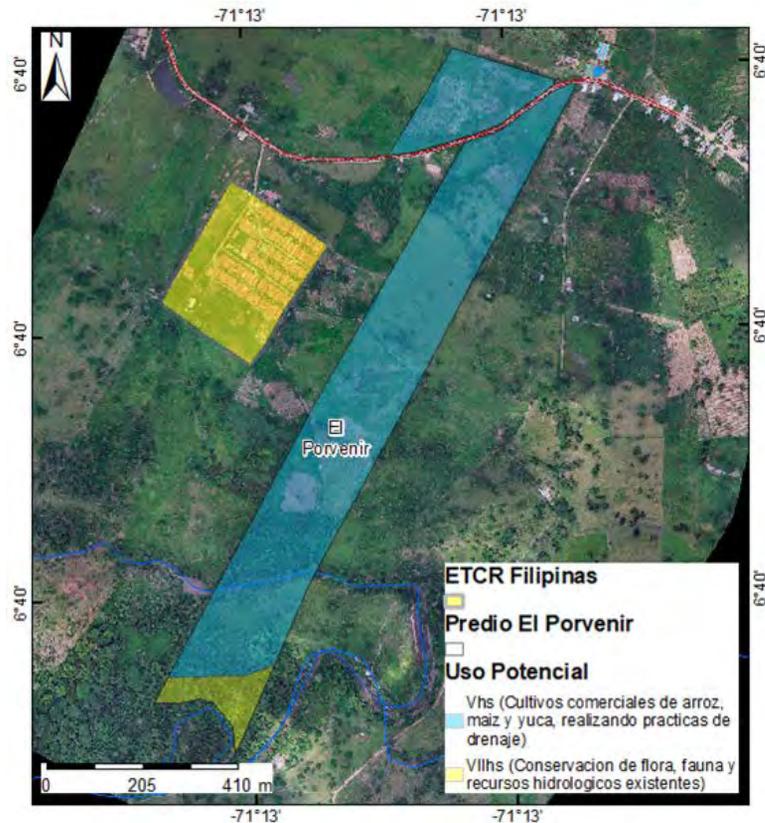


Figura 37: Importancia Ambiental en el antiguo ETCR Filipinas (Municipio de Arauquita)

- **Vías:** El predio se localiza próximo a la vía que de Pueblo Nuevo conduce a Filipinas – El Rincón – San José del Lipa. Corresponde a una vía de Tercer orden (VR-3) con un retiro vial de 15 mt desde el eje de la calzada en ambos costados para un total de 30 metros. Lo que se traduce en un retiro aunque ocupa un área de 0,84 Ha.
- **Resguardo indígena:** El predio no se traslapa con resguardo indígena, sin embargo esta próximo al R.I La Voragine- La Ilusión (Grupo étnico Cuiba Hitno)

Densidad

El artículo 107 permite el uso residencial en el suelo rural siempre y cuando sea considerado como uso complementario y restringido y la densidad máxima habitacional permitida es de 1 viv/UAF; para el caso de las Áreas de Actividad Agropecuaria extensiva aplicable para el predio donde se localiza el antiguo ETCR y el predio adquirido con fines de reasentamiento de población reinsertada.

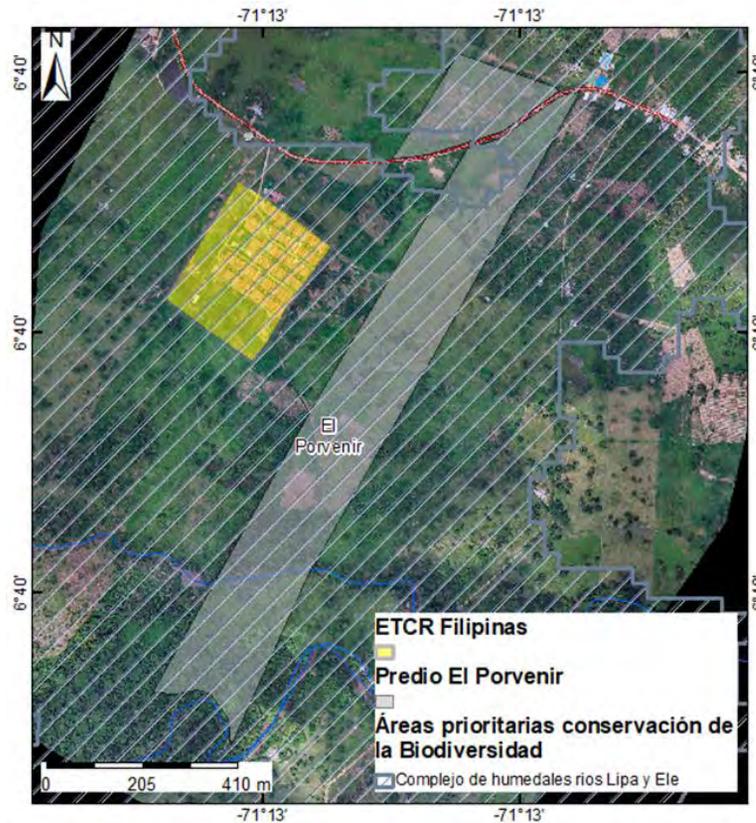


Figura 38: Áreas Prioritarias conservación de la biodiversidad en el antiguo ETCR Filipinas (Municipio de Arauquita)

Intensidades de usos según norma urbanística:

El artículo 116 define la **Norma Urbanística General para Suelo Rural** aplicable a las diferentes áreas de actividad en las que se encuentra zonificado el suelo rural del Municipio, tal y como se muestra en las Figuras 39 y 40.

2.2.3.4. Cálculo de aprovechamientos urbanísticos o intensidad en los usos del suelo

El cálculo de aprovechamientos urbanísticos del predio se realiza a partir de la determinación del área neta urbanizable (Figura 41), la cual es la resultante de descontar del área bruta del predio, las áreas para la localización de la infraestructura para el sistema vial principal y de transporte, las redes primarias de servicios públicos, las áreas de conservación y protección de los recursos naturales y paisajísticos y demás afectaciones del predio, multiplicado por la densidad habitacional definida por el PBOT.

El municipio de Arauquita establece en su PBOT para el predio El Porvenir un área mínima de lote de 24 ha por parcela con una sola vivienda, es decir una

SUELO RURAL – ÁREA DE ACTIVIDAD AGROPECUARIA EXTENSIVA			Ficha NUG – R – 09	
NORMAS URBANÍSTICAS GENERALES	Vivienda del Propietario	Institucional	Comercio	Agroindustria
Aislamiento Lateral Mínimo	5 ML	5 ML	10 ML	10 ML
Aislamiento contra vías	S/Plan Vial	S/Plan Vial	S/Plan Vial	S/Plan Vial
Número de Pisos	2	2	2	2
Atillos	NO	NO	NO	NO
CRITERIOS				
Reforestación	Especies nativas			
Cerramientos	Transparencia mínima del 90% por todos los linderos o cercas vivas.			
CONDICIONAMIENTO DE USOS				
Los usos que impliquen utilización de recursos naturales, están sujetos al cumplimiento de los requisitos específicos fijados por la autoridad ambiental.				
Cuando el desarrollo de los usos principales, complementarios y condicionados implique el establecimiento de construcciones, estas deberán realizarse previa obtención de las respectivas licencias otorgadas por la autoridad competente.				
Las construcciones destinadas a la producción pecuaria en condiciones de estabulación, independientemente de si corresponden a usos complementarios o condicionados deberán disponer de acabados que permitan la adecuada realización de labores de aseo.				

Figura 39: Norma urbanística general para el suelo rural. Fuente: PBOT - R-09

SUELO RURAL – ÁREA DE ACTIVIDAD AGROPECUARIA EXTENSIVA			Ficha NUG – R – 10	
NORMAS URBANÍSTICAS GENERALES	Vivienda del Propietario	Institucional	Comercio	Agroindustria
Índice Máximo de Ocupación	5%	30%	30%	50%
Índice Máximo de Construcción	10%	60%	60%	100%
Aislamiento Lateral Mínimo	5 ML	5 ML	10 ML	10 ML
Aislamiento contra vías	S/Plan Vial	S/Plan Vial	S/Plan Vial	S/Plan Vial
Número de Pisos	2	2	2	2
Atillos	Si	NO	NO	NO
CRITERIOS				
Reforestación	Especies nativas			
Cerramientos	Transparencia mínima del 60% por todos los linderos o cercas vivas.			
CONDICIONAMIENTO DE USOS				
Los usos que impliquen utilización de recursos naturales, están sujetos al cumplimiento de los requisitos específicos fijados por la autoridad ambiental.				
Cuando el desarrollo de los usos principales, complementarios y condicionados implique el establecimiento de construcciones, estas deberán realizarse previa obtención de las respectivas licencias otorgadas por la autoridad competente.				
Las construcciones destinadas a la producción pecuaria en condiciones de estabulación, independientemente de si corresponden a usos complementarios o condicionados deberán disponer de acabados que permitan la adecuada realización de labores de aseo.				

Figura 40: Norma urbanística general para el suelo rural. Fuente: PBOT R-10

densidad de 0,041666667 viv/ha.

En la tabla 65 se presentan los resultados que arroja el cálculo de densidades sobre el predio El Porvenir luego de aplicarle las normas anteriormente descritas:

De acuerdo a estos resultados y de cara a la viabilización del proyecto de vivienda del en el predio objeto de estudio, donde con la norma urbanística

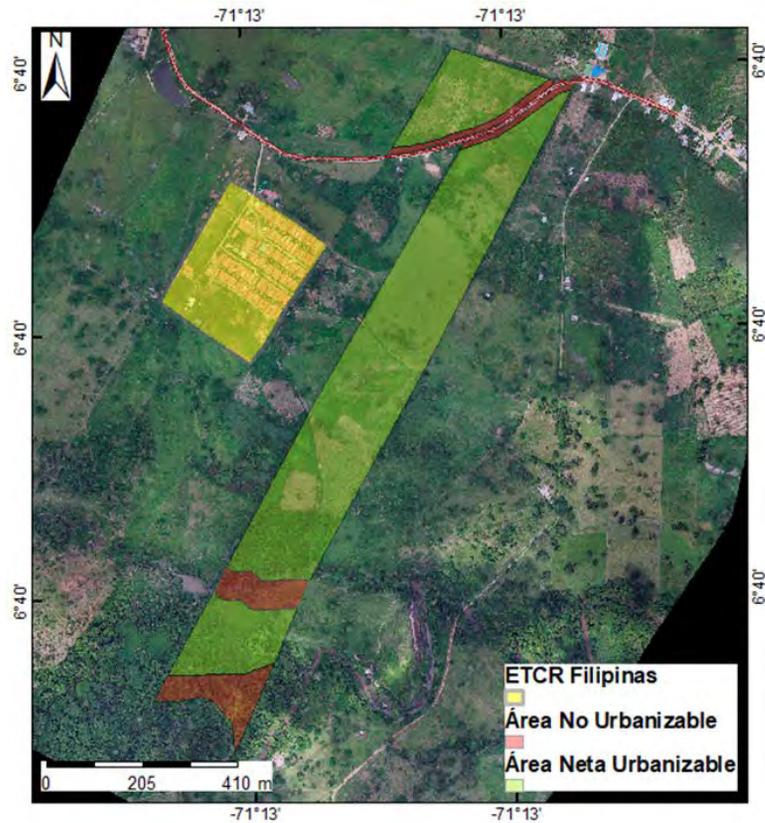


Figura 41: Area Neta Urbanizable en el antiguo ETCR ElPorvenir.

vigente el aprovechamiento máximo es de 1.07 viviendas, se hace necesario que desde la norma se habilite un aprovechamiento mayor que conlleve al incremento del índice de suburbanización en los términos del artículo 2.2.2.2.1 del Decreto Nacional 1077 de 2015, así como una concertación de densidades rurales con la CAR, quién tiene la competencia de su definición en los términos del Numeral 31, Artículo 31 de la Ley 99 de 1993.

2.3. Conclusiones

A partir de los resultados de la evaluación del predio en el marco de la normativa territorial existente se presentan estas conclusiones de cara a una adecuada planeación, formulación y ejecución del proyecto habitacional a implementarse en el antiguo ETCR.

En este orden de ideas, la existencia de condicionantes previamente definidas, relativas a la localización del predio en suelo rural y al otorgamiento de subsidio de vivienda rural para albergar un proyecto de alta densidad poblacional, se convirtieron en elementos que inciden al momento de aplicar la norma en cuanto

Tabla 3: Calculo de aprovechamiento de viviendas.

INFORMACIÓN PREDIAL	ARAUQUITA
Nombre del predio	Filipinas
Vereda (Fuente: POT)	Caño Claro
Área jurídica (Fuente: Matricula Inmobiliaria)	25 Ha + 5750 m ²
Área Dibujo	27,65 ha
Matricula Inmobiliaria	410-35813
Propietario	Asociación para la vida y la paz (ASOVID)
Intensidades de usos según norma urbanística	
Densidades	
Para parcelación y construcción rural	Densidades habitacionales atadas a la UAF según Artículo 107 de Acuerdo 32 de 2009 Uaf de 1viv/24ha-32ha
<i>Número Máximo de viviendas Por Ha (densidad)</i>	0,041666667
<i>Dispersas</i>	NA
<i>Agrupadas</i>	NA
<i>Dispersas</i>	NA
<i>Agrupadas</i>	NA
Vivienda Campestre	NA
<i>Área mínima de predio</i>	NA
<i>Índice de construcción</i>	NA
<i>Otras restricciones</i>	Un mínimo del 20 % del predio debe dedicarse a uso forestal protector-productor
<i>Índice Máximo de Ocupación</i>	5 %
<i>Índice Máximo de Construcción</i>	10 %
<i>Aislamiento Lateral Mínimo</i>	5 ML
<i>Aislamiento contra vías</i>	S/Plan Vial
<i>Número de Pisos</i>	2
<i>Altura máxima</i>	Si
CÁLCULO DE APROVECHAMIENTOS	
Área de lote (ha)	27,65
Área no urbanizable (restricciones: Suelo de Protección, Ronda hídrica y retiro vía de tercer orden)	2,47
Área neta urbanizable	24,04
Total aprovechamiento máximo (viviendas)	1,07

a densidades, usos del suelo y restricciones de tipo ambiental. Aunado a lo anterior, el modelo de enclave propuesto para el antiguo ETCR como proyecto habitacional hace que el área urbanizable de los predios por su dimensión sea insuficiente para albergar altas densidades en este tipo de suelo.

Por lo anterior, es de suma importancia, que las autoridades municipales

adelanten el ajuste del Instrumento de Ordenamiento Territorial, con la finalidad de viabilizar el antiguo ETCR normativamente como parte de su territorio, con una mirada integral, logrando una articulación armónica de éste con un entorno que posee características que los destacan por su ubicación estratégica, asociadas a zonas de importancia ambiental y cultural.

La incorporación de los espacios territoriales a la norma urbanística presupone una planificación con visión de futuro que autorice su consolidación como conglomerado o asentamiento humano en suelos donde la norma les posibilite lógicas de crecimiento, productividad y dinámicas propias al contexto.

Las anteriores conclusiones corresponden a una mirada general de los ámbitos normativo y espacial del antiguo ETCR, por lo tanto, a continuación se presentan de manera puntual unas conclusiones propositivas de cara a lograr la viabilización del proyecto urbanístico en el predio donde se albergará la población del antiguo ETCR del municipio de Arauquita:

- Los linderos de la Escritura Pública 351 de 23-12-96 Notaría Única de Tame, deben ser verificados con el levantamiento topográfico realizado por la ARN en noviembre de 2020, por cuanto existe una diferencia significativa en las hectáreas, que conllevaría a ocupar una área de la cual no se posea el respectivo título de propiedad.
- El predio El Porvenir se encuentra en suelo rural bajo la clasificación Agropecuaria extensiva 2 donde los usos principales promueven la reforestación de fuentes hídricas con especies nativas; conservación y restauración ecológica. Como usos compatibles entre otros, se permite la vivienda del propietario o vivienda campesina con una densidad máxima habitacional de 1 viv/ha (UAF). Y como uso prohibido, se limita totalmente el desarrollo urbanístico.
- El predio presenta una área forestal protectora productora catalogada en el PBOT como suelo de protección asociado a la Cañada La Arenosa, con un retiro normativo de 30 metros a cada lado y frente a los cuales se deben emprender acciones dirigidas a la realización de actividades de conservación de flora, fauna y de los recursos hidrológicos existentes.
- No obstante asignársele al predio un uso agropecuario extensivo en el PBOT, se establece que un 20
- Otras fuentes consultadas muestran que el predio El Porvenir hace parte

de una zona con un alto potencial ambiental de sus suelos al hacer parte de las áreas priorizadas para la conservación de la biodiversidad (Complejo de humedales ríos Lipa y Ele); sin embargo, no ha sido declarada como área protegida.

- El predio se encuentra segmentado por la vía que de Pueblo Nuevo conduce a Filipinas – El Rincón – San José del Lipa, ésta condición genera un retiro vial normativo de 15 mt desde el eje de la calzada en ambos costados para un total de 30 metros.
- El municipio en su Plan de Desarrollo 2020- 2023 “Creamos, creemos, crecemos” (Acuerdo 011 de 2020) reconoce que éste se encuentra desactualizado y ante la existencia de dos POMCA en el territorio municipal, los cuales como marco normativo de superior jerarquía, deben ser armonizados con la norma territorial con el fin de “avanzar el establecimiento de su estructura ecológica principal y determinar categorías de protección para los ecosistemas estratégicos, que permitan detener el deterioro ambiental y elevar la calidad de los servicios ecológicos presentes en su territorio. Por lo tanto esto permitirá efectuar la apropiación presupuestal de forma ágil de cara a la contratación de todos los estudios técnicos y el equipo profesional que se requiera para la actualización del PBOT.
- Necesariamente para la viabilización del antiguo ETCR se tendrá que acoger una de las rutas normativas que se han dejado plasmadas en el presente documento y que van desde revisión ordinaria del PBOT, la modificación excepcional de norma urbanística o el trámite extraordinario de aprobación de normas urbanísticas.

Dado que a la fecha de elaboración de este estudio se tiene conocimiento de la expedición de una Ley de Vivienda que viabiliza normativamente los antiguos ETCR y establece las pautas para su incorporación en los planes de ordenamiento territorial, al señalar que el Gobierno Nacional entregará la información pertinente, la cual incluirá las normas urbanísticas básicas para la consolidación de los antiguos ETCR, con el fin de que sea tenida en cuenta en el proceso de revisión y ajuste de los Planes de Ordenamiento Territorial de los municipios. En este sentido, una vez la obligación adquirida por el Gobierno Nacional se cumpla, el alcalde de cara a la expedición de la licencia deberá acoger lo reglado en la disposición que para el efecto se expida.

- En el evento de optarse por realizar una revisión ordinaria o de largo plazo, del PBOT con el fin de lograr la incorporación del antiguo ETCR en la norma territorial, se tendría que efectuar entre otros asuntos una modificación de la clasificación del suelo, así mismo incrementar el umbral de suburbanización (norma objeto de concertación ambiental), de acuerdo con lo establecido en el Artículo 2.2.2.2.1 del Decreto Nacional 1077 de 2015. Así mismo, se deberá realizar una concertación de densidades rurales con la CAR, quién tiene la competencia de su definición en los términos del Numeral 31, Artículo 31 de la Ley 99 de 1993.
- Otra opción es la incorporación del antiguo ETCR como Centro Poblado Rural, proyectado, lo cual requiere ajustar el Artículo 2.2.2.3.1, por cuanto dicha norma solo está concebida para categorizar dentro del PBOT áreas habitacionales preexistentes a la formulación de dicho instrumento. Lo que significa, que escoger la categoría de suelo suburbano o centro poblado dependerá de la tipología de asentamiento que se defina en el antiguo ETCR.
- El antiguo ETCR brinda la oportunidad para que el ente territorial apoye decididamente la creación de un nuevo Centro Poblado que no se circunscriba solo al predio objeto de análisis de este estudio, sino que se explore la posibilidad de configurar una área mayor que involucre uno o más predios que permita prever el desarrollo y crecimiento futuro del asentamiento; lo cual obligará a que en el futuro se establezca desde la norma un planteamiento urbanístico que fije las directrices para un desarrollo planificado de este espacio territorial.
- Otra posibilidad para la viabilización del antiguo ETCR en el menor tiempo posible es acoger lo dicho en el ítem de modificación excepcional de norma urbanística a fin de introducir un cambio en el Decreto 1077 de 2015 que habilite la modificación excepcional de norma urbanística así los contenidos de largo plazo del POT se encuentren vencidos, para efectos de modificar las clases y usos del suelo; así mismo, se posibilite el ajuste de los objetivos y estrategias de largo plazo y hasta permita ampliar la vigencia, todo esto con el fin de dar cumplimiento a lo pactado en el acuerdo de paz con las estructuras de las extintas FARC-EP.
- El ajuste normativo que el municipio de Arauquita emprenda con miras a lograr la incorporación del antiguo ETCR en el al PBOT deberá enfocarse

mínimamente en la modificación e incorporación de los siguientes artículos descritos en la Tabla 4, los cuales se consideran necesarios para el otorgamiento de la respectivas licencias urbanísticas de parcelación, construcción y autorización de subdivisión:

Tabla 4: : Propuesta general de modificación e incorporación de artículos revisión PBOT.

ITEM	Disposición Principal Propuesta	Localización En el ajuste al PBOT	Observación
Clasificación del suelo	Clase de suelo rural	Ajustar Art 10	Disposición objeto de concertación ambiental y Adopción mediante Acuerdo POT
Categoría del suelo rural	Suelo suburbano	Ajustar Art 10	Disposición objeto de concertación ambiental y Adopción mediante Acuerdo POT
Umbral de suburbanización	Crear el umbral	Nuevo artículo	Disposición objeto de concertación ambiental y Adopción mediante Acuerdo POT
Hechos generadores de plusvalía	El cambio de clase de suelo rural a suelo suburbano se considera hecho generador	Nuevo artículo	Adopción mediante Acuerdo POT
Definición de porcentaje de participación el plusvalía	30 % del plusvalor	Nuevo artículo	Adopción mediante Acuerdo POT
Normas de Parcelación			

Definiciones generales	Definición de área bruta, área neta urbanizable y área útil	Nuevo artículo	Adopción mediante Acuerdo POT
Secciones viales mínimas y senderos	6m de ancho	Nuevo artículo después del artículo 96	Adopción mediante Acuerdo POT
Cesiones urbanísticas para espacio públicos de orden local (vías, espacio público, suelo para equipamientos)	20 % del ANU	Nuevo artículo	Adopción mediante Acuerdo POT
Uso del suelo principal	Vivienda (30 % ANU) Agrícola (30 % ANU)	Ajustar Art 107	Adopción mediante Acuerdo POT
Usos del suelo complementarios	Comercio menor Usos dotacionales (20 % ANU)	Ajustar Art 107	Adopción mediante Acuerdo POT
Antejardín	4m de ancho	Nuevo artículo	Adopción mediante Acuerdo POT
Densidades habitacionales	15 viv/ha	Nuevo artículo	Disposición objeto de concertación ambiental y Adopción mediante Acuerdo POT
Área mínima de lote	500m ²	Ajustar Art 116	Adopción mediante Acuerdo POT

Frente mínimo de lote	20m	Ajustar Art 116	Adopción mediante Acuerdo POT
Índice máximo de Ocupación	30 % ANU	Ajustar Art 116	Adopción mediante Acuerdo POT
Normas de construcción			
Área mínima de vivienda	45m ²	Ajustar Art 116	Adopción mediante Acuerdo POT
Área máxima de local	250m ²	Ajustar Art 116	Adopción mediante Acuerdo POT
Altura máxima de la edificación	2 pisos	Ajustar Art 116	Adopción mediante Acuerdo POT
Retiro de edificación a lindero	5 metros	Ajustar Art 116	Adopción mediante Acuerdo POT
Iluminación y ventilación	Todos los espacios con iluminación directa a través de fachada o patio	Nuevo artículo	Adopción mediante Acuerdo POT
Condiciones mínimas de habitabilidad	Un baño, cocina, salón común, ventanas, puerta de baño, puerta principal, piso en mortero	Nuevo artículo	Adopción mediante Acuerdo POT

La propuesta de modificación normativa que se acaba de presentar responde a un ejercicio hipotético que necesariamente tendrá que ser ajustado una vez se tenga el planteamiento urbanístico definitivo del antiguo ETCR.

- Justificación de la creación de un nuevo Centro Poblado Rural. El estudio evidencia la necesidad de que los antiguos ETCR sean viabilizados normativamente a través de su incorporación como Centros Poblados proyectados (siempre y cuando se modifique el Decreto 1077 de 2015 en su Artículo 2.2.2.2.3.1) razón por la cual, a continuación se plasman las consideraciones que justifican la creación de estos asentamientos humanos.

Los antiguos ETCR fueron concebidos como espacios temporales para albergar un número significativo de reincorporados que conforme a lo pactado en el Acuerdo de Paz eje temático – Reforma Rural Integral, quedaron a la espera de la creación de condiciones de permanencia para el acceso a la tierra, a la vivienda, a bienes y servicios públicos en un ambiente rural y en equilibrio con la naturaleza.

Bajo esa premisa el Centro Poblado toma relevancia y se convierte en la figura que permite visualizar los antiguos ETCR como espacios permanentes y de oportunidad para configurar físicamente asentamientos humanos nucleados con una mirada desde la planificación territorial, donde exista la posibilidad de definir el lugar que se ocupará y cómo se intervendrá de acuerdo al perfil sociocultural de los futuros habitantes, garantizando que desde su adopción o viabilización urbanística se asegure un desarrollo planificado desde lo físico, ambiental y funcional.

Para el DANE los Centros Poblados son “una concentración de mínimo veinte (20) viviendas contiguas, vecinas o adosadas entre sí, ubicadas en el área rural de un municipio o de un corregimiento departamental. Dicha concentración presenta características urbanas tales como la delimitación de vías vehiculares y peatonales”.

El Decreto 1077 del 2015 en su artículo 2.2.1.1 define el concepto de Asentamientos humanos rurales como “un núcleo de población conformado por vivienda agrupada en suelo rural, localizado en un área delimitada, que comparte infraestructura y dinámicas sociales y económicas”.

Así mismo, desde lo territorial se han identificado unas características especiales que deben cumplir los Centros Poblados, como es tener asociado un nombre que le de identidad, la vocación de arraigo por parte de sus habitantes con intereses comunes en el ámbito económico, social, cultural e histórico, con casas contiguas que permitan configurar un urbanismo que soporte las actividades propias del conglomerado. Así entonces, estos es-

pacios deben contar con identidad propia, carácter de permanencia en el tiempo, donde las comunidades que los habitan puedan incorporarse a los entes municipales e integrarse a la sociedad en sana convivencia y con el pleno goce de sus derechos como ciudadanos.

Lo ideal para que se logre la materialización de los antiguos ETCR sería que el proyecto de vivienda, garantice un relacionamiento, y articulación entre:

Su lugar de trabajo: El Campo/ zonas productivas y
Su lugar de residencia e intercambio económico: el Centro Poblado, la cabecera municipal y la región.

Lo anterior es básico para garantizar la permanencia del nuevo centro poblado en el tiempo, cuando sus pobladores dependan de su ingenio, capacidad social y económica para habitar en las mejores condiciones posibles.

A partir de la norma de creación de los antiguos ETCR inicialmente con vocación de transitoriedad y posteriormente de permanencia, se estableció que estuvieran ubicados en suelo rural; sin embargo, como las normas urbanísticas aplicables al suelo rural son restrictivas para el desarrollo de usos con características urbanas, se deben explorar otras posibilidades de suelos que habiliten una mayor densidad y diversidad de usos sin ir en detrimento de las condiciones ambientales de las zonas donde se ubiquen estos antiguos espacios territoriales. No obstante lo anterior, y bajo la premisa que se tiene derivada del Acuerdo de Paz de ubicar a los antiguos ETCR en suelo rural y de otro lado, establecida la figura jurídica del Centro Poblado rural como la más apropiada para llevar a cabo la formalización de los antiguos ETCR en el ordenamiento territorial municipal.

Con la expedición del Decreto 1077 de 2015 en el artículo 2.2.2.1.2.2.3 define como fecha de referencia el 31 de marzo de 2021 para que los municipios que se encuentren adelantando el proceso de revisión y ajuste de los POT antes de esta fecha lo puedan hacer cumpliendo con los contenidos establecidos en las normas vigentes antes de la modificación determinada por este Decreto. Por su parte los municipios que con posterioridad al 31 de marzo de 2021 inicien su proceso de revisión y ajuste de sus POT tendrán que acoger lo dispuesto por la mencionada norma.

Para los municipios que hayan emprendido la revisión y ajuste de sus POT con anterioridad a la modificación introducida al Decreto 1077 de 2015

tendrán que incorporar en el proyecto de Acuerdo el antiguos ETCR localizado en su municipio como Centro Poblado rural de acuerdo a los criterios establecidos en los artículos 15 y 16 del Decreto 3600 de 2007. Cabe anotar que esta incorporación del antiguo ETCR en el POT implica que desde el componente general del Acuerdo se establezcan políticas, objetivos y estrategias que justifiquen la creación de estos espacios territoriales como Centros Poblados rurales, y posteriormente su incorporación efectiva en el componente rural, al igual que en los documentos soportes del proyecto de Acuerdo del nuevo POT.

Aquellos municipios que emprendan la revisión y ajuste de sus POT con posterioridad al 31 de marzo de 2021 tendrán que acoger lo dispuesto en el Decreto 1077 de 2015. En lo que respecta a la adopción de los antiguos ETCR como Centros Poblados rurales, su incorporación deberá contemplarse desde el Componente General del POT a través de sus contenidos estratégicos y estructurales. Y específicamente desde el Componente Rural, deberá acatar lo dispuesto en el artículo 2.2.2.1.2.1.3 literal C No. 7 y 11 que señalan lo siguiente:

7. La identificación de los centros poblados rurales y la adopción de las previsiones necesarias para orientar la ocupación de sus suelos y la adecuada dotación de infraestructura de servicios básicos y de equipamiento social.

11. Las normas para el desarrollo de vivienda en suelo rural para atender las necesidades de la población que habita esta clase de suelo, las cuales deberán tener en cuenta la legislación agraria y ambiental.

Además de la disposición anteriormente citada, los municipios tendrán que tener en cuenta lo establecido en los artículos 15 y 16 del Decreto 3600 de 2007 donde se define y regula el ordenamiento de los Centros Poblados rurales.

Propuesta de densidades para concertar con la CAR:

De cara una posible revisión de la norma territorial y a la concertación de los asuntos ambientales y de densidades rurales con la CAR, se propone gestionar un incremento de densidades en aquellas áreas que resultado del presente ejercicio son urbanizables para viabilizar el desarrollo del proyecto habitacional en el antiguo ETCR Filipinas.

De acuerdo con lo anterior, a modo de ejemplo y sustento para la concertación de densidades con la CAR, se tomó como criterio la densidad del **Centro**

Poblado – Filipinas, (Figura 42) - por estar más cercano y de escala similar a la que se tiene previsto se convertirá el **antiguo ETCR Filipinas** en el corto plazo.



Figura 42: Centro Poblado de referencia Filipinas (Arauquita).

Para este ejercicio dado que el Dane no disponía de los datos para 2018 de viviendas y hogares, se tomó para el cálculo el conteo de techos arrojando un total de 130 que se asumen como viviendas existentes a la fecha en este centro poblado. Para el dato de personas se acogió la información Dane del Censo Nacional de Población y Vivienda-CNPV 2018. (Tabla 5).

Tabla 5: Información Centro Poblado de referencia

AETCR	FILIPINAS
MUNICIPIO	ARAUQUITA
NOM_CPOB	FILIPINAS
DATOS_ANM	ZONA URBA- NA (CENTRO POBLADO)
ÁREA (m²)	90353,63734
VIVIENDAS	130**
PERSONAS	142*

* Población 2018

** Viviendas por conteo de techos

CONVENCIONES TABLA: **ÁREA**: Área del departamento en metros cuadra-

dos (Sistema de coordenadas MAGNA_Colombia_Bogotá)

En este sentido se estima que el Centro Poblado que albergará el antiguo ETCR tendrá una densidad propia en la medida que las condiciones físicas sean similares a la del Centro Poblado tomado como referencia. En consecuencia, a partir del dato extraído de la información Dane 2018 y del conteo de techos con relación al Centro Poblado de referencia, se establecen las siguientes densidades partiendo de la hipótesis que el área del polígono es totalmente urbanizable:

Tabla 6: Cálculo de densidad del Centro Poblado de referencia

Variables	Unidades	Arauquita
Nombre Centro Poblado referente		Filipinas
Área aproximada del centro poblado	ha	9,0353
Cantidad aproximada de viviendas	viv	130**
Densidad habitacional referente	viv/ha	14,39

De acuerdo a lo anterior y tomando la información de la tabla se hará, el cálculo de cuantas viviendas es posible localizar con base la densidad del Centro Poblado de Referencia Filipinas.

Si la densidad de **14,39 Viv/Ha** del Centro Poblado de referencia se aplicara para el área neta urbanizable del predio El Porvenir (antiguo ETCR Filipinas) que tiene **24,04 Ha**, en el predio se podrían construir un total de **345,93 viviendas**.

Referencias

- Agencia para la Reincorporación y la Normalización. (2020). *AETCR llanogrande*. Descargado 2020-11-25, de http://www.reincorporacion.gov.co/es/reincorporacion/Paginas/ETCRs/AETCR_filipinas.aspx
- Consejo de Estado. (2013). *El plan de ordenamiento territorial (POT) de Bogotá D.C. vigencia del POT. Procedimiento de modificación excepcional de las normas urbanísticas del POT. Competencias del Concejo Distrital y del alcalde mayor para adoptar y modificar el POT*. Descargado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=64954>
- Procuraduría General de la Nación. (2013). *Proceso de revisión y ajuste de planes de ordenamiento territorial*. Descargado de <https://ww2.camacolcundinamarca.co/documentos/Conceptos-juridico/9.pdf>

Parte II

Viabilidad Sanitaria

Capítulo 3

Viabilidad Sanitaria

Introducción

Dentro de la Viabilidad Sanitaria del antiguo ETCR se encuentra la evaluación y los diseños que permiten garantizar el recurso hídrico que surtirá la planta de tratamiento del agua de consumo y las aguas residuales generadas, con base en la normatividad que rige cada una y dando cumplimiento a los criterios requeridos en cada uno de los procesos de tratamiento.

En el presente capítulo se evalúan las características municipales del antiguo ETCR, la localización de la zona de estudio, evaluando los drenajes y disponibilidad hídrica que se encuentran enmarcados en los criterios normativos, económicos y técnicos con base en la información recopilada para realizar la caracterización, selección de tecnologías a implementar y dimensionamiento de las estructuras hidráulicas de tratamiento de agua.

3.1. Variables del diseño

Para efectos del claro entendimiento del informe de viabilidad sanitaria en el antiguo ETCR se definen a continuación los términos a usar:

- **Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP):** Hace referencia a la planta donde se establece el tratamiento de agua para consumo humano.
- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR):** Hace referencia a al lugar de tratamiento de las aguas servidas residuales domésticas.
- **Periodo de diseño (P_d):** El tiempo proyectado de diseño de las obras de saneamiento básico. A este periodo se proyecta la población de la zona de actuación.

- **Zona de Actuación:** Delimitación geográfica del área de un proyecto de agua para consumo humano o de saneamiento básico.
- **Agua para consumo humano:** Agua que puede ser utilizada por humanos para beber, cocinar, preparar alimentos, higiene personal y el lavado de utensilios de cocina.
- **Población futura (P_f):** Proyección de población en la zona de actuación de un proyecto de agua para consumo humano o de saneamiento básico.
- **Tasa de crecimiento poblacional (r):** Es la tasa de cambio en porcentaje del total de población año a año.
- **Caracterización del agua:** Evaluación de los principales componentes del agua cruda o residual y su concentración.
- **Tratamiento biológico:** Es el proceso de descomposición biológica de materia orgánica presente en las aguas residuales.
- **Caudal de diseño:** Es el valor del caudal de agua que se toma para el diseño de las diferentes estructuras hidráulicas.

3.2. Normatividad

El diseño de los sistemas y/o componentes de acueducto, alcantarillado y plantas de tratamiento de agua se rige bajo las disposiciones y recomendaciones contenidas en las siguientes normas y decretos:

- Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico RAS resolución de 0330 de 2017.
- Resolución 0844 de 2018, donde se presentan los lineamientos para el diseño de sistemas de acueducto y saneamiento básico rurales.
- Decreto 1575 de 2007, el cual se determina los lineamientos del sistema para la protección y control de la calidad del agua para el consumo humano.
- Decreto 2115 de 2007, en el cual se establece los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y los rangos que se deben cumplir para que el agua tratada cumpla con la condición de ser apta para consumo humano, además establece las características químicas que tienen efecto negativo sobre la salud humana.

- Decreto 1594 de 1984, Usos del agua y residuos líquidos.
- Decreto 3930, usos del agua y vertimientos.
- Resolución 0631 de 2015. Parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

3.3. Proyección poblacional

Actualmente, se establece una cantidad total de 428 viviendas habitables en el antiguo ETCR. Con esta información inicial se establece un sistema de tratamiento acorde con las condiciones de entorno de la zona, de las características poblacionales, de los requerimientos de uso del agua y de la disponibilidad del recurso hídrico a tener en cuenta para el correcto diseño de las plantas de tratamiento de aguas y así garantizar una viabilidad sanitaria en la zona de actuación.

La evaluación del crecimiento de la población a lo largo de un periodo de diseño es un elemento fundamental para realizar el planteamiento y diseño detallado de cualquiera de los elementos que componen los sistemas de agua potable y saneamiento básico (de Desarrollo Económico, 2000).

El primer paso para realizar la proyección de la población y la estimación de los caudales de demanda y diseño de los sistemas de acueducto y saneamiento básico es la recolección y el análisis de la información existente. Se debe tener en cuenta así la información de:

- Censos de población efectuados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) durante los años 1938, 1951, 1964, 1973, 1985, 1993. Algunos de estos involucran censos de vivienda.
- Proyecciones recientes de población efectuadas por el DANE.
- Estimaciones de población actual y futura contenidas en los planes de desarrollo y en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio o zona a evaluar.
- Censos de los suscriptores a servicios públicos de la zona de evaluación.
- Información SISBEN referente a número de viviendas, familias y personas.

- Informes existentes de la zona donde se involucre el planeamiento de cualquier servicio público.

Con base en la información recolectada en campo por equipo social, se tiene un número inicial de 428 viviendas que componen el antiguo ETCR Filipinas y con una densidad poblacional de 3 personas por vivienda, se realiza la proyección de la población para un periodo de diseño de **25 años** según la resolución 0844 de 2018 que establece los lineamientos de diseño para sistemas de acueducto y saneamiento básico (Ministerio de Vivienda, 2018).

Al carecer de una tasa de crecimiento poblacional del antiguo ETCR se toma como tasa un valor de **0,5 %** establecido de acuerdo a los lineamientos de la resolución 0844 de 2018 (Ministerio de Vivienda, 2018).

3.3.1. Modelo de proyección de población

Para proyectar la población en la zona de actuación de un proyecto de saneamiento básico se tienen diferentes modelos de proyección especificados en el RAS 2000 (de Desarrollo Economico, 2000), pero debido a la falta de información sobre censos en el antiguo espacio territorial Filipinas se establece como modelo de proyección para el antiguo ETCR el método Geométrico, que es viable para cualquier nivel de complejidad en el sistema de acueducto y saneamiento básico.

La ecuación que emplea el método Geométrico para la proyección de la población futura es:

$$P_f = P_{uc} \cdot (1 + r)^{T_f - T_{uc}} \quad (3.1)$$

Donde:

- P_f : Población futura proyectada.
- P_{uc} : Población registrada de último censo.
- r : Tasa de crecimiento poblacional.
- T_f : Año al cual se requiere la proyección poblacional.
- T_{uc} : Año del último censo.

Tomando la población actual del año 2020 de 1284 habitantes (428 viviendas cada una con 3 habitantes) y una proyección planeada al año 2046, se encuentra un valor de población futura de **1462** habitantes en el antiguo ETCR (Ver Tabla 7).

Tabla 7: Proyección poblacional para los años establecidos en el periodo de diseño

PROYECCIÓN POBLACIONAL	
Año	Geométrico
2020	1284
2021	1290
2022	1297
2023	1303
2024	1310
2025	1316
2026	1323
2027	1330
2028	1336
2029	1343
2030	1350
2031	1356
2032	1363
2033	1370
2034	1377
2035	1384
2036	1391
2037	1398
2038	1405
2039	1412
2040	1419
2041	1426
2042	1433
2043	1440
2044	1447
2045	1455
2046	1462

Con esta población futura estimada para el antiguo ETCR Filipinas se realiza el cálculo de los caudales de diseño para cada uno de los sistemas de agua potable y saneamiento básico.

3.4. Caudales de diseño

Para la estimación de los caudales de diseño de los sistemas de acueducto y saneamiento básico del antiguo ETCR Filipinas, es necesario el análisis de la demanda total de agua requerida en la zona de actuación. Para encontrar dicha demanda de agua se establece una dotación de agua por habitante usuario de sistema, la demanda total será así la multiplicación de la población que va a ser servida por la dotación.

Dentro del planteamiento del sistema de acueducto y saneamiento básico solo una adecuada definición de las variables de proyección poblacional y dotación por habitante permite el planteamiento de obras que garanticen una óptima inversión de los recursos sin llegar a ninguno de los dos extremos: La generación de un lucro cesante por el sobredimensionamiento de la demanda o la insuficiencia a corto plazo de las obras propuestas por el subdimensionamiento de las mismas (de Desarrollo Economico, 2000).

3.4.1. Dotación de agua

Para la dotación de agua se determina la dotación bruta (d_{bruta}), y para esta intervienen dos variables importantes: la dotación neta (d_{neta}) y las pérdidas en el sistema ($\%P$). El RAS 2000 (de Desarrollo Economico, 2000) define la d_{bruta} como:

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%P} \quad (3.2)$$

Donde la dotación neta o d_{neta} se establece como la cantidad de agua que requiere un habitante o usuario del servicio de acueducto para satisfacer sus necesidades normales, sin considerar las pérdidas en el sistema. Mientras la dotación neta es un parámetro que se puede enmarcar dentro de un rango de valores mínimos y máximos, las pérdidas de agua son un parámetro particular y propio de cada sistema de acueducto y pueden variar dependiendo de la zona, de las condiciones físicas de la red y de sus condiciones operativas.

Por otro lado, en el documento “Agua para el siglo XXI para América del Sur. De la visión a la acción. Informe nacional sobre la gestión del agua en Colombia” en relación con el rango de consumo básico definido en Colombia, se menciona lo siguiente: “El consumo promedio de los hogares rurales con servicio de agua potable es de 120litros/habitante – día. Estas cifras superan el

volumen de 80 litros mínimo necesario para la calidad de vida razonable” (del Carmen Santana, Tovar, y Sotomayor, 2015).

Tabla 8: Usos del agua en viviendas.

Hogares	Usos %	Litros
Consumo propio	3,9 %	4,68
Ducha	20,9 %	25,08
Sanitario	19,9 %	23,88
Lavamanos	3,7 %	4,44
Lava platos	15,5 %	18,60
Lavado de ropa	27,1 %	32,52
Aseo vivienda	4,9 %	5,88
Riego de plantas	0,7 %	0,84
Lavado de vehículo	1,5 %	1,80
Riego jardines	1,9 %	2,28
Total	100 %	120,00

Tomando en cuenta lo anterior y con base en los lineamientos planteados por la resolución 0844 de 2018 que establece las características de diseño para sistemas de acueducto y saneamiento básico rurales (Ministerio de Vivienda, 2018), se realiza entonces una evaluación de la dotación neta con base en el artículo 32 de la resolución anteriormente mencionada, escogiendo un valor de d_{neta} de **120l/hab · día** distribuidos según la Tabla 8 y con un porcentaje de pérdidas en el sistema de acueducto rural de **25 %**.

Para determinar el caudal y por corresponder a población rural, es necesario aplicar a la resolución 0844 de 2018, Art. 32 donde se debe adicionar caudales de entorno que se sustentan en los volúmenes de subsistencia de las familias, los cuales son variables de acuerdo a las actividades económicas de cada antiguo ETCR, como no se tiene precisión con la dimensión de los volúmenes por actividad a requerirse, se asume un caudal de entorno del 10 % del volumen diario requerido, de acuerdo a la caracterización social de cada antiguo ETCR, las cuales se clasifican en las siguientes actividades:

El volumen de subsistencia (Tabla 9) es diario y se adiciona al caudal de diseño del sistema de acueducto y de tratamiento de agua potable el cual se traduce en un valor de caudal de entorno o Q_E de **0,20 l/s** sin incluir pérdidas

Tabla 9: Volumen de subsistencia para el antiguo ETCR de estudio.

Actividades de subsistencia Familia Rural	
Agricultura	Plátano, Yuca, Maíz, Frijol, Cacao, Café, Ají, Maracuyá entre otros.
Cría de animales	Ganadería, Porcicultura, Piscicultura, Acuicultura.

del sistema.

$$Q_E = \%_{asumido} \cdot \left(\frac{d_{neta} \cdot P_f}{86400} \right) \tag{3.3}$$

Lo que se traduce en un volumen de subsistencia de 36 l/vivienda-día en total para las actividades a desarrollar en el antiguo ETCR, donde se establece un uso del agua como lo indica la Tabla 10.

Tabla 10: Porcentaje de uso de agua de los proyectos productivos del antiguo ETCR Filipinas.

Actividad	Usos %	Litros/vivienda
Agricultura (Aguacate Hass y tomate de árbol)	30 %	10,8
Cría de animales (Cerdos, ganado y peces)	70 %	25,2
Total	100 %	36

3.4.2. Caudal de diseño sistema de tratamiento de agua potable

Continuando en base a la información anterior se establece entonces el caudal de diseño del sistema de tratamiento de agua potable, según la resolución 0844 (Ministerio de Vivienda, 2018), como:

$$Q_D = \frac{\left(\frac{d_{neta} \cdot P_f}{86400} \right) + Q_E}{1 - \%P} \tag{3.4}$$

Donde:

- Q_D : Caudal de diseño en l/s.
- d_{neta} : Dotación neta.
- P_f : Población futura.
- Q_E : Caudal de entorno.
- $\%P$: Porcentaje de pérdidas del sistema.

Dando como resultado un caudal de diseño para el sistema de tratamiento de agua potable en el antiguo ETCR Filipinas de $Q_D = 3,0$ l/s. Si se asume una operación en la PTAP de 22h debido a 2h de mantenimiento y limpieza de filtros se establece entonces un caudal de diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de **3,2** l/s.

3.4.3. Caudal de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales

Igualmente como en el sistema de tratamiento de agua potable, para encontrar el caudal de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales del antiguo ETCR se toma como base los lineamientos planteados en la resolución 0844 (Ministerio de Vivienda, 2018) que establece en el artículo 42, numeral b), seguir los lineamientos del artículo 32 numeral a) para encontrar el caudal de diseño del sistema, usando la ecuación:

$$Q_D = \frac{d_{\text{neto}} \cdot P_f}{86400} \frac{1}{1 - \%P} \quad (3.5)$$

El caudal de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para el antiguo ETCR Filipinas es de **2,7 l/s** y no es objeto de mayoración por factores de mayoración de caudales según lo establecido en la resolución 0884 de 2018, artículo 42, numeral b).

3.4.4. Oferta hídrica

Esta sección presenta el cálculo para la estimación de la oferta hídrica de la fuente seleccionada para el abastecimiento del antiguo ETCR Filipinas. Si bien este antiguo ETCR se abastece de agua subterránea, se estima el caudal ambiental y la disponibilidad de agua superficial para diferentes condiciones hidrológicas de la recarga.

3.4.4.1. Descripción de la fuente

La fuente hídrica de la cual se proyecta captar el agua para el uso del antiguo ETCR Filipinas es un pozo de aproximadamente 150 m de profundidad, el pozo se encuentra ubicado en el antiguo ETCR y tiene capacidad para proveer caudales de 7 l/s, la ubicación del pozo en sistema de coordenada Magna Colombia Bogotá es: X 1316110, 86, Y 1230070, 59, Z 130, 60. A continuación, en la Figura 43 se presenta una fotografía del pozo que abastece al antiguo ETCR de Filipinas.

El acuífero es recargado por las fuentes superficiales descritas posteriormente en este mismo informe río Ele y caño La Arenosa.



Figura 43: toma de agua a través de pozo en el antiguo ETCR Filipinas

3.4.4.2. Cálculo de la oferta

Para la estimación de la oferta hídrica de las corrientes abastecedoras objeto de este estudio en diferentes condiciones hidrológicas y climáticas es necesario estimar su régimen de caudales y poder, posteriormente calcular a la oferta y disponibilidad.

En el capítulo de Amenaza por inundación de los estudios básicos se ampliará en detalle la estimación del régimen de caudales tanto para el río Ele como para el caño La Arenosa. A continuación, en la Figura 44 se presenta la curva de duración de caudales estimada para el río Ele y en la Figura 45 la curva de duración correspondiente al caño La Arenosa.

3.4.4.3. Cálculo de caudal ambiental

Para conocer la oferta hídrica de cada fuente, y determinar los riesgos asociados a esta es necesario conocer el caudal ambiental, el cual se define como el volumen de agua necesario, desde aspectos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad, para el sostenimiento de ecosistemas acuáticos y sistemas productivos que dependen de estos (IDEAM y MinAmbiente, 2015). Para el cálculo de este caudal se proponen las metodologías definidas en la Resolución 865 del año 2004 las cuales se relacionan a continuación:

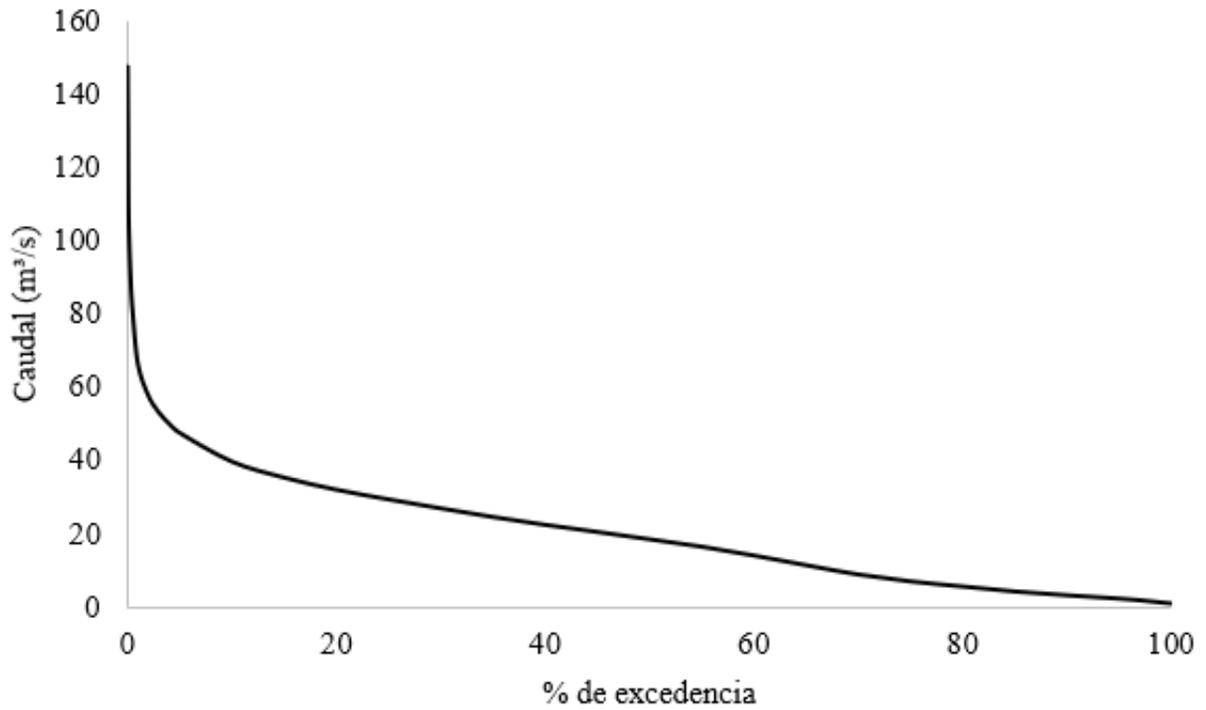


Figura 44: Curva de duración de caudales - río Ele

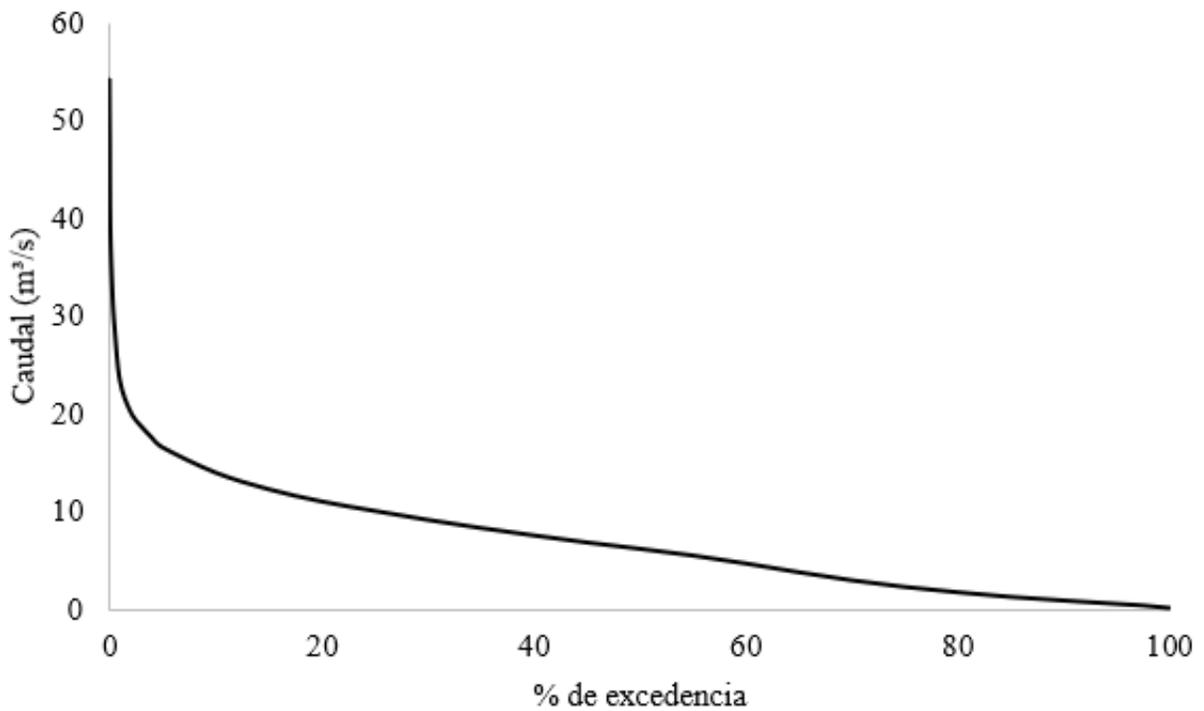


Figura 45: Curva de duración de caudales - caño La Arenosa

- (Método 1) Mínimo histórico: a partir de curvas de duración de caudales medios diarios, propone como caudal mínimo ecológico el caudal promedio multianual que permanece el 97,5 % del tiempo.
- (Método 2) Porcentaje de descuento: el IDEAM ha adoptado como caudal mínimo ecológico un valor aproximado del 25 % del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio.
- (Método 3) Reducción por caudal ambiental: el caudal ecológico en esta aproximación corresponde al 25 % del caudal medio multianual en condiciones de oferta media.

A continuación, en la Tabla 11 se presenta el cálculo del caudal ambiental según cada una de las metodologías y para la microcuenca abastecedora del antiguo ETCR.

Tabla 11: Caudal ambiental cuencas abastecedoras

Corriente	M1 [m^3/s]	M2 [m^3/s]	M3 [m^3/s]	Qeco [m^3/s]
Río Ele	1,59	0,99	5,03	5,03
C. La Arenosa	0,55	0,37	1,76	1,76

3.4.4.4. Disponibilidad hídrica

Se procede entonces a calcular la oferta hídrica para año hidrológico medio y año hidrológico seco. A partir de los resultados obtenidos del modelo lluvia-escorrentía, se calcula la oferta hídrica mensual y media multianual anual, para las condiciones de año hidrológico medio. La oferta hídrica se define en Colombia como “el volumen de agua disponible para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre” (Resolución 865 de 2004). El Estudio Nacional del Agua 2010 define la oferta hídrica como el volumen de “agua continental que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje superficial”. A su vez, afirma que la oferta se calcula a partir de la escorrentía superficial y está asociada directamente con los aportes de las áreas de las cuencas lo cual se ve representado en el caudal. El año hidrológico seco: son los caudales mínimos mensuales de las series de caudales medios, los cuales se identifican con el año típico seco (incluye períodos de los eventos El Niño y La Niña). Se presenta el ciclo anual para la cuenca abastecedora del río Ele en la Figura 46 y para el caño La Arenosa en la Figura 47. En la Tabla 12 se presenta el cálculo de la oferta hídrica de ambas corrientes abastecedoras.

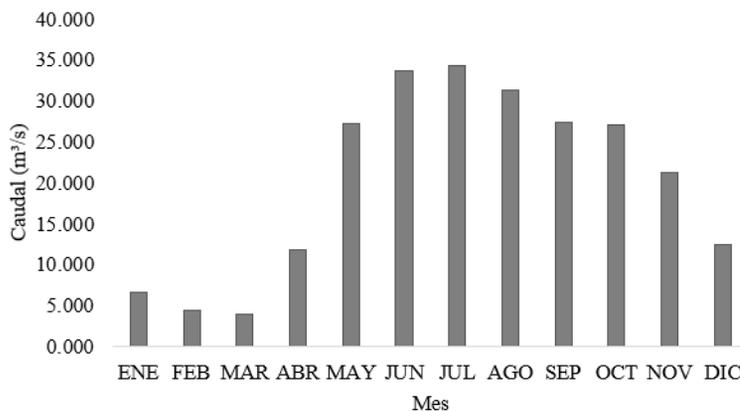


Figura 46: Ciclo anual de caudales río Ele año medio

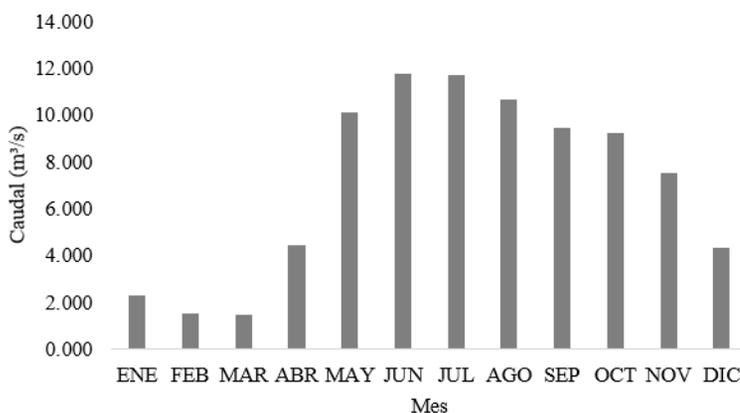


Figura 47: Ciclo anual de caudales caño La Arenosa año medio

3.5. Caracterización y calidad de agua a tratar

Para el diseño de las plantas de tratamiento de aguas se debe tener una caracterización de las aguas a tratar, con esta se establece el tren de tratamiento necesario debido a los compuestos que se puedan encontrar en las aguas afluentes. Para el diseño de los sistemas de tratamiento de agua potable y aguas residuales se toman características típicas de composiciones de parámetros encontrados en las aguas a tratar según literatura consultada.

Tabla 12: Disponibilidad hídrica año seco y año medio para las corrientes abastecedoras

Corriente	Q Año seco (l/s)	Q Año medio (l/s)	Qeco (l/s)	Disponibilidad Seco (l/s)	Disponibilidad medio (l/s)
Río Ele	9788	20127	5032	4757	15095
C. La Arenosa	3240	7045	1761	1479	5284

3.5.1. Calidad de agua para consumo humano

Para llevar a cabo el diseño de potabilización de agua se tiene en cuenta una serie de normativas de referencia, las cuales establecen las condiciones físicas, rangos de interés, parámetros y buenas prácticas de ingeniería de diseño que se deben cumplir para procesos unitarios que conformarán el sistema de tratamiento.

Se toman caracterizaciones típicas de las aguas crudas de fuentes de captación (ver Tabla 13), en las cuales se varía su composición de parámetros según la polución de la fuente. Se asume una fuente regular a deficiente como parámetro de entrada para el diseño del sistema de tratamiento de agua potable, esto con el fin de considerar posibles vertimientos o afectaciones a la fuente debido a intervención antrópica, o pérdida de calidad de las aguas durante temporadas de lluvia.

Tabla 13: Caracterización de agua cruda según el grado de polución de la fuente (de Desarrollo Económico, 2000).

Parámetros	Fuente aceptable	Fuente regular	Fuente deficiente	Fuente muy deficiente
DBO 5 días:				
Promedio mensual mg/L	1.5	1.5 - 2.5	2.5 - 4	>4
Máximo diario mg/L	1 - 3	3 - 4	4 - 6	>6
Coliformes totales (NMP/100 mL):				
Promedio mensual	0 - 50	50 - 500	500 - 5000	>5000
Oxígeno disuelto mg/L	>=4	>=4	>=4	<4
PH promedio	6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5	
Turbiedad (UNT)	<2	2 - 40	40 - 150	>= 150
Color verdadero (UPC)	<10	10 - 20	20 - 40	>= 40
Gusto y olor	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L - Cl)	<50	50 - 150	150 - 200	300
Fluoruros (mg/L - F)	<1.2	<1.2	<1.2	>1.7

3.5.2. Calidad de vertimiento para aguas residuales

Para el diseño del sistema de tratamiento de las aguas residuales se evalúan las características de cumplimiento de normatividad, distribución y posicionamiento de la PTAR sobre la topografía, población y zona de afectación del proyecto, así como las idiosincrasias de la población aferente a este y sus usos del agua.

De igual manera se escoge como caracterización típica de aguas residuales una composición media de los parámetros especificados en la Tabla 14, esto debido a las características de la población, al uso de agua en la zona de actuación en donde no se evidencian aportes diferentes a aguas residuales domésticas ni aportes considerables de carga orgánica en la red de alcantarillado.

Tabla 14: Composición típica agua residual doméstica (Metcalf y cols., 1979).

Parámetro	Fuerte	Media	Débil
Sólidos Totales (mg/l)	1200	720	350
Sólidos Disueltos (mg/l)	850	500	250
Sólidos Disueltos Volátiles (mg/l)	325	200	105
Sólidos en Suspensión (mg/l)	350	220	100
Sólidos Sedimentables (ml/L)	20	10	5
DBO_5 (mg/l)	400	220	100
Carbono Orgánico Total (mg/l)	290	160	80
DQO (mg/l)	1000	500	250
Nitrógeno Total (mg/l)	85	40	20
Nitrógeno Orgánico (mg/l)	35	15	8
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)	50	25	12
Fósforo (mg/l)	15	8	4
Fósforo Orgánico (mg/l)	5	3	1
Fósforo Inorgánico (mg/l)	10	5	3
Cloruros (mg/l)	100	50	30
Alcalinidad ($mgCaCO_3/l$)	200	100	50
Grasas (mg/l)	150	100	50

3.6. Tratamiento de aguas crudas

Para el tratamiento de las aguas crudas provenientes de una fuente de captación superficial o subterránea existen diversos tipos de tratamientos, los cuales

se basan en la composición de los parámetros que se obtengan en la caracterización de dicha agua de captación, donde cada tipo de tratamiento busca remover estos parámetros y cumplir con las especificaciones planteadas en normatividad vigente.

Partiendo de lo anterior los procesos determinantes en la escogencia de alternativas para el tratamiento de las aguas crudas se centran en la remoción de sólidos y en la desinfección de las aguas para el cumplir con los requerimientos de consumo humano. El sistema de tratamiento de agua potable se establece según una evaluación mediante matriz de selección de alternativas, donde para las características del proyecto se evalúa la opción viable a implementar en la zona de actuación.

3.7. Tratamiento de aguas residuales

Para remediación de las aguas servidas, actualmente existen diversos tipos de tratamientos, los cuales son denominados como preliminares o primarios, secundarios y terciarios o avanzados, con el objetivo de remover los contaminantes, mediante procesos físicos, biológicos y fisicoquímicos.

De acuerdo a la naturaleza y composición de las aguas residuales municipales, los procesos de depuración del agua más usados por su sostenibilidad y simplicidad son los físicos y biológicos, debido a que teóricamente cumplen con las remociones requeridas para los principales contaminantes. Teniendo en cuenta la magnitud de agua a tratar diariamente no es muy usual en el país el reúso del agua por lo que tratamientos terciarios o avanzados son utilizados normalmente en tratamiento de aguas no domesticas de caudales relativamente pequeños comparado con las aguas producidas por un municipio del orden mayor a cincuenta mil habitantes.

Partiendo de la anterior premisa los procesos determinantes en la selección de alternativas o tecnologías se centran en el tratamiento secundario, principalmente en la oxidación biológica del cual es válido mencionar que están divididos en tres grupos de tipo aerobio, anaerobios y anóxicos, los cuales se diferencian por la presencia o ausencia del oxígeno durante los procesos de oxidación, propiciando diferentes ambientes microbiales con funciones especializadas de degradación de materia orgánica, generación de biomasa y otros productos, la eficiencia de los procesos es mejorada con la implementación de dos o tres en un solo sistema, con relación directamente proporcional al consumo energético.

El sistema de tratamiento para la remediación de las aguas residuales se

escoge mediante un análisis de alternativas, tomando en cuenta criterios de peso para los requerimientos especiales de cada proyecto y escogiendo el tren de tratamiento más aceptable para la comunidad a intervenir.

3.7.1. Proceso aerobio

Proceso de oxidación de carbono y materia orgánica mediante presencia de oxígeno libre, este es usado para procesos de catabolismo, anabolismo y autólisis, para la formación de productos como NH_3 , agua, CO_2 y biomasa. (Romero Rojas, 2004). Dentro del tratamiento aerobio con crecimiento adherido o suspendido se encuentran:

- Lodos activados en todas sus combinaciones.
- Lagunas aireadas.
- Filtros percoladores.
- Biodiscos.
- Torres biológicas y otros.

3.7.2. Proceso anaerobio

Proceso de fermentación donde la descomposición u oxidación de la materia o compuestos orgánicos se lleva a cabo mediante la ausencia de oxígeno libre, el proceso es poco menos eficiente en la producción de energía que el aerobio por lo que la producción de biomasa se ve limitada, produciendo básicamente CH_4 , CO_2 , H_2O y H_2S .

Algunos tratamientos anaerobios de crecimiento adherido o suspendido son:

- Lagunas anaerobias.
- Reactores de flujo ascensional (UASB, PAMLA, IMHOFF).
- Filtros anaerobios y otros.

3.7.3. Proceso anóxico

El proceso de fermentación de nitrato, donde se reduce los iones hasta nitritos en ausencia de oxígeno libre, donde son los nitratos los aceptores finales de electrones (Romero Rojas, 2004), estos procesos, aunque pueden remover DBO al agua son usados en combinación con los procesos aerobios y/o anaerobios para

la remoción de nutrientes, en etapas de nitrificación-desnitrificación, combinado con tratamiento terciario para reúso, o mejoramiento del agua tratada para procesos agroindustriales.

Referencias

- de Desarrollo Economico, M. (2000). *Resolucion 1096 de 2000, 17 de noviembre, por la cual se adopta el reglamento tecnico para el sector de agua potable y saneamiento basico-ras*. Autor.
- del Carmen Santana, M., Tovar, J. F. B., y Sotomayor, C. A. C. (2015). Rango de consumo básico. *CRA, nov*.
- IDEAM, y MinAmbiente. (2015). Análisis integrado. En *Estudio nacional del agua 2014* (cap. 9).
- Metcalf, L., Eddy, H. P., y Tchobanoglous, G. (1979). *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse* (Vol. 4). McGraw-Hill New York.
- Ministerio de Vivienda, C. y. T. (2018). *Resolucion 0844 de 2018, 08 de noviembre, por la cual se establecen los requisitos técnicos para los proyectos de agua y saneamiento básico de zonas rurales que se adelantan bajo los esquemas diferenciales definidos en el capítulo 1, del título 7, de la parte 3, del libro 2 del decreto 1077 de 2015*. Autor.
- Romero Rojas, J. A. (2004). Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. *Bogotá, CO, Escuela Colombiana de Ingenieros*.

Capítulo 4

Metodología de Alternativas

Introducción

En el documento se precisa la metodología para seleccionar las alternativas de tratamiento, con base, en la publicación “Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Guía de Apoyo para Ciudades Pequeñas y Medianas” (Noyola, Morgan-Sagastume, y Güereca, 2013), la cual es adaptada para encontrar la alternativa recomendada para PTAR y PTAP, esta se describe en el numeral 4.4.

Teniendo como información de partida la calidad de agua residual típica doméstica para PTAR y una fuente de calidad fisicoquímica y microbiológica asumida según RAS 2000 para PTAP, así como las proyecciones de usuarios y censos suministrados por el contratante, se enuncian de acuerdo con la literatura las posibles alternativas o tecnologías de tratamiento. Para las características de los antiguos ETCR se proponen los siguientes trenes de tratamiento:

PTAR (Tratamiento Secundario)

- Lodos activados + Clarificación secundaria.
- Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) +FAFA+ Clarificación secundaria.
- Sistema Lagunar (Laguna anaerobia + Laguna de maduración).

PTAP

- Coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección.
- Filtración directa, desinfección
- Tanque de agua cruda, micro y ultrafiltración, desinfección

Estas alternativas son ampliamente usados y recomendados para las características de poblaciones rurales y caudales relativamente bajos. En la metodología se valoran aspectos y variables determinantes como consumos energéticos, áreas, entre otras, con ponderaciones determinadas por experiencias conocidas y fundamentadas en la normativa vigente y la literatura especializada.

4.1. Tipos de tratamiento de aguas

Actualmente, existen diversos tratamientos con el objetivo de remover los contaminantes de las aguas, los componentes orgánicos e inorgánicos que aportan dicha contaminación se encuentran de formas disueltas y/o en suspensión, todo ellos con la finalidad de dar cumplimiento a la normatividad vigente, el balance de masas de los sistemas de tratamiento es como muestra la Figura 48.

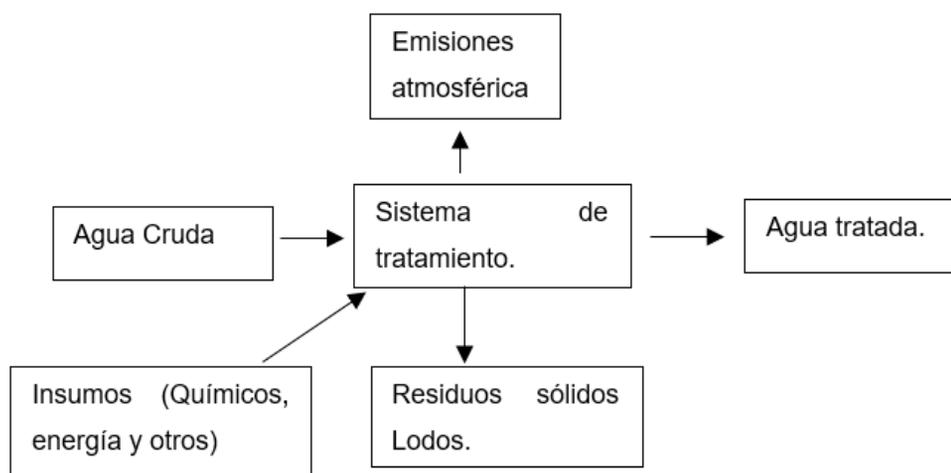


Figura 48: Balance de masas.

Dependiendo del tipo de tecnología a emplear los tratamientos de aguas se enmarcan dentro tres tipos de procesos unitarios, los cuales se pueden complementar entre ellos en un orden lógico para alcanzar o aumentar las eficiencias de remoción, por la naturaleza del estado de la materia y por la alteración e interacción con microorganismos los procesos son:

- Físicos
- Biológicos
- Fisicoquímicos

Un componente no menos importante en el balance de masas y energía es el tratamiento de los residuos sólidos, los cuales dependiendo de la humedad pueden ser removidos como lodos, para ello se combinan procesos unitarios de origen biológico y fisicoquímicos.

Existe variedad en los procesos unitarios, dependiendo de la configuración y su orden lógico se definen como pretratamientos o tratamiento primario, secundarios y terciarios, siendo estos últimos con mayor complejidad en el tratamiento debido a los insumos y recursos necesarios.

4.2. Alternativas de la PTAP

Para el diseño de los sistemas de tratamiento de los antiguos ETCR, es importante identificar las características fisicoquímicas y microbiológicas de la fuente, así como también otros aspectos fundamentales que, al momento de la sostenibilidad y operación de los sistemas, pueden llegar a ser determinantes. Entre ellos se encuentran aspectos socioeconómicos, culturales, demográficos, entre otros.

4.2.1. Alternativa 1. (Coagulación+ floculación+ sedimentación+ filtración, desinfección)

Asumiendo que la calidad del agua de la fuente presenta variabilidad en épocas de invierno y/o por afectaciones de descargas aguas arriba, se selecciona un tren de tratamiento para la alternativa uno que considere los procesos convencionales de clarificación en sistemas PTAP, el agua proveniente de las estructuras de captación y desarenado llegan a la planta mediante la aducción y entran a gravedad a un floculador-sedimentador, con la posibilidad de dosificación de productos químicos (Coagulante, floculante, Ajuste de pH) antes de la unidad, posteriormente garantizando alimentación hidráulica a gravedad entra al proceso de filtración rápida en arenas para recibir la dosificación del desinfectante y llegar al almacenamiento.

Esta alternativa requiere energía para la dosificación ajustada de químicos y para el bombeo de agua para el lavado del filtro. Por los volúmenes de lodos producidos debido a la presencia de sólidos suspendidos totales en las aguas de lavados, estas se deben espesar para luego llevar a deshidratación. El tren se describe en la Figura 49.

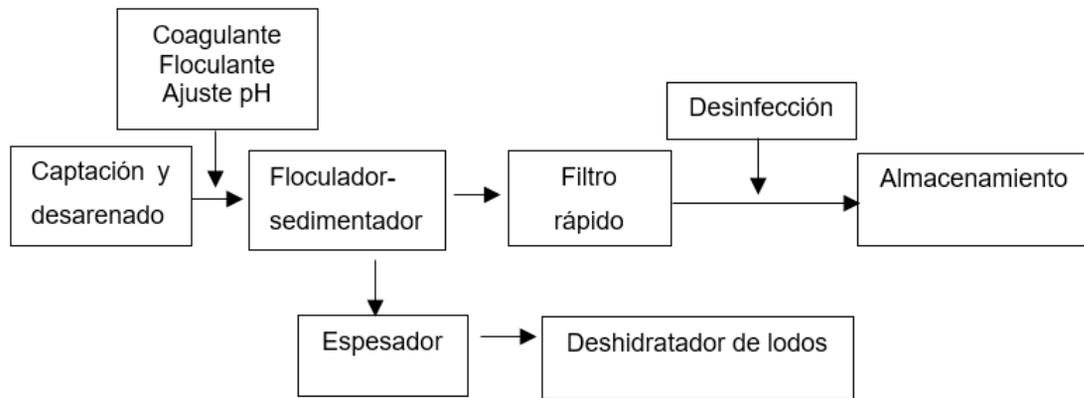


Figura 49: Tren tratamiento PTAP Alternativa 1.

4.2.2. Alternativa 2 (Filtración directa + desinfección)

Asumiendo que el agua de la fuente se mantiene estable como fuente regular o pueda ser aceptable según Tabla B.2.1 del RAS2000 (de Desarrollo Económico, 2000), se propone un tren de tratamiento con filtración directa rápida en unidad a presión, alimentado desde el desarenador con desinfección previa al almacenamiento, esta alternativa corresponde al sistema simplificado (ver Figura 50), requiriendo en todo momento conservar una alimentación con calidad estable. Para el tratamiento de lodos solo se dispone de un deshidratador tipo eras de secado, con capacidad para el volumen del lavado, la dosificación y el lavado puede realizarse con electro-bombas, para mejorar la precisión de dosis del desinfectante y la optimización del consumo de agua durante la limpieza del filtro.

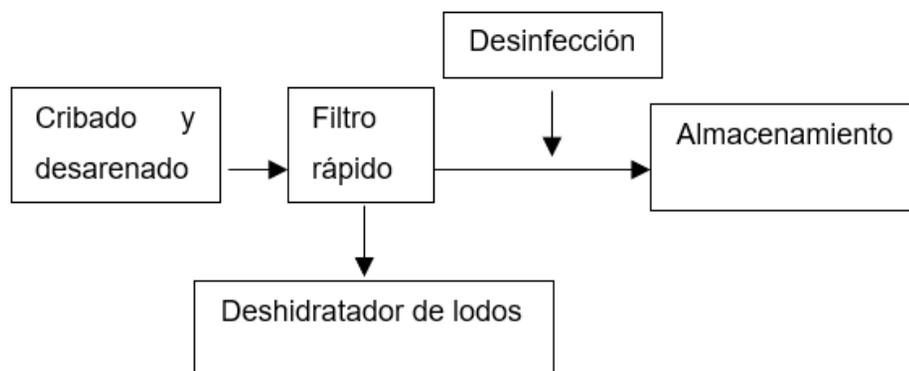


Figura 50: Tren tratamiento PTAP Alternativa 2.

4.2.3. Alternativa 3. (Tanque de agua cruda + micro y ultra-filtración + desinfección)

Otra alternativa de tratar aguas con calidad regular y deficiente consiste en la utilización de la tecnología de membranas, para disminuir área de unidades convencionales, sin embargo se requiere que las aguas provenientes del desarenado lleguen a un tanque de carga o amortiguación para ser impulsadas mediante electro-bomba y poder romper la presión requerida por las membranas hasta llegar al tanque de almacenamiento previa dosis de desinfección. Esta alternativa puede que requiera de dosificación de químicos para el tratamiento y para limpieza de membranas, el tratamiento de lodos se realiza mediante deshidratación en eras de secado. El tren propuesto se muestra en la Figura 51.

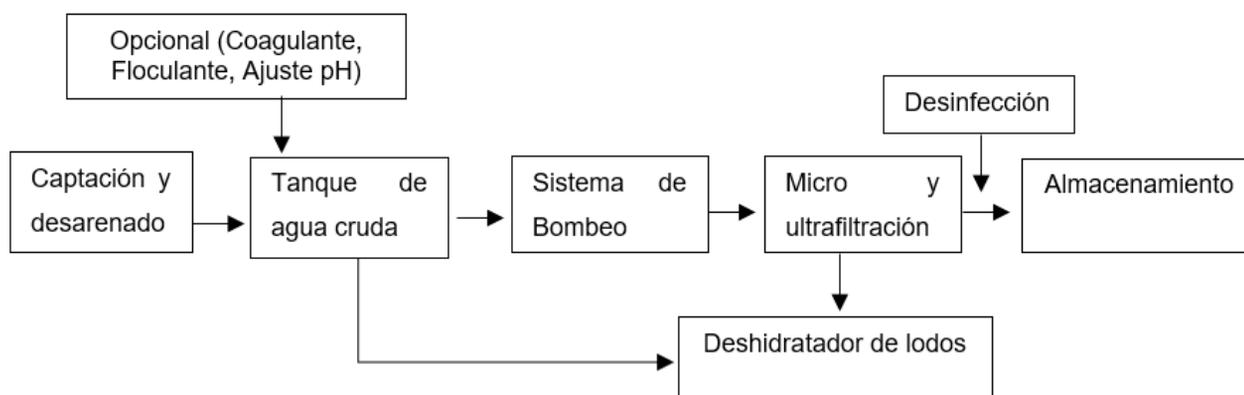


Figura 51: Tren tratamiento PTAP Alternativa 3.

4.3. Alternativas de la PTAR

Para el diseño de los sistemas de tratamiento de los antiguos ETCR, es importante identificar las características de las aguas residuales servidas, así como otros aspectos fundamentales que, al momento de la sostenibilidad y operación de los sistemas, pueden llegar a ser determinantes. Entre ellos se encuentran aspectos socioeconómicos, culturales, demográficos, entre otros.

4.3.1. Alternativa 1. (Lodos Activados + Sedimentación)

En general, podemos decir que los lodos activados están dirigidos a transformar sustrato orgánico soluble o insoluble, en forma coloidal o suspendida, en sólidos biológicos floculentos, que pueden ser asentados y de este modo separados del agua que contaminan, por medio de los procesos convencionales de

sedimentación. En otras palabras, se pretende transformar la “contaminación” de las aguas, presente en forma de DBO soluble e insoluble en biomasa, que contendrá gran parte de la DBO original del sustrato orgánico, pero que puede ser separada del agua residual (AR) por sedimentación y filtración. Estos sólidos separados deberán luego ser concentrados y estabilizados para someterlos a una posterior disposición final, ya en forma de desechos sólidos (Romero Rojas, 2004).

El AR debe someterse primero a un tratamiento preliminar para separar los sólidos más gruesos con rejillas y desarenadores. Luego se somete a la sedimentación primaria donde se remueven los sólidos asentables, que en las aguas residuales domesticas; ARD, pueden conformar hasta el 40 % de la DBO total. A continuación, viene el tratamiento secundario propiamente dicho, conformado por el reactor biológico y el separador o sedimentador secundario, con el sistema de retorno para concentrar los lodos, ver Figura 52.

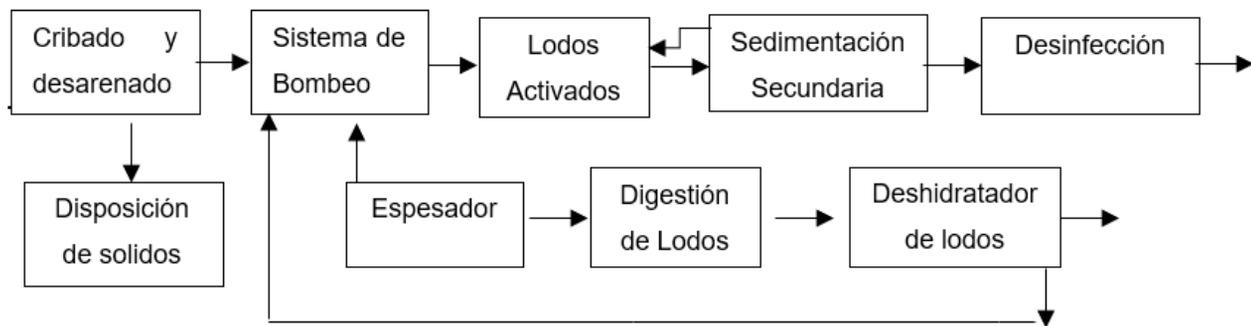


Figura 52: Tren tratamiento PTAR Alternativa 1.

4.3.2. Alternativa 2 (UASB + FAFA + Sedimentación)

Los UASB son los reactores anaerobios más comúnmente usados. Se componen esencialmente de un tanque con una distribución uniforme del agua residual por el fondo del tanque a través de una serie de boquillas, buscando que el agua a tratar se ponga en contacto con el manto de lodo anaerobio de tipo flocúleno o granular. La degradación anaerobia ocurre en el lodo y como consecuencia de ello se produce biogás, que es el encargado de generar la mezcla para lograr un buen contacto entre el agua residual y la biomasa, excluyéndose la presencia de mezcla mecánica.

El flujo combinado del agua residual y el biogás, puede expandir algunos de los sólidos del lodo hacia el vertedero de salida. Un separador de tres fases está situado en la parte superior del reactor para separar biogás, agua y lodo.

El biogás es captado a través de una campana y conducido hacia la parte externa del reactor para su posterior manejo o disposición (quema de biogás). Algunos de los sólidos son arrastrados con el agua hasta el sedimentador situado encima de la campana de gas, donde sedimentan. El agua residual tratada rebosa sobre un canal situado en la parte superior del reactor que permite descargar el efluente. Durante el período de arranque del proceso, se permite que las partículas más voluminosas sean lavadas con el efluente, generando así una selección de biomasa, para buscar mantener internamente solo las que presenten las mejores características de sedimentabilidad (Romero Rojas, 2004).

El sistema se complementa con un proceso de filtro anaerobio de flujo ascendente FAFA, para darle un pulimiento al proceso biológico, seguido de una sedimentación para mejorar la calidad del efluente, el tren de tratamiento se representa en la Figura 53.

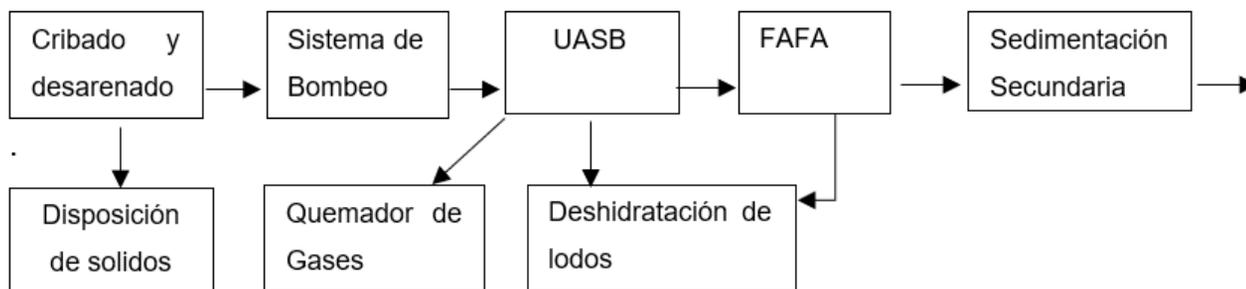


Figura 53: Tren tratamiento PTAR Alternativa 2.

4.3.3. Alternativa 3. (Laguna facultativa y/o anaerobia)

Las lagunas de estabilización, LE, conforman el sistema más sencillo de tratamiento de agua residual con lecho suspendido. A menudo se les llama también lagunas de oxidación. Su forma más simple consiste en estanques artificialmente construidos, en los cuales se desarrolla una población microbiológica compuesta por bacterias, algas y protozoos que conviven en forma simbiótica.

La población microbiológica se desarrolla espontáneamente hasta alcanzar el punto de equilibrio de las diversas especies con la carga orgánica. La función de las bacterias es eliminar el sustrato orgánico, mientras la función de las algas es

producir el oxígeno requerido por aquellas para la respiración. Como las algas operan fotosintéticamente, la producción de oxígeno es variable durante el día, dependiendo de la iluminación, y nula durante la noche. Por otra parte, la producción del CO_2 por las bacterias y aun por la respiración algal, ocasiona variación en la acidez del estanque cuando las algas no lo consumen en la fotosíntesis. De este modo, el pH tiende a ser bajo durante las tardes, dándole a la laguna un color verdoso. Un pH en caída se conoce por el color amarillento de la laguna. En las lagunas intervienen diversos parámetros como el pH, el OD, la temperatura, la acción del viento, la luminosidad, etc. Estos factores deben ser analizados antes de construir la laguna, pues la operación solo puede controlar el flujo de AR de una u otra laguna, de modo que el funcionamiento será fundamentalmente definido por las condiciones ambientales, difícilmente controlables, el tren de la alternativa se muestra en la Figura 54.

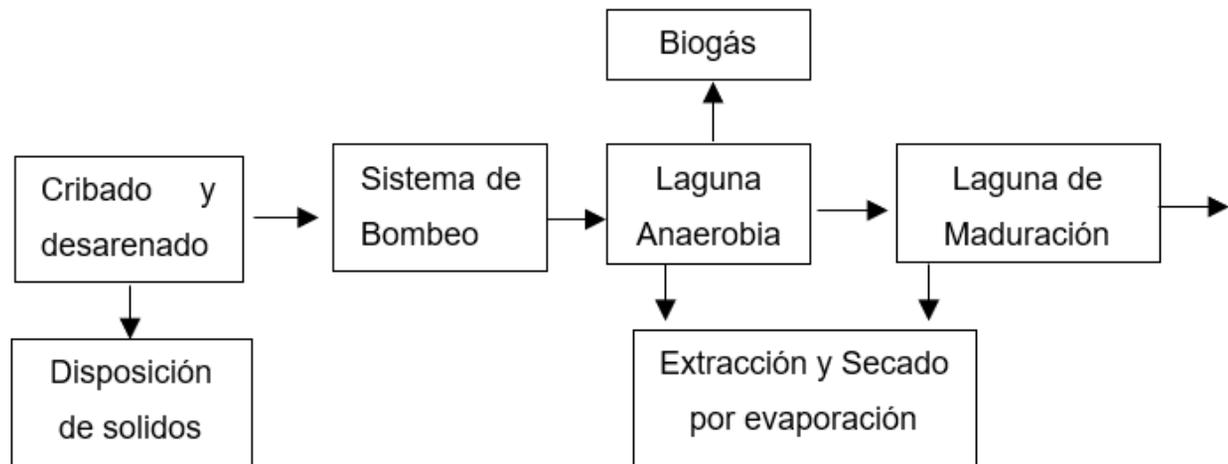


Figura 54: Tren tratamiento PTAR Alternativa 3.

4.4. Matriz de decisión

La técnica de evaluación propuesta en esta metodología, ayuda a seleccionar el proyecto más adecuado desde el punto de vista técnico con base en una matriz de decisión. Esta correlaciona los distintos aspectos que pueden ser evaluados en un proceso de tratamiento de agua, bajo determinadas circunstancias de aplicación mediante la asignación de calificaciones a rubros según los criterios del o de los evaluadores, basados en la definición de los siguientes aspectos:

4.4.1. Aplicabilidad del proceso

- Por las características del proyecto se desea que el proceso seleccionado pueda operar en el intervalo de flujo dado, que sea tolerante a variaciones hidráulicas y que pueda tratar con eficacia el agua residual influente.
- Se requiere que la alternativa de tratamiento de agua potable tenga las unidades y procesos requeridos para el cumplimiento de calidad apta para consumo humano, que la variación de caudales o calidad de agua cruda no afecten el tratamiento.

4.4.2. Generación de Residuos

- Uno de los aspectos más importantes a considerar en la selección de un sistema de tratamiento es la generación de residuos. Por ello se ha decidido favorecer aquel proceso que genere la menor cantidad de residuos y el que genere una mejor calidad de lodo para su disposición como mejorador de suelos.
- De acuerdo con la necesidad de procesos adicionales y las dosis de químicos, se produce una mayor cantidad de lodos.

4.4.3. Aceptación por parte de la Comunidad

- La comunidad es consciente de la necesidad de recolección y tratamiento de las aguas residuales para mejorar la calidad de vida de sus habitantes dando cumplimiento a la normativa vigente y siendo amigables con el medio ambiente.
- La comunidad se puede ver prevenida por tecnologías complejas de operar y que represente aumento de tarifa por costos operativos.

4.4.4. Flexibilidad de la tecnología para adecuación a cumplimiento de cambio normativo

- Se desea evaluar cuál de los sistemas tiene mejor adaptación a procesos complementarios para cumplimiento de norma de acuerdo con futuros ajustes (Remoción de nutrientes principalmente).
- Se debe evaluar un sistema o tecnología capaz de asumir la incorporación de procesos adicionales ante una disminución de la calidad del agua cruda por desarrollo antrópico, así como en épocas de lluvias.

4.4.5. Vida útil

Se desea que la planta de tratamiento posea una vida útil lo más larga posible pues será difícil contar con recursos para renovar la planta de tratamiento en mediano plazo y que las reparaciones sean de menor cuantía.

4.4.6. Requerimientos de Área

Este rubro fue limitado por la disponibilidad del terreno, dependiendo de las tecnologías de tratamiento, la adquisición de bienes se convierte en algunos casos como un factor determinante.

4.4.7. Costos

Inversión inicial, aunque normalmente los recursos se encuentran disponibles para construir la planta de tratamiento y resolver la problemática de saneamiento, es importante considerar aquella tecnología que sea eficaz y eficiente en el tratamiento del agua, es decir que haga lo que tenga que hacer al menor costo posible para obtener un ahorro de recursos que podrían ser destinados a otras acciones.

4.4.8. Diseño y Construcción

En la selección de tecnologías es importante contar con el sustento teórico del diseño, se recomienda emplear criterios de diseño adecuados a las condiciones del antiguo ETCR, que existan casos de éxito a nivel local o nacional y que su implementación minimice la complejidad de construcción.

4.4.9. Operación

Se desea que la operación sea simple, flexible y confiable, con capacitación de baja complejidad. Con disponibilidad de adquisición de repuestos y servicios cerca de la población.

- Operación y mantenimiento. Este es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta para seleccionar adecuadamente una tecnología. El municipio y la población desean un sistema con bajos costos de operación y mantenimiento, debido a que dichos costos son directamente proporcionales a la tarifa por usuario.

- Requerimiento de reactivos. Esto puede representar una implicación fuerte al considerar que algunos reactivos presentan mayor dificultad de consecución y trasladarlos hasta las poblaciones rurales aumenta los costos.
- Requerimiento energético. Este aspecto se considera de gran importancia porque incide en la implementación de equipos electromecánicos los cuales representan además de costos mayores riesgo a la operación.
- Gastos administrativos y de personal. Se favorecerá el sistema que tenga menores requerimientos de personal especializado.
- Requerimiento de refacciones y material de mantenimiento. En el mismo sentido, el sistema con menores necesidades en estos insumos deberá ser favorecido.

4.4.10. Entorno e Impacto al Medio Ambiente

La necesidad de la planta de tratamiento es una necesidad que minimiza los impactos ambientales del entorno, sin embargo, se debe elegir una tecnología que minimice los riesgos a los eventuales impactos ambientales negativos que se puedan generar ante una mala operación del sistema, así como los impactos por ruido o de aspecto visual.

4.5. Operación matriz de decisión

Como es posible observar en la presentación de los rubros considerados, hay conceptos agrupados bajo un rubro y conceptos independientes. El hecho de designar un concepto como independiente o incorporarlo dentro de un rubro depende de la importancia que se le dé a cada concepto bajo el marco de un proyecto determinado. La presente estructuración de los conceptos en la matriz es una propuesta que se piensa puede abarcar un mayor número de proyectos.

La matriz consta de 6 columnas iniciales (A, B, C, D, E, F) y 32 renglones útiles.

- En la columna A se enumeran los ítems.
- En la columna B se presentan los valores de ponderación para los diversos rubros a evaluar del proyecto y la suma de los valores ponderados fijados en la columna B debe ser 100. Los valores de la columna B deben ser fijados mediante acuerdo entre las personas que participarán en el llenado,

considerando la importancia que tiene cada rubro dentro de las condiciones específicas de cada proyecto. Eventualmente, a alguno de ellos se le puede asignar un valor de cero, cuando el rubro correspondiente no implique diferencia entre las tecnologías evaluadas o bien sea un asunto plenamente controlado. Estos valores de ponderación deberán permanecer constantes para cada caso, independientemente de cuál sistema de tratamiento de aguas se esté evaluando.

- En la columna C se identifican estos rubros.
- En la columna D se evalúa cada rubro y subrubro de la columna C al otorgar un valor de cero cuando el aspecto evaluado no aplique, 1 cuando el proceso cumpla con el aspecto en forma deficiente, 2 cuando cumpla de forma aceptable, 3 cuando cumpla con el aspecto en forma adecuada, 4 cuando cumpla de forma buena y 5 cuando el proceso cumpla con el aspecto evaluado en forma muy buena o excelentemente.
- En la columna E, la calificación asignada a cada rubro (columna D) se divide entre la calificación máxima que pueden obtener (es decir 5) excepto para las casillas 9.4 E, 10.8 E, 11.6 E, pues esto ya se realizó a partir de las calificaciones de los subrubros, de acuerdo con las instrucciones en la misma matriz.
- En la columna F se multiplica el valor de cada renglón de la columna E por el valor ponderado de la columna B y finalmente se suman todos los renglones de la columna F para obtener la calificación global (casilla 11 F) del proceso evaluado bajo las condiciones ponderadas en la columna B.
- La columna D a la columna F aplica para una alternativa de diseño, estas se replican con las mismas características dependiendo del número de alternativas a evaluar.

El proceso que obtenga la mayor calificación será el seleccionado, para el comparativo entre alternativas se copia el formato en las siguientes columnas.

4.5.1. Ponderación de Rubros

La importancia o peso de cada aspecto o rubro considerado se muestra a continuación en la Tabla 15, las valoraciones corresponden a las características

de los proyectos a diseñar, y son otorgadas con base en los criterios de los profesionales que, en esta fase de la matriz, son relevantes también apoyados en el estado del arte y experiencias en casos de éxitos.

Tabla 15: Ponderación de factores según criterios

Factor evaluado	Ponderación PTAR	Ponderación PTAP
Aplicabilidad del proceso (Variaciones de Caudal)	2	2
Aplicabilidad del proceso (Eficiencias de remoción carga orgánica)	3	2
Generación de residuos	5	2
Aceptación por parte de la comunidad	5	2
Flexibilidad de la tecnología para adecuación a cumplimiento cambio normativo	15	30
Vida útil	5	5
Requerimiento de área	10	7
Costo	10	10
Diseño y construcción	5	5
Operación	25	30
Entorno e impacto ambiental	15	5

4.5.2. Características cuantificables de Alternativas

Para la cuantificación y diferenciación entre alternativas se utilizan a criterio del diseñador, aspectos y características relevantes que puedan arrojar un cálculo cuantificable propiciando una diferenciación de modo objetivo entre los parámetros de mayor ponderación; cabe resaltar que algunos valores son tentativos (como costos, dosis y otros) que no corresponden al valor total final de la alternativa, solo marcan un diferenciador entre parámetros o criterios de diseño propios de dicha alternativa. Estas características cuantificables se pueden observar en la Tabla 16 para la PTAP y en la Tabla 17 para la PTAR.

Tabla 16: Cálculos alternativas PTAP

Parámetro	Alternativas
Cálculos	

Tabla 16 continúa de la página anterior

Q Diseño (l/s)	3.2		
Horas de operación	22		
Tiempo de Floculación (min)	20		
Alternativas	Coagulación, floculación, sedimentación, filtración	Filtración directa	Tanque de agua cruda, Micro y Ultrafiltración
Alimentación PTAP	Gravedad	Gravedad	Bombeo
Volumen Tanque de agua cruda (m^3)	N/A	N/A	11.5
Volumen Floculador sedimentador (m^3)	3.8	N/A	N/A
Dosis coagulante (mg/l)	5.0	0.0	0.0
Costo coagulante (\$/g)	1.5	1.5	1.5
Dosis floculante (mg/l)	0.1	0.0	0.0
Costo floculante (\$/g)	15.0	15.0	15.0
Dosis desinfectante (mg/l)	3.0	3.0	3.0
Costo desinfectante (\$/g)	1.0	1.0	1.0
Total (Kg/día)	2.04	0.76	0.76
Costo promedio químicos (\$/día)	35,703.4	13,305.6	13,305.6
Área Reactor (m^2)	3.0	1.0	2.0
Potencia de equipos requeridos (KW)	3.4	3.3	9.7
Valor KW/hora	500.0	500.0	500.0
Consumo energético \$/día	36,850.0	35,750.0	106,150.0
Costos operativos \$/día	72,553.4	49,055.6	119,455.6
Costos de construcción ¹	2.0	1.0	3.0

¹Los valores son calificaciones comparativas respecto a costos de las tecnologías, no representan los costos reales y son adimensionales. Estos se establecen a partir de criterio técnico y literatura especializada.

Tabla 17: Cálculos alternativas PTAR

Parámetro	Alternativas		
	Cálculos		
Q Diseño (l/s)	2.7		
DBO _{in} (ppm)	220.0		
DQO _{in} (ppm)	500.0		
SST _{in} (ppm)	220.0		
Kg DBO/día	51		
Kg DQO/día	117		
Kg SST/día	51		
Alternativas	Lodos Activa- dos	UASB+FAFA	Lagunas
TRH h	13.2	7.0	120.0
Volumen Total Reacción (m ³)	128.3	68.0	1,166.4
Profundidad reactor (m)	3.0	6.0	1.0
Área Reactor (m ²)	42.8	11.3	1,166.4
Eficiencia de Remoción DQO	64 %	64 %	64 %
Eficiencia de Remoción DBO	59 %	59 %	59 %
Lodos producidos tra- tamiento secundario Kg SS/día	13.5	8.21	20.5
Potencia de equipos requere- dos (KW)	3.8	1.5	0.8
Valor KW/hora	500.0	500.0	500.0
Consumo energético \$/día	45,000.0	18,000.0	9,000.0
Costo \$/m ³ de reactor en PRFV/Geomembrana	850,000.0	850,000.0	350,000.0
Costos de construcción (\$)	109,058,400.0	57,834,000.0	408,240,000.0
Eficiencia Teórica RAS2000	95 %	90 %	90 %
Concentración DBO salida Teórica PTAR (ppm)	11.0	22.0	22.0

4.5.3. Análisis de Información existente

Para la lista de alternativas de tratamiento de PTAR y PTAP, se debe tener definida la calidad del agua a la entrada de los sistemas, así como la normativa de cumplimiento de salida, que para el presente diseño corresponde a calidad de agua residual domestica típica (ver Tabla 18.) como entrada y salida cumpliendo lineamientos de vertimientos (Art.8 Resolución 631 del 2015).

Tabla 18: Composición típica agua residual doméstica

Parámetro	Fuerte	Media	Débil
Sólidos Totales (mg/l)	1200	720	350
Sólidos Disueltos (mg/l)	850	500	250
Sólidos Disueltos Volátiles (mg/l)	325	200	105
Sólidos en Suspensión (mg/l)	350	220	100
Sólidos Sedimentables (ml/L)	20	10	5
DBO_5 (mg/l)	400	220	100
Carbono Orgánico Total (mg/l)	290	160	80
DQO (mg/l)	1000	500	250
Nitrógeno Total (mg/l)	85	40	20
Nitrógeno Orgánico (mg/l)	35	15	8
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)	50	25	12
Fósforo (mg/l)	15	8	4
Fósforo Orgánico (mg/l)	5	3	1
Fósforo Inorgánico (mg/l)	10	5	3
Cloruros (mg/l)	100	50	30
Alcalinidad ($mgCaCO_3/l$)	200	100	50
Grasas (mg/l)	150	100	50

Para PTAP, debido a las características rurales de ECTRS y a la intervención antrópica de las cuencas, se asume un rango de calidad de regular a deficiente de acuerdo con la estacionalidad del año, según la Tabla B.2.1 de calidad del agua del RAS 2000 Art. B.3.3.2.1. (Figura 55) se seleccionan posibles alternativas que den cumplimiento a la Resolución 2115 de 2017 de calidad de agua para consumo humano.

Parámetros	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo con el grado de polución			
	Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
DBO ₅ días	3630					
Promedio mensual mg/L			≤ 1.5	1.5 - 2.5	2.5 – 4	>4
Máximo diario mg/L			1 – 3	3 - 4	4 – 6	>6
Coliformes totales (NMP/100 mL)						
Promedio mensual		D-3870	0 – 50	50 - 500	500 – 5000	>5000
Oxígeno disuelto mg/L	4705	D-888	>=4	>=4	>=4	<4
pH promedio	3651	D 1293	6.0 – 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5	
Turbiedad (UNT)	4707	D 1889	<2	2 - 40	40 – 150	>= 150
Color verdadero (UPC)			<10	10 -20	20 – 40	>= 40
Gusto y olor		D 1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L - Cl)		D 512	< 50	50 - 150	150 – 200	300
Fluoruros (mg/L - F)		D 1179	<1.2	<1.2	<1.2	>1.7
GRADO DE TRATAMIENTO						
- Necesita un tratamiento convencional			NO	NO	Sí, hay veces (ver requisitos para uso FLDE: literal C.7.4.3.3)	SI
- Necesita unos tratamientos específicos			NO	NO	NO	SI
- Procesos de tratamiento utilizados			(1) = Desinfección + Estabilización	(2) = Filtración Lenta o Filtración Directa + (1)	(3) = Pretratamiento + [Coagulación + Sedimentación + Filtración Rápida] o [Filtración Lenta Diversas Etapas] + (1)	(4) = (3) + Tratamientos específicos

Figura 55: Calidad de la fuente.

4.5.4. Calificaciones Matriz PTAP

A continuación se presentan la Tabla 19 en la cual se hace la calificación de alternativas para la PTAP de acuerdo a la metodología descrita en la sección 4.4.

Tabla 19: Calificaciones de PTAP

		ALTERNATIVAS:	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3
Factor	eva-	Comentarios del evaluador	Calif.	Calif.	Calif.
luado					

Aplicabilidad del proceso.	De acuerdo a la calidad del agua cruda las alternativas son viables para el tratamiento, algunas con mayor redundancia para cumplimiento.	5	3	4
Generación de residuos.	La tecnología que cuente con más unidades de proceso, puede ser más eficiente y presentar mayor remoción SST en forma de lodos, adicionalmente de los residuos de productos químicos.	4	3	5
Aceptación por parte de la comunidad.	La comunidad se puede ver prevenida por tecnologías complejas de operar y que represente aumento de tarifa por costos operativos	3	5	2
Flexibilidad de la tecnología para adecuación ante desmejoramiento de la calidad de la fuente	La alternativa 1, presenta todos los procesos convencionales de tratamiento, la cual posee mayor rango de operación ante variación de la calidad, que los procesos de filtración directa y filtración por membranas.	5	2	4
Vida útil equipos electromecánicos	La alternativa recomendada obviamente es la que tenga menor dependencia de equipos.	3	5	2
Requerimiento de área	La alternativa de filtración directa por tener menor cantidad de unidades de tratamiento presenta menor requerimiento de área.	1	5	1
Costo de inversión inicial	La alternativa 3, presenta mayor costo inicial por los equipos electromecánicos y por la tecnología de membranas.	3	5	2

Costo de operación y mantenimiento	La alternativa 2, cuenta con costos operativos menores por la simplicidad del tratamiento, luego la alternativa 3 presenta los costos de mayor impacto por los costos energéticos asociados a la tecnología.	5	5	2
Criterios de diseño.	Existe suficiente literatura y Colombia tiene dentro de la normativa vigente los criterios de diseño requeridos para las tres alternativas.	5	4	3
Tecnología ampliamente probada.	Debido a la magnitud de los sistemas y por estar enfocada a poblaciones rurales, la mayor calificación se otorga a los sistemas de menor complejidad en operación, así todas se hayan probado ampliamente en el país.	4	4	3
Complejidad de construcción y equipamiento.	La complejidad de la alternativa 3, es mayor debido a la tecnología y equipos requeridos, la filtración directa es la más simple.	3	4	2
Flexibilidad de la operación.	Los procesos que implican sistemas modulares presentan mayor flexibilidad ante paros por mantenimientos o contingencias, por lo que la alternativa 3 por los costos de inversión pocas veces tiene dualidad en las unidades.	4	5	2

Confiabilidad del proceso.	Las alternativas 3 y 1 son las de mayor confiabilidad en orden decreciente, por los cantidad de procesos posibles y por la dependencia de productos químicos.	4	3	5
Complejidad de operación del proceso	Definitivamente las alternativas con mayor tecnología representada en equipos electromecánicos, aunque simplifican áreas y procesos unitarios requiere de mayor capacitación o conocimientos del personal operador así como actividades de mantenimiento.	4	5	3
Requerimiento de personal	Todos los sistemas requieren de personal para la operación, sin embargo la alternativa 3 requieren de una capacitación especializada de mayor profundidad que la 2 y la 1, todas requieren de preparación de químicos, pero la 1 presenta mayor cantidad de productos a dosificar.	4	5	3
Requerimientos de análisis y controles	La alternativa 1 presenta mayor cantidad de controles debido a que cuenta con mayor numero de productos a dosificar, este aspecto es más complejo que el seguimiento y control de la alternativa 3.	3	5	3
Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	La simplicidad del sistema nuevamente se ve refleja con mayor puntuación debido a la dependencia de equipos electromecánicos y material de las unidades de tratamiento.	3	4	2

Influencia de la temperatura.	La temperatura en procesos físicos y fisicoquímicos es de menor relevancia para alcanzar la calidad de agua potable.	3	3	3
Producción de ruido.	Por los equipos involucrados en la alternativa 3, hay mayor producción de ruido, aunque de mínimo impacto.	3	3	2
Contaminación visual.	Todos sistemas pueden contar con un diseño arquitectónico agradable e integrado al entorno, sin embargo la planta con mas unidades a la vista tiene un impacto mayor.	2	3	3
Producción de malos olores.	Los olores generados por los el tratamiento de lodos, no es significativo.	3	3	3
Calidad del agua tratada	Todas las tecnologías alcanzan la calidad de cumplimiento de normativa sin embargo la alternativa 3, por la tecnología presenta mayor alcance de cumplimiento ante variación de la calidad del agua cruda.	4	3	5

4.5.5. Calificaciones Matriz PTAR

A continuación se presentan la Tabla 20 en la cual se hace la calificación de alternativas para la PTAR de acuerdo a la metodología descrita en la sección 4.4.

Tabla 20: Calificaciones de PTAR

	ALTERNATIVAS:	L.A. + CLA- RIF.	UASB + FAFA + CLA- RIF.	SIST. LAGU- NAR
Factor eva- luado	Comentarios del evaluador	Calif.	Calif.	Calif.
Aplicabilidad del proceso.	Todos procesos biológicos de las alternativas de tratamiento han sido aplicados en el ámbito mundial, siendo los lodos activados los más aplicados.	4	3	3
Generación de residuos.	La generación de residuos para la tecnología UASB presenta menor producción que los lodos activados y las lagunas, sin embargo, estas ultimas son diseñadas con acumulación de largos periodos, lo que al momento de mantenimiento se convierte en un problema.	3	5	2
Aceptación por parte de la comunidad.	La aceptación de la comunidad está basada en el impacto por olores, generados principalmente en procesos anaerobios por la producción de H_2S .	5	2	2
Flexibilidad de la tecnología para adecuación a cumplimiento cambio normativo	Los procesos aerobios se pueden adaptar o complementar fácilmente para alcanzar remociones no solo de materia orgánica sino también nutrientes, el complemento se puede alcanzar con procesos anóxicos.	4	3	2

Vida útil equipos electromecánicos	La alternativa recomendada obviamente es la que tenga menor dependencia de equipos, las lagunas por su TDH no requieren de equipos de bombeo para la alimentación.	2	4	5
Requerimiento de área	Los sistemas lagunares impactan considerablemente este aspecto debido a tiempos de detención de días, sin embargo, el UASB y los lodos pueden emplear TDH de 4 horas en adelante.	1	5	1
Costo de inversión inicial	Por la simplicidad del tratamiento del UASB se convierte en la tecnología de mayor puntuación, debido a los equipos requeridos por los lodos activados y al área de las lagunas.	3	5	1
Costo de operación y mantenimiento	Las lagunas requieren de bajo costo de mantenimiento respecto a los lodos activados, debido al equipamiento.	1	3	5
Criterios de diseño.	Existe suficiente literatura y Colombia tiene dentro de la normativa vigente los criterios de diseño requeridos para las tres alternativas.	4	4	4
Tecnología ampliamente probada.	Debido a la magnitud de los sistemas y por estar enfocada a poblaciones rurales, la mayor calificación se otorga a los sistemas de menor complejidad en operación, así todas se hayan probado ampliamente en el país.	3	4	4

<p>Complejidad de construcción y equipamiento.</p>	<p>La construcción y el equipamiento del sistema de lodos activados y del sistema lagunar son más complejos que los UASB, el primero por el equipamiento y el segundo por la adecuación de los terrenos.</p>	<p>3</p>	<p>4</p>	<p>2</p>
<p>Flexibilidad de la operación.</p>	<p>Los procesos que implican sistemas modulares presentan mayor flexibilidad ante paros por mantenimientos o contingencias, por lo que el sistema lagunar por el área requerida pocas veces tiene dualidad en las unidades.</p>	<p>5</p>	<p>4</p>	<p>2</p>
<p>Confiabilidad del proceso.</p>	<p>De acuerdo a la literatura el proceso aerobio de lodos activados presenta porcentajes de remoción mayor que el UASB y las lagunas, sin embargo, el proceso anaerobio UASB puede llegar alcanzar más rápidamente la estabilidad del proceso, si el riesgo que implica la aireación ante fallos energéticos.</p>	<p>3</p>	<p>3</p>	<p>4</p>
<p>Complejidad de operación del proceso</p>	<p>Definitivamente las alternativas con mayor tecnología representada en equipos electromecánicos, aunque simplifican áreas y procesos unitarios requiere de mayor capacitación o conocimientos del personal operador, así como actividades de mantenimiento.</p>	<p>2</p>	<p>4</p>	<p>5</p>

Requerimiento de personal	Todos los sistemas requieren de personal para la operación, sin embargo, los lodos activados requieren de una capacitación especializada de mayor profundidad que la del UASB y las lagunas.	2	4	4
Requerimientos análisis y controles	El control de las operaciones rutinarias es más complejo para el sistema de lodos activados, que para el UASB y las lagunas	2	3	5
Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	La simplicidad del sistema nuevamente se ve refleja con mayor puntuación debido a la dependencia de equipos electromecánicos y material de las unidades de tratamiento.	2	3	5
Influencia de la temperatura.	La temperatura en un factor determinante en los procesos biológicos, siendo los procesos aerobios los de menor influencia ante cambios bruscos, los reactores UASB presentan dicha limitación a temperaturas bajas.	5	3	5
Producción de ruido.	Por los equipos involucrados en el sistema de lodos activados hay mayor producción de ruido, los sopladores requieren de cuartos o cámaras de insonorización.	1	4	5

Contaminación visual.	Todos sistemas pueden contar con un diseño arquitectónico agradable e integrado al entorno, sin embargo, las tecnologías de Lodos activados y UASB tienen un impacto mayor que las lagunas.	2	3	5
Producción de malos olores.	En general los sistemas aerobios minimizan la producción de olores ofensivos, sin embargo, algunas estructuras preliminares o primarias pueden llegar a generar olores impactantes sobre todo por la generación de ácido sulfhídrico H_2S , de los sistemas evaluados el MBR cuenta con cámara anóxica para la remoción de nutrientes lo que genera producción de dichos gases, debe contar con tratamiento de olores para cumplir con la norma.	3	2	2
Calidad del vertimiento	Todas las tecnologías alcanzan la calidad de cumplimiento de normativa sin embargo los lodos activados presentan mayor remoción teórica	5	3	3

4.6. Matriz de decisión y calificaciones

La matriz de decisión de la PTAP y la PTAR se presentan anexas al informe de diseño con las respectivas calificaciones de los procesos evaluados y la escogencia de la alternativa óptima según dicha metodología de selección.

4.6.1. Matriz de decisión PTAP

#	TIPO DE TECNOLOGIA DE TRATAMIENTO	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3							
		COAGULACION, FLOCULACION, SEDIMENTACION, FILTRACION, DESINFECCION		FILTRACION, DESINFECCION		TANQUE DE AGUA CRUDA + MICRO + ULTRA FILTRACION, DESINFECCION							
		CALIFICACION 0= no aplica 1= deficiente 2= regular 3= adecuado 4= bueno 5= muy bueno	D/5 (excepto en renglones 9.4, 10.8 y 11.6)	E*B	CALIFICACION 0= no aplica 1= deficiente 2= regular 3= adecuado 4= bueno 5= muy bueno	D/5 (excepto en renglones 9.4, 10.8 y 11.6)	E*B	CALIFICACION 0= no aplica 1= deficiente 2= regular 3= adecuado 4= bueno 5= muy bueno	D/5 (excepto en renglones 9.4, 10.8 y 11.6)				
%	PTAP												
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	30	5	30	5	30	5	30	5	30	5	30	5	30
6	5	VIDA UTIL	3.0	0.6	3.0	5.0	2.0	3.0	5.0	2.0	3.0	5.0	2.0
7	7	REQUERIMIENTO DE AREA	1.0	0.2	1.4	5.0	1.0	7.0	5.0	1.0	7.0	5.0	1.0
8	10	CO STO											
8.1		Inversión	2.5		5.0			1.7				1.7	
8.3		Sumar las casillas 8.1 y 8.2 y dividir el total entre 10. El resultado anotararlo en la casilla 8.3 E		0.5	5.0		1.0	10.0		0.3	3.3		
9	5	DISEÑO Y CONSTRUCCION											
9.1		Criterios de diseño	5.0						4.0			3.0	
9.2		Tecnología ampliamente probada	4.0						4.0			3.0	
9.3		Complejidad en la construcción y equipamiento	3.0						4.0			2.0	
9.4		Sumar las casillas 9.1D, 9.2D, 9.3D y dividir el total entre 15. El resultado anotararlo en la casilla 9.4		0.8	4.0		0.8	4.0		0.8	4.0		0.5
10	30	OPERACION											
10.1		Flexibilidad de operación	4.0						5.0			2.0	
10.2		Contiabilidad del proceso	4.0						3.0			5.0	
10.3		Complejidad de operación del proceso	4.0						5.0			3.0	
10.4		Requerimiento de personal	4.0						5.0			3.0	
10.5		Requerimientos análisis y controles	3.0						5.0			3.0	
10.6		Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	3.0						4.0			2.0	
10.7		Sostenibilidad en Operación y mantenimiento	4.9						5.0			1.7	
10.8		Sumar las casillas 10.1D, 10.2D, 10.3D, 10.4D, 10.5D, 10.6D y 10.7D y dividir el total entre 35. El resultado anotararlo en la casilla 10.8E		0.8	23.0		0.8	27.4		0.8	16.9		
11	5	ENTORNO											
11.1		Influencia de la temperatura	3.0						3.0			3.0	
11.2		Producción de ruido	3.0						3.0			2.0	
11.3		Contaminación visual	2.0						3.0			3.0	
11.4		Producción de malos olores	3.0						3.0			3.0	
11.5		Calidad del agua tratada	4.0						3.0			5.0	
11.6		Sumar las casillas 11.1D, 11.2D, 11.3D, 11.4D, 11.5D y dividir el total entre 25. El resultado anotararlo en la casilla 11.6E		0.6	3.0		0.6	3.0		0.6	3.2		
12	100	SUMAR LOS VALORES DE LA COLUMNA E Y ANOTAR EL RESULTADO EN LA CASILLA 12E			76.2			74.0			56.8		

Figura 56: Matriz de decisión PTAP.

4.6.2. Matriz de decisión PTAR

#	PROCESO EVALUADO: PTAR	TIPO DE TRATAMIENTO EFICIENCIAS A GARANTIZAR (%DBO) EFICIENCIAS A GARANTIZAR (%DQO)		LADOS ACTIVADOS+ CLARIFICACIÓN		UASB+FAFA+ CLARIFICACIÓN 59%		SISTEMA LAGUNAR		
		CALIFICACIÓN 0= no aplica 1= deficiente 2= regular 3= adecuado 4= bueno 5= muy bueno	D/5 (excepto en renglones 9.4, 10.8 y 11.6)	E*B	CALIFICACIÓN 0= no aplica 1= deficiente 2= regular 3= adecuado 4= bueno 5= muy bueno	D/5 (excepto en renglones 9.4, 10.8 y 11.6)	E*B	CALIFICACIÓN 0= no aplica 1= deficiente 2= regular 3= adecuado 4= bueno 5= muy bueno	D/5 (excepto en renglones 9.4, 10.8 y 11.6)	E*B
1	2	4.0	0.8	1.6	3.0	0.6	1.2	3.0	0.6	1.2
2	3	4.0	0.8	2.4	3.0	0.6	1.8	2.0	0.4	1.2
3	5	3.0	0.6	3.0	5.0	1.0	5.0	2.0	0.4	2.0
4	5	5.0	1.0	5.0	2.0	0.4	2.0	2.0	0.4	2
5	15	4.0	0.8	12.0	3.0	0.6	9.0	2.0	0.4	6
6	5	2.0	0.4	2.0	4.0	0.8	4.0	5.0	1.0	5
7	10	1.0	0.2	2.0	5.0	1.0	10.0	1.0	0.2	2.0
8	10									
8.1	Inversión	2.7			5.0			0.7		
8.3	Sumar las casillas 8.1 y 8.2 y dividir el total entre 10. El resultado anotarlo en la casilla 8.3 E		0.5	5.3		1.0	10.0		0.1	1.4
9	5									
9.1	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN									
9.2	Criterios de diseño	4.0			4.0			4.0		
9.3	Tecnología ampliamente probada	3.0			4.0			4.0		
9.4	Complejidad en la construcción y equipamiento	3.0			4.0			2.0		
10	25		0.7	3.3		0.8	4.0		0.7	3.3
10.1	Sumar las casillas 9.1D, 9.2D, 9.3D y dividir el total entre 15. El resultado anotarlo en la casilla 9.4									
10.2	OPERACIÓN									
10.1	Flexibilidad de operación	5.0			4.0			2.0		
10.2	Contabilidad del proceso	3.0			3.0			4.0		
10.3	Complejidad de operación del proceso	2.0			4.0			5.0		
10.4	Requerimiento de personal	2.0			4.0			4.0		
10.5	Requerimientos análisis y controles	2.0			3.0			5.0		
10.6	Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	2.0			3.0			5.0		
10.7	Sostenibilidad en Operación y mantenimiento	1.0			2.5			5.0		
10.8	Sumar las casillas 10.1D, 10.2D, 10.3D, 10.4D, 10.5D, 10.6D y 10.7D y dividir el total entre 35. El resultado anotarlo en la casilla 10.8E		0.5	12.1		0.7	16.8		0.9	21.4
11	15									
11.1	ENTORNO									
11.1	Influencia de la temperatura	5.0			3.0			5.0		
11.2	Producción de ruido	1.0			4.0			5.0		
11.3	Contaminación visual	2.0			3.0			5.0		
11.4	Producción de malos olores	3.0			2.0			2.0		
11.5	Calidad del vertimiento	5.0			2.5			2.5		
11.6	Sumar las casillas 11.1D, 11.2D, 11.3D, 11.4D, 11.5D y dividir el total entre 25. El resultado anotarlo en la casilla 11.6E		0.6	9.6		0.6	8.7		0.8	11.7
12	100									
	SUMAR LOS VALORES DE LA COLUMNA E Y ANOTAR EL RESULTADO EN LA CASILLA 12E			58.4			72.5			57.3

Figura 57: Matriz de decisión PTAR.

4.7. Resultados y conclusiones

De acuerdo con las calificaciones y criterios de los profesionales evaluadores en las Tablas 19 y 20, se computó el modelo de la matriz para las alternativas de PTAR y PTAP, dando como resultado que las alternativas recomendadas para los sistemas de tratamiento de los antiguos ETCR son la alternativa 2 de PTAR y la alternativa 1, para PTAP, obteniendo puntajes de 72,5 y 76,2 respectivamente.

Para el tratamiento de aguas residuales se recomienda el sistema UASB + FAFA + Sedimentación o Clarificación secundaria, aunque obtuvo una ligera ventaja sobre la alternativa de lodos activados, el componente energético es determinante, por otra parte, el sistema lagunar obtuvo la menor puntuación debido a que el componente área también es fundamental en la selección.

En el sistema PTAP, la posibilidad de contar con los tratamientos convencionales prima sobre la alternativa de filtración directa debido a que por el desarrollo de las cuencas así sean rurales se presenta cierta variabilidad en la calidad del agua que limita la alternativa o tecnología. La alternativa de membranas aunque muy eficiente y confiable, presenta mayor grado de incertidumbre por la dependencia de equipos electromecánicos que inciden en costos operativos además de la capacitación especializada y la disponibilidad de repuestos en las zonas rurales.

Referencias

- de Desarrollo Economico, M. (2000). *Resolucion 1096 de 2000, 17 de noviembre, por la cual se adopta el reglamento tecnico para el sector de agua potable y saneamiento basico-ras*. Autor.
- Noyola, A., Morgan-Sagastume, J., y Güereca, L. (2013). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales: Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas. *México: Universidad Nacional Autónoma de México*.
- Romero Rojas, J. A. (2004). Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. *Bogotá, CO, Escuela Colombiana de Ingenieros*.

Capítulo 5

Captación y Aducción de agua cruda para tratamiento

Introducción

En el presente capítulo se establece la captación de agua cruda, que debido a las condiciones de ubicación se realiza mediante pozo profundo existente y bombeo hasta la ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) del antiguo Espacio Territorial de Capacitación y Reincorporación, con base en las características presentadas en el capítulo de viabilidad sanitaria, partiendo de los parámetros de caudal de diseño de la PTAP.

Como variables principales se encuentra el caudal de diseño a suplir del sistema de tratamiento de agua potable el cual corresponde a **3,2 l/s** y la caracterización del agua cruda donde se especifican los parámetros de calidad del agua cruda a tratar.

5.1. Captación

La captación del agua cruda se realizará por medio de un pozo profundo debido a las condiciones de ubicación del antiguo espacio territorial, desde el cual mediante bombeo se impulsa el agua cruda hasta la entrada a la PTAP, este bombeo se diseña teniendo en cuenta la información obtenida sobre la fuente de captación y el caudal de diseño.

Capítulo 6

Planta de Tratamiento de Agua Potable

Introducción

En el presente capítulo se establece el diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (desde ahora PTAP) del antiguo Espacio Territorial de Capacitación y Reincorporación ETCR, con base en las características presentadas en el capítulo de viabilidad sanitaria, partiendo de los parámetros de caudal y caracterización de las aguas crudas, definiéndose así el tren de tratamiento óptimo, producto de la evaluación de la metodología de selección de alternativas, para su implantación en el antiguo ETCR.

Como variables principales de diseño se encuentra la población proyectada de **1462 hab** para el año 2046, y el caudal de diseño del sistema de tratamiento el cual corresponde a **3,2 l/s**. Así como las características de calidad del agua de la fuente escogida para el diseño (Ver Tabla 13), se asume una calidad de regular a deficiente, esto por posibles intervenciones antrópicas o por alteración de la calidad de agua de la fuente en temporada de lluvia.

Evaluando las diferentes tecnologías de tratamiento propuestas en el capítulo de Metodología de Alternativas y escogiendo la óptima con base a la matriz multicriterio, se establece el tren de tratamiento del agua cruda dentro de la planta y el diseño hidráulico de ésta, el cual se compone de:

- Impulsión Pozo subterráneo
- Dosificación de productos químicos para oxidación
- Tanques de Oxidación
- Dosificación de productos químicos para clarificación

- Floculador-Sedimentador de Manto de Lodos (FSML): dos (2) módulos
- Filtración rápida descendente: cuatro (4) módulos
- Desinfección en tanque de contacto
- Tanque de almacenamiento (4) módulos
- Pozo de lodos
- Espesador de lodos
- Lechos de secado

El proceso de tratamiento seleccionado se puede observar en el Diagrama de flujo de procesos (Figura 59), donde se listan las características principales de los procesos unitarios tanto en la línea de tratamiento de aguas como de lodos. A continuación se presenta el esquema 3D planteado para la PTAP en la Figura 58.



Figura 58: Esquema 3D de la PTAP.

6.1. Diagrama de flujo de procesos

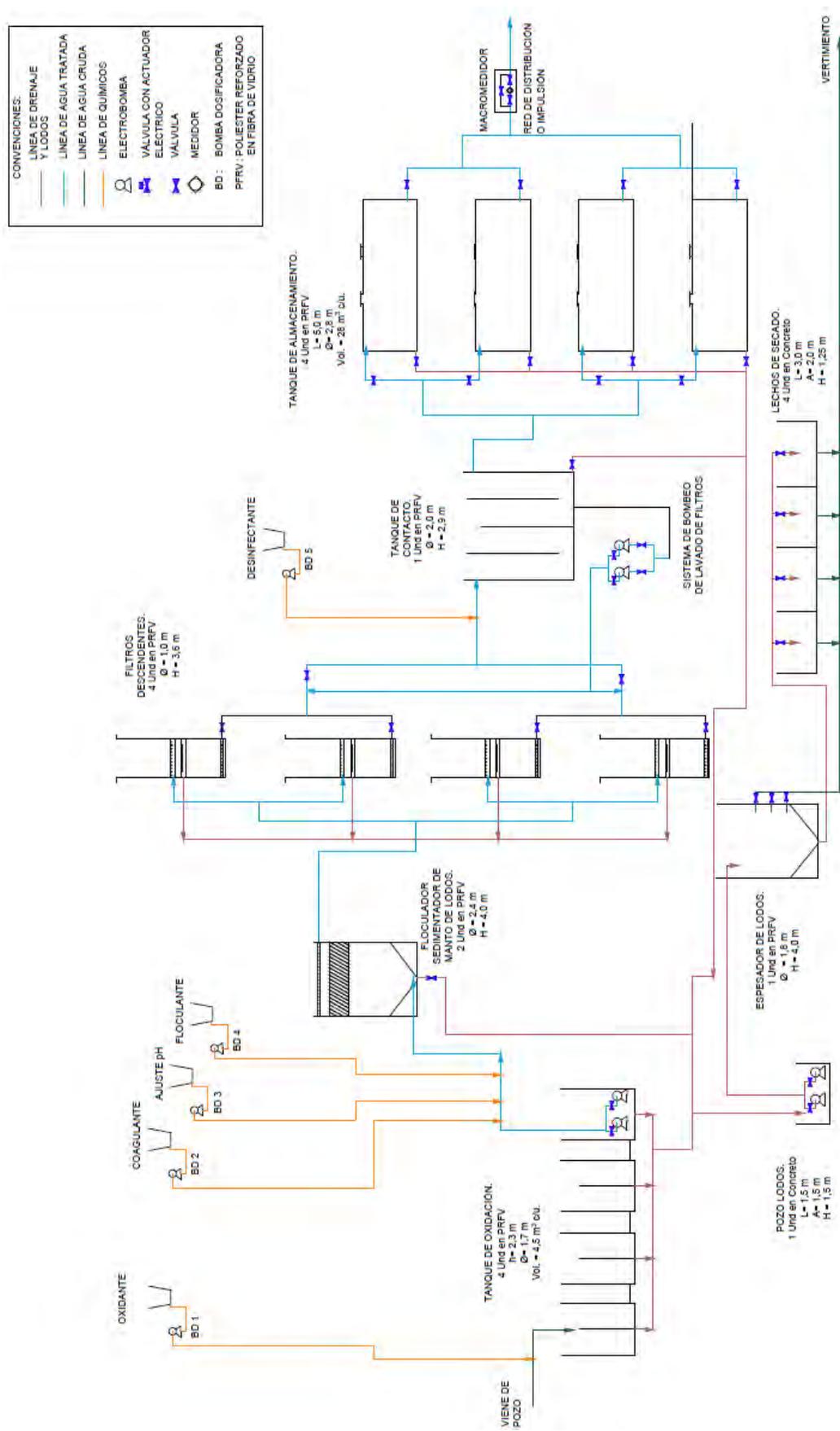


Figura 59: Diagrama de flujo de procesos en la PTAP.

6.2. Tren de tratamiento de aguas

Partiendo de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua asumida de entrada al sistema de potabilización, se procede a diseñar los procesos unitarios que conformarán el orden lógico de tratamiento, para esto se define una línea base de parámetros de interés a remover, los cuales den cumplimiento a la normativa vigente de agua potable resolución 2115 de 2007, garantizando así las variables fundamentales para los sistemas de acueducto correspondientes a cantidad, calidad y continuidad. Algunos de los procesos de remoción de ciertos parámetros que se encuentran en el agua cruda se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21: Procesos de remoción de parámetros del agua cruda.

Parámetro	Proceso de remoción
Turbidez(NTU)	Coagulación-floculación-sedimentación
Color aparente (UNC)	Coagulación-floculación-sedimentación
Coliformes totales (NMP/100 ml)	Desinfección
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	Desinfección
Aluminio Total (mg Al/l)	Precipitación química-Coagulación-floculación-sedimentación

6.2.1. Dosificación de productos químicos para clarificación y desinfección

Para realizar un proceso óptimo de clarificación es fundamental realizar ensayos de laboratorio o prueba de jarras para encontrar los productos químicos en las dosis adecuadas que simplifiquen el tratamiento a un menor costo, de acuerdo a las características del agua cruda se contempla que el sistema pueda contar con todos los procesos convencionales de la tecnología, para ello se proyecta tener la posibilidad de dosificar coagulante, modificador de pH y floculante, antes del Floculador-Sedimentador de Manto de Lodos (FSML) con el fin de generar la separación física de sólidos aglomerados por decantación.

Adicionalmente se dosificará un desinfectante para la eliminación o destrucción de agentes patógenos presentes en las aguas, los cuales son los responsables de enfermedades de origen hídrico.

6.2.1.1. Cálculo de la dosificación de oxidante

La selección del oxidante óptimo parte de las características de parámetros de interés, en nuestro caso buscamos oxidar la presencia de hierro, manganeso

y materia orgánica, el objeto del proceso consiste en la necesidad de convertir y eliminar los parámetros mencionados a formas insolubles, característicos de fuentes subterráneas, para la eliminación de dichos metales se diseña un proceso de oxidación química, para esto existen sustancias químicas con poder oxidante importante como Dióxido de cloro, Peróxido de hidrógeno, Permanganato de potasio, Ozono, cloro entre los más usados, cada uno cuenta con características adecuadas a cada tipo de agua.

Para el diseño se recomienda realizar la oxidación con permanganato de potasio, esto debido a que es la alternativa más ajustada a las necesidades del proyecto, no genera subproductos como los THM producidos por el cloro, no genera cloritos producidos por el Dióxido de cloro, no tiene riesgo de generar Bromatos como los puede generar el Ozono, es de bajo costo, la preparación y dosificación es más simple, posee propiedades floculantes y absorbentes de sólidos coloidales, con un rango amplio de operación de 5 a 12 unidades de pH, presenta dificultad por ser una sustancia controlada sin embargo en el mercado ya es posible conseguirlo en solución y de acuerdo al caudal de la planta y la dosis requerida, se necesita volúmenes mensuales relativamente asequibles.

El método de dosificación es similar al proceso de preparación del coagulante descrito a continuación.

6.2.1.2. Cálculo de la dosificación de coagulante

La determinación de la dosis de coagulante a suministrar depende en gran medida de la variación de la calidad de agua cruda, estas deben ser ajustadas a diario o cuando se presente desmejoramiento de la calidad del agua a tratar, para el diseño del sistema se parte de una concentración (C) del 5% en la solución a dosificar. Para la preparación se cuenta con un volumen de tanque de dosificación de 100 L (V), a los cuales se le agrega una cantidad de 5,0 kg de coagulante para lograr la concentración indicada anteriormente. Con el valor de densidad del coagulante de $251,18 \text{ kg/m}^3$ (ρ_w) se halla el volumen de coagulante líquido requerido para la concentración mencionada:

$$Vol_{coag} = \frac{C \cdot V}{100 \cdot \rho_w} \quad (6.1)$$

El cual da un resultado de 19,9 L de coagulante líquido para su disolución en agua para alcanzar la concentración esperada, de esta forma se obtiene la preparación la solución a dosificar a partir de producto en estado sólido o líqui-

do. La cantidad de coagulante a dosificar se calcula como la variable P_1 de la forma:

$$P_1 = \frac{D \cdot Q}{1000} \quad (6.2)$$

Siendo D la dosis de coagulante estimada de 20,0 mg/l y Q el caudal a tratar en la PTAP. Adicional a esto se calcula el caudal de la disolución de coagulante de la forma,

$$q = \frac{P_1 \cdot 100}{C} \quad (6.3)$$

Los resultados para dos opciones de caudal de tratamiento en la PTAP, el caudal de diseño y la mitad de este, se pueden observar en la Tabla 22 y en las memorias de cálculo anexas al informe de diseño, esto con el fin de la modulación del tratamiento.

Tabla 22: Dosificación de coagulante.

Caudal a tratar Q (l/s)	Cantidad a dosificar P1 q (kg/min)	Caudal a dosificar q (l/h)
1,62	0,002	0,59
3,25	0,004	1,18

6.2.1.3. Ajuste de pH y floculación

El proceso físico-químico puede estar acompañado de dosificación adicional para ajuste de pH del agua a tratar y un floculante o ayudante de floculación, esto dependiendo de las características del agua cruda. Las dosis de los químicos mencionados anteriormente dependen de la prueba de tratabilidad del arranque y puesta en marcha de la PTAP y se diseñan bajo la misma filosofía de cálculo que coagulación.

6.2.1.4. Cálculo dosificación de desinfectante

Para la desinfección del agua, se aplica un químico con poder oxidante previo al tanque de contacto, lo que permite la mezcla del químico con el agua tratada. El desinfectante universal en los sistemas de tratamiento es el cloro, el cual posee ventajas como poder bactericida, virulicida, eficacia contra patógenos y capacidad de remanencia, además de su facilidad de preparación y aplicación, lo cual tiene incidencia directa en los costos operativos. El desinfectante viene

en presentaciones sólidas y líquidas, como hipoclorito de calcio e hipoclorito de sodio respectivamente.

Para el diseño se propone una desinfección mediante una solución diluída al 2% de hipoclorito de sodio, para una dosificar una concentración de 2,0 mg/l. La presentación viene con una concentración líquida al 15%, y se mezcla con un volumen de 100 L de agua, para alcanzar la concentración mencionada se requiere de 13,3 L de desinfectante líquido. Cabe resaltar que el punto de aplicación del desinfectante se localiza entre la unidad de filtración y el tanque de contacto.

Las dosis de desinfectante depende de la demanda de cloro del sistema, las cuales se calibran una vez este está en operación; los resultados de caudal a dosificar para los caudales modulados se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23: Dosificación desinfectante en la PTAP.

Caudal a tratar Q (l/s)	Caudal a dosificar q (ml/min)
1,62	9,75
3.25	19,49

6.2.2. Captación

La captación del agua cruda se realizará por medio de un pozo profundo debido a las condiciones de ubicación del antiguo espacio territorial desde el cual mediante bombeo se impulsa el agua cruda hasta la entrada a la PTAP. Este bombeo se diseña teniendo en cuenta la información obtenida sobre la fuente de captación y el caudal de diseño.

Como variables principales se encuentra el caudal de diseño a suplir del sistema de tratamiento de agua potable el cual corresponde a **3,2 l/s** y la caracterización del agua cruda donde se especifican los parámetros de calidad del agua a tratar.

Anexo al informe se encuentra el estudio de calidad del agua donde se caracterizan los parámetros más relevantes del agua a tratar y mediante este se realiza la escogencia del tren de tratamiento de la PTAP.

6.2.3. Tanques de Oxidación

Con base en la calidad del agua cruda a tratar proveniente del bombeo desde el pozo profundo de captación de agua, se establece necesaria la implementación

de un sistema de oxidación de metales, en el caso concreto del hierro evidenciado en la calidad del agua cruda anexa al informe de diseño.

Esta unidad se diseña partiendo del tiempo necesario de contacto entre el agua cruda y el oxidante para permitir el cambio de estado de las cargas de los metales a formas insolubles que puedan precipitar o decantar en las cavidades de las unidades, las cuales deben tener un comportamiento de mezcla a la entrada y un desarrollo en flujo a pistón para aprovechar el tiempo de detención al máximo.

Para el cálculo del volumen se adiciona el volumen necesario para trasegar el caudal mediante bombeo a la siguiente unidad, esta unidad también debe tener la capacidad de recibir del pozo subterráneo el caudal por bombeo y disiparlo, aprovechan dicha energía para la mezcla rápida en línea del oxidante químico.

De acuerdo a la literatura el tiempo de detención del oxidante seleccionado es de 80 a 90 *min*.

Para el caudal de diseño 3,2 *l/s*, se requiere un volumen de 18,0 m^3 , y se divide en cuatro tanques intercomunicados entre sí, con tabiques internos para propiciar un flujo tipo pistón y evitar cortos circuitos para garantizar el contacto y mezcla con la masa de agua, cada modulo o tanque de un volumen de 4,5 m^3 , con tubería de purga para evacuar los lodos o metales insolubles, la ultima unidad opera como tanque de trasiego para la alimentación de electrobombas que impulsan el agua oxidada al siguiente proceso.

Todo el sistema debe ser controlado por lazos entre equipos y la instrumentación para la operación automática del sistema de dosificación y equipos electromecánicos.

6.2.4. Floculador-Sedimentador de Manto de Lodos (FSML)

El floculador tipo manto de lodos es un tanque con algún medio de mezcla rápida, suave y lenta, con un tiempo de retención relativamente corto que por la formación de un manto de lodos, proporciona al agua un proceso de pre-sedimentación (Figura 60).

En esta unidad se dan los procesos de coagulación, floculación y sedimentación, cuando se genera la dosificación de coagulante se presenta la desestabilización de las partículas coloidales, dicha dosificación se da en línea para generar por medio de turbulencia en la tubería la mezcla rápida, a este proceso se le conoce como proceso de coagulación y se presenta antes del ingreso al floculador, seguido se da el proceso de floculación el cual consiste en la unión de las

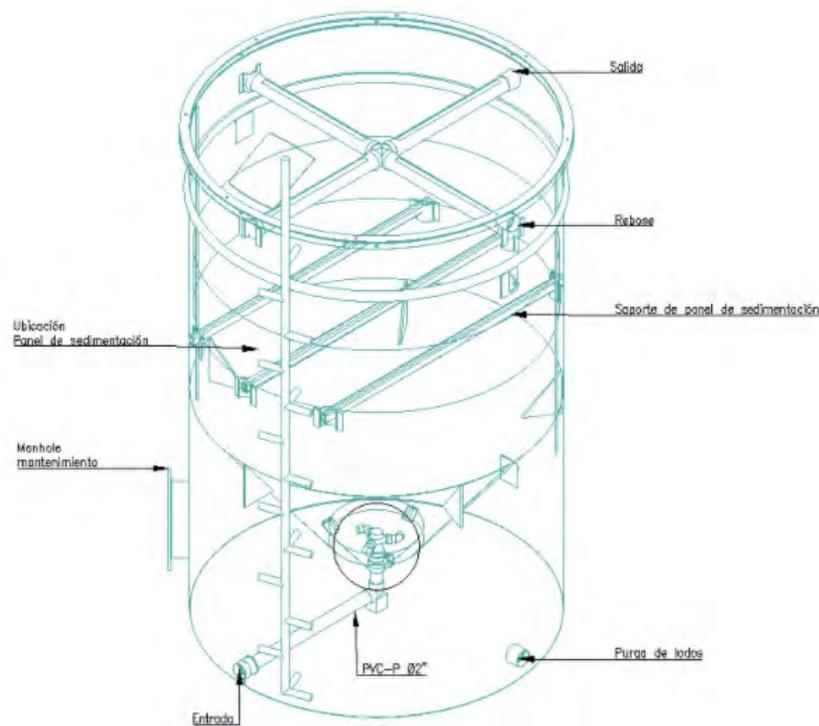


Figura 60: Esquema Floculador Sedimentador de Manto de Lodos (FSML).

partículas desestabilizadas para así ganar peso y sedimentar, estos dos últimos procesos se dan al interior del FSML, en donde las partículas sedimentadas son almacenadas en una tolva, la cual esta dimensionada para contener el volumen de lodos de $1,10\text{ m}^3$, que corresponde al volumen producido durante un (1) día de funcionamiento del sistema aproximadamente.

Se dimensiona entonces el FSML con un diámetro de 2,0 m y una altura total de 4,00 m de donde 0,62 m es la altura de floculación, 0,6 m la zona de sedimentación acelerada, 1,0 m la altura de la tolva de lodos, 0,65 m la altura entre paneles y canaleta, 0,10 m la altura de la canaleta y un borde libre del FSML de 0,3 m. Las dimensiones más específicas se presentan en la Tabla 24.

Tabla 24: Dimensiones del FSML.

Parametros/ Datos	Valor	Unidad
Área de floculador (A_f)	3,14	m^2
Pendiente de la tolva (PT)	50°	°
Altura difusor (H_{df})	0,6	m
Diámetro de fondo de tolva (D_{ftv})	0,66	m
Altura de la tolva cónica de lodos (HC)	1,01	m

Volumen de la tolva cónica de lodos (VC)	1,10	m^3
Altura zona sedimentación acelerada	0,60	m
Altura entre paneles y canaleta	0,65	m
Altura Total Canaleta (ht)	0,10	m
Borde libre floculador (BL)	0,30	m
Altura floculación (Alt floc)	0,62	m
Altura útil floculador (Alt floc)	2,0	m
Altura total floculador (Alt floc)	4,00	m
Volumen del cilindro (VCI)	6,3	m^3
Volumen total del floculador (VT)	7,4	m^3
Tiempo de detención hidráulico (TDH)	1,3	h

Para propiciar la sedimentación acelerada se usarán paneles de tasa alta tipo colmena, fabricados en PVC o similar, los cuales tienen una inclinación de conductos de 60° y longitud estándar de 60 cm, los cuales se localizan encima del distribuidor de entrada y por debajo de las canaletas de recolección del clarificado, se diseñan bajo recomendaciones del RAS 0330 de 2017, Art. 113.

Se proponen dos módulos para Floculador-Sedimentador de Manto de Lodos (FSML), cada módulo funcionará a un caudal de 1,62 l/s, para un caudal total de 3,25 l/s. Anexo al informe se presentan las memorias de cálculo donde se dimensiona la estructura de FSML con sus respectivas ecuaciones de diseño según literatura y normatividad aplicada.

6.2.5. Sistema de filtración

Los filtros en arena (Figura 61) son utilizados para retirar la carga contaminante presente en el agua después de su paso por un tratamiento primario o secundario, este filtro retiene partículas de hasta 20 micras de tamaño, y su eficiencia depende de varios parámetros como: la forma, la altura del lecho filtrante, el tipo de material, su granulometría y la velocidad de filtración, entre otras.

Según lo consignado en el RAS 2000 y en la resolución 0330 de 2017 que lo modifica, se deben considerar para los filtros rápidos con lecho en arena una tasa de infiltración menor a $120 m^3/m^2/d$ y una profundidad del medio filtrante entre 0,6 a 0,9 m. Adicionalmente, el lecho filtrante va soportado en un medio granular estratificado, el cual evita la pérdida del material por arrastre del fluido

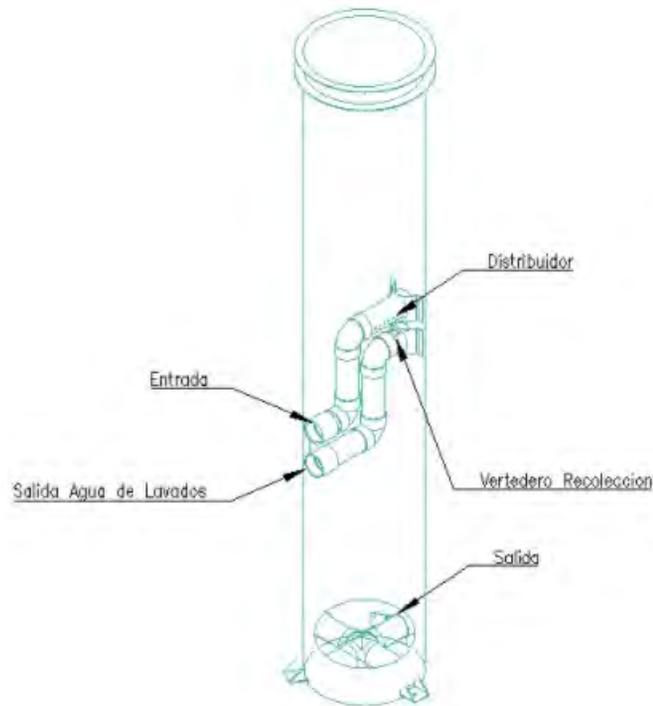


Figura 61: Esquema del filtro en arena.

durante el proceso de filtración y retrolavado. Se proponen 4 filtros con lecho de arena de operación descendente, cada uno funcionará a caudal de 0,8 l/s, y para la operación de lavado se complementará con la presión y el caudal ejercido por una electrobomba con el fin de alcanzar la velocidad ascensional requerida para la expansión del lecho filtrante de acuerdo a lo establecido en la Res. 0330 de 2017 Art. 114 (Ministerio de Vivienda, 2017).

Para realizar el proceso de retrolavado, el caudal requerido por filtro es de 8,0 l/s, para un tiempo de lavado de cada uno de 7 min, lo que genera un volumen de agua de lavado de 3,36 m³ que se purga hacia el pozo de lodos para luego ser conducido al tratamiento de espesamiento y deshidratación. Las dimensiones generales del sistema de filtración se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25: Dimensiones del filtro propuesto.

Parametros/ Datos	Valor	Unidad
Diámetro final del filtro (Øf)	1,00	m
Altura material de soporte	0,60	m
Altura medio filtrante	0,90	m
Altura lecho expandido	1,13	m

Tabla 25 continúa de la página anterior

Altura entre vertederos	0,25	<i>m</i>
Diámetro vertedero de distribución	4,00	<i>pulg</i>
Altura a vertedero de lavado	1,83	<i>m</i>
Diámetro vertedero de lavado	4,00	<i>pulg</i>
Pérdidas en filtración	0,48	<i>m</i>
Borde libre	1,50	<i>m</i>
Altura total filtro	3,60	<i>m</i>

La frecuencia del lavado de los filtros depende de la colmatación del mismo, que es directamente proporcional a la calidad del agua, y se puede observar representada en la pérdida de cabeza de energía antes de atravesar el medio filtrante.

La tasa de infiltración calculada para los filtros es de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ para una velocidad de infiltración de $0,10 \text{ cm/s}$. Las memorias de cálculo del chequeo del lavado de los filtros, de expansión del medio filtrante, de chequeo hidráulico y de pérdida de energía se especifican anexas al informe junto con las ecuaciones de cálculo y recomendaciones según literatura y normatividad aplicada.

6.2.6. Tanque de contacto

Para la desinfección del agua filtrada, se requiere de un tanque de contacto con un volumen determinado que garantice los tiempos de detención mínimos para la mezcla hidráulica del desinfectante con la masa de agua, y así poder eliminar o destruir los microorganismos patógenos que se puedan presentar en esta fase del proceso.

El diseño del tanque se realiza para un tiempo de detención de 40 minutos para el caudal total de diseño de $3,25 \text{ l/s}$, tiempo suficiente para alcanzar valores de concentración-tiempo ($C \cdot T = K$) requeridos para la inactivación de coliformes totales por cloro libre para $\log 3$. El dimensionamiento del tanque de contacto se puede observar en la Tabla 26.

Tabla 26: Dimensiones del tanque de contacto.

Parámetro	Valor	Unidad
Tiempo de contacto	40	<i>min</i>
Caudal de diseño	3,25	<i>l/s</i>
Volumen del tanque de contacto	7,68	<i>m</i> ³

Tabla 26 continúa de la página anterior

Borde libre	0,3	<i>m</i>
Altura útil del tanque de contacto	2,60	<i>m</i>
Área requerida para el tanque	2,95	<i>m</i> ²
Diámetro del tanque	1,94	<i>m</i>
Diámetro adoptado	2,0	<i>m</i>
Altura total del tanque de contacto	2,90	<i>m</i>

El tanque de contacto se propone de cuatro (4) cavidades (Figura 62) para la mezcla del agua, este se puede apreciar en el diagrama de flujo de procesos y en los planos hidráulicos adjuntos al informe de diseño. Dicho tanque tendrá el volumen requerido para los lavados de filtros. Anexo al informe se presentan igualmente las memorias de cálculo del tanque de contacto.

6.2.7. Tanque de almacenamiento

El volumen mínimo requerido de almacenamiento de agua tratada, según el Art. 81 de la resolución 0330 de 2017, para la demanda proyectada en el año 2046, es de 106 *m*³ al día, para garantizar dicho almacenamiento se establece cuatro (4) tanques de almacenamiento de 26,5 *m*³ cada uno, estas cuatro unidades estarán comunicadas por medio de una tubería inferior que facilita las labores de mantenimiento. el dimensionamiento del tanque se presenta en la Tabla 27 y un esquema del conjunto de tanques se puede observar en la Figura 63.

Tabla 27: Dimensiones del tanque de almacenamiento.

Parámetros/ Datos	Valor	Unidad
Número de tanques (N)	4	un
Volumen requerido del tanque	26,5	<i>m</i> ³
Largo asumido del tanque	5,00	m
Borde libre (BL)	0,40	m
Lámina de agua en el tanque	2,40	<i>m</i>
Radio adoptado del tanque	1,40	<i>m</i>
Área útil del tanque	5,62	<i>m</i> ²
Volumen útil del tanque	28,09	<i>m</i> ³
Volumen total del tanque	30,79	<i>m</i> ³



Figura 62: Esquema Tanque de contacto.

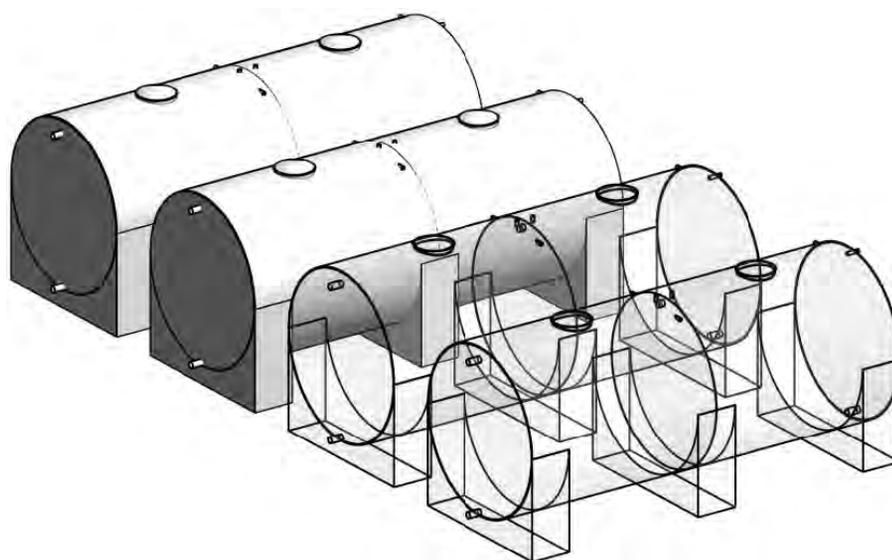


Figura 63: Esquema Tanques de almacenamiento.

Debido a la eventual necesidad de desocupar por completo alguno de los tanques a causa de actividades de limpieza, reparación o mantenimiento, se realiza a continuación el chequeo del orificio de vaciado y desagüe, tomando en

cuenta la carga hidráulica y el diámetro del orificio de desagüe (ver Tabla 28).

$$q_e = C_d \cdot a \cdot \sqrt{2gh} \quad (6.4)$$

Tabla 28: Tiempo de vaciado del tanque.

Parámetros/ Datos	Valor	Unidad
Coefficiente de descarga (Cd)	0,6	
Diámetro del orificio (\emptyset_o)	4,00	pulg
Área del orificio (a)	0,008	m ²
Gravedad (g)	9,81	m/s ²
Carga hidráulica sobre el orificio (h_o)	2,40	m
Caudal descargado (Q_e)	0,019	m ³ /s
Caudal descargado (Q_e)	18,8	l/s
Duración de la descarga (t)	266,30	seg
Duración de la descarga (t)	4,40	min

El dimensionamiento y los chequeos hidráulicos adicionales al diseño se encuentran especificados en las memorias de cálculo anexas al informe de diseño. El agua tratada se encuentra así disponible desde el tanque de almacenamiento para la red de distribución en el antiguo ETCR para consumo humano, cumpliendo con la normatividad de calidad de agua potable (Ministerio de Ambiente, 2007).

6.3. Tren de tratamiento de lodos

Los lodos decantados en el Floculador Sedimentador de Manto de Lodos y los producidos en el proceso de lavado de los filtros serán dirigidos hacia el pozo de lodos desde donde a través de un sistema de electrobomba serán impulsados al proceso de espesamiento hidráulico, el cual consiste en almacenar en un tanque, el agua lodo generado, dando un tiempo de detención hidráulico para generar una separación entre el lodo y agua clarificada, el agua clarificada es dirigida hacia los desagües para un vertimiento, y los lodos espesados son dirigidos hacia los lechos de secado para terminar el proceso de deshidratación.

6.3.1. Pozo de lodos

Dentro del tren de tratamiento se incorpora un pozo de lodos el cual tiene el objetivo de recoger las purgas de unidades a gravedad, por lo tanto este se encuentra soterrada y desde la cual, por medio de electrobombas, se evacúan los lodos hacia el proceso de espesamiento.

Las dimensiones propuestas son de 1,5 m de ancho por 1,5 m de largo y 1,5 m de profundidad. Las electrobombas de la unidad son de tipo sumergible con paso de sólidos de 50 mm, con capacidad de entregar 1,0 l/s a 6 m de altura, incluyendo pérdidas de energía por fricción y accesorios, estas características de bombeo son muy comunes entre este tipo de bombas, de fácil consecución con proveedores y de alta eficiencia para minimizar costos energéticos. Cabe resaltar que los tiempos de operación al día dicho bombeo son inferiores a una (1) hora.

6.3.2. Espesador hidráulico

El espesamiento de los lodos es generalmente la primera etapa del tratamiento de lodos. Para el espesamiento de los lodos en la PTAP se diseña un espesador de tipo hidráulico (Figura 64), este remueve un porcentaje importante de la humedad presente, para producir un lodo de mayor concentración que pueda disminuir los volúmenes de la operación de deshidratación de lodos.

El volumen del espesador de lodos es igual al volumen del agua de lavado de dos (2) filtros más el volumen de lodos producidos en el FSML, en total el espesador hidráulico trata un volumen de $7,40 \text{ m}^3/d$. El espesador hidráulico presenta unas dimensiones de 1,80 m de diámetro y 0,20 m de diámetro inferior de la tolva. Una altura total de 4,00 m donde 0,80 m es la altura de la tolva cónica de lodos, 2,90 m la altura del espesador y 0,30 m el borde libre asumido.

En el espesamiento presenta una remoción teórica del 70 % de la humedad presente en el lodo, dejando así un volumen espesado de lodos de $2,2 \text{ m}^3$ que pasa a deshidratación de lodos mediante lechos de secado, y un clarificado de $5,2 \text{ m}^3$.

6.3.3. Lechos de secado

La deshidratación de los lodos provenientes del espesador hidráulico se realiza mediante lechos o eras de secado, el cual tiene como objeto reducir el contenido de agua en el lodo a menos de un 10 % y con concentración de sólidos mayores

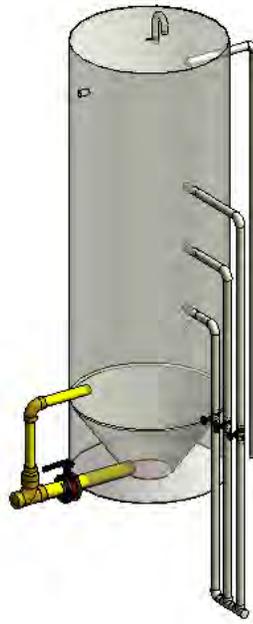


Figura 64: Esquema del espesador hidráulico.

al 25 %, un esquema de este puede verse en la Figura 65. El volumen de lodos a deshidratar diariamente es de $2,2m^3/día$, dicho volumen se dispondrá en una celda de secado con un espesor de capa de lodo de 0,3 m. Con estos requerimientos se dimensiona la celda de secado requerida siendo esta rectangular de ancho 2,0 m y largo 3,0 m.

La entrada a los lechos se realiza mediante tubería que permite el paso de estos sin generación de obstrucción. El lecho filtrante está constituido por una capa superior de 0,1 m de material de cobertura o ladrillo, luego una capa de arena gruesa de 0,3 m, después se realiza una capa de grava de $3/4''$ a $1/2''$ de 0,1 m de espesor y luego una capa de grava más gruesa de $1''$ a $3/4''$ de 0,1 m de espesor (Romero Rojas, 2004). Debajo de la estratificación planteada anteriormente se instalará la tubería de PVC perforada para evacuar las aguas filtradas por la red general de drenaje de la PTAP hacia la descarga a fuente receptora.

Los espesores de cada capa requerida en el diseño del lecho de secado se pueden evidenciar con detalle en la Figura 66.

El proceso de secado se realiza durante 3 días, el lodo producido al día se va disponiendo en cada celda de secado y se van rotando durante la semana, al tercer día se remueve la capa deshidratada para su disposición final. Se diseñan 4 celdas de lechos de secado en la PTAP para una operación más controlada de

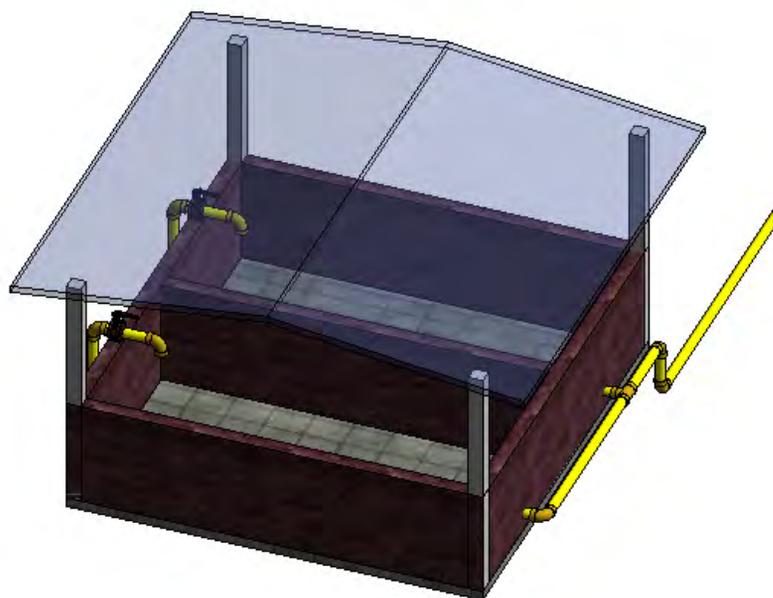


Figura 65: Esquema de los lechos de secado.

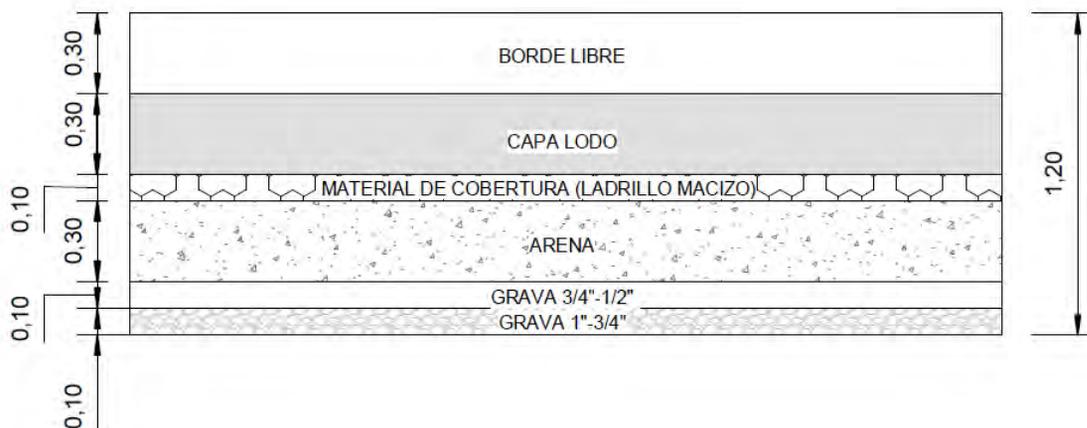


Figura 66: Estratificación de la estructura del lecho de secado (medidas en metros).

deshidratación de los lodos.

6.4. Componentes generales

A continuación se presentan los componentes generales del diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, estos corresponden las unidades principales o las obras necesarias para el funcionamiento normal del sistema de tratamiento,

la localización de dichos componentes dentro del área se plantean para seguir un tren de tratamiento lógico dentro y una hidráulica determinada, para tener un control preciso de los procesos unitarios dentro de la PTAP (Figura 67).

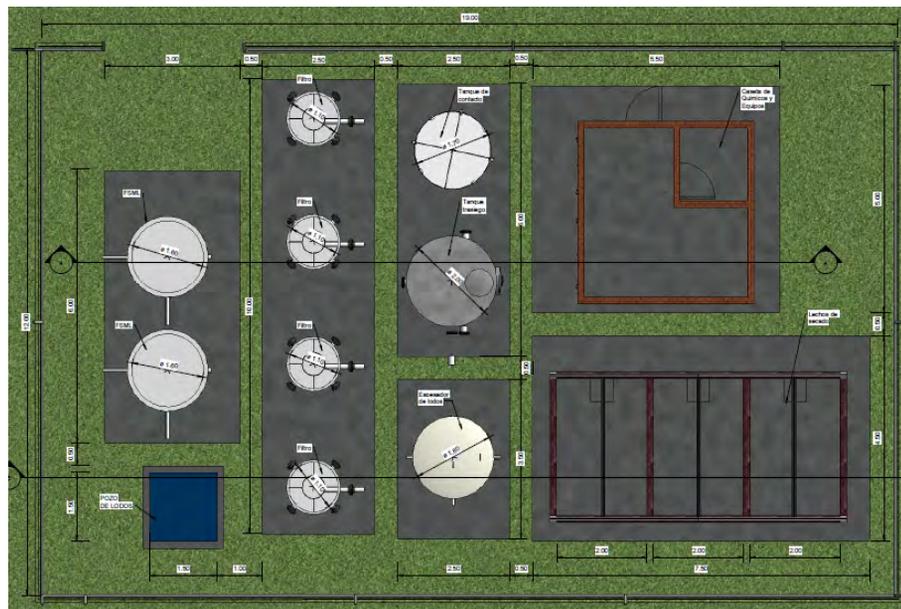


Figura 67: Vista en planta de la distribución propuesta en la PTAP.

El proyecto de la PTAP presenta una distribución y diseño compacto que busca ocupar el menor espacio posible dentro del lote dispuesto, dejando andenes y espacios de tránsito donde se pueden movilizar peatones. La PTAP cuenta con una caseta de operación, donde se aloja la dosificación y almacenamiento de productos químicos así como herramientas de operación y el espacio para acondicionar el área de laboratorio.

6.4.1. Caseta de operación

Construcción civil donde se realiza la operación general de la Planta de Tratamiento de Agua Potable. En el edificio de operaciones se realiza el control de la calidad del agua cruda y tratada, así como la verificación del correcto funcionamiento de cada una de las partes del tren de tratamiento. Esta debe contar con las áreas adecuadas para realizar un seguimiento y operación de todas las variables de funcionamiento, las cuales corresponden a:

- Área de preparación de químicos
- Dique de contención de derrames

- Laboratorio
- Oficina de control
- Área de tablero de control eléctrico
- Almacenamiento de químicos y herramientas

La caseta debe contar con unas dimensiones mínimas de 3,80 m x 3,50 m y una altura de 2,40 m, adicionalmente debe contar con buena iluminación y ventilación debido a en ella hay manejo de productos químicos. Además se debe contar con el servicio de energía eléctrica y abasto de agua tratada.

6.4.2. Vías y andenes dentro de la planta

Dentro de la PTAP no se plantean vías pavimentadas ya que no se hace necesario el ingreso de vehículos pesados, sin embargo, se recomienda el diseño de andenes para tránsito de personal de operación y mantenimiento de los procesos requeridos dentro de la planta, así como la remoción de sólidos producidos en la deshidratación de lodos en lechos de secado.

Referencias

- Ministerio de Ambiente, V. y. D. T. (2007). *Resolución 2115 de 2007, 22 de junio, por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano*. Autor.
- Ministerio de Vivienda, C. y. T. (2017). *Resolucion 0330 de 2017, 08 de junio, por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (ras) y se derogan las resoluciones números 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009*. Autor.
- Romero Rojas, J. A. (2004). *Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño*. Bogotá, CO, *Escuela Colombiana de Ingenieros*.

Capítulo 7

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Introducción

En el presente capítulo se establece el diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (desde ahora PTAR) del antiguo Espacio Territorial de Capacitación y Reincorporación, adjunto con las memorias de cálculo para cada proceso unitario de la planta y partiendo de las características presentadas en el capítulo de viabilidad sanitaria, donde se enuncian los parámetros fundamentales para el diseño como caudal de diseño y caracterización de las aguas servidas.

Como criterios de diseño principales se encuentra la población proyectada de 1462 hab para el año 2046, los cuales generan un caudal de diseño del sistema de tratamiento de 2,7 l/s, el marco teórico normativo del diseño, corresponde a los siguientes lineamientos:

- La resolución 0631 de 2015 que establece los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas (ARD).
- La resolución 0330 de 2017 o modificación al RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico) donde se especifican parámetros y condiciones de diseño de las diferentes estructuras de tratamiento de aguas residuales.
- La resolución 0844 de 2018 o RAS rural, que establece los criterios de diseño en materia de acueducto y saneamiento básico en sectores rurales.

Evaluando las diferentes tecnologías de tratamiento propuestas en el capítulo

de Metodología de Alternativas y seleccionando con base a los aspectos de la matriz multicriterio, se establece que el tren de tratamiento del agua residual esta compuesto por las siguientes unidades:

- Pretratamiento (Cribado, desarenador y homogenización e igualación de caudales).
- Reactor biológico UASB
- Reactor FAFA
- Sedimentador secundario de alta tasa
- Canal de salida y aforo
- Lechos de secado

El proceso de tratamiento seleccionado y el dimensionamiento de las estructuras se especifica en el Diagrama de flujo de procesos (Figura 69), en la Figura 68 se puede observar un modelo en 3D del sistema.

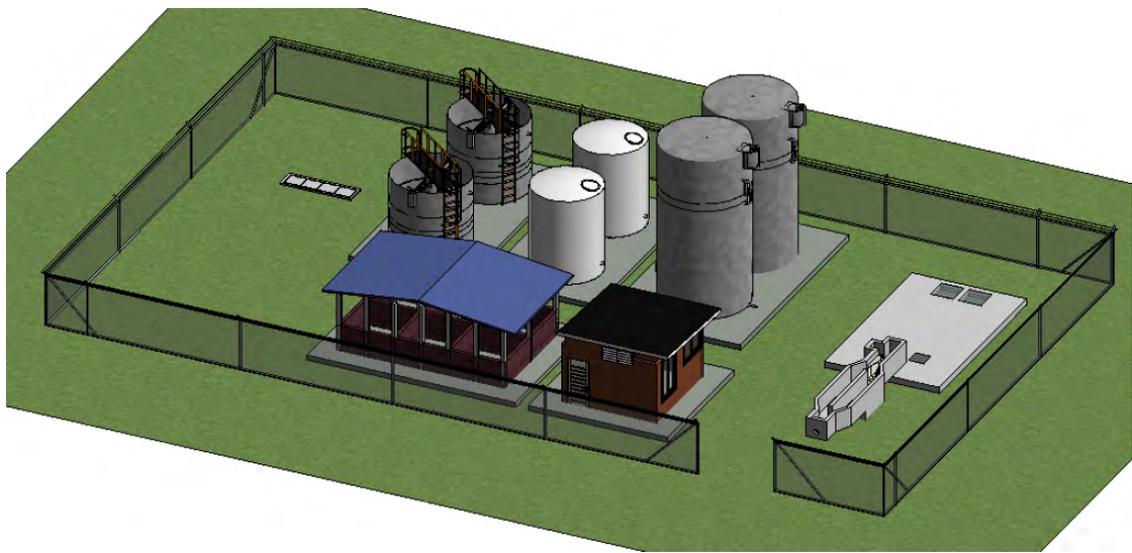


Figura 68: Esquema 3D de la PTAR.

7.1. Diagrama de flujo de procesos

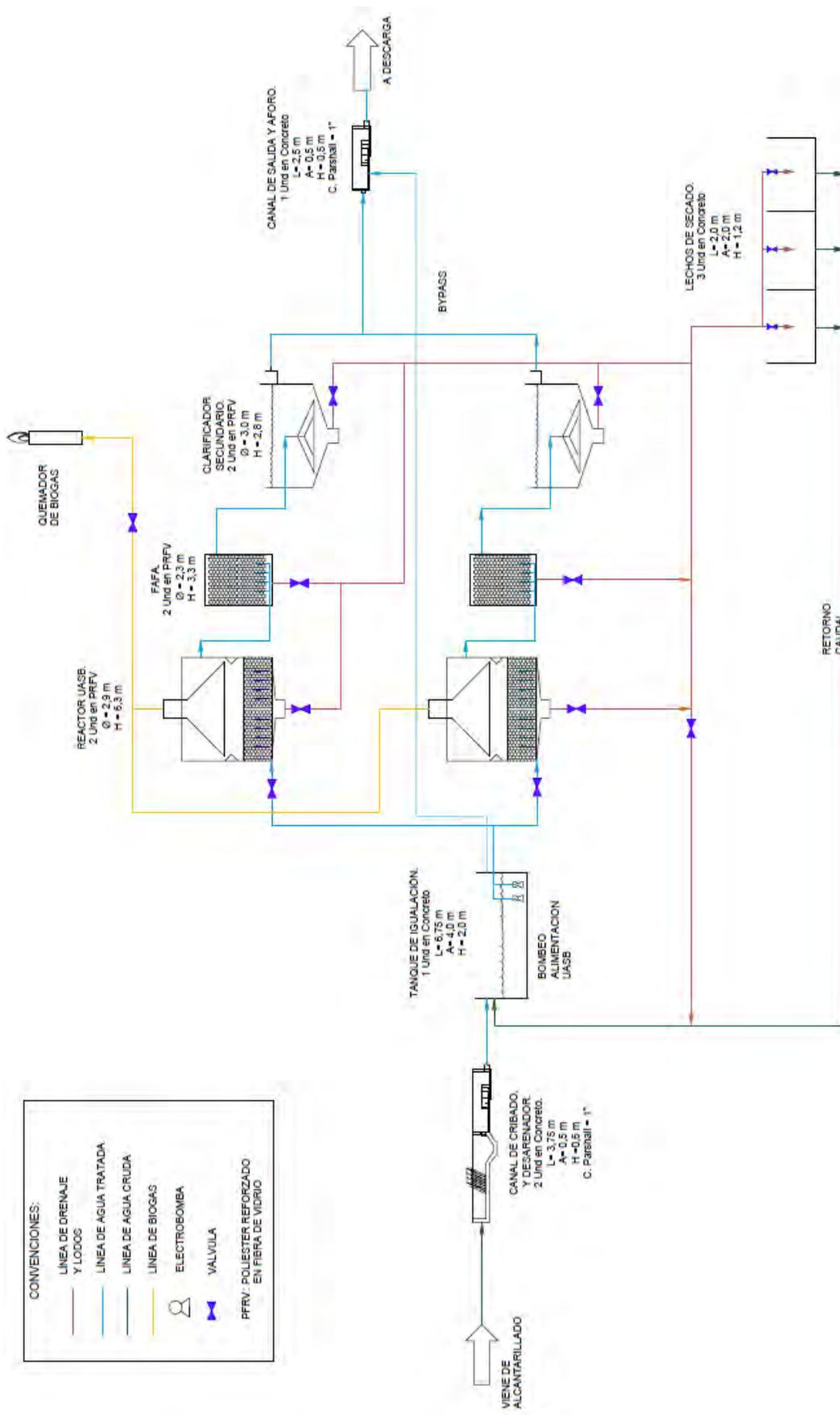


Figura 69: Diagrama de flujo de procesos en la PTAR.

7.2. Tren de tratamiento de aguas

7.2.1. Canal de entrada y pretratamiento

El tratamiento de las aguas residuales en la PTAR comienza con el canal de entrada a la planta de las aguas servidas, las cuales provienen del alcantarillado. El caudal de dimensionamiento del pretratamiento se estima como el caudal de diseño del sistema, según lo estipulado en la resolución 0844 de 2018 (Ministerio de Vivienda, 2018) el cual es 2,7 l/s.

El canal de conducción de las aguas a través del pretratamiento se diseña con unas dimensiones hidráulicas de 0,50 m de ancho x 0,60 m de alto, como se especifica en las memorias de cálculo hidráulico y en los planos hidráulicos anexos al informe.

Las aguas se conducen entonces a un sistema de cribado fino para la retención de partículas de mayor tamaño, el cribado seleccionado cuenta con separación entre barras de 10,00 mm. el mantenimiento del cribado es de operación manual de acuerdo al RAS 2000, para caudales menores a 100 l/s.

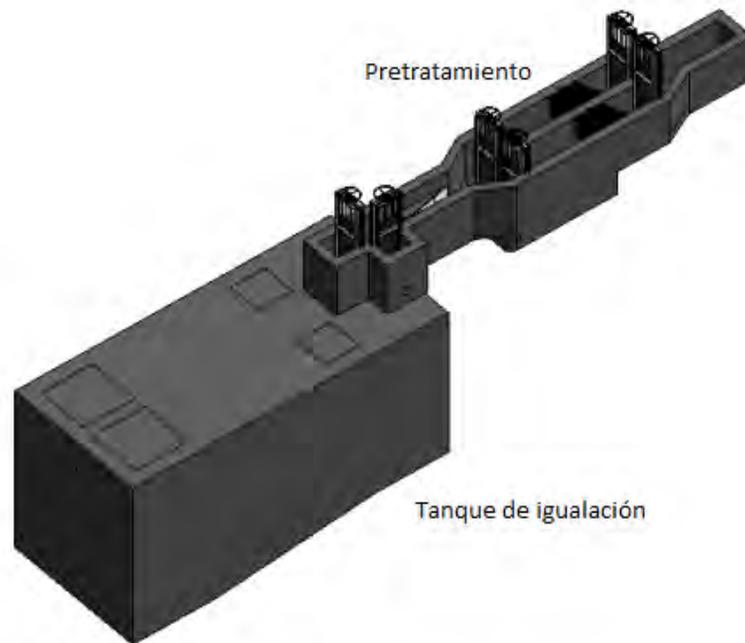


Figura 70: Canal de entrada y pretratamiento de las aguas residuales.

Como se aprecia en la Figura 70 el canal de entrada del agua se divide en dos módulos con capacidad total de tratamiento para suplir las actividades de mantenimiento y extracción de sólidos y arenas, el paso del agua es controlado

mediante compuertas. Luego del cribado manual se encuentra un desarenador, con el fin de realizar una sedimentación primaria de las partículas de menor tamaño y arenas que logran pasar el cribado.

Las memorias de cálculo y dimensiones del desarenador se expresan en el Anexo 3. de pretratamiento en las memorias de diseño de la PTAR, donde la sección de canal en el desarenador será de ancho 0,50 m x 0,9 m de alto para reducir la velocidad de tránsito y sedimentar partículas de hasta 0,3 mm y con una densidad relativa media de $2,65 \text{ g/cm}^3$, la longitud total del desarenador es de 1,25 m. La tolva del desarenador presenta una altura de diseño de 0,30 m para un volumen total posible de almacenamiento de sedimentos de $0,188 \text{ m}^3$.

Luego del paso por el desarenador, se encuentra una estructura tipo canaleta Parshall donde se realizará medición de caudal entrante a la planta de tratamiento y toma de muestras del agua para evaluar las condiciones de calidad del agua de entrada, el ancho de garganta (W) de diseño para la canaleta Parshall es de 1 pulgada.

Luego de la canaleta Parshall se encuentra la estructura de paso al Tanque de igualación de la planta. Esta estructura se compone de 2 (dos) compuertas que permiten el paso hacia el Tanque de igualación que se encuentran debajo de la estructura de canal de entrada y pretratamiento. Se propone entonces un bajante de agua hacia el fondo del Tanque de igualación mediante una tubería de 4 pulgadas. Y como segunda estructura se propone un By-pass a la planta de tratamiento en caso de emergencia, desde esta estructura se conduce el agua mediante tubería de 4 pulgadas al canal de salida de la PTAR.

El agua entrante al canal de entrada y sistema de pretratamiento se encuentra con unas características correspondientes a la caracterización del agua citada en la Tabla 14 y mediante el proceso de cribado fino y desarenador teóricamente se remueve un 20% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) con lo que al siguiente proceso de tratamiento que es el tratamiento biológico el valor de DBO_5 disminuye.

7.2.2. Tanque de igualación de caudales

Después del canal de entrada y del pretratamiento de las aguas residuales, el agua se conduce a un Tanque de igualación. La función de esta unidad es soportar los picos de caudal que puedan presentarse durante el día. Estos altos niveles de caudal o picos se presentan especialmente durante las horas en que los habitantes se alistan para salir a sus trabajos o colegios y en la hora de

regreso de estos. Como mecanismo para garantizar un caudal de entrada y salida constante la PTAR cuenta con un tanque de igualación que garantiza que a las unidades subsiguientes solo ingrese el caudal de diseño, el cual se establece en 2,7 l/s.

La estructura se compone entonces de un Tanque de igualación con dimensiones de 4,00 m de ancho, 6,75 m de largo y 2,00 m de altura total, incluyendo 0,30 m de borde libre. Este tanque presenta una pendiente hacia la zona de bombeo para facilitar un lavado del tanque. También se presenta un rebose de agua en la parte superior del tanque por si se presenta algún inconveniente con las bombas, este se conecta con la tubería de Bypass de la planta.

El tanque de igualación se puede apreciar en la Figura 70 junto con el respectivo canal de entrada y pretratamiento de las aguas residuales en la parte superior de éste, el material propuesto es en concreto reforzado. Todas las dimensiones y los tiempos de funcionamiento de los bombeos desde el tanque de igualación hasta su descarga en los reactores biológicos se encuentran en las memorias de cálculo hidráulico anexas al informe de diseño. Se calcula el bombeo en función del llenado del tanque de igualación y se estima un funcionamiento de las bombas de **22 horas** al día, para evitar tiempos prolongados de almacenamiento, que propicien la descomposición de materia orgánica en dicho tanque que genere olores fuertes.

7.2.3. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente Mezcla Completa (UASB)

El UASB es un proceso biológico anaerobio donde el agua residual a ser tratada es introducida en el fondo del reactor a través de tuberías y pantallas que hacen que el paso del agua residual se realice en mezcla con la capa de lodo biodegradable y en digestión que se encuentra en el fondo de este, donde se produce una mezcla completa del agua residual cruda con los lodos en digestión, propiciando mejores condiciones de biodegradabilidad de la materia orgánica. Luego el agua fluye hacia arriba a través del lodo donde bacterias anaerobias realizan el proceso de depuración del agua residual. Los gases producidos bajo condiciones anaerobias (principalmente metano y gas carbónico) ascienden a la parte superior del reactor como se observa en la Figura 71.

Para el cálculo del reactor anaerobio el factor importante a tener en cuenta es el tiempo de retención hidráulico, para garantizar que las bacterias contenidas en el manto de lodos suspendidos tengan el tiempo necesario para atrapar

la biomasa en suspensión. Un tiempo de retención hidráulico adecuado dependiente de la temperatura garantiza que el reactor mantenga el lecho bacteriano metanogénico que hará la transformación de la biomasa en compuestos más simples y en gas, siendo este último extraído del reactor e incinerado de forma controlada.

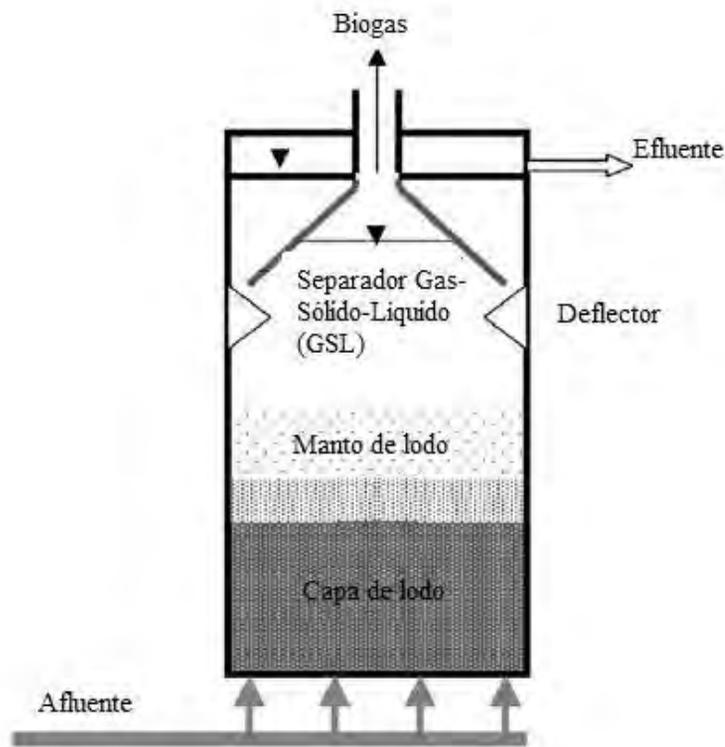


Figura 71: Esquema del reactor UASB.

Se realiza así el diseño de dos estructuras de tratamiento biológico anaerobio tipo UASB, estructuras de geometría circular de diámetro de 2,90 m y altura total de 6,30 m en material de políester reforzado en fibra de vidrio (PRFV). El reactor UASB funcionan de forma en que las aguas crudas entran al reactor mediante bombeo desde el tanque de igualación un caudal de diseño de 2,7 l/s donde se realiza la descomposición de la materia orgánica en el manto de lodos generado en el fondo del reactor, como se explica en los párrafos anteriores.

El volumen total del reactor UASB es de 41,61 m^3 para un tiempo de detención hidráulico (TDH) de 6 horas, cumpliendo así con lo determinado en la resolución 0330 de 2017 (Ministerio de Vivienda, 2017) para este tipo de tecnologías, para este tiempo de detención se tiene una remoción teórica calculada de DBO_5 del 71,4%, ingresando así al sistema de Filtro Anaerobio de Flujo

Ascendente (FAFA) con una concentración de **62,9 mg/l** en el efluente del reactor UASB. El diseño completo se puede apreciar en las memorias de cálculo de diseño de la PTAR, entregadas junto al informe de diseño, específicamente en el Anexo 4.

7.2.4. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)

El filtro anaerobio de flujo ascendente está compuesto por un medio de soporte fijo inerte al cual crecen adheridos los microorganismos utilizados en la reducción de materia orgánica. El agua residual que viene del UASB, ingresa a los FAFA por medio de tuberías perforadas en el fondo de los filtros (Figura 72), de manera que el flujo asciende verticalmente a través de la cámara atravesando el medio filtrante el cual se establece con una superficie de contacto de $90 \text{ m}^2/\text{m}^3$ y una profundidad total de capa de filtro de 2,8 m.

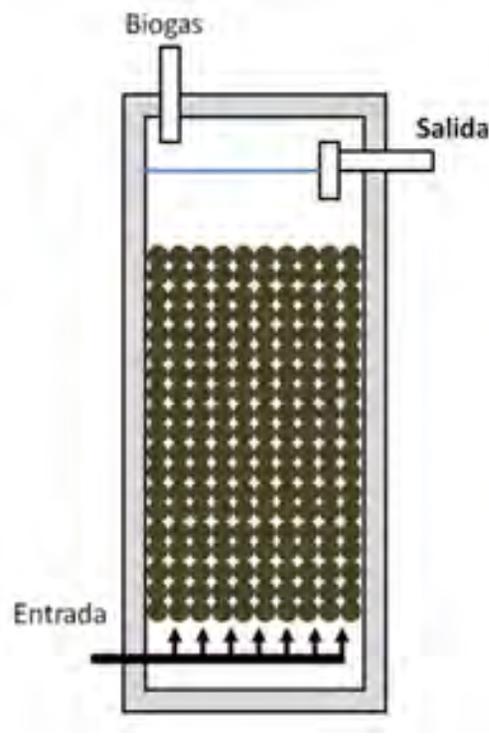


Figura 72: Esquema del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).

El reactor FAFA se diseña para una tasa de carga orgánica volumétrica asumida de $1,40 \text{ kg}/\text{DQO}/\text{m}^3 \cdot \text{día}$ con la cual se calcula un volumen total de FAFA de $12,10/\text{m}^3$. Como dimensionamiento se diseña con una altura total de 3,0 m (de los cuales 2,8 m son medio filtrante) y un diámetro de 2,3 m, lo que genera un tiempo de detención hidráulico (TDH) de 2,5 horas. El reactor FAFA se

propone como pulimiento adicional para la degradación de la materia orgánica en el tren de tratamiento de la PTAR, se fracciona en dos módulos construidos en PRFV y material filtrante plástico que aumente el área de contacto.

7.2.5. Sedimentador secundario de alta tasa

Se diseña para la remoción de los sólidos que por arrastre se escapan de los reactores biológicos y para mejorar la calidad del clarificado del efluente de los reactores, en ellos el proceso físico que se lleva a cabo es la decantación y/o floculación de las partículas biológicas, el diseño de un Sedimentador secundario se complementa con paneles de Tasa Alta, que mejoran los rendimientos de remoción en áreas menores (Figura 73).

Los sedimentadores, dos unidades en PRFV se diseñan para una caudal proveniente de los Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA) de 2,7 l/s, en ellos se realiza entonces la decantación de los sólidos suspendidos en el agua.

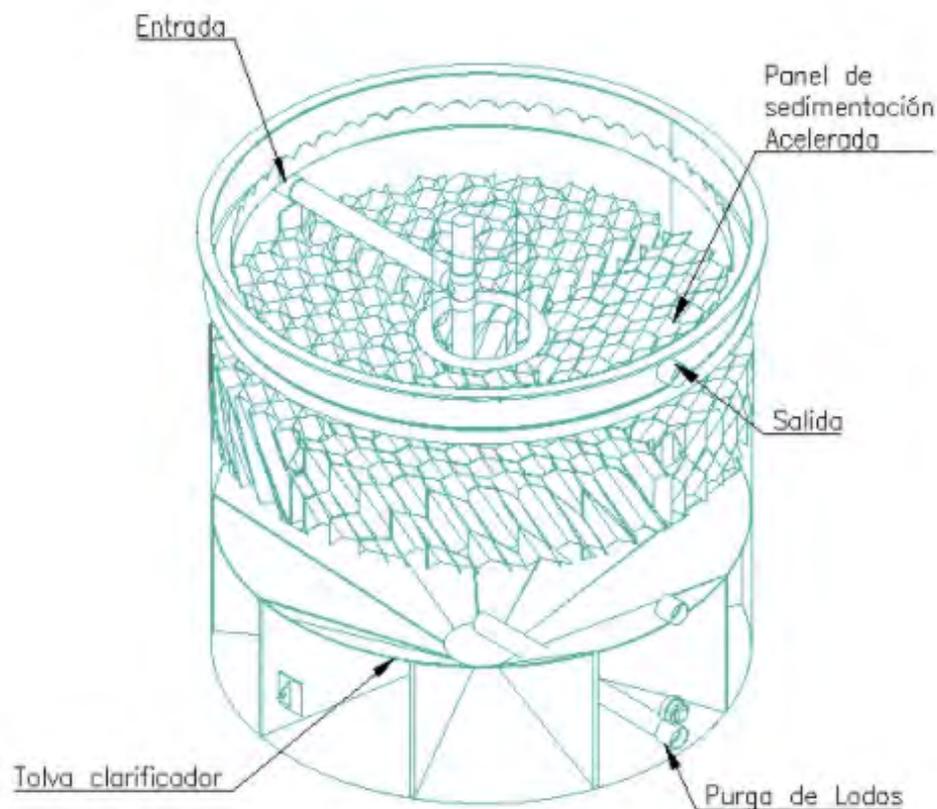


Figura 73: Modelo del Sedimentador Secundario con paneles de tasa alta.

Los tanques de Sedimentación secundaria dimensionados para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales tienen un diámetro de 3,0 m y una altura total de 2,5 m cada uno. La altura útil es de 2,0 m, la altura de los paneles de tasa alta es de 0,6 m y una profundidad de tolva de recolección de lodos de 0,6 m.

Cada sedimentador se cuenta con un vertedero de rebose del agua clarificada y de una canaleta que conduce las aguas clarificadas hasta una tubería de conducción al Canal de salida y aforo, esta canaleta se dimensiona de 0,2 m de ancho y 0,15 m.

El efluente del sedimentador secundario posee las características requeridas para el cumplimiento de la Resolución 0631 de 2015 de vertimiento, en dicha unidad se produce un volumen de lodos debido a la decantación de los sólidos. Se producen en total 0,10 m^3 de lodos al día, los cuales serán purgados diariamente a los lechos de secado para realizar el tratamiento de lodos generados dentro de la planta.

7.2.6. Canal de salida y aforo

El canal de salida es propuesto para realizar el control de caudal de salida al efluente y para la medición y aforo sobre las aguas tratadas que serán vertidas. El canal se plantea para el caudal de diseño de la planta (2,7 l/s). El canal se propone rectangular, diseñado en concreto de dimensiones de 0,50 m de ancho y 0,50 m de alto.

En el canal de salida se ubica una estructura tipo Canaleta Parshall para realizar medición de caudal de salida de la planta y toma de muestras de agua para la evaluación de calidad de vertimiento. La canaleta Parshall se selecciona con un ancho de garganta de 1 pulgada, lo que permite la medición del caudal de funcionamiento normal de la PTAR (2,7 l/s). Las dimensiones de diseño y la tabla de altura de lámina en el punto de medición se encuentran en las memorias de cálculo de diseño de la PTAR anexas al informe de diseño.

En el sitio de salida de la planta espera una concentración de los parámetros fisicoquímicos del agua tratada que va a vertimiento mostrados en la Tabla 29 dando cumplimiento a las concentraciones requeridas para descarga en cuerpo de agua según la Resolución 0631 de 2015.

Tabla 29: Concentración de parámetros en el agua de salida de la planta.

Parámetro	Unidad	Límite máximo	Entrada	Salida
pH	unidades de pH	6 - 9	7,8	7 - 8
DQO	mg O_2/L	180	400	145,28
DBO_5	mg O_2/L	90	220	43,52
SST	mg/L	90	220	7,00
SSED	ml/L	5	10	0,50
Grasas y Aceites	mg/L	20	100	5,00

7.2.7. Estructura de descarga

A través de un alcantarillado se conducen las aguas tratadas desde el canal de salida hasta el punto de vertimiento. Se presenta adjunto al informe la memoria de cálculo de dicho alcantarillado de descarga con las especificaciones de diseño.

7.3. Tren de tratamiento de lodos

Un aspecto importante dentro de las plantas de tratamiento de aguas residuales es el relacionado con el tratamiento y disposición de lodos generados. para esto se diseña un tratamiento de los lodos producidos por el reactor biológico, el tratamiento primario y secundario de las aguas residuales de la PTAR, de acuerdo a la producción de lodos y la frecuencia esperada, el proceso corresponde a deshidratación de lodos.

7.3.1. Deshidratación de lodos

La deshidratación de los lodos provenientes de los sistemas de tratamiento se realiza mediante lechos de secado, donde se busca reducir el contenido de agua en el lodo a menos de un 10 %. El volumen de lodos a deshidratar diariamente es de $0,10/m^3/día$, dicho volumen se dispondrá en una celda de secado con un espesor de capa de lodo de 0,3 m. Con estos requerimientos se dimensiona la celda de secado requerida siendo esta rectangular de ancho 2,0 m y largo 2,0 m, un esquema de estos se presenta en la Figura 74.

La entrada a los lechos se realiza mediante tubería que permite el paso de estos sin generación de obstrucción. El lecho filtrante está constituido por una capa superior de 0,1 m de material de cobertura o ladrillo, luego una capa de arena gruesa de 0,3 m, después se realiza una capa de grava de 3/4" a 1/2" de

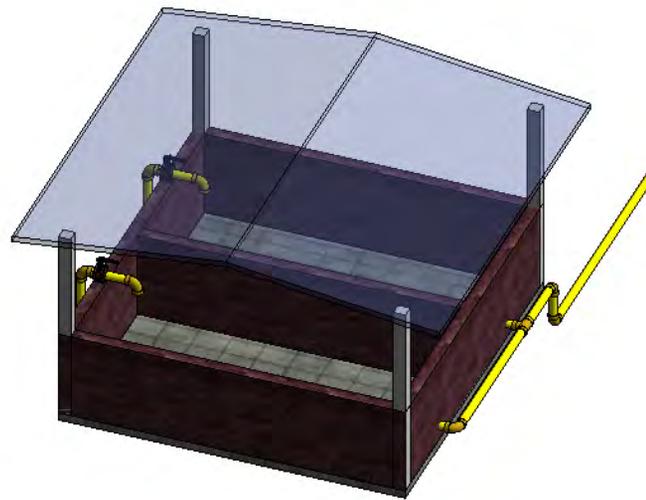


Figura 74: Esquema de los lechos de secado.

0,1 m de espesor y luego una capa de grava más gruesa de 1" a 3/4" de 0,1 m de espesor (Romero Rojas, 2004). Debajo de la estratificación planteada anteriormente se instalará la tubería de PVC perforada con orificios para evacuar las aguas filtradas por la red general de drenaje de la PTAR hacia la fuente receptora.

Los espesores de cada capa requerida en el diseño del lecho de secado se pueden evidenciar de mejor manera en la Figura 75.

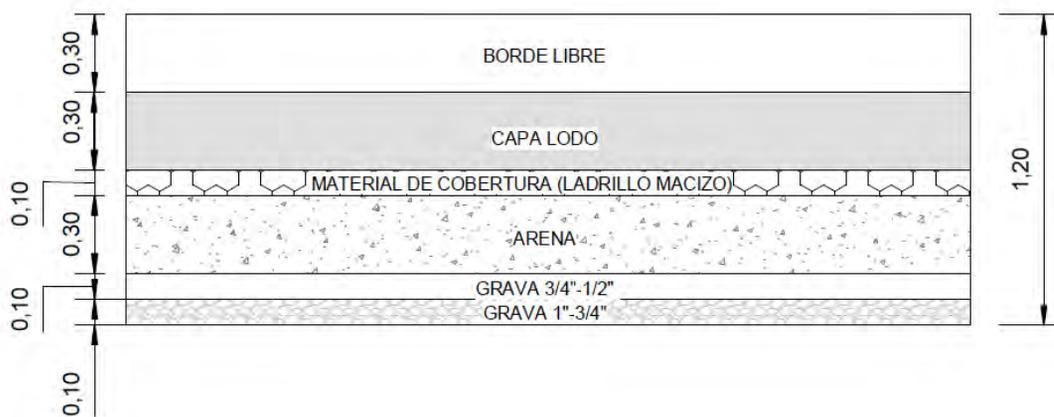


Figura 75: Estratificación de la estructura del lecho de secado (medidas en metros).

El proceso de secado se realiza durante 7 días, donde se va disponiendo el lodo producido al día en un lecho de secado y a los 7 días se remueve deshidratado

para su disposición final. Se propone el uso de 3 celdas de lechos de secado en la PTAR para una operación más controlada de deshidratación de los lodos, construidos en concreto reforzado, provistos de protección de la lluvia y con techo translúcido para aprovechar la radiación solar en el secado.

7.3.2. Disposición de biosólidos

La disposición final de los lodos secos o biosólidos se realiza mediante recolección semanal de estos por medio de los carros de transporte, su disposición queda a elección. Se recomienda el reúso de los biosólidos como compostaje para zonas verdes. Al día se producen 11,0 kg de biosólidos producto de la deshidratación de los lodos en los lechos de secado.

7.4. Componentes generales

Se presentan los componentes generales del diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Dichos componentes especifican las obras necesarias para el funcionamiento y adecuación normal de cualquier planta de tratamiento. La ubicación de dichos componentes en el lote propuesto se encuentra en el plano Layout entregado junto al informe de diseño. La ubicación de cada estructura se plantea para seguir un tren de tratamiento lógico dentro del área disponible y tener un control preciso de los procesos dentro de la PTAR (Figura 76).

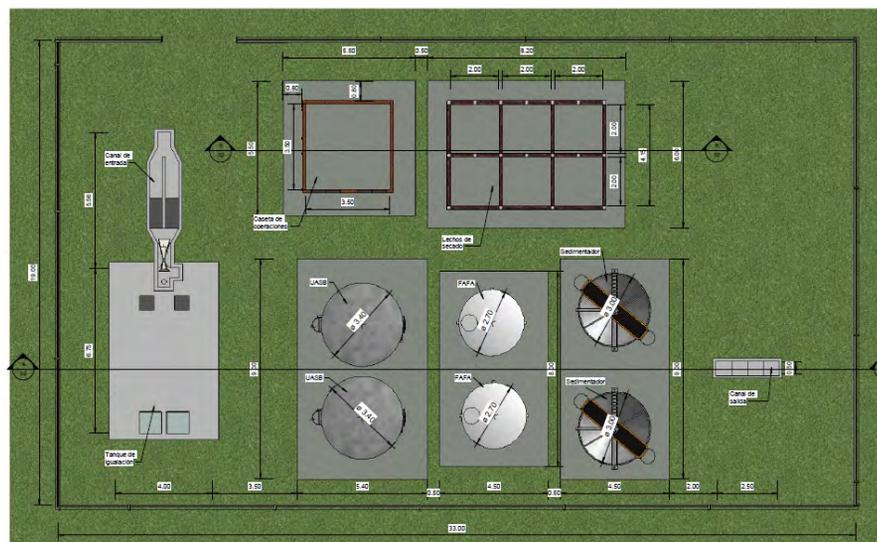


Figura 76: Vista en planta de la distribución propuesta en la PTAR.

El proyecto de la PTAR presenta una distribución y diseño compacto que busca ocupar el menor espacio posible dentro del lote dispuesto, dejando andenes y espacios de tránsito donde se pueden movilizar peatones. La PTAR cuenta con componentes generales tales como acceso a la planta, andenes para circulación y una caseta de operación.

7.4.1. Caseta de operación

Construcción civil donde se realiza la operación general de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. En el edificio de operaciones se controlan los equipos electromecánicos y se realizan tomas de muestra del agua servida y tratada, así como la verificación del correcto funcionamiento de cada una de las partes del tren de tratamiento. Esta debe contar con las áreas adecuadas para realizar un seguimiento y operación de todas las variables de funcionamiento, las cuales corresponden a:

- Cuarto de herramientas
- Área de tablero de control eléctrico
- Laboratorio
- Servicios sanitarios
- Oficina de control

La caseta debe contar con unas dimensiones mínimas de 3,80 m x 3,50 m y una altura de 2,40 m, adicionalmente debe contar con buena iluminación y ventilación, así como con el servicio de energía eléctrica y abasto de agua tratada.

7.4.2. Vías y andenes dentro de la planta

Dentro de la PTAR no se plantean vías pavimentadas ya que no se hace necesario el ingreso de vehículos pesados, sin embargo se recomienda el diseño de andenes para tránsito de personal de operación y mantenimiento de los procesos requeridos dentro de la planta, así como la remoción de biosólidos producidos en la deshidratación de lodos en lechos de secado.

7.4.3. Alternativas de ubicación PTAR

Contemplando la tecnología de implementación de tratamiento biológico de la PTAR propuesta se hacen necesarios ciertos requerimientos a cumplir con base en la normatividad actual (Ministerio de Vivienda, 2017) de distancias mínimas de ubicación de dicha planta de tratamiento; además, se contempla la densidad y el desarrollo del espacio territorial que puede contemplar en la etapa de diseños arquitectónicos un cambio de lugar y para tal caso se evalúan y proponen zonas recomendadas para la ubicación de la PTAR siguiendo los lineamientos en base a la resolución 0330 de 2017, donde se tiene una cota apta para el flujo a gravedad del sistema de alcantarillado, respetando el retiro de 200 m a centros poblados y contemplando los resultados de amenaza por inundación, avenidas torrenciales o movimientos en masa en el predio, se presenta en la Figura 77 con las posibles zonas de reubicación en caso que así se requiera.

Con base en esta recomendación se debe tener en cuenta los siguientes requerimientos al momento de implementar la ubicación de la PTAR:

- Usos del suelo permitidos o restringidos por el plan de ordenamiento territorial o por el esquema de ordenamiento territorial.
- Verificación de velocidad y dirección del viento.
- Requerimientos de área para la demanda actual y futura.
- No se permite la localización de una PTAR cerca de hábitats especiales como humedales naturales, o ecosistemas ambientalmente críticos, sensibles, de importancia ambiental o de importancia social, a la luz de lo definido en el Decreto 1753 de 1994, o el que lo modifique o reemplace.
- No se deben localizar en el área de influencia del cono de aproximación de las aeronaves a los aeropuertos, por riesgo de interferencia con aves.
- En los casos en que se considere necesario, se debe evaluar la presencia de recursos culturales, históricos o arqueológicos del sitio.
- Identificación del punto de descarga a la fuente receptora.
- Escogencia de la zona de la PTAR que implique un balance favorable entre excavaciones y rellenos.
- Distancia mínima de localización de la PTAR de 200 m a centros poblados para la tecnología escogida.

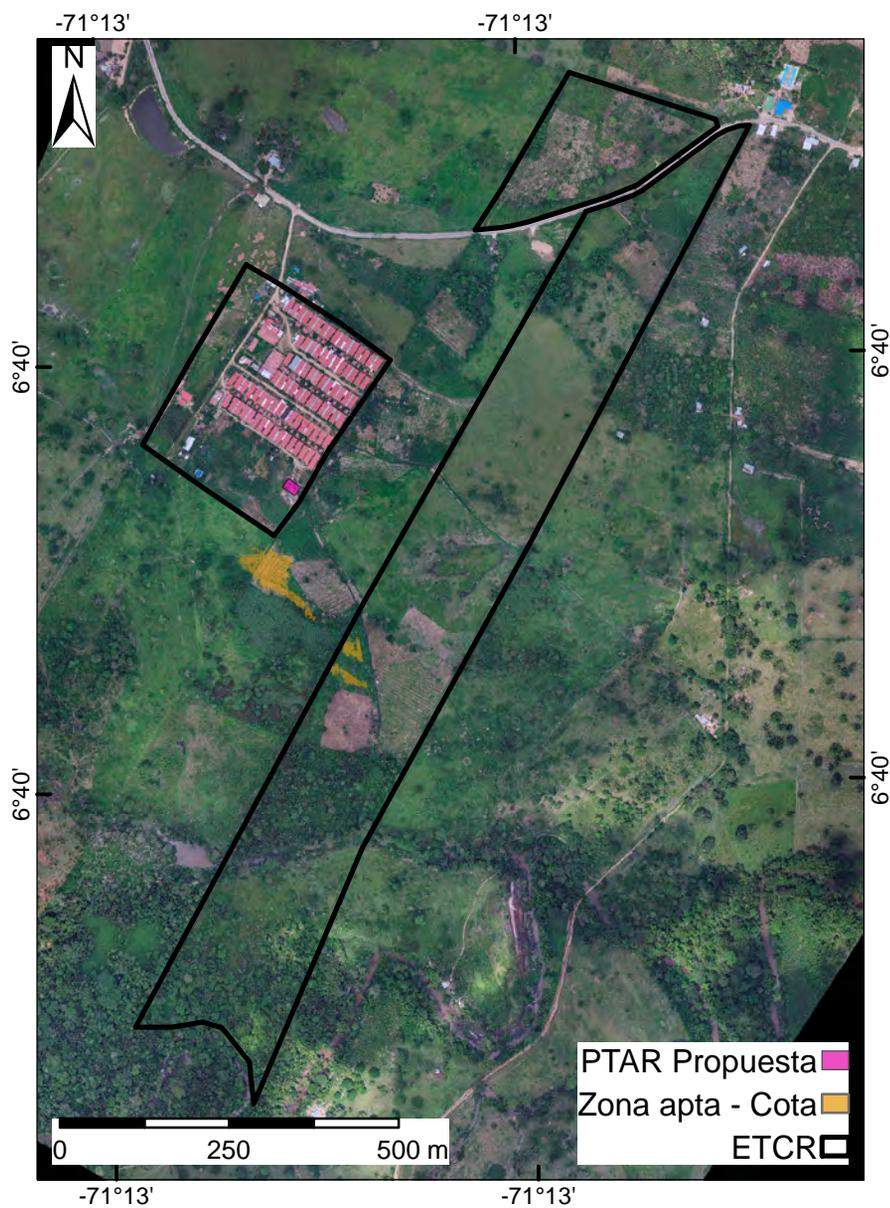


Figura 77: Alternativas de ubicación adicional para PTAR

- Se deben realizar las perforaciones requeridas para la elaboración del estudio de suelos para la implantación de las obras estructurales requeridas en el diseño de la PTAR.

Referencias

- Ministerio de Vivienda, C. y. T. (2017). *Resolucion 0330 de 2017, 08 de junio, por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (ras) y se derogan las resoluciones números 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009.* Autor.
- Ministerio de Vivienda, C. y. T. (2018). *Resolucion 0844 de 2018, 08 de noviembre, por la cual se establecen los requisitos técnicos para los proyectos de agua y saneamiento básico de zonas rurales que se adelantan bajo los esquemas diferenciales definidos en el capítulo 1, del título 7, de la parte 3, del libro 2 del decreto 1077 de 2015.* Autor.
- Romero Rojas, J. A. (2004). *Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño.* Bogotá, CO, *Escuela Colombiana de Ingenieros.*

Parte III

Viabilidad por Amenaza *Estudios Básicos de Amenaza*

Capítulo 8

Amenaza por Movimientos en masa

Introducción

Los movimientos en masa corresponden a todo movimiento de una masa de roca, detritos o tierra por efectos de la gravedad (Cruden, 1991). Existe una gran variedad de fenómenos de remoción en masa gravitatorios clasificados en términos del material (suelo, detritos y roca) y tipo de movimiento (caída, volcamiento, propagación lateral, deslizamiento y flujo) descritos por Cruden y Varnes (1996).

En términos de amenaza, la definición adoptada por la Organización para la Ayuda en caso de Desastres de las Naciones Unidas (UNDRO, por sus siglas en inglés) para cualquier tipo de amenaza de origen natural, y que puede ser aplicada para el caso de los movimientos en masa, es la dada por Varnes & IAEG (1984) como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino dentro de un periodo de tiempo específico y dentro de un área dada.

La probabilidad espacial (P_s) se obtiene de la evaluación de la susceptibilidad y la probabilidad temporal (P_t) se obtiene a partir del análisis del factor detonante, lluvia o sismo para el presente estudio. Las metodologías disponibles en el estado del arte difieren su aproximación de acuerdo con el factor detonante, razón por la cual se abordan dos procedimientos diferentes en el presente estudio.

Finalmente es importante resaltar que para la definición del procedimiento metodológico se debe establecer inicialmente el área de estudio, los estudios previos y el inventario de movimientos en masa y proceso morfodinámicos.

8.1. Marco normativo de gestión del riesgo

La incorporación de la prevención y la reducción de riesgos en la planificación del desarrollo territorial se vienen abordando desde la entrada en vigencia de la Ley 9 de 1989, donde se dispuso por primera vez, la obligatoriedad de incluir en los planes de desarrollo, acciones concretas para la intervención del territorio. Según esta ley, los municipios deben levantar y actualizar los inventarios de zonas que presenten alto riesgo para la localización de asentamientos humanos. De igual manera, por medio de la Ley 46 de 1989 y el Decreto 919 de 1989, que organizó el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, se dispuso que las entidades territoriales deben incorporar el componente de prevención de desastres en los procesos de planificación territorial, sectorial y de desarrollo.

Posteriormente, la Constitución Política de Colombia, en el Artículo 311 y la Ley 152 de 1994 en su artículo 41, ordenan que los municipios deben contar con un Plan de Ordenamiento Territorial (POT). Sin embargo, es con la Ley 388 de 1997 que se definen las bases legales para la aplicación del ordenamiento territorial, que busca una disposición ordenada de los habitantes, las actividades y la infraestructura en el territorio.

Entre las disposiciones de la Ley 388 de 1997 se establece que los POT deben definir las políticas, directrices y regulaciones sobre prevención de amenazas y riesgos naturales, el señalamiento y localización de las áreas de riesgo para asentamientos humanos, así como las estrategias de manejo de zonas expuestas a amenazas y riesgos naturales; tema que es retomado en el Decreto 19 de 2012, en su Artículo 189, donde se indica que la revisión de mediano y largo plazo de los POT o la expedición de un nuevo plan, podrá tener lugar hasta que se garantice la delimitación y zonificación de las áreas de amenaza y se delimiten las áreas con condición de riesgo, además de definir las medidas para su mitigación .

La Ley 1523 de 2012, que sustituye el Decreto Ley 919 de 1989 y reestructura el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, establece que los POT deben integrar el análisis de riesgo en el diagnóstico biofísico, económico y socioambiental, considerando el riesgo de desastres como un condicionante para el uso y la ocupación del territorio, procurando evitar la configuración de nuevas condiciones de riesgo.

Como herramientas adicionales la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), soportada en el Artículo 32 de la Ley 1523 de 2012,

establece el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD), la Estrategia Municipal para la Respuesta a Emergencias (EMRE) y el Sistema de Comando de Incidentes (SCI), como instrumentos que deben estar articulados a los POT, los cuales han de ser validados y actualizados periódicamente para abarcar armoniosamente las transformaciones que sucedan en el territorio.

El Decreto 019 de 2012 determina que el Gobierno Nacional deberá reglamentar las condiciones y escalas de detalle para la delimitación y zonificación de las áreas de amenaza y con condición de riesgo. Reglamentación que se realiza a través del Decreto 1807 de 2014 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los POT, y se compila en el Decreto 1077 de 2015. En dichos decretos se establece que los Estudios Básicos de Amenaza se deben realizar para la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de POT o la expedición de un nuevo plan. La norma establece que el alcalde municipal no puede someter a consideración de las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) los proyectos de revisión de los POT sin el cumplimiento de este requisito.

Como contenido los Estudios Básicos de Amenaza deben presentar:

- La delimitación y zonificación de las áreas de amenaza
- La delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza (ACA)
- La delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo (ACR)
- La determinación de las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas.

Las áreas con condición de amenaza son aquellas áreas zonificadas como de amenaza alta y media en los Estudios Básicos, que están sin ocupar en el suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales en las que en la revisión o en la expedición de un nuevo POT se proponga su desarrollo. Este desarrollo está sujeto a los resultados de los estudios de detalle, que hacen parte de la ejecución de los planes de ordenamiento.

Las áreas con condición de riesgo son aquellas áreas zonificadas como amenaza alta en los Estudios Básicos donde se encuentran elementos expuestos (áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas, líneas vitales y edificaciones indispensables); y las zonas definidas como amenaza media, para las cuales se propone en la revisión o expedición del nuevo POT un cambio de densidad o un cambio en los usos del suelo, que pueda generar o incrementar el riesgo en la zona.

Como elemento fundamental de la inclusión de los Estudios Básicos de Amenaza en la formulación del POT se destaca la priorización de las ACA y ACR que requieren Estudios Detallados. Esta priorización de Estudios Detallados en las ACA y ACR deben ser incluida en el programa de ejecución del POT con la programación de actividades, las entidades responsables, y los recursos respectivos de los estudios que se ejecutarán en el periodo del alcalde que adelanta la revisión del POT o la expedición de uno nuevo.

8.2. Definición del área de influencia para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa

Para la elaboración de los estudios básicos de amenaza por movimientos en masa inicialmente se procedió a definir un área de influencia mayor de comportamiento geomecánico independiente y que enmarcara el predio del antiguo espacio territorial Filipinas. Sobre esta área su estabilidad no depende del comportamiento de las zonas vecinas, y a su vez la morfodinámica interna del área establecida no afecta la estabilidad de las áreas vecinas. Este concepto, propuesto por Chica (1989), permite tener un acercamiento regional al área de interés, lo cual apunta en la misma dirección de los estudios básicos de amenaza.

Los límites de esta unidad básica de estudio es establecida inicialmente utilizando los cambios definitivos de pendiente, tales como cuchillas y drenajes. Está área es posteriormente ajustada considerando las unidades geológicas superficiales y estructuras. La Figura 78 presenta el área de influencia por movimientos en masa para el antiguo espacio territorial Filipinas.

8.3. Procesos morfodinámicos

El levantamiento del inventario de procesos morfodinámicos, brinda información sobre la ubicación espacial de los procesos y representa uno de los insumos en la caracterización de las condiciones geoambientales, como lo es el potencial aporte de sedimentos. Dadas las condiciones del terreno, caracterizado por tener pendientes $< 5^\circ$, la remoción de sedimentos se da a través de procesos de tipo erosivo y el transporte de sedimentos se da principalmente a través de la dinámica de ríos de planicie.

La elaboración de este inventario utiliza como insumos, el Modelo Digital de Elevación a partir de imágenes de radar con resolución espacial $12,5m \times 12,5$ de la plataforma *ALOS PALSAR* de libre acceso e imágenes satelitales de provee-

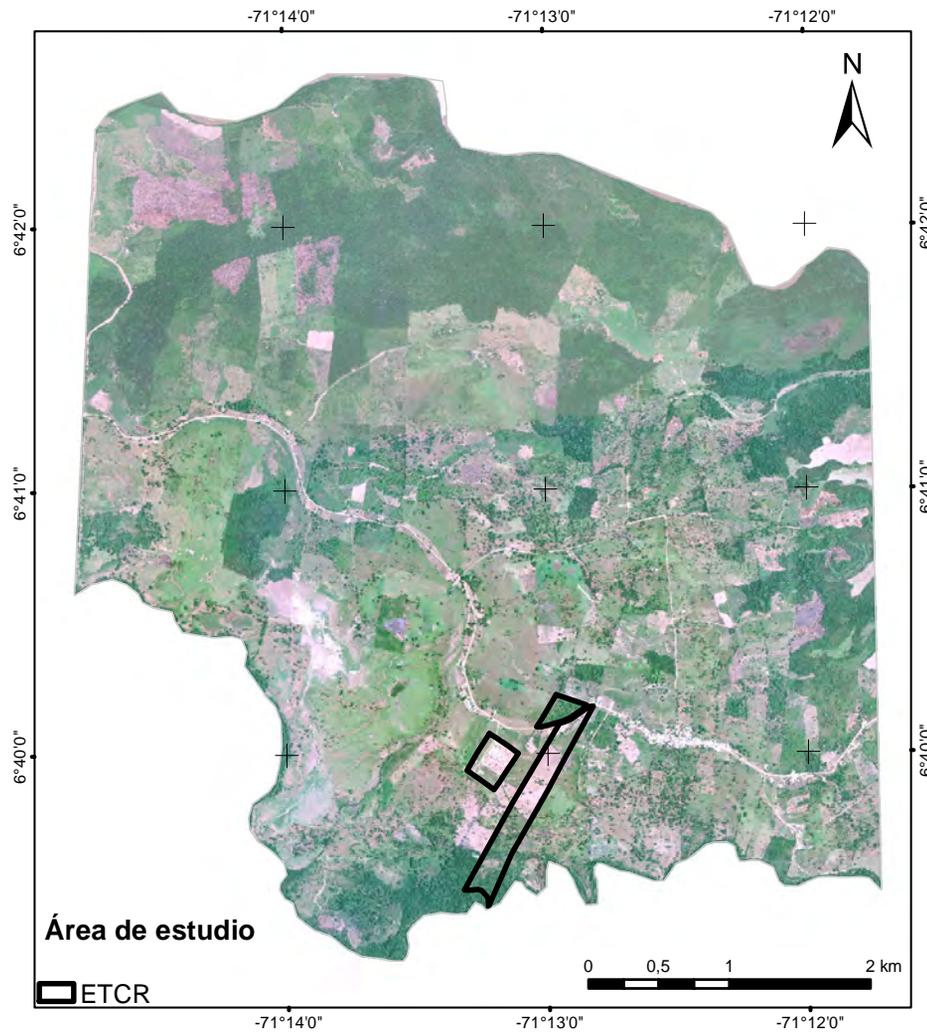


Figura 78: Localización del área de estudio del antiguo ETCR Filipinas

dores como *Google* (imágenes del año 2006 y 2013) y *ESRI* (imágenes desde el año 2016 hasta el año 2019), a través de las plataformas *Google Earth* y *World Imagery* respectivamente.

El proceso de fotoanálisis está enfocado en delimitar los procesos morfo-dinámicos presentes en el área de estudio. La identificación está orientada hacia los procesos erosivos y hacia los depósitos aluviales (Figura 79) considerados como sedimentos disponibles y que pueden complementar el mapa de unidades geológicas superficiales para la zona.

En la Figura 80 se presentan los elementos asociados a los procesos morfo-dinámicos que se capturan durante el proceso del fotoanálisis.

En el área de estudio del antiguo ETCR Filipinas aproximadamente 42,32 ha poseen procesos de tipo erosivo, las cuales representan el 1,6 % del área de

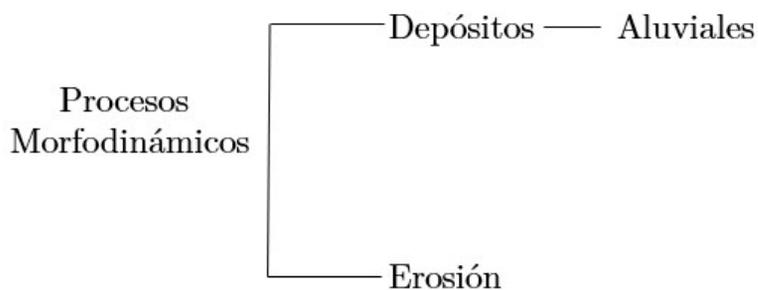


Figura 79: Inventario procesos morfodinámicos Filipinas - Cuenca C

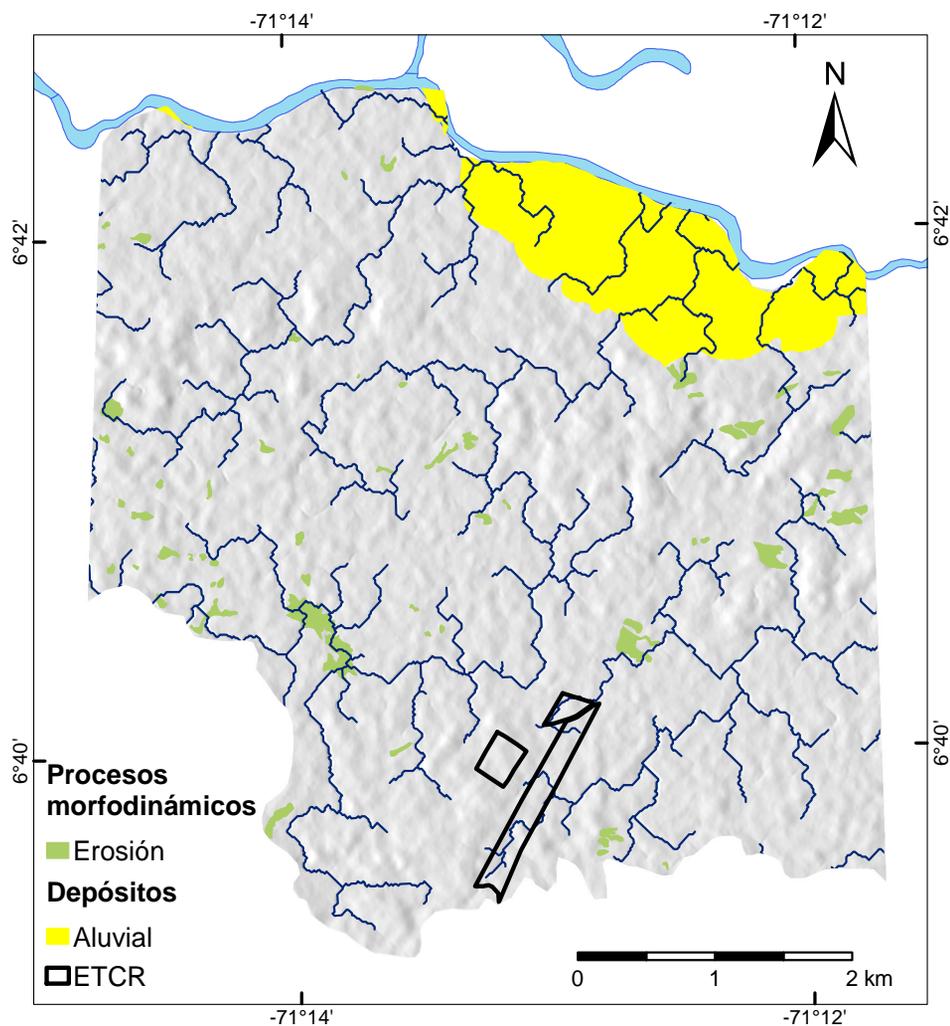


Figura 80: Inventario procesos morfodinámicos Filipinas - Cuenca C

la cuenca. Así mismo se delimita un gran depósito aluvial (214 ha), asociado a la dinámica del río Ele o Cusay, lo cual coincide con la unidad geomorfológica de plano o llanura de inundación (*Fpi*) (ver Sección 1.4.1)

8.4. Evaluación de la susceptibilidad por movimientos en masa

La susceptibilidad es el primer acercamiento a la evaluación de amenaza, dado que zonifica el terreno de acuerdo a la posibilidad de que una ladera falle. La susceptibilidad por movimientos en masa se define como la probabilidad de la ocurrencia en un área específica de acuerdo con las condiciones intrínsecas de terreno, donde factores detonantes (precipitación o sismo) no son considerados en su análisis (Brabb, 1985; Soeters y Van Westen, 1996).

De acuerdo con la información disponible y la búsqueda de bases de datos y fotoanálisis no se logró obtener un inventario de movimientos en masa lo suficientemente robusto que permita implementar en el área de estudio un método estadístico bivariado, como Peso de la Evidencia recomendado por la Guía del SGC, o multivariado como regresión logística, ampliamente utilizado en el mundo. Por lo tanto, y cumpliendo con lo estipulado en el Decreto 1977 de 2015 para suelos rurales a escala 1:25.000 se optó por utilizar un método heurístico, los cuales a estas escalas regionales presentan un buen desempeño. El resultado será clasificado en cinco categorías correspondientes a muy baja, baja, media, alta y muy alta ampliamente utilizada en el mundo y especialmente por el Servicio Geológico Colombiano en metodologías Heurísticas.

De esta forma, se propone combinar dos métodos heurísticos, Análisis Jerárquico de Procesos (*AHP*) (Saaty, 1980) para asignar peso a las variables, y asignación directa por criterio de experto para asignar peso a las clases que conforman las variables.

8.4.1. Unidad de análisis y área mínima cartografiable

La unidad de análisis se define como una porción de terreno que contiene un conjunto de condiciones que difieren de la unidad adyacente a lo largo de límites diferenciados (Hansen, 1984). Las más utilizadas por su facilidad bajo SIG son las mallas de celdas regulares tipo raster (Carrara, 1983) sin embargo, existen la Unidad de Terreno (Hansen, Franks, Kirk, Brimicombe, y Tung, 1995), Unidad de Laderas (Carrara y cols., 1991), y Unidad de Condiciones Únicas (UCU) (Bonham-Carter, 1944)

Para el estudio de la susceptibilidad en suelo rural se define como unidad de análisis las mallas de celdas regulares tipo raster con resolución espacial de 12,5 m x 12,5 m, ya que permiten su uso bajo SIG en extensas áreas de territorio, incluyendo la variabilidad espacial de las variables temáticas a utilizar.

El área mínima cartografiable es fundamental ya que determina el nivel de detalle de los resultados finales. Para su determinación se consideró la escala exigida por el Decreto 1077 de 2015 para suelos rurales, 1:25,000, la cual es acorde a la resolución espacial (12,5 m x 12,5 m) de los modelos digitales utilizados de ALOS PALSAR. El SGC 2017a para suelos rurales recomienda 4 mm x 4 mm, lo cual para este caso equivaldría a un área de 64 píxeles, es decir $10,000 m^2$. Considerando que la mayoría de las variables se derivaron del MDE e imágenes satelitales se procedió a utilizar áreas de 2 mm x 2 mm, que equivalen a 16 píxeles y a $2,500 m^2$ a la escala de trabajo; a excepción de mapa geológico, el cual fue construido a partir de la plancha del SGC 1:100,000 y detallado en trabajo de campo intensivo con énfasis en formaciones superficiales, tales como suelos derivados y depósitos cuaternarios. Sin embargo no es posible alcanzar en los tiempos estimados un nivel tal de detalle para el mapa geológico.

Se resalta que la Unidad mínima cartografiable fue establecida solo al final del procedimiento sobre los mapas de susceptibilidad, de tal forma que no se sumaran los ajustes realizados a cada variable.

8.4.2. Variables predictoras

Para la exploración de variables predictoras de la ocurrencia de movimientos en masa se utilizaron diferentes trabajos que compilan el estado del arte (Reichenbach, Rossi, Malamud, Mihir, y Guzzetti, 2018; SGC, 2017a; van Westen, Castellanos, y Kuriakose, 2008). A continuación se enumeran las diferentes variables continuas y categóricas consideradas en el análisis:

8.4.2.1. Inclínación de la ladera (IL)

relacionada con el tipo de material que conforma la unidad morfológica y con la susceptibilidad de dicha unidad a la ocurrencia de movimientos en masa (SGC, 2013).

8.4.2.2. Pendiente (S)

es el ángulo existente entre la superficie del terreno y un plano horizontal. Se relaciona con los movimientos en masa donde a mayor grado de pendiente aumenta la susceptibilidad a los movimientos en masa, pero para valores muy altos la susceptibilidad se reduce (SGC, 2013).

8.4.2.3. Relieve relativo (RR)

se define como la diferencia entre la mayor elevación y la menor elevación por unidad de área y se expresa como la máxima diferencia de altura del terreno por metros (SGC, 2013).

8.4.2.4. Rugosidad (Rug)

representa la desviación del vector normal a la superficie en cada celda, expresando así la complejidad y ondulación del terreno (Dai, Lee, Li, y Xu, 2001; Olaya, Hengl, y Reuter, 2009). En términos de amenaza se relaciona con los movimientos en masa de manera que las laderas de rugosidad alta son más propensas a presentar deslizamientos, debido a que los cambios sucesivos de pendiente favorecen una mayor infiltración del agua en el terreno y su inestabilidad (Londono, 2006).

8.4.2.5. Índice de humedad topográfica (TWI)

describe la tendencia de un sitio a saturarse dada su área contribuyente y las características de la pendiente local Gruber y Peckham (2009). Se obtuvo con el software Whitebox GAT y la herramienta *Wetness Index*, cumpliendo la ecuación:

$$Wi = Ln \frac{As}{\tan(slope)} \quad (8.1)$$

Donde *As* es el mapa raster de acumulación de flujo y *Slope* es el raster de pendiente en grados, generado a partir del modelo de elevación corregido.

8.4.2.6. Índice de posición topográfica (TPI)

evalúa cada celda con respecto a la posición relativa del cauce, dando la diferencia entre un valor de elevación de celda y la elevación promedio del vecindario alrededor de esa celda (Moore, Grayson, y Ladson, 1991).

8.4.2.7. Elevación relativa al cauce (EAS)

calcula la elevación de cada celda de la cuadrícula en un ráster por encima de la celda de flujo más cercana, medida a lo largo de la trayectoria de flujo descendente.

8.4.2.8. Distancia al drenaje siguiendo la pendiente (DDS)

Indica la longitud de cada pixel con respecto al cauce siguiendo la topografía. Se calcula con el software Whitebox GAT 3.4 y la herramienta *Downslope Distance to Stream*.

8.4.2.9. Geología Superficial (Gs)

Esta variable hace referencia a las unidades geológicas superficiales, las cuales controlan los parámetros de resistencia de los materiales.

8.4.2.10. Evolución de las coberturas(Ec):

Esta variable hace referencia al cambio que han sufrido las coberturas en la cuenca a través de los años. En general se considera que áreas con coberturas boscosas presentan menor susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa. Diversos trabajos recomiendan utilizar mas que el tipo de cobertura el cambio de la cobertura.

8.4.2.11. Cinemático (Cin)

El mapa cinemático corresponde a la relación del aspecto y ángulo de inclinación de la ladera con las estructuras dominantes de la roca o conservadas en los perfiles de suelo.

8.4.2.12. Curvatura total (Cu)

La curvatura determina el grado de convexidad o concavidad de la superficie en la dirección de la pendiente (vertical) o transversal (horizontal). En el presente estudio se combinaron ambas concavidades y se obtuvo un mapa de curvatura total definiendo geoformas de acuerdo con su curvatura vertical y horizontal.

8.4.3. Selección de variables y estimación de pesos por AHP

Para la selección del grupo de variables mejor predictoras para las condiciones locales se realizó la correlación entre las variables. La cual es una correlación binaria que permite evaluar la relación entre dos variables continuas asignando un valor entre -1 y 1, donde cero indica la no correlación de una variable con la otra, y -1 o 1, total correlación. La Figura 81 muestra los resultados para el área donde se resaltan las variables EAS, DDS, IL, S, y TPI, quienes muestras

relaciones con valores superiores a 0,45, con tonalidades de rojizas a vinotintas, que evidencian una alta correlación y por ello se deba tomar solo una del par comparado.

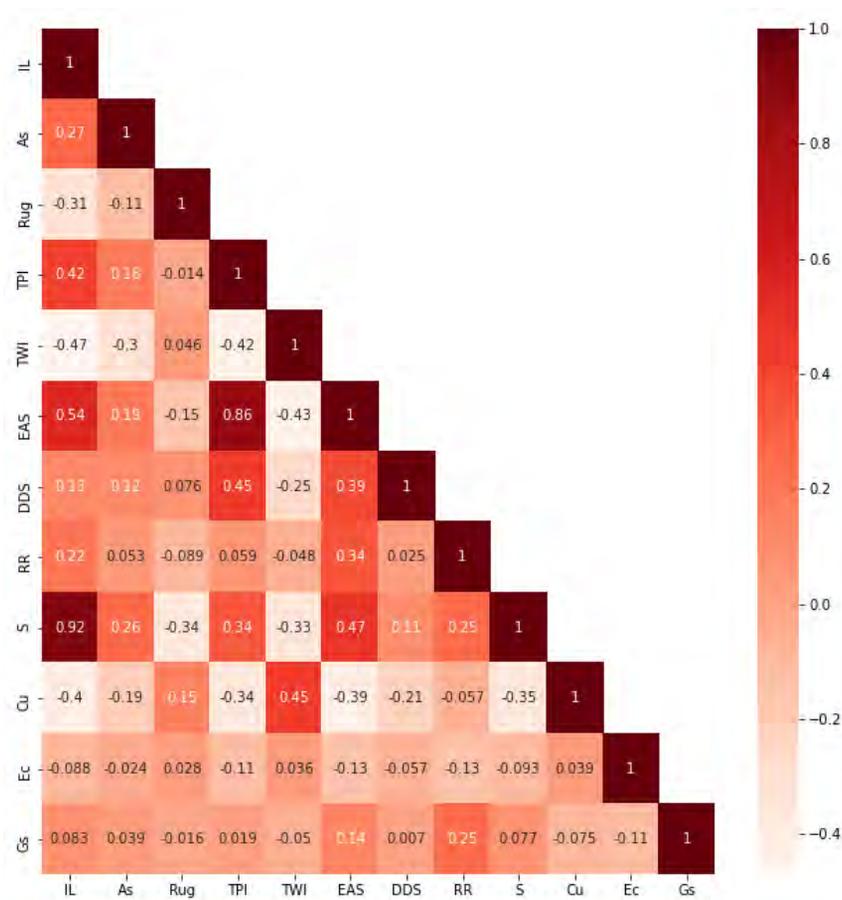


Figura 81: Matriz de correlación

De acuerdo con la correlación, las variables con mayor capacidad de discriminar entre la ocurrencia y no ocurrencia de movimientos en masa son:

- Geología superficial (Gs)
- Evolución de las cobertura (Ec)
- Curvatura (Cu)
- Pendiente (S)
- Índice de Humedad topografico (TWI)
- Elevacion relativa al drenaje mas cercano (EAS)
- Relieve Relativo (RR)

Con estas variables seleccionadas se implementó el método AHP, donde se utiliza una matriz de comparación entre las variables condicionantes utilizando la escala de evaluación e importancia propuesta por (Saaty, 1980) con valores de 1 a 9 como se observa en la Tabla 30. Para diligenciar la matriz de comparación de Saaty se conformó una mesa técnica con todos los ingenieros geólogos e ingenieros civiles del equipo. Los valores obtenidos de cada ingeniero fueron sumados y obtenido una media ponderada de acuerdo con la experiencia de cada profesional. De acuerdo con la metodología de AHP a partir la matriz de comparación se estima el vector de peso prioritario normalizado, que corresponde al vector asociado al mayor valor propio de la matriz de comparación.

Tabla 30: Escala de importancia relativa. modificada de (Saaty, 1980)

Escala	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Las dos actividades contribuyen de forma igual a la ocurrencia
3	Moderada importancia	La experiencia y juicio del experto ligeramente favorecen una actividad sobre la otra
5	Fuerte importancia	La experiencia y juicio del experto favorecen fuertemente una actividad sobre la otra
7	Muy fuerte o demostrada importancia	La experiencia y juicio del experto favorecen muy fuertemente una actividad sobre la otra
9	Extremadamente importante	La evidencia favorece una actividad sobre la otra en el máximo posible orden de afirmación
2,4,6,8	Valores intermedios	Cuando es requerido un valor intermedio
Valores recíprocos	Valor recíproco	Utilizados cuando la variable con la que se compara es más importante en la escala de 1 a 9

Para asegurar la consistencia en los valores otorgados por el panel de expertos se utiliza el Índice de Consistencia IC , el cual se estima de la siguiente forma:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{8.2}$$

Donde λ_{max} es el máximo valor propio y n el orden de la matriz. El IC puede varía entre 0 y 1, valores cercanos a 0 significan una alta probabilidad que los pesos fueron generados aleatoriamente. Valores menores a 0,10 se consideran

aceptables (Saaty, 1980)(Ayalew y Yamagishi, 2004)

La Tabla 31 presenta la calificación ponderada realizada para cada variable. La Tabla 32 presenta los pesos finales de cada variable. El índice de consistencia (IC) obtenido es de 0,001, lo cual señala una evaluación coherente.

Tabla 31: Matriz de calificación AHP

	S	Cu	EAS	RR	TWI	Ec	Gs
S	1	5	5	3	3	1	1
Cu	1/5	1	5	5	1	1/3	1/3
EAS	1/5	1/5	1	1/3	1/7	1/5	1/3
RR	1/3	1/5	3	1	1/3	5	1/3
TWI	1/3	1	7	3	1	1/3	1/3
Ec	1	3	5	1/5	3	1	1
Gs	1	3	3	3	3	1	1

Tabla 32: Pesos de las variables

Mapa	Peso %
Pendiente (S)	22,7
Curvatura (Cu)	11,7
EAS	3,3
Relieve Relativo (RR)	13,4
Índice de humedad Topográfica (TWI)	11,3
Evolución cobertura (Ec)	18,0
Geología superficial (Gs)	19,6

8.4.4. Descripción de variables y estimación de pesos de las clases

A continuación se describen cada una de las variables, con su clasificación según el diagrama de frecuencia para la zona de estudio y se presentan los pesos asignados a cada clase.

8.4.4.1. Geología Superficial (Gs)

Las unidades geológicas superficiales que afloran en el área de influencia para la evaluación de amenaza en el antiguo ETCR Filipinas, corresponden a depósitos aluviales y orillales (Figura 82), asociados a la dinámica regional del río Ele en la zona.

Depósitos aluviales en llanuras inundables asociadas a material orgánico (Qaa)

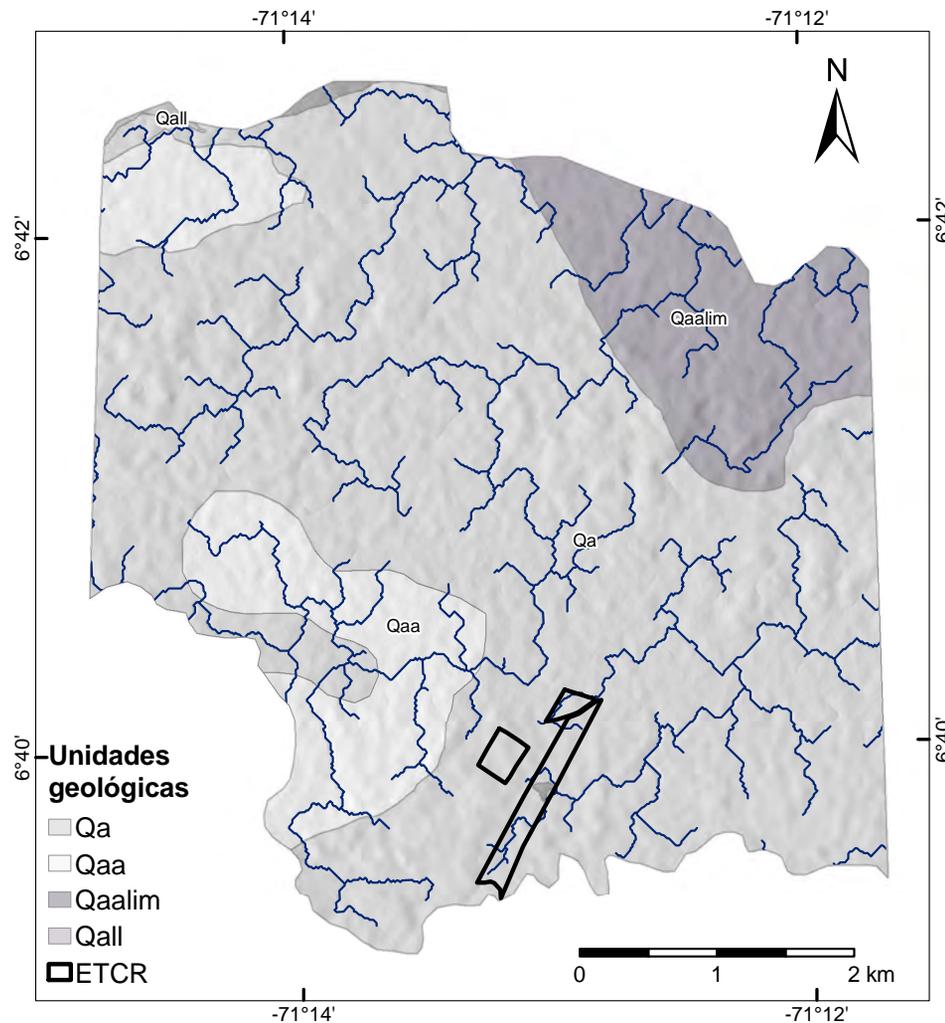


Figura 82: Mapa de unidades superficiales en el área de influencia para la evaluación de amenaza en el antiguo ETCR Filipinas

Según INGEOMINAS (2010) corresponden a sedimentos finos desde arcillas hasta arenas muy finas, depositadas en su mayoría en aguas estancadas. Se localizan hacia la zona occidental del área de estudio, cubiertos por pastizales usados para ganadería, poseen una textura areno-limosa de coloración parda medio y claro con vetas grises y de apariencia oxidada, conformada por una granulometría de 20 % arena media, 40 % arena fina y 40 % limo, con una consistencia media y plasticidad de media a baja, con humedad moderada a saturada (Figura 83).

Depósitos aluviales en llanuras inundables asociadas a material orgánico con mayor contenido de finos (Qaalim)

Esta unidad se define en la visita de campo, y corresponden a zonas similares a las características de Qaa pero con mayor contenido de material fino,



Figura 83: Depósito Qaa en el área de influencia para la evaluación de amenaza en el antiguo ETCR Filipinas. a) y b) Perfil de suelo en el polígono norte junto con el material extraído. c) y d) Perfil de suelo en el polígono sur junto con el material extraído

lo que arroja un depósito con textura limo-arenosa, con presencia de arcillas y asociados a la presencia de esteros, algunos antropizados con coberturas de pastos altos. La plasticidad es de media a alta y la consistencia de media a baja, húmeda (Figura 84). La dinámica del estero en la parte norte tiene la influencia directa del río Ele, mientras que el estero del sur tiene la influencia del caño La Arenosa.

Depósitos de orillales (Qa)

Es la unidad que predomina en el área de estudio y según INGEOMINAS (2010) corresponden a lodos arenosos con un 40 % de arena muy fina, de cuarzo bien seleccionada. La planicie exhibe un relieve ondulado con diferencias de altura de sólo unos pocos metros, con zonas bajas de sustratos arcillosos (inundadas en épocas invernales) y presencia de pastos altos y por otro lado, están las zonas altas (bancos o diques), que están conformadas por arenas o lodos. En el área de estudio esta unidad presenta coberturas tipo pastizales y cultivos de yuca, plátano y maíz, tiene una textura arenosa, su coloración es parda clara y está conformada por arena media (40 %) y arena fina (60 %), seca y con



Figura 84: Depósito Qaalim en el área de influencia para la evaluación de amenaza en el antiguo ETCR Filipinas. a) y b) Perfil de suelo en el polígono norte junto con el material extraído. c) y d) Perfil de suelo en el polígono sur junto con el material extraído

plasticidad y consistencia baja (ver Figura 85).

Depósitos aluviales en llanuras inundables (Qall)

En el área de estudio representan una pequeña área hacia el NW asociada al río Ele. Según INGEOMINAS (2010) corresponden a sedimentos actuales, esencialmente arenas y gravas, bien gradadas, redondeadas, de grano fino a muy grueso, de composición cuarzosa, depositados por las corrientes mayores. Sobre esta unidad se desarrollan pastos, su textura es areno-limosa compuesta por arena fina (60%), limo (30%) y arcilla (10%), posee una consistencia y plasticidad media, húmeda (Figura 86). El límite entre la llanura de inundación y la terraza se observa en la Figura 87.

Los pesos asignados a estas unidades geológicas superficiales se muestran en la Tabla 33.



Figura 85: Depósito Qa en el área de influencia para la evaluación de amenaza en el antiguo ETCR Filipinas. a) y b) Perfil de suelo junto con el material extraído.



Figura 86: Depósito Qall en el área de influencia para la evaluación de amenaza en el antiguo ETCR Filipinas. a) y b) Perfil de suelo junto con el material extraído.

8.4.5. Evolución de las coberturas(Ec)

El índice de vegetación normalizado (NDVI) propuesto por Rouse et al., 1974 , es una metodología para identificar los cambios en la vegetación mediante el uso de imágenes satelitales y la diferencia normalizada de las banda roja e infrarrojo cercano (Gilabert, González-Piqueras, y García-Haro, 1997). Este



Figura 87: Depósito Qall en el área de influencia para la evaluación de amenaza en el antiguo ETCR Filipinas, mostrando el límite entre la llanura de inundación del río Ele y su respectiva terraza

Tabla 33: Unidades geológicas presentes en el área de influencia para la evaluación de amenaza en el antiguo ETCR Filipinas con pesos asignados

Símbolo	Unidad	Área %	Peso
Qa	Depósitos orillales	0,06	0.8
Qaa	Depósitos aluviales en llanuras inundables asociadas con material orgánico	0,28	0.6
Qall	Depósitos aluviales en llanuras de inundación	25,3	0
Qaalim	Depositos aluviales en llanuras inundables asociados a material orgánico con mayor contenido de finos.	33,37	0

índice, calcula la relación entre la energía emitida y absorbida por los objetos terrestres, resaltando el estado de vigor vegetativo de una zona. Al ser un índice no dimensional, sus valores oscilan entre -1 a 1, donde valores positivos indican una vegetación saludable, valores negativos representan aguas o alto contenido de humedad y el valor de 0, 1 corresponden a tierra desnuda (Zhu y cols., 2013). Sin embargo, los valores mas altos son indicadores de actividad fotosintética (Tovar, 2012).

Para el análisis del NDVI en el área de estudio del antiguo ETCR Filipinas,

se utilizaron imágenes satelitales Landsat 7 para los años 1990, 2001, 2008 y Landsat 8 para los años 2014, 2019, 2020.

En la Figura 88 se presenta el NDVI de la zona para el año más recientes y antiguo. Se puede observar que para el 2020 hubo una disminución en la vigorosidad de la vegetación en la región centro de la cuenca respecto al año 1990, esto debido a intervenciones antrópicas y/o construcciones como es el caso del antiguo ETCR. Por otra parte, para el año 1990 la zona norte presentaba un bajo NDVI, el cual actualmente presenta los mayores valores de NDVI, indicando presencia de vegetación vigorosa .

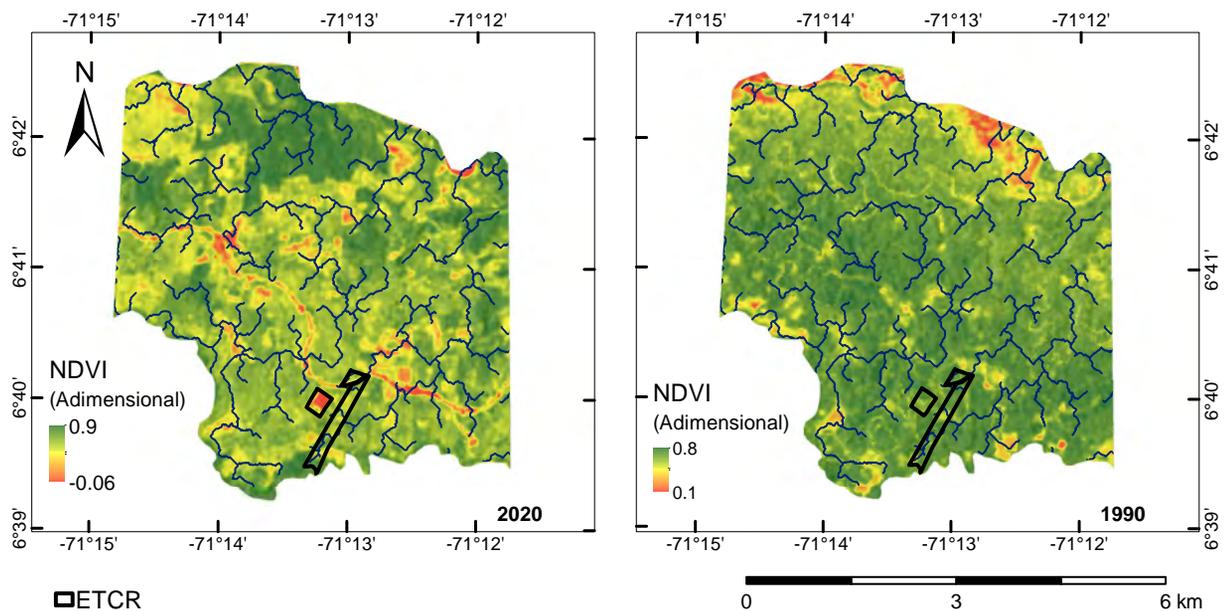


Figura 88: Índice vegetación normalizado Filipinas año 1990-2020

En la Figura 89 se muestra el comportamiento de los valores mínimo, máximo y medio del NDVI respecto a cada uno de los años en cuestión. Se observa que el comportamiento medio de la cuenca es estable; sin embargo, para el año 2001 se presentó una baja en el valor medio en respuesta a una disminución de la vigorosidad vegetativa para dicho año. Los valores mínimos presentan un decrecimiento significativo para el año 2020, debido al incremento de construcciones las cuales presentan valores muy bajos de NDVI.

Figura 90 presenta el mapa de coberturas actuales del área de estudio. Para el mapa de coberturas se utilizó la imagen satelital correspondiente al primer semestre del año 2020 de la misión Sentinel-2. A esta imagen se le aplicó un filtro para reducir la cobertura de nubes. A partir de esta imagen procesada, se

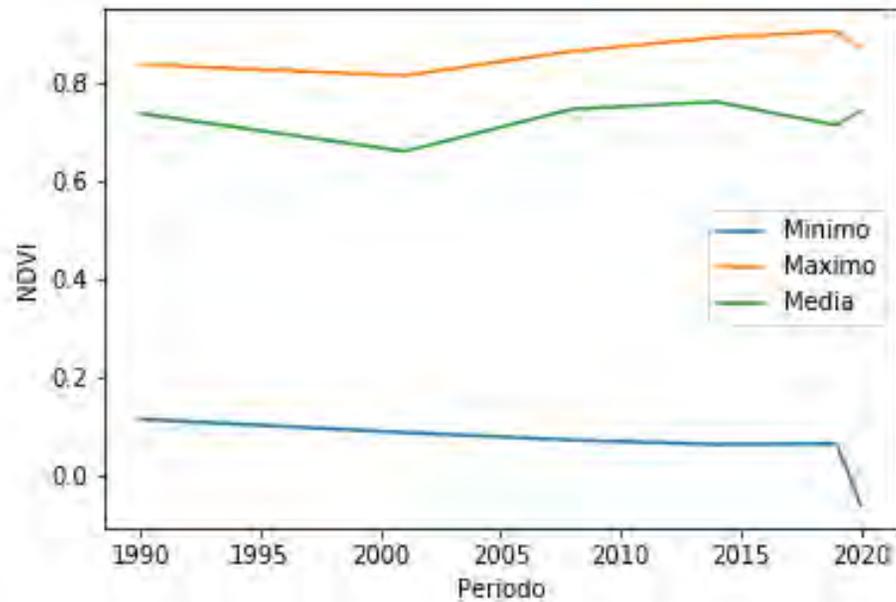


Figura 89: Representación estadística NDVI Filipinas

implementó una clasificación supervisada a través del algoritmo de clasificación *Random Forest* para cuatro categorías de coberturas: urbano, bosque, pastos y suelo desnudo. El área de estudio se compone de mosaicos de bosques y pastos con pequeñas áreas de suelos desnudos asociadas principalmente a las vías. Las zonas urbanas se encuentran concentradas en el predio del antiguo ETCR y en el centro poblado Filipinas.

Con el fin de determinar las variaciones de la vegetación a lo largo del tiempo se realizó una observación multitemporal del NDVI, la cual permite efectuar un análisis de tres momentos temporales en una sola imagen 1990, 2008 y 2020. Este procedimiento se basa en trabajar tres momentos temporales de crecimiento vegetal y generar una composición RGB, la cual se fundamenta en la combinación de los tres índices NDVI de forma simultánea (Sader y Winne, 1992).

La correlación efectuada entre la banda del rojo, verde y azul con el respectivo valor temporal de NDVI permite representar las tasas de cambio vegetal a lo largo del tiempo a través de la combinación de colores, identificando así presencia de vegetación, suelo desnudo o agua a lo largo del tiempo. La tonalidad de estos colores se encuentra en función de la ausencia o presencia de la vegetación para cada periodo y la fase de crecimiento vegetal (Sader y Winne,

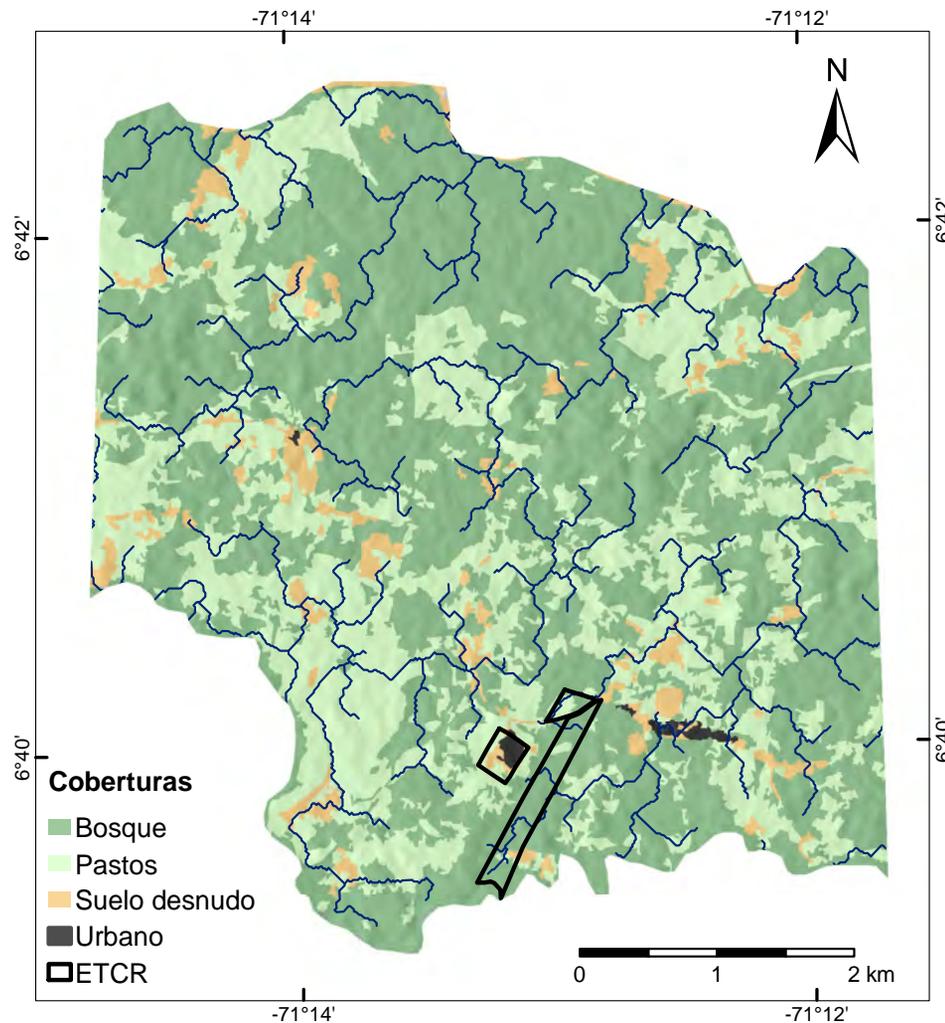


Figura 90: Coberturas actuales.

1992). Alguno de los colores percibidos en el análisis multitemporal del NDVI se representan en la Figura 91, donde Periodo 1, Periodo 2 y Periodo 3 corresponden a los años analizados, con presencia de vegetación (+) o ausencia de vegetación (0) para cada uno.

La Figura 92, muestra el mapa de combinación RGB multitemporal para los años 1990,2008 y 2020 en el área de estudio Filipinas. Se puede observar las variaciones en la vegetación que ha sufrido esta cuenca a lo largo del tiempo debido a los diferentes tonos de color que presenta espacialmente. El tono de color gris-blanco presente en la parte norte del área de estudio, indica presencia de vegetación vigorosa en los 3 periodos analizados; los tonos rojos asociados principalmente a la vía en el centro de la cuenca indican mayor vigorosidad en la vegetación para el año 1990; los tonos verdes ubicados principalmente al no-

Periodo 1	Banda Rojo	+	+	+	0	0	0	+	0
Periodo 2	Banda Verde	0	+	+	+	0	0	0	+
Periodo 3	Banda Azul	0	0	+	+	+	0	+	0
Resultante									

Figura 91: Tonalidades resultantes de combinación NDVI multitemporal

roccidente indican mayor vigorosidad en la vegetación en esas zonas para el año 2008; los tonos azules indican presencia de vegetación con mayor vigorosidad para el año 2020 o más reciente, respecto a los demás.

La evolución de las coberturas hace referencia al cambio que han sufrido las coberturas en la cuenca a través de los años. Este análisis parte del año 1991 y concluye en el año 2020 evaluando como han evolucionado las cuatro categorías de cobertura identificadas: bosques, pastos, suelos desnudos y construcciones urbanas.

En el año 1991 a partir de una de las imágenes satelitales más antiguas de las que se tiene registro. En este año la cobertura boscosa alcanzaba cerca del 35 % de la cuenca, los pastos dominaban con un 60 % y los suelos desnudos cubrían un 5 % del área. Los suelos urbanos no estaban presentes ni existía la vía que hoy comunica Pueblo Nuevo con Filipinas. Para el año 1996, ya se cuenta con la vía e inicios del poblado Filipinas sobre esta. La cobertura boscosa, por su parte, aumenta 5 % y los suelos desnudos 11 % al disminuir los pastos en 17 %.

Para el año 2007 la cobertura boscosa se reduce drásticamente al llegar a tan solo 10 % causado por el aumento principalmente de los suelos desnudos que logran abarcar el 40 % de la cuenca y los pastos que aumentan hasta cubrir la mitad de la cuenca. En cuanto a la cobertura urbana, el poblado Filipinas continua en crecimiento y se aprecian construcciones en lo que constituye el predio del antiguo ETCR.

Finalmente, para el año 2020 la cobertura boscosa aumenta extensamente hasta alcanzar cubrir el 60 % de la cuenca al disminuir los suelos desnudos hasta 5 % y los pastos hasta 33 %. La cobertura urbana correspondiente al poblado Filipinas continua en aumento sobre la vía.

Espacialmente, los bosques dominan principalmente el norte y sur de la cuen-

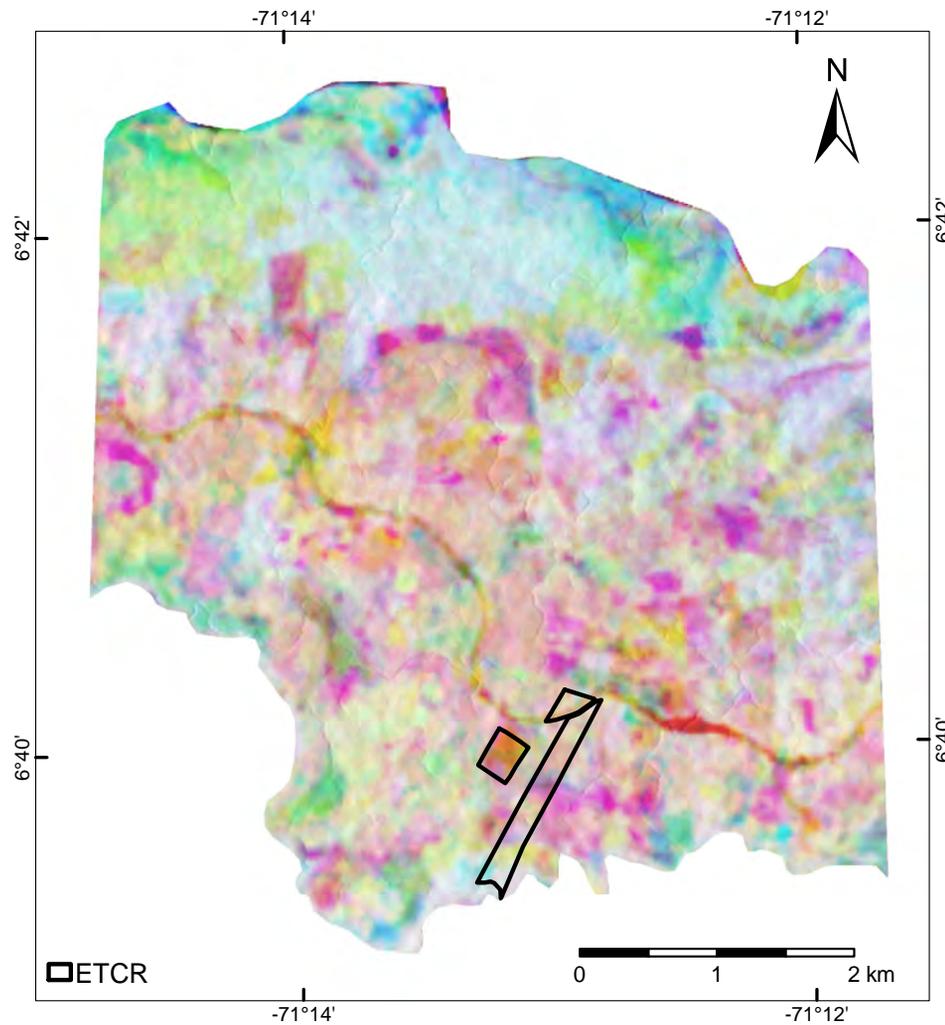


Figura 92: Representación multitemporal NDVI

ca. Los pastos se encuentran principalmente en la zona central y algunas franjas asociadas a las márgenes del río Ele en el norte y representando la transición entre los bosques y los suelos desnudos. Estos últimos predominan en el centro de la cuenca asociados con la vía y los asentamientos humanos.

A pesar de que la cobertura urbana no es muy extendida en la cuenca, al analizar su extensión en todo el análisis temporal se encuentra que ésta aumenta poco menos de 900 % entre los años 1996 y 2020. Igualmente, en este periodo los bosques aumentan 50 %, los pastos disminuyen 22 % y los suelos desnudos 70 %. Esto se puede observar en la Figura 93.

La evolución de las coberturas se representa a través de una variable numérica que indica el grado de cambio, sea positivo o negativo, que ha sufrido la cobertura. La escala categórica de las coberturas parte de coberturas tipo bos-

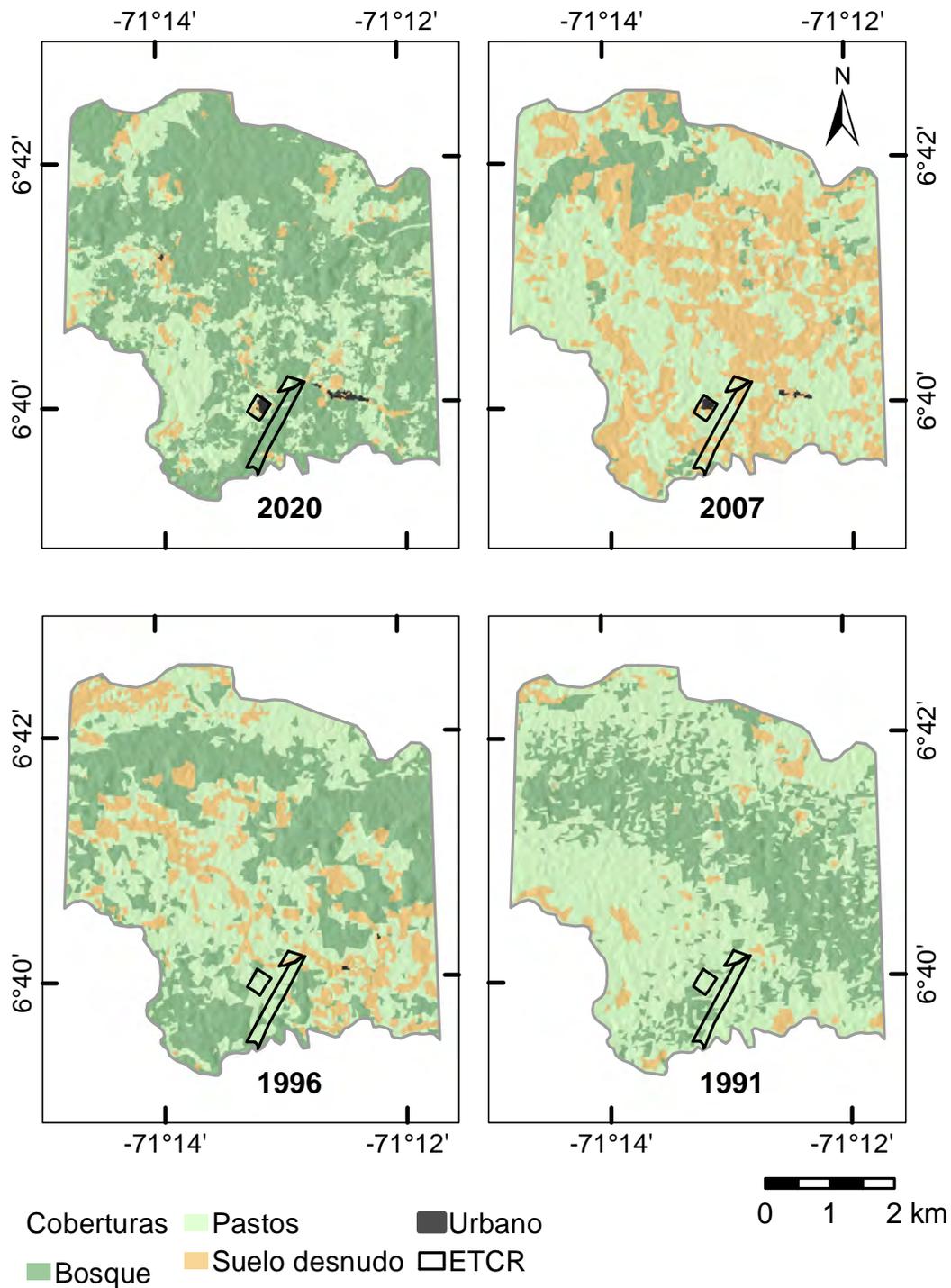


Figura 93: Evolución de las coberturas multitemporal.

ques, sigue con pastos, luego suelo desnudo y, finalmente, suelo urbano. Por lo tanto, la variable de cambio es mayor, entre más lejos las categorías iniciales y finales se encuentren una de otra. Se tiene el 0 como punto central de la escala

numérica para las áreas que no sufrieron cambio en su cobertura. Los números positivos representan cambios hacia la izquierda (bosques) en dicha escala categórica y su magnitud depende del cambio entre coberturas. Por ejemplo, un área que se transforma de pastos a bosques tendrá un valor de 1 mientras que un área que pase desde suelos desnudos a bosques tendrá un valor de 2. Por el contrario, los números negativos indican degradación en la cobertura. Por ejemplo, si un área trnasforma bosque a pastos tendrá un valor de -1 y si pasa a construcciones urbanas tendrá un valor de -3.

La Figura 94 muestra el comportamiento que ha presentado el área de estudio respecto a la variación de la cobertura. Para este análisis se tomó el mapa de cobertura de los años 1991 y 2020 utilizando el algoritmo de clasificación Random Forest y el uso del satélite Sentinel-2. Luego de tener el cambio de cobertura, se realizó la asignación de pesos o magnitud en términos de estabilidad a cada cambio de cobertura en función de los resultados obtenidos en el análisis multitemporal del NDVI, donde dichos pesos fueron asignados de 0 (no susceptible) a 1(muy susceptible). Las zonas que presentaron una evolución a bosque, se les asigno un peso de 0,1, debido a que estos son cambios positivos que favorecen la estabilidad y además, los valores de NDVI para el año 2020 variaban entre 0,7 a 0,8 siendo los más altos del área de estudio. Por otra parte, los cambios negativos son aquellos que favorecen la inestabilidad, como es el caso de coberturas evolucionadas a pastos, suelos desnudo o urbano, para los cuales los pesos asignados a estas coberturas fueron de 0,2-0,4, 0,5-1 y 0,5 respectivamente debido a que el NDVI para el año 2020 de las zonas evolucionadas a pastos presenta variación entre 0,6-0,8, para las zonas evolucionadas a suelo desnudo entre 0,2-0,5 y las áreas evolucionadas a Urbano de 0,1 aproximadamente (ver Tabla 34).

En la Figura 94 se presenta los resultados obtenidos. Se puede observar que los cambios no se concentran en una zona particular del área. Los cambios negativos más fuertes se encuentran asociados al poblado Filipinas y al antiguo ETCR por su connotación urbana.

8.4.5.1. Índice de humedad topográfica (TWI)

El índice de humedad topografica describe la tendencia de un sitio a saturarse dada su área contribuyente y las características de la pendiente local Gruber y Peckham (2009). Esta componente es importante ya que relaciona la humedad edafica y la tendencia del suelo a generar escorrentía. Se obtuvo con el software

Tabla 34: Cambio de cobertura antiguo ETCR Filipinas

Cambio	Área %	Pesos
Bosque a Urbano	0,06	0,8
Pasto a Urbano	0,28	0,6
Bosque a Bosque	25,03	0
Pasto a Bosque	33,37	0
Suelo desnudo a Bosque	2,70	0
Bosque a Pasto	10,23	0,6
Pasto a Pasto	21,57	0,2
Suelo desnudo a Pasto	1,65	0,4
Bosque a Suelo desnudo	1,19	1
Pasto a Suelo desnudo	3,56	0,8
Suelo desnudo a Suelo desnudo	0,36	0,6

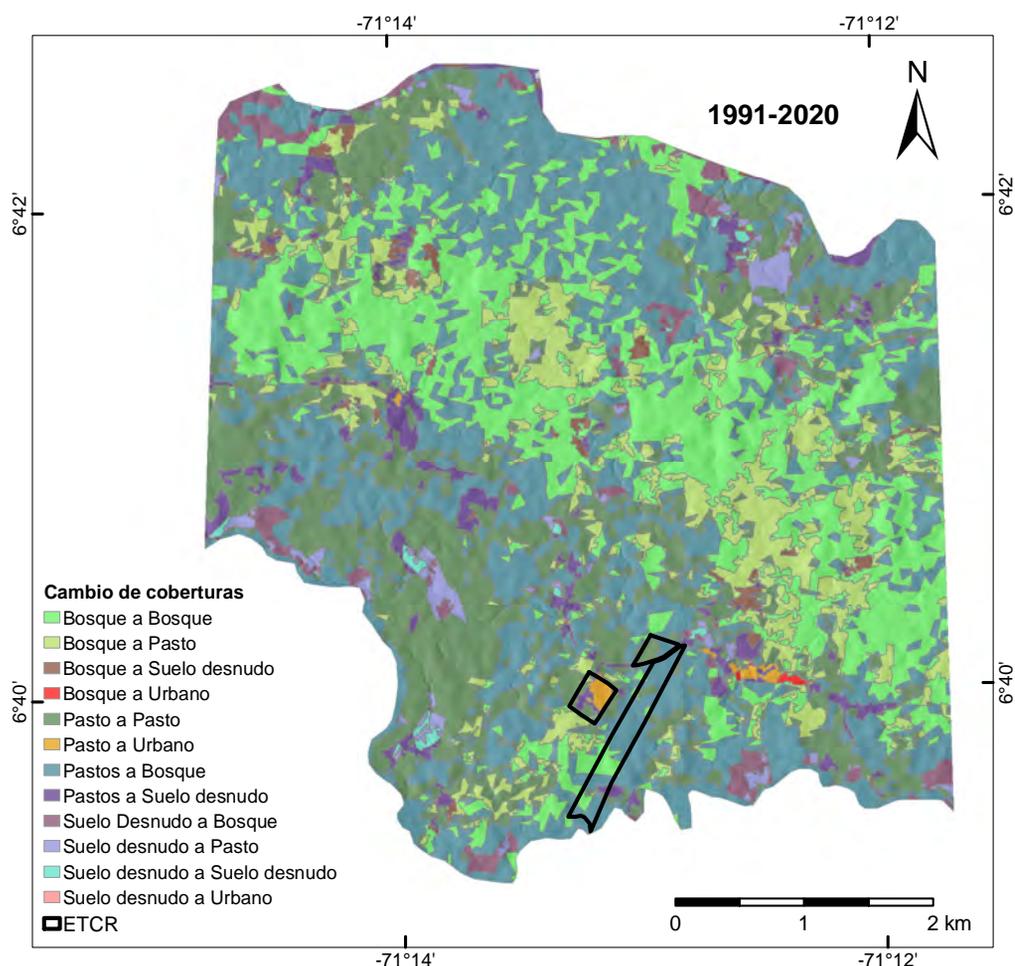


Figura 94: Cambio coberturas año 1991-2020

Whitebox GAT y la herramienta *Wetness Index*, cumpliendo la ecuacion:

$$Wi = Ln \frac{As}{\tan(slope)} \tag{8.3}$$

Donde A_s es el mapa raster de acumulación de flujo y $emphSlope$ es el raster de pendiente en grados, generado a partir del modelo de elevación corregido. Esta variable se dividió en cinco clases. La Figura 95 y la Tabla 35 presentan la distribución del índice de humedad topográfica en el área de influencia, así como los pesos asignados a cada clase para la evaluación de la amenaza.

Para la variable del índice de humedad topográfico se presentan los valores más altos con respecto al porcentaje de área total en los rangos de menores a -3 “No Acumula”, de 3 a 6 “Bajo” y de 6 a 11 ”Medio”, con porcentajes de 23,5 %, 30,1 %, y 27,9 %. El 30,98 % es el más alto de entre todas las categorías con respecto a su porcentaje de área total. Los rangos de -3 a 3 ”Muy Bajo” y mayor a 11” Medio-Alto”, con porcentajes de 12,8 % y 4,8 % representan tan solo un 17,6 % del área total siendo el de mayor a 11 el menor con un 4,9 % (ver Tabla 35) . Los rangos en general se distribuyen por toda la zona de estudio (Figura 95). Existe una mayor concentración de los rangos de 6 a 11 y mayor a 11 en la parte oriental y en menor medida en la parte occidental.

Tabla 35: Índice de humedad topográfica antiguo ETCR Filipinas

Rangos	Categoría	Área %	Peso
< -3	No acumula	23,52	0
- 3 a 3	Muy baja acumulación	12,76	0,2
3 a 6	Baja acumulación	30,98	0,4
6 a 11	Media acumulación	27,89	0,6
> 11	Alta acumulación	4,86	1

8.4.5.2. Relieve relativo (RR)

Según la Tabla 36 en la zona de estudio predominan los rangos de 9 a 13m, de 15 a 19m,de 19 a 23m con porcentajes con respecto al área total de 24,1 %,28,3 %, y 29,5 %, respectivamente. Estos representan un 81,8 %, siendo el rango de 19 a 23m el que posee mayor valor porcentual del área total con un 29,5 %. Estos valores se encuentran distribuidos en toda la zona de estudio. Los rangos menores a 9m, de 13 a 15m y mayores a 23m con porcentajes respecto al área total de 4,9 %,9,2 %,4,1 % representan un 18,2 % con respecto al porcentaje de área total siendo el rango de mayor a 23m el de menor valor porcentual con un 4,1 % y se encuentra concentrado en la parte nororiental de la zona de estudio, estos valores con porcentajes más bajos en comparación con los primeramente citados se encuentran igualmente distribuidos por todo el área de

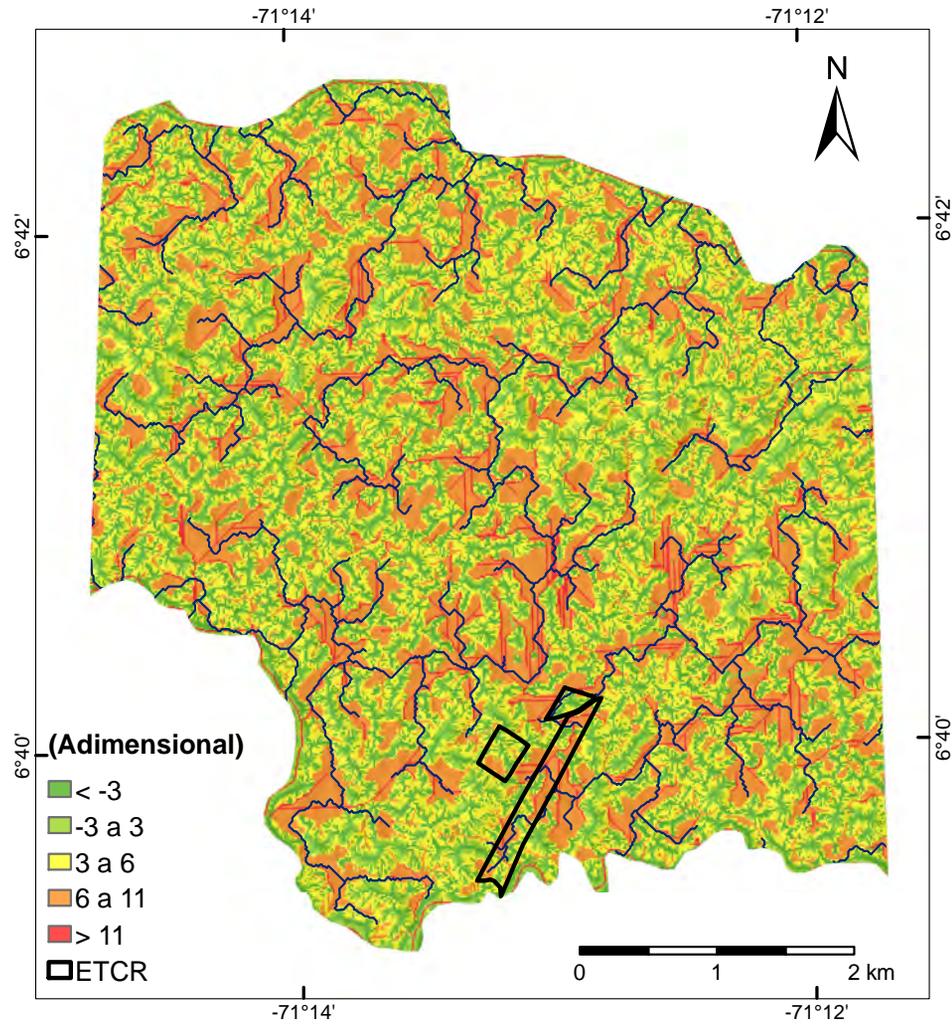


Figura 95: Mapa Índice de humedad topográfica del antiguo ETCR Filipinas

estudio (Figura 96).

Tabla 36: Tabla Índice de relieve relativo del antiguo ETCR Filipinas

Rangos	Área %	Pesos
< 9	4,93	0
9 a 13	24,09	0,2
13 a 15	9,17	0,4
15 a 19	28,30	0,6
19 a 23	29,45	0,8
> 23	4,06	1

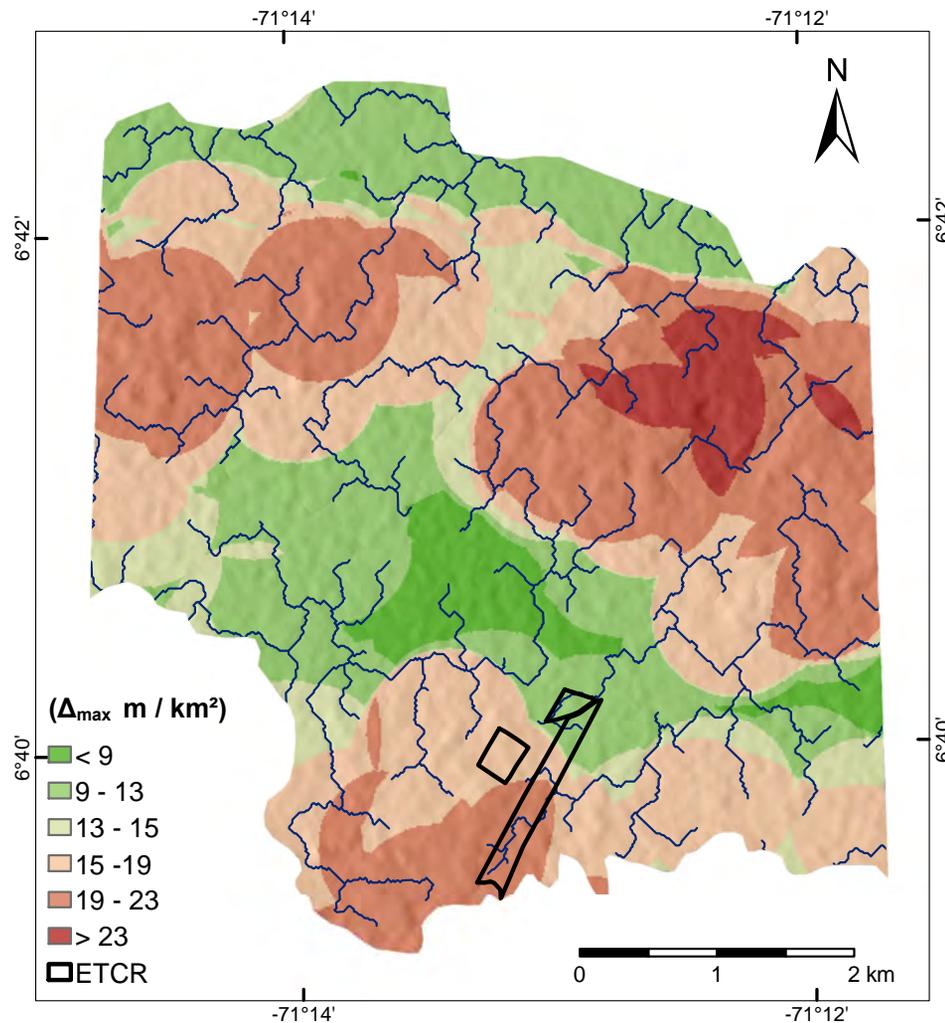


Figura 96: Mapa Índice de relieve relativo del antiguo ETCR Filipinas

8.4.5.3. Pendiente (S)

En la Tabla 37 se presentan los valores generados para cada una de las categorías asignadas de donde obtuvieron los resultados de los porcentajes con respecto al área total. Para el rango de menores a 2° se obtuvo un porcentaje de área total del 53,86 % que lo hace el más alto con respecto a las otras categorías. Este rango se encuentra distribuido por toda el área de estudio. Los rangos de 2 a 3° , de 3 a 6° , de 6 a 10° , con porcentajes con respecto al área total de 12 %, 23 %, 8 % , respectivamente. Se encuentran distribuidos sin mostrar una tendencia aparente por toda el área de estudio, el rango de menor porcentaje es el de mayores a 10° con un valor porcentual de 2,0 %. Los valores porcentuales generados muestran una tendencia con respecto al porcentaje de área total a valores de rangos bajos de pendiente y se distingue claramente en la Figura 97.

Tabla 37: Tabla Índice de la pendiente del antiguo ETCR Filipinas

Rangos	Área %	Pesos
< 2	53,86	0
2 a 3	12,68	0,2
3 a 6	23,10	0,4
6 a 10	8,34	0,6
> 10	2,02	0,8

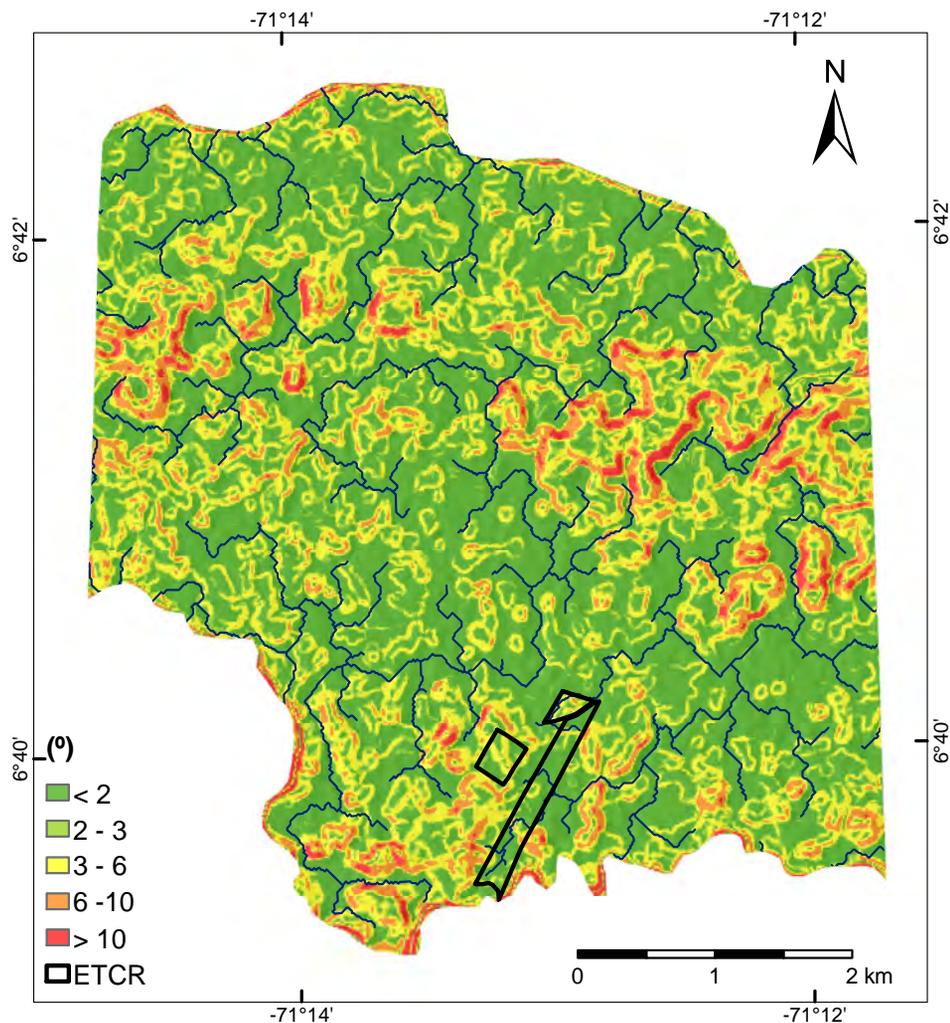


Figura 97: Mapa Índice de la pendiente del antiguo ETCR Filipinas

8.4.5.4. Elevación relativa al cauce (EAS)

Los rangos para la elevación relativa al cauce se distribuyen de la siguiente forma con respecto al porcentaje de área total en la zona de estudio (ver Tabla 38). El rango con el mayor porcentaje con respecto al área total pertenece a la categoría de menor a 2 m , con un porcentaje considerable de 57 % que se

asocia a zonas donde no hay una fuerte intervención del relieve y se encuentra ampliamente distribuida por toda el área de estudio, este es el más alto con respecto al porcentaje de área total de las clasificaciones (Figura 98). Los demás rangos de 2 a 3 m ,de 3 a 5 m, y de 5 a 10 m , con porcentajes de 11,4 %, 13,1 %, 12,4% se distribuyen por toda el área de estudio sin tener concentraciones predominantes. Los valores para el rango de mayor a 10 m, con un porcentaje de 6,03 % se presentan como el menor de las demás categorías y se encuentra distribuida en toda el área de estudio con una concentración mayor en la parte oriental (Figura 98).

Tabla 38: Tabla Índice de la elevación relativa al cauce del antiguo ETCR Filipinas

Rangos	Área %	Pesos WoE
< 2	57,03	1
2 a 3	11,39	0,8
3 a 5	13,14	0,6
5 a 10	12,41	0,4
> 10	6,03	0,1

8.4.5.5. Curvatura (Cu)

La curvatura determina el grado de convexidad o concavidad de la superficie en la dirección de la pendiente (longitudinal). Esta variable puede ser evaluada en tres dimensiones: plana, perfil y tangencial; en este caso se evalúa en dos dimensiones: plana y perfil; en la primera, el valor 0 indica que la superficie es plana, valores positivos indican concavidad y valores negativos indican que la superficie es convexa, en el caso del segundo, el valor 0 indica que la superficie es plana, valores positivos indican que la superficie es convexa y los valores negativos indican concavidad, la Tabla 39 muestra los rangos tomados para cada clase según los dos diferentes mapas de curvatura. Esta variable señala la efectividad de la topografía para concentrar o dispersar la mayor cantidad de agua de lluvia en un punto determinado de la ladera. Dado que representa el relieve según la dirección de la máxima pendiente, esta variable afecta a la infiltración, la escorrentía y la aceleración y desaceleración del flujo, por lo tanto influye en la erosión y depositación de material en la superficie del terreno. (Londono, 2006).

El mapa de curvatura resultante (Figura 100), conformado por, el mapa de curvatura de perfil y el mapa de curvatura plana, que se muestran en la Figura 99a y la Figura 99b respectivamente. Esta variable se divide en nueve categorías

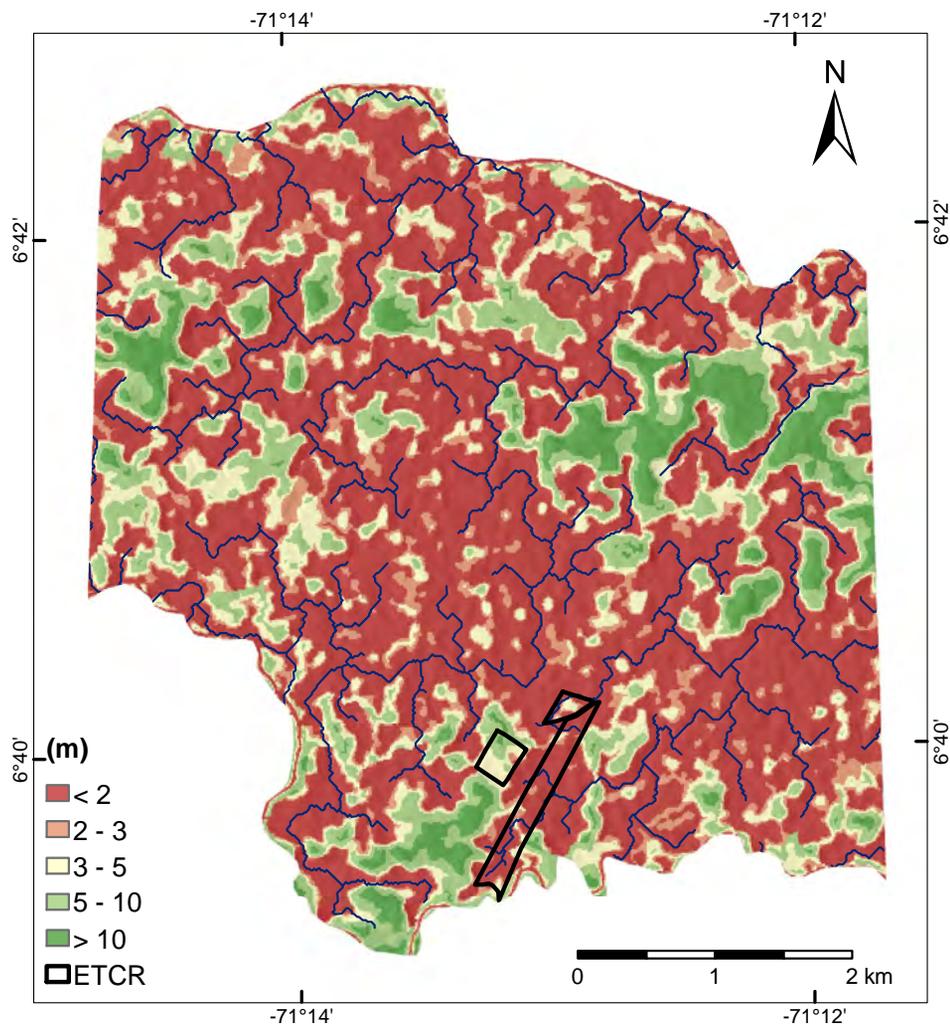


Figura 98: Mapa Índice de la elevación relativa al cauce del antiguo ETCR Filipinas

Tabla 39: Rangos de las geoformas

Rango	Categoría Mapa Perfil	Categoría Mapa Planar
< -0,01	Cóncavo	Convexo
-0,01 a 0,001	Plano	Plano
> 0,001	Convexo	Cóncavo

como lo muestra la Tabla 40, que además, indica el porcentaje de área de la zona de estudio y los pesos asignados a cada clase para la evaluación de la amenaza.

Las clases de geoformas que más se observan en el mapa de curvatura (Figura 100) según las estadísticas que muestra la Figura 101 son las cóncava-cónca-

Tabla 40: Clases de geformas con sus respectivas áreas de ocupación en la zona de estudio y el peso asignado para la evaluación de la amenaza.

	Clases	Símbolo	% Área	Peso WoE
Pisos inclinados	Plano plano	P-P	18,35	0,2
Cuenca abierta inclinada	Plano cóncavo	P-C	0,13	0,6
Cuenca cerrada inclinada	Cóncavo cóncavo	C-C	29,8	1
Cuenca protuberante inclinada	Convexo cóncavo	Cx-C	22,43	0,4
Colinas empotradas	Cóncavo convexo	C-Cx	8,92	0,4
Colinas infladas inclinadas	Convexo convexo	Cx-Cx	20,29	0
Crestas abiertas inclinadas	Plano convexo	P-Cx	0,05	0,2

va, convexo-cóncavo, convexa-convexa, plana-plana y cóncava-convexa con un porcentaje respecto al área total de 29,8 % 22,4 % 20,3 %, 18,4 % y 8,9 % respectivamente, y a su vez estas geformas corresponden a características de cuencas cerradas inclinadas, cuenca protuberante inclinada, colinas infladas inclinadas, pisos inclinados y colinas empotradas, respectivamente. Se observa además, que la categoría plana-plana, se acumula en diferentes lugares a lo largo de la zona, las demás categorías tienen una distribución general en el área.

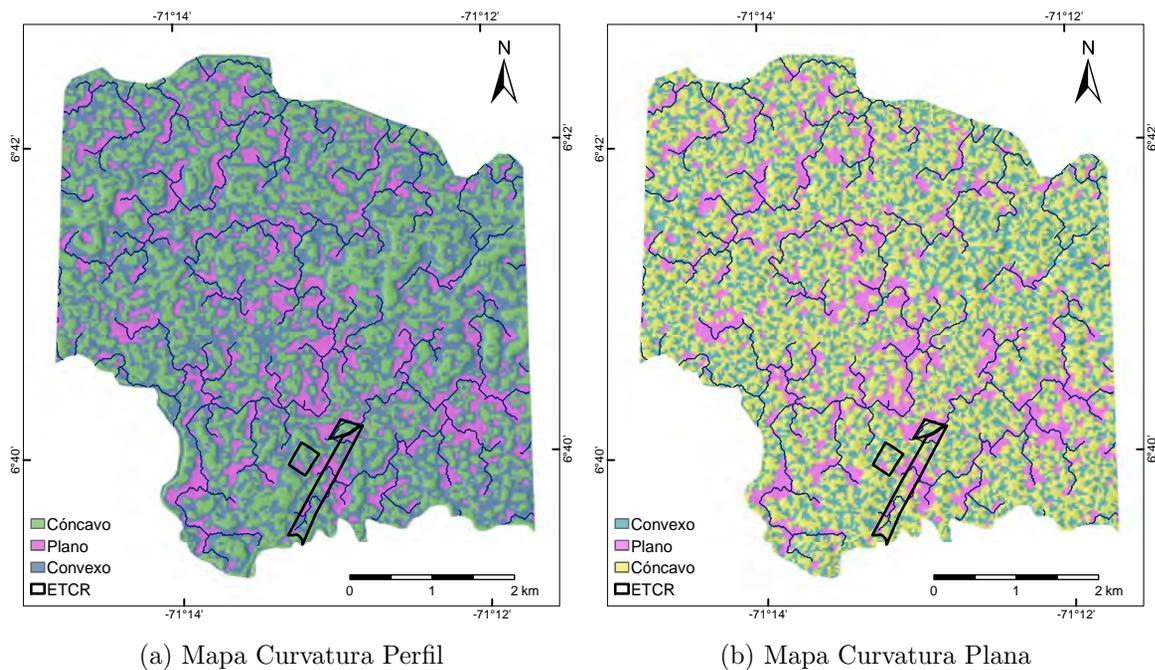


Figura 99: Mapa de Curvatura Perfil y Plana del antiguo ETCR Filipinas

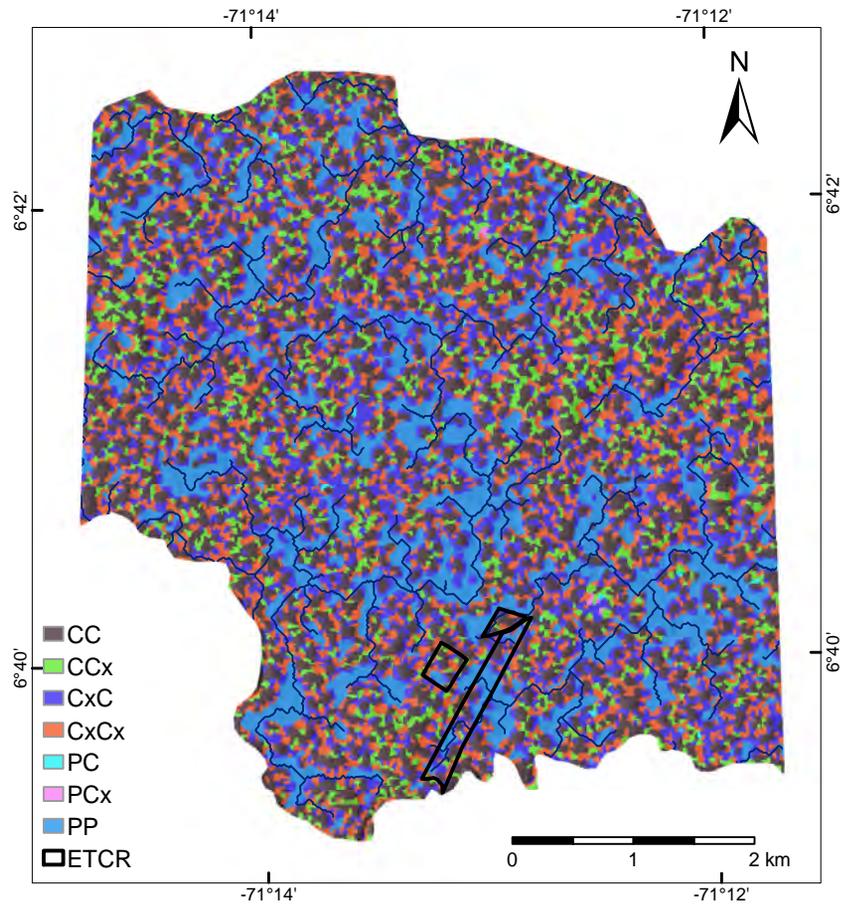


Figura 100: Mapa de Curvatura del antiguo ETCR Filipinas

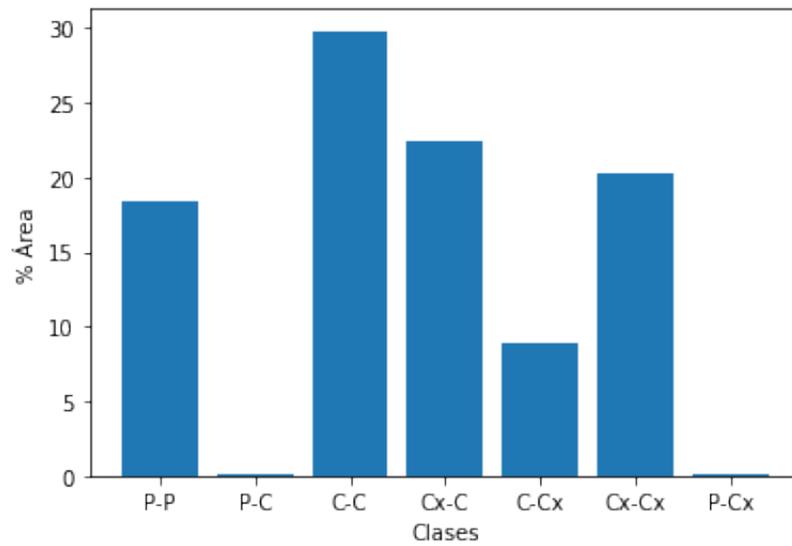


Figura 101: Gráfica de clases de geoformas por su porcentaje en área del antiguo ETCR Filipinas

8.4.5.6. Mapa de susceptibilidad con AHP y asignacion directa

La Ecuación 8.4 indica el procedimiento matemático obtenido para el cálculo del mapa de susceptibilidad, donde el peso de las variables se obtuvo con AHP y el peso de las clases con la asignación directa:

$$IS = 22,7S + 11,7Cu + 3,3EAS + 13,4RR + 11,3TWI + 18,0Ec + 19,6Gs \tag{8.4}$$

La Figura 102 presenta el mapa de susceptibilidad continua por movimientos en masa para el área de influencia del antiguo ETCR Filipinas.

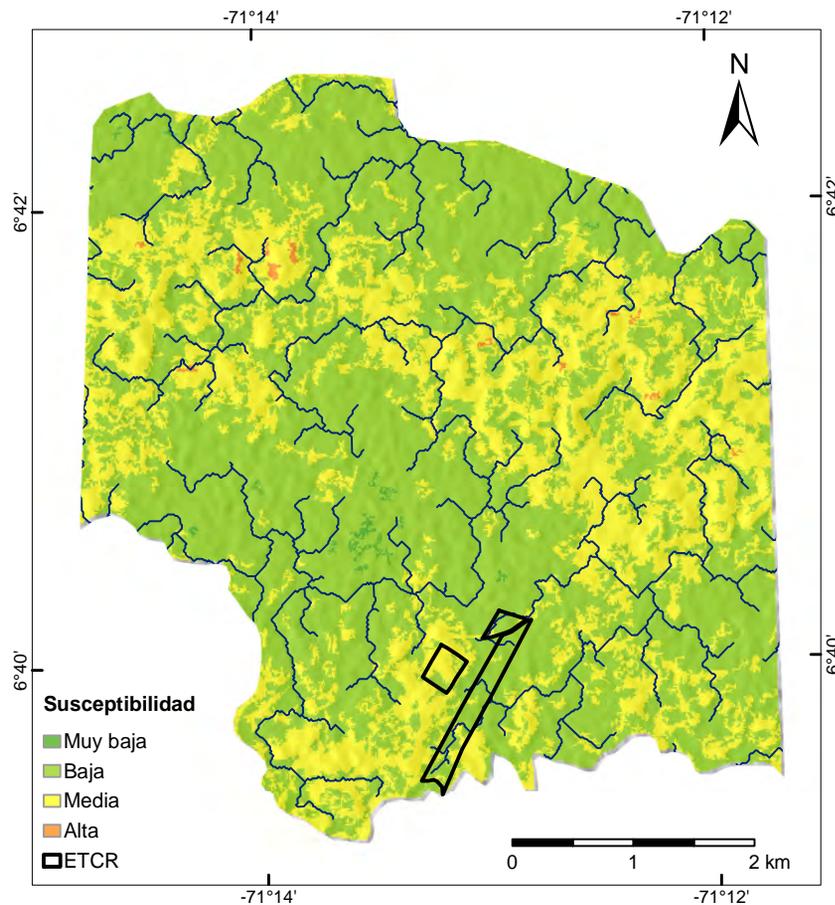


Figura 102: Susceptibilidad continua por movimientos en masa.

8.4.6. Modelo de susceptibilidad

La Figura 103 presenta el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa en cuatro de los cinco rangos posibles para el área de influencia del antiguo ETCR Filipinas, tal y como se observa en la Tabla 41 no se presenta amenaza

muy alta.

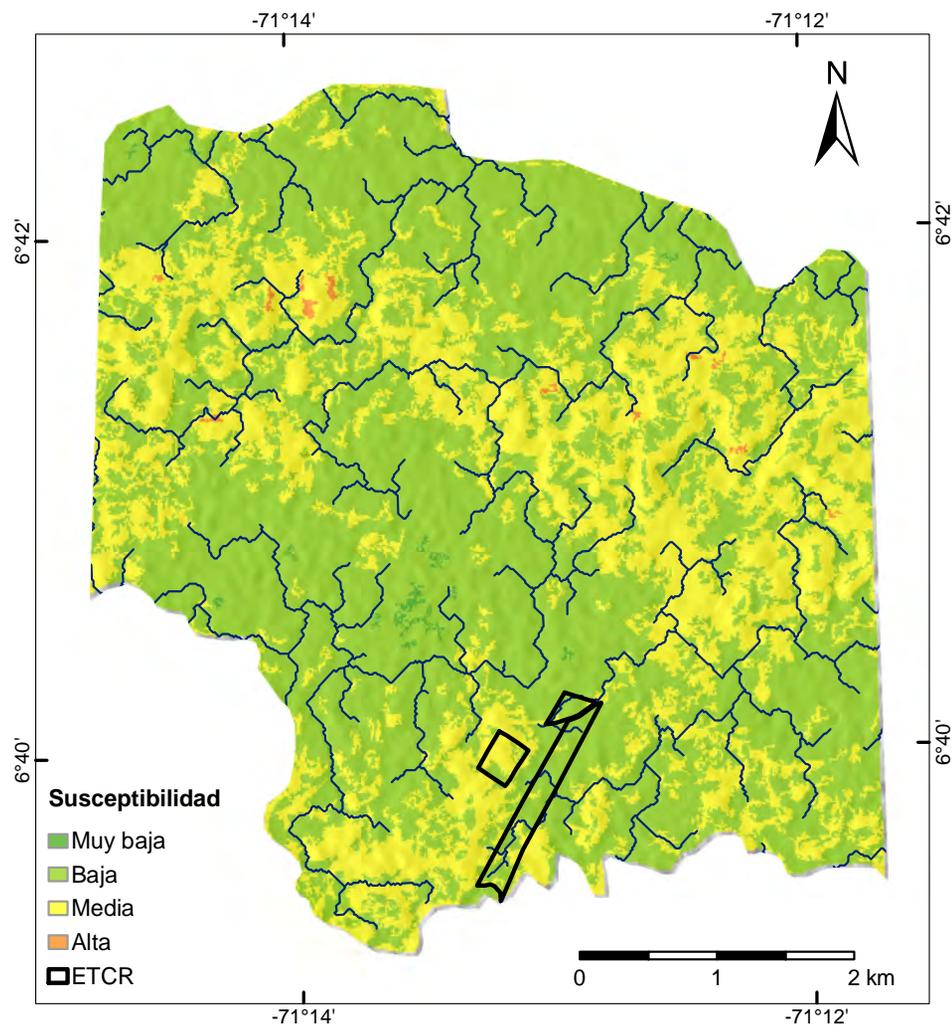


Figura 103: Susceptibilidad final por movimientos en masa.

Tabla 41: Mapa de susceptibilidad Filipinas.

Categoría	Área %
Muy Baja	0,27
Baja	66,56
Media	32,97
Alta	0,21

8.5. Amenaza por movimientos en masa detonados por lluvia

8.5.1. SHALSTAB

En el modelo hidrológico TOPOG (O'loughlin, 1986) se utiliza la precipitación en estado estacionario para construir el patrón espacial de humedad basado en el área aferente a cada punto, la pendiente y la transmisividad del suelo. La humedad del suelo es calculada como:

$$W = \frac{Qa}{bT \sin \theta} \quad (8.5)$$

Donde Q es la lluvia en condiciones estacionarias [mm/d], a es el área de drenaje [m^2], b es la longitud de cada celda [m], T es la transmisividad del suelo en condiciones saturadas [m^2/d], y θ es la pendiente. Asumiendo que la transmisividad no varía con la profundidad, se puede entonces asumir:

$$W = \frac{h}{z_t} \quad (8.6)$$

Donde h es el espesor del suelo saturado y z_t el espesor total de suelo. Combinando las ecuaciones 8.5 y ?? se puede estimar la saturación relativa del perfil de suelo como:

$$\frac{h}{z_t} = \frac{Qa}{bT \sin \theta} \quad (8.7)$$

En términos del componente geotécnico, el modelo SHALSTAB está basado en análisis de equilibrio límite con talud infinito y el criterio de falla de Mohr-Coulomb.

$$\rho_s g z_t \sin \theta \cos \theta = c' + \left(\rho_s - \rho_w \frac{h}{z_t} \right) g z \cos^2 \theta \tan \phi \quad (8.8)$$

Donde ρ_s es la densidad del suelo, ρ_w es la densidad del agua, g es la aceleración de la gravedad, c' es la cohesión efectiva del suelo, y ϕ es el ángulo de fricción. Reescribiendo la anterior ecuación en términos de la relación h/z :

$$\frac{h}{z_t} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) + \frac{c'}{\rho_w g z \cos^2 \theta \tan \phi} \quad (8.9)$$

Finalmente, acoplado el modelo hidrológico y el modelo de estabilidad se obtienen la siguiente ecuación:

$$\frac{a}{b} = \frac{T}{Q} \sin \theta \left[\frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) + \frac{c'}{\rho_w g z \cos^2 \theta \tan \phi} \right] \quad (8.10)$$

A partir de la ecuación 8.10 es posible determinar cuatro condiciones de estabilidad para cada celda de análisis. Las celdas donde la relación entre el área de drenaje aferente y la longitud de la celda (a/b) es mayor que la expresión al lado derecho de la ecuación corresponde a celdas inestables, en caso contrario son celdas estables. Las dos condiciones restantes corresponden a condiciones de estabilidad que no dependen de la lluvia. Las celdas estables en condiciones completamente saturadas de todo el perfil de suelo ($h/z_t = 1$) son denominadas incondicionalmente estables y cumplen la siguiente condición:

$$\tan \theta < \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \tan \phi + \frac{c'}{\rho_s g z \cos^2 \theta} \quad (8.11)$$

Y las celdas inestables en condiciones secas ($h/z_t = 0$) se denominan incondicionalmente inestables y cumplen la siguiente condición:

$$\tan \theta \geq \tan \phi + \frac{c'}{\rho_s g z \cos^2 \theta} \quad (8.12)$$

El modelo de SHALSTAB es implementado en la plataforma *Google Colab* mediante un algoritmo en lenguaje python (.ipynb), el modelo empleado esta basado en la formulación de amenaza para deslizamientos superficiales detonados por lluvia propuesto por Montgomery y Dietrich (1994).

Los insumos requeridos en el modelo de estabilidad representan las características físicas del terreno y su distribución espacial.

El modelo digital de elevación utilizado presenta resolución espacial 12,5 m x 12,5 de la plataforma *ALOS PALSAR*. El mapa de profundidad de la capa del suelo fue elaborado mediante la metodología propuesta por Catani, Segoni, y Falorni (2010) *S model*, se asumió profundidades menores a 3 m (h_{max}) considerando que los deslizamientos por lluvias intensas son superficiales (Anderson y Sitar, 1995; Aristizábal, Martínez, y Veléz, 2010). Para determinar la distribución espacial del espesor de suelo deslizable Z a lo largo del área de estudio se empleo la ecuación 8.13 que se basa en la relación inversa de la pendiente

con el espesor del suelo.

$$h_i = h_{max} \left[1 - \frac{\tan \theta_i \cdot \tan \theta_{min}}{\tan \theta_{max} \cdot \tan \theta_{min}} \cdot \left(1 - \frac{h_{min}}{h_{max}} \right) \right] \quad (8.13)$$

Donde θ_{max} y θ_{min} corresponden a los valores máximos y mínimos de elevación o pendiente, mientras h_{max} y h_{min} son valores que restringen el espesor h_i .

La estimación de los parámetros geotécnicos, tales como; cohesión c' , ángulo de fricción ϕ , peso unitario γ_s , y conductividad hidráulica saturada k_s , se asignaron a partir de las características texturales del suelo típico de cada material identificado en la cuenca, considerando la descripción de las unidades geológicas presentadas por INGEOMINAS (2010) y los rangos de valores de parámetros geotécnicos recopilados en <http://www.geotechdata.info/parameter/>. En la Tabla 42 se presenta la parametrización geotécnica de cada unidad geotécnica homogénea en donde las propiedades de resistencia e hidráulicas se consideran constantes ajustada al tipo de suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS) correspondiente a las unidades geológicas superficiales (ver Figura 82) .

Tabla 42: Parámetros geotécnicos para las unidades geológicas superficiales

Unidad	Tipo de suelo	c' (kPa)	ϕ°	$\gamma_s(kN/m^3)$	$k_s(m/s)$
Qal	SW	0	38	19	$1,0x10^{-6}$
Qaa	ML-OL	20	32	18	$1,0x10^{-7}$
Qa	SC	11	31	18	$5,5x10^{-5}$
Qalim	SM-SC	20	34	18	$5,5x10^{-5}$

Los resultados de la amenaza para movimientos en masa son establecidos a partir de las condiciones de estabilidad descritas en la formulación del modelo; las categorías estables e inestable consideran la estabilidad de la celda sujeto al escenario de lluvia definido, mientras que las celdas incondicionalmente estables e inestables se establecen para condiciones saturadas y secas, respectivamente. En la Tabla 43 se presentan los eventos de lluvia a partir de las intensidades correspondientes a periodos de retorno de 10, 100 y 500 años. Las intensidades fueron estimadas asumiendo una duración de la lluvia de 230 minutos, correspondientes a un tiempo similar al tiempo de concentración de la zona de estudio.

En las Figuras 104, 105 y 106 se presentan la amenaza por movimientos en

Tabla 43: Escenarios de lluvia establecidos para periodos de retorno (Tr) de 10, 100 y 500 años.

Tr	Intensidad (mm/h)
10	28,81
100	40,60
500	49,66

masa superficiales según las condiciones de estabilidad para cada escenario de lluvia.

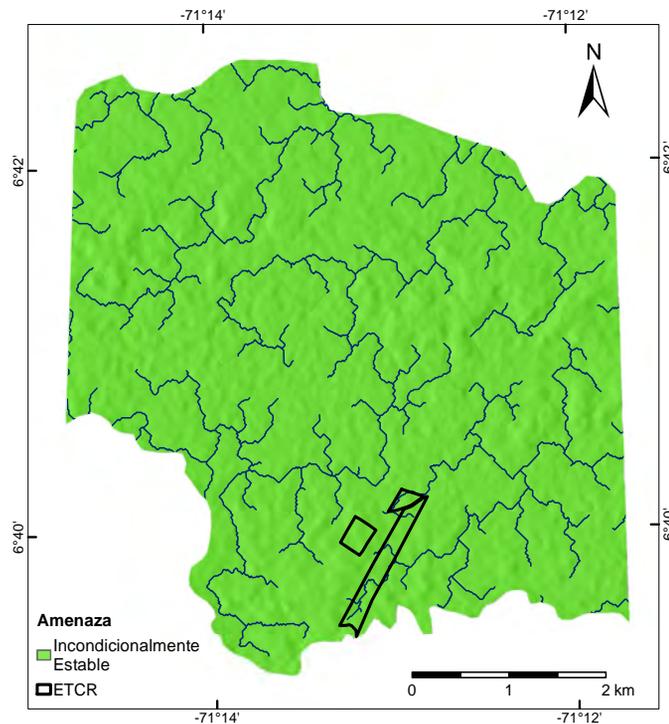


Figura 104: amenaza por movimientos en masa detonados por lluvia correspondiente al periodo de retorno de 10 años.

A partir de los resultados se observa que no se presentan zonas inestables bajo ninguna cantidad de lluvia, esto debido a la topografía plana de la cuenca, de acuerdo con la sección 8.3.

8.6. Amenaza por movimientos en masa detonados por sismo

8.6.1. Sismicidad histórica

El municipio de Arauquita registra un histórico sísmico de 44 eventos entre jun/1993 y jul/2020, según el registro de sismicidad histórica de Colombia (<http://sish.sgc.gov.co/>) y no se registran sismos que hayan causado daños

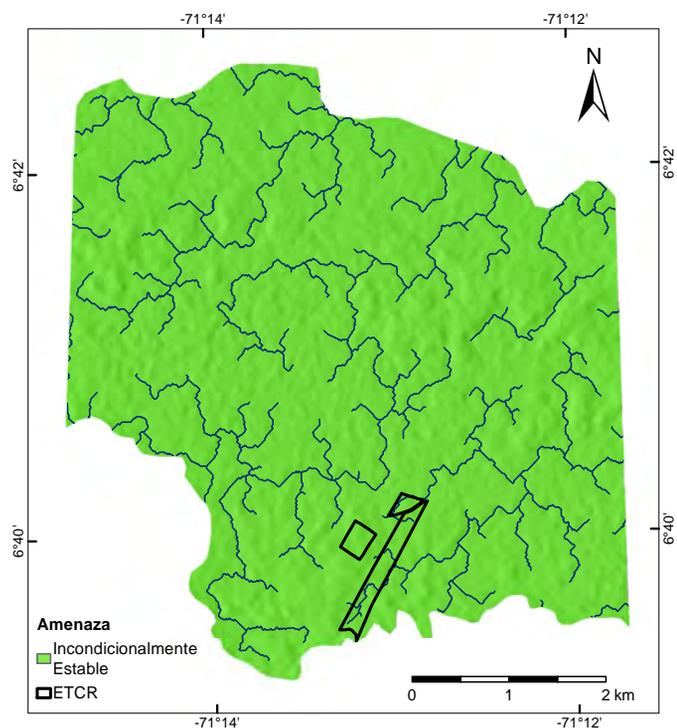


Figura 105: Amenaza por movimientos en masa detonados por lluvia correspondiente al periodo de retorno de 100 años.

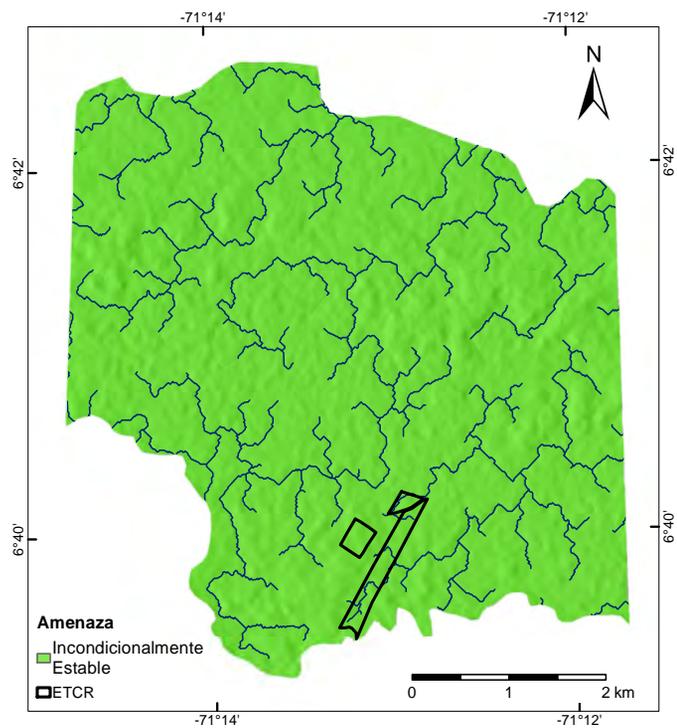


Figura 106: Amenaza por movimientos en masa detonados por lluvia correspondiente al periodo de retorno de 500 años.

en el municipio.

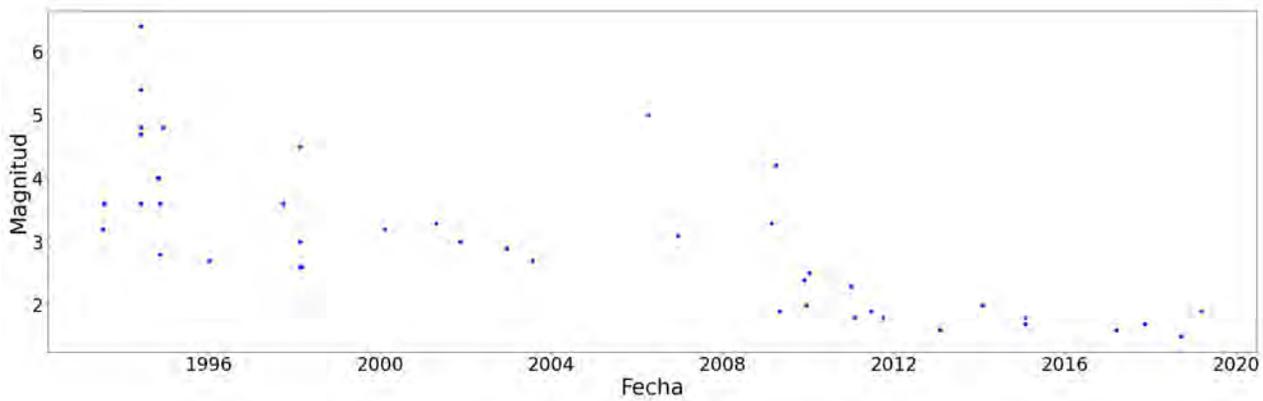


Figura 107: Registro sismicidad histórica municipio de Arauquita

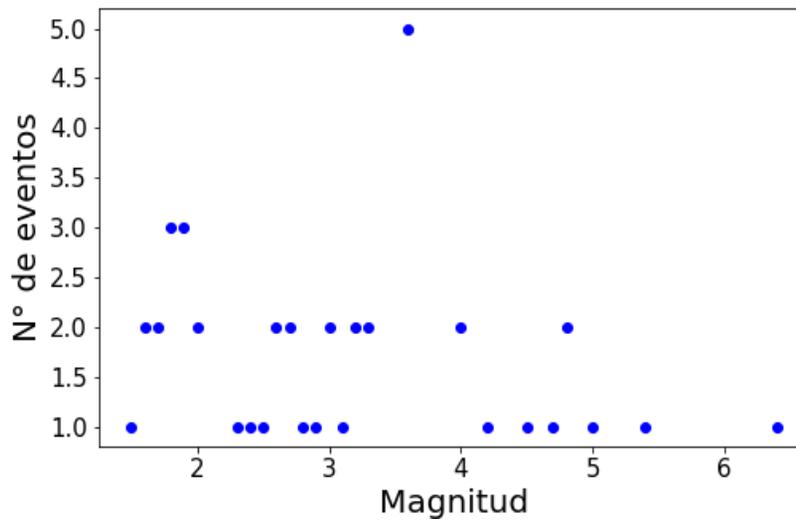


Figura 108: Sismicidad histórica municipio de Arauquita

8.6.2. Metodología - Bloque deslizando de Newmark

Según el SGC (2017b) la determinación de la amenaza por movimientos en masa detonados por sismo puede abordarse mediante análisis estadístico con la limitación de la existencia de un inventario de eventos o por medio de modelos físicos teniendo en cuenta una caracterización geotécnica detallada. La evaluación de la amenaza por movimientos en masa detonados por sismo se realiza mediante el método físico de (Newmark, 1965). El método se fundamenta en el modelo de estabilidad de clásico de talud infinito para determinar el factor

de seguridad FS , este supone una superficie de falla plana infinitamente larga paralela a la superficie; el método permite analizar como una ladera podría comportarse durante un evento sísmico, mediante el calculo del desplazamiento de una masa considerando la aceleración crítica a_c como efecto de la carga sísmica y FS .

El método de Newmark realiza un análisis de estabilidad de la ladera como un bloque (masa) que se desliza por una superficie de falla bien definida e idealizada como un plano inclinado, considerando como unidad de análisis un elemento vertical de ancho b y altura z . El bloque se desplaza hacia abajo debido a la aceleración crítica rompiéndose el equilibrio estático entre el bloque y la superficie inclinada Figura 109 (Jibson, Harp, y Michael, 2000).

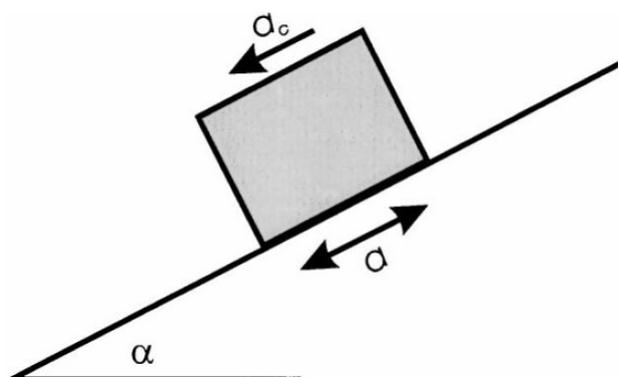


Figura 109: Bloque deslizando método de Newmark (Jibson y cols., 2000)

Durante un evento sísmico se genera un desplazamiento del bloque superando la fuerza cortante debido a una fuerza sísmica (a) en la base, por lo que este se desplaza debido a la aceleración crítica la cual Newmark (1965) expresa en función del factor de seguridad estático y la geometría de la ladera.

$$a_c = (FS - 1) \cdot \sin \alpha \quad (8.14)$$

Donde FS es el factor de seguridad en condiciones estáticas y α es el ángulo de inclinación de la ladera en grados.

Siguiendo la metodología expuesta por Jibson y cols. (2000) para la implementación del método de Newmark, tenemos que el factor de seguridad estáti-

co se calcula en cada unidad de análisis mediante equilibrio limite teniendo en cuenta el componente de la fricción y cohesión del material y la presión de poros.

$$FS = \frac{c'}{\gamma \cdot t \cdot \sin \alpha} + \frac{\tan \phi'}{\tan \alpha} - \frac{m \cdot \gamma_w \cdot \tan \phi'}{\gamma \cdot \tan \alpha} \quad (8.15)$$

Donde:

c' : Cohesión efectiva [kPa]

t : Altura del elemento vertical [m]

γ : Peso específico del suelo [kNm^{-3}]

γ_w : Peso específico del agua [kNm^{-3}]

α : Ángulo de inclinación de la ladera [$^\circ$]

m : Porción saturada de t [m]

ϕ' : Ángulo de fricción efectiva [$^\circ$].

Luego de obtener FS se calcula el desplazamiento de Newmark D_N en función de a_c para determinar la zonificación, teniendo en cuenta dos escenarios de ocurrencia de movimientos en masa ante sismo. (i) análisis de las laderas en condiciones secas y (ii) en condiciones saturadas, correspondiente a la condición más crítica.

$$\log D_N = 0,215 + \log \left[\left(1 - \frac{a_c}{PGA}\right)^{2,341} \cdot \left(\frac{a_c}{PGA}\right)^{-1,438} \right] \pm 0,510 \quad (8.16)$$

Siendo PGA la aceleración máxima en el terreno. El análisis se realiza considerando el PGA más alto presentado por el SGC. Para el municipio de Arauquita se presenta un rango de 0,1 a 0,2 considerando un periodo de retorno de 475 años con una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años (https://srvags.sgc.gov.co/jsviewer/Amenaza_Sismica_2020/).

Para el modelo de estabilidad es necesaria la representación de las características físicas del terreno y su distribución espacial. Se requiere el modelo de elevación digital el cual posee una resolución espacial de 12,5 m x 12,5 obtenido de la plataforma *ALOS PALSAR*. El mapa de espesor de la capa superficial del suelo Z , elaborado mediante la metodología propuesta por Catani y cols.

(2010) *S model*. Se asumió profundidades menores a 3 m (h_{max}) considerando los deslizamientos como superficiales (Anderson y Sitar, 1995; Aristizábal y cols., 2010). Determinando la distribución espacial del espesor de suelo deslizante Z mediante la ecuación 8.17 que se basa en la relación inversa de la pendiente con el espesor del suelo.

$$h_i = h_{max} \left[1 - \frac{\tan \theta_i \cdot \tan \theta_{min}}{\tan \theta_{max} \cdot \tan \theta_{min}} \cdot \left(1 - \frac{h_{min}}{h_{max}} \right) \right] \quad (8.17)$$

Donde θ_{max} y θ_{min} corresponden a los valores máximos y mínimos de elevación o pendiente, mientras h_{max} y h_{min} son valores que restringen el espesor h_i .

La estimación de los parámetros geotécnicos, tales como: cohesión c' , ángulo de fricción ϕ , peso unitario γ_s y conductividad hidráulica saturada k_s , se asignaron a partir de las características texturales del suelo típico de cada material identificado en la cuenca, considerando la descripción de las unidades geológicas presentadas por INGEOMINAS (2010) y los rangos de valores de parámetros geotécnicos recopilados en <http://www.geotechdata.info/parameter/>. En la Tabla 44 se presenta la parametrización geotécnica de cada unidad geotécnica homogénea en donde las propiedades de resistencia e hidráulicas se consideran constantes ajustada al tipo de suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS) correspondiente a las unidades geológicas superficiales (Figura 82).

Tabla 44: Parámetros geotécnicos para las unidades geológicas superficiales

Unidad	Tipo de suelo	c' (kPa)	ϕ°	$\gamma_s(kN/m^3)$	$k_s(m/s)$
Qal	SW	0	38	19	$1,0x10^{-6}$
Qaa	ML-OL	20	32	18	$1,0x10^{-7}$
Qa	SC	11	31	18	$5,5x10^{-5}$
Qalim	SM-SC	20	34	18	$5,5x10^{-5}$

La zonificación de la amenaza por movimientos en masa detonados por sismo se realiza a partir de lo presentado por Jibson y Michael (2009), categorizando la amenaza es en función de D_N de la siguiente manera:

- Amenaza Baja para las zonas con desplazamientos nulos y un máximo de 1 cm.

- Amenaza Media para las zonas con desplazamientos de 1 a 5 cm.
- Amenaza Alta para las zonas con desplazamientos superiores a los 5 cm.

En la Figura 110 se observa la amenaza por movimientos en masa detonadas por sismo. La amenaza en la cuenca es nula hasta en su estado más crítico (saturada) debido a la topografía plana del territorio, por ende se clasifica todo en amenaza baja.

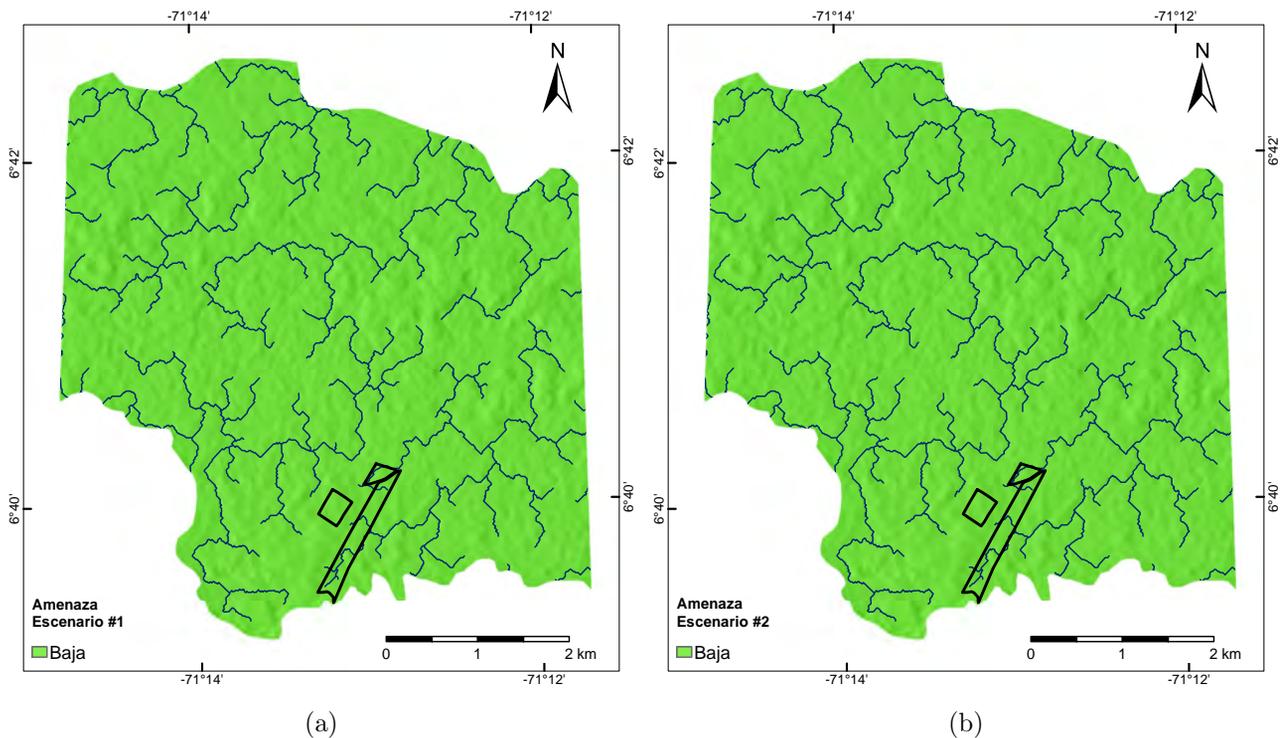


Figura 110: Amenaza por movimientos en masa detonados por sismo. a) Escenario #1 condición seca. b) Escenario #2 condición saturada.

8.7. Mapas de amenaza

Para obtener el mapa por movimientos en masa se cruza los tres escenarios evaluados: (i) susceptibilidad (AHP + asignación de peso directo) (ii) amenaza movimientos en masa detonados por sismos (Newmark), y (iii) amenaza movimientos en masa detonados por lluvia (SHALSTAB). Los tres mapas fueron cruzados conservando para cada celda la categoría de amenaza mayor, como criterio conservador. Para el caso de sismo como factor detonante, y el cual presenta dos escenario (seco y húmedo), se utilizaron ambos, pero modificando la amenaza alta del escenario saturado a amenaza media. Ya que dicho valor representa un escenario extremo y con periodo de retorno cercano a 500 años. Para

el mapa de amenaza por lluvia como factor detonante se conservaron las zonas incondicionalmente inestables e incondicionalmente estables como de amenaza alta y baja respectivamente. Y las celdas con un potencial de fallar ante diferentes escenarios de lluvia se definieron como de amenaza media. Esto permite considerar todos los periodos de retorno de la precipitación en dicho mapa. Es importante resaltar, como se explicó previamente, que dicho mapa corresponde a un escenario de lluvia intensa y que abarca espacialmente una micro-cuenca del área de influencia. Este escenario es poco probable que se desarrolle con dichas intensidades sobre toda la cuenca simultáneamente. Los gradientes de energía necesarios para este tipo de eventos convectivos se presenta en celdas de pocos kilómetros cuadrados. Sin embargo, si es posible que dichos eventos se presenten espacialmente en cualquiera de las microcuencas de la zona de influencia.

La Figura 111 presenta el mapa de amenaza por movimientos en masa combinando los diferentes escenarios del factor detonante.

La amenaza por movimientos en masa para el antiguo ETCR Filipinas, al mezclar diferentes variables como se muestra a lo largo del capítulo, se convierte en un método bastante sensible a nivel regional, lo cual logra tener una caracterización entre los tres niveles de amenaza, pero finalmente dentro del predio se considera que este no es un fenómeno que ocurra. Los procesos de remoción en masa que podrían afectar el predio son la erosión laminar y la socavación de las orillas en afluentes.

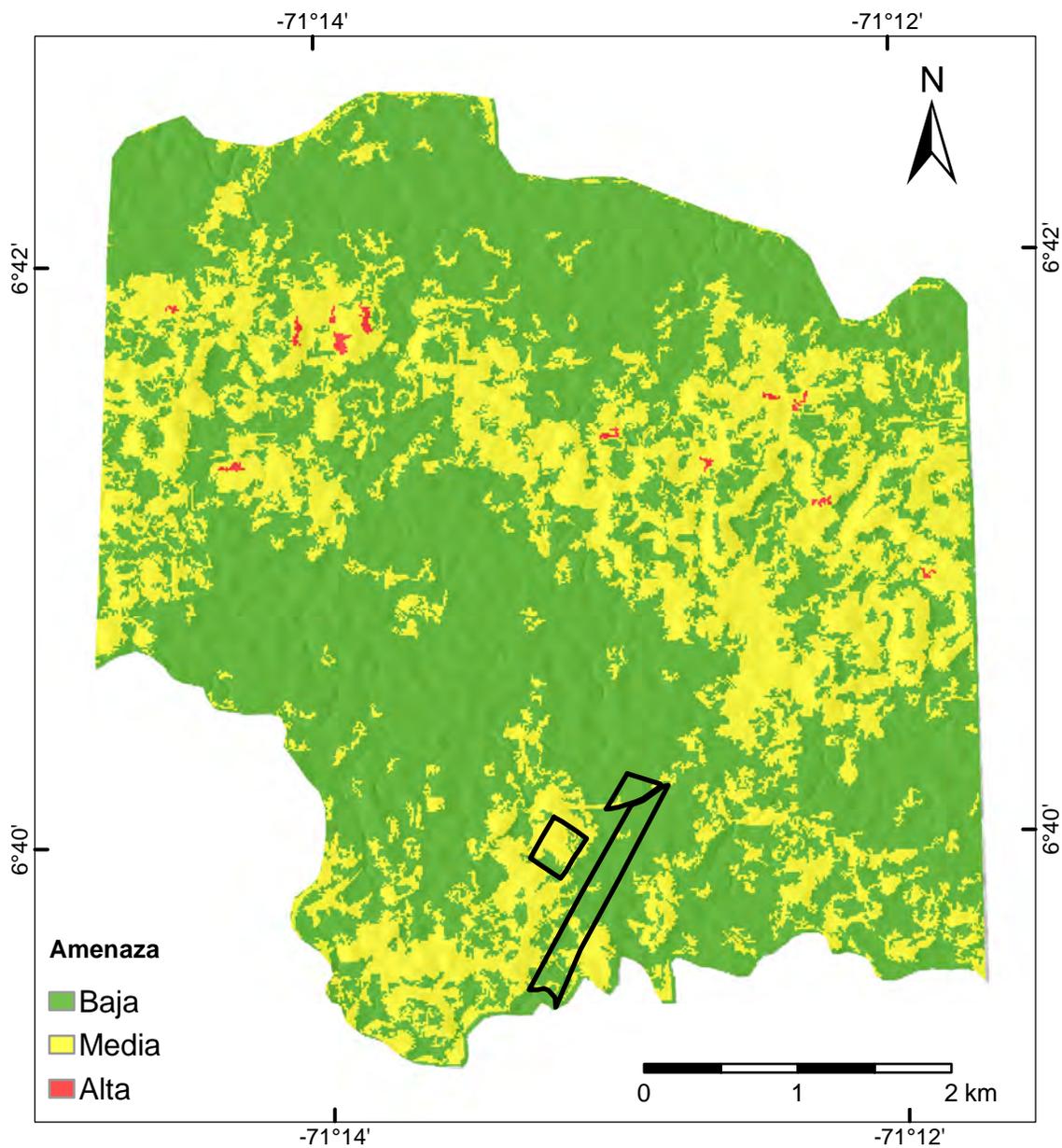


Figura 111: Mapa de amenaza por movimiento en masa

Referencias

- Anderson, S. A., y Sitar, N. (1995). Analysis of Rainfall-Induced Debris Flows. *Journal of Geotechnical Engineering*, 121(12), 544–552. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1995\)121:7\(544\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1995)121:7(544))
- Aristizábal, E., Martínez, H., y Veléz, J. I. (2010). Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*, 34(53), 209–227.
- Ayalew, L., y Yamagishi, H. (2004). Slope failures in the blue Nile basin, as seen from landscape evolution perspective. *Geomorphology*, 57(1-2), 95–116.
- Bonham-Carter. (1994). Geographic information systems for geoscientists: Modelling with GIS. *G.F.*, 398.
- Brabb, E. E. (1985). Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping. En *International landslide symposium proceedings, Toronto, Canada* (Vol. 1, pp. 17–22).
- Carrara, A. (1983). Multivariate models for landslide hazard evaluation. *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, 15(3), 403–426.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., y Reichenbach, P. (1991). GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth surface processes and landforms*, 16(5), 427–445.
- Catani, F., Segoni, S., y Falorni, G. (2010, 05). An empirical geomorphology-based approach to the spatial prediction of soil thickness at catchment scale. *Water Resources Research*, 46. doi: 10.1029/2008WR007450
- Chica, A. (1989). Apuntes de geotecnia: Curso de geotecnia y prácticas geotécnicas. , 1–120.
- Cruden, D. M. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur*, 43(1), 27–29.
- Cruden, D. M., y Hu, X. (1996). Hazardous modes of rock slope movement in the Canadian Rockies. *Environmental & Engineering Geoscience*, 2(4), 507–516.
- Dai, F., Lee, C., Li, J., y Xu, Z. (2001). Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental Geology*, 40(3), 381–391.
- Gilabert, M. A., González-Piqueras, J., y García-Haro, J. (1997). Acerca de los índices de vegetación. *Revista de teledetección*, 8(1), 1–10.
- Gruber, S., y Peckham, S. (2009). Land-surface parameters and objects in hydrology. *Developments in Soil Science*, 33, 171–194.
- Hansen, A. (1984). Landslide hazard analysis. *Slope instability*, 523–602.
- Hansen, A., Franks, C., Kirk, P., Brimicombe, A., y Tung, F. (1995). Application of GIS to hazard assessment, with particular reference to landslides in Hong Kong. En *Geographical information systems in assessing natural hazards* (pp. 273–298). Springer.
- INGEOMINAS. (2010). *Informe Final Plancha 139-Betoyes* (Inf. Téc.). doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
- Jibson, R. W., Harp, E. L., y Michael, J. A. (2000). A method for producing digital probabilistic

- seismic landslide hazard maps. *Engineering Geology*, 58(3), 271 - 289. doi: [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(00\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(00)00039-9)
- Jibson, R. W., y Michael, J. A. (2009). Maps showing seismic landslide hazards in Anchorage, Alaska. *U.S. Geological Survey Scientific Investigations*, 11p.
- Londono, J. (2006). *Evaluación holística de riesgo frente a deslizamientos en áreas urbanas andinas, universidad nacional de colombia, maestría en medio ambiente y desarrollo* (Tesis Doctoral no publicada). Tesis. Manizales.
- Montgomery, D. R., y Dietrich, W. E. (1994). A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. *Water resources research*, 30(4), 1153–1171.
- Moore, I. D., Grayson, R., y Ladson, A. (1991). Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological processes*, 5(1), 3–30.
- Newmark, N. M. (1965). Effects of earthquakes on dams and embankments. *Géotechnique*, 15(2), 139–160. doi: 10.1680/geot.1965.15.2.139
- Olaya, V., Hengl, T., y Reuter, H. (2009). Geomorphometry—concepts, software, applications. *Developments in soil science*, 33, 141.
- O’loughlin, E. (1986). Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis. *Water Resources Research*, 22(5), 794–804.
- Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B., Mihir, M., y Guzzetti, F. (2018). *A review of statistically-based landslide susceptibility models* (Vol. 180) (n.º 2017). Elsevier B.V. Descargado de <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.001> doi: 10.1016/j.earscirev.2018.03.001
- Rouse Jr, J. (1974). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation.
- Saaty, T. (1980). *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*: McGraw-hill. Inc. New York, NY.
- Sader, S., y Winne, J. (1992). Rgb-ndvi colour composites for visualizing forest change dynamics. *International journal of remote sensing*, 13(16), 3055–3067.
- SGC. (2013). Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1: 100.000. *Servicio Geológico Colombiano*, 2, 158.
- SGC. (2017a). *Guía Metodológica para la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa Escala 1:25000*. doi: 10.1002/chem.201301917
- SGC. (2017b). *GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:25.000*.
- Soeters, R., y Van Westen, C. (1996). Slope instability recognition, analysis and zonation. *Landslides: investigation and mitigation*, 247, 129-177.
- Tovar, C. M. (2012). El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque. *Unasylva: revista internacional de silvicultura e industrias forestales*(238), 39–46.
- van Westen, C. J., Castellanos, E., y Kuriakose, S. L. (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Eng. Geol.*, 102(3-4), 112–131. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.010> doi: 10.1016/j.enggeo.2008.03.010
- Zhu, J., Miller, A. E., Lindsay, C., Broderson, D., Heinrichs, T., y Martyn, P. (2013). *Modis ndvi products and metrics user manual*. Version.

Capítulo 9

Amenaza por Inundaciones

Introducción

Las inundaciones están asociadas a procesos hidrológicos de lluvias persistentes que aumentan el nivel de las aguas de escorrentía y pueden repercutir en eventos amenazantes. Estos eventos hacen parte de la dinámica de una corriente (IDEAM, 2014).

Para llevar a cabo la zonificación de la amenaza por inundación, se debe realizar una caracterización hidrológica de la cuenca hidrográfica objeto de estudio y la estimación de las descargas pico como respuesta a eventos de lluvias intensas, mediante modelos lluvia escorrentía y análisis de frecuencias se estiman caudales máximos de diseño para los diferentes períodos de retorno.

El tránsito hidrológico es llevado a cabo mediante el modelo agregado de tanques paramétrico con resolución temporal diaria propuesto por Vélez (2001). Esto debido a la magnitud del área de drenaje que tienen las cuencas objeto de estudio (centenares de kilómetros cuadrados).

9.1. Definición del área de influencia para la evaluación de inundaciones

Las inundaciones se presentan por emplazamiento paulatino o violento de las aguas y sedimentos en cantidades abundantes sobre una determinada superficie que normalmente no está sumergida, con duración, frecuencia, magnitud e intensidad determinada por la interacción entre el tipo de inundación y las características morfoestructurales y culturales del lugar, la manifestación de este evento de origen natural; algunos por su periodicidad, violencia y daños causados al hombre; se convierten en fuertes limitantes para los procesos antrópicos, Lage (1997).

Las cuencas hidrográficas que afectan el antiguo ETCR Filipinas vienen desde el piedemonte de la cordillera oriental con alturas que sobrepasan los 4500 metros entre los límites del municipio de Tame con el municipio de el Cocuy en el departamento de Boyacá, hasta altitudes cercanas a los 100 metros en el extremo oriental entre los municipios de Cravo Norte y Corozal en Arauca,

Por la morfología del área que afecta el antiguo ETCR Filipinas, se ubican 2 cuencas hidrográficas, la Cuenca Río Ele que es la que está ubicada al oeste tiene una extensión de 478,9 ha y está siendo controlada morfo dinámicamente por el Río Ele, igualmente se encuentran dentro de esta cuenca los ríos Cuarteles y Maporal, , hacia el este se encuentra la cuenca Caño La Arenosa igualmente controlada por varias corrientes de agua próximas a la vereda Filipinas (Figura 112).

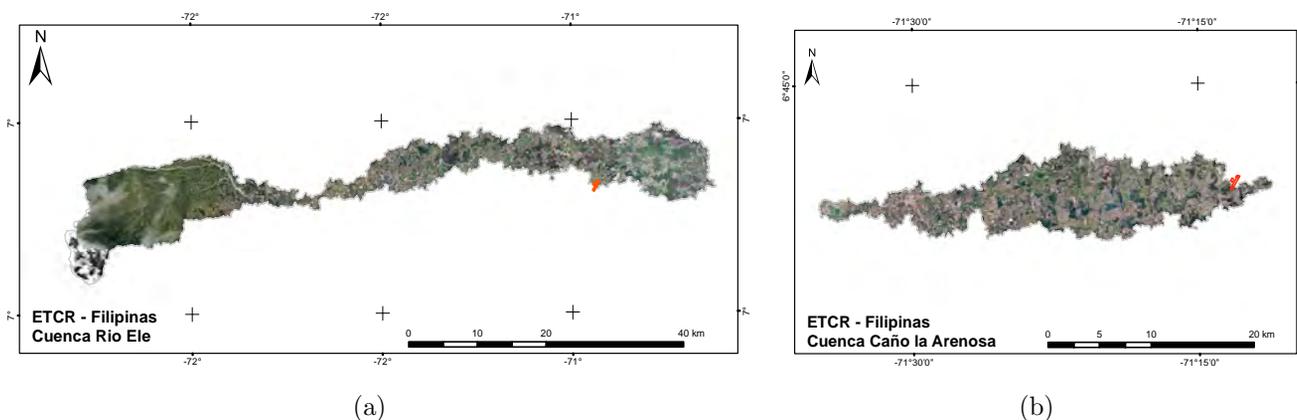


Figura 112: Cuencas Filipinas

9.2. Catalogo histórico de eventos

La realización del inventario histórico por inundaciones, toma como base de datos los registros disponibles para el municipio de Araumita en las plataformas del Sistema de Inventario de Desastres (DesInventar), con el fin de dar una mirada en la morfodinámica regional asociada al antiguo ETCR Filipinas.

El DesInventar (<http://www.desinventar.org>) es una herramienta de software que permite la compilación, sistematización, organización y visualización de los desastres históricos y el análisis de estos desde un punto de vista espacial y temporal. La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres (LA RED), la corporación Observatorio Sismológico del Suroccidente Colombiano (OSSO) y La Oficina de la Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR) iniciaron este proyecto a finales de 1993 con el fin de proveer

a los diversos actores en actividades de prevención y mitigación de desastres de mejores capacidades para el acopio, procesamiento, análisis y representación homogénea de los desastres OSSO y La RED (2009). Actualmente la plataforma cuenta con catálogos de 30 países entre los que se encuentra el inventario histórico nacional de desastres de Colombia con información desde el año 1914.

Durante el periodo comprendido entre 1975 y el primer semestre del año 2017, el municipio de Arauquita registró en el catálogo del DesInventar un total de 59 eventos de tipo inundación, las cuales han dejado como saldo más de 78000 personas afectadas. El río Ele o Cusay representa el mayor cuerpo de agua cercano al predio Filipinas y reporta eventos de inundación en los años 1985, 1994, 2002, 2004 y 2009. En el año 2012 se reporta el desbordamiento del Caño Caranal en la vereda Filipinas.

9.3. Estimación de caudales máximos

Para determinar la amenaza por inundación es importante entender el comportamiento hidrológico de la región, para ello se busca estimar caudales pico ya que estos son determinantes para la estimación de variables hidráulicas a partir de las cuales se construyen las manchas de inundación.

9.3.1. Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia

Con el fin de conocer el comportamiento de la lluvia en la región, se recurre a las curvas Intensidad, duración y Frecuencia (IDF) de las estaciones pluviográficas de la red nacional de monitoreo del IDEAM.

Las estaciones pluviográficas de las cuales se obtienen las curvas Intensidad – Frecuencia – Duración para los diferentes períodos de retorno en las cuencas hidrográficas se muestran a continuación en la Figura 113, a partir de éstas se obtienen por interpolación espacial usando el método de distancia inversa ponderada *IDW* las curvas correspondiente al área de interés. Las curvas IDF obtenidas para la Cuenca B se muestran posteriormente en la Figura 114.

9.3.2. Modelo lluvia esorrentía - modelo de tanques

El estudio de la relación entre la precipitación que ocurre sobre una cuenca y la correspondiente esorrentía que genera, es uno de los aspectos básicos del análisis hidrológico. La evaluación de esta relación ha sido objeto de numerosos estudios e investigaciones: desde las primeras formulaciones desarrolladas por

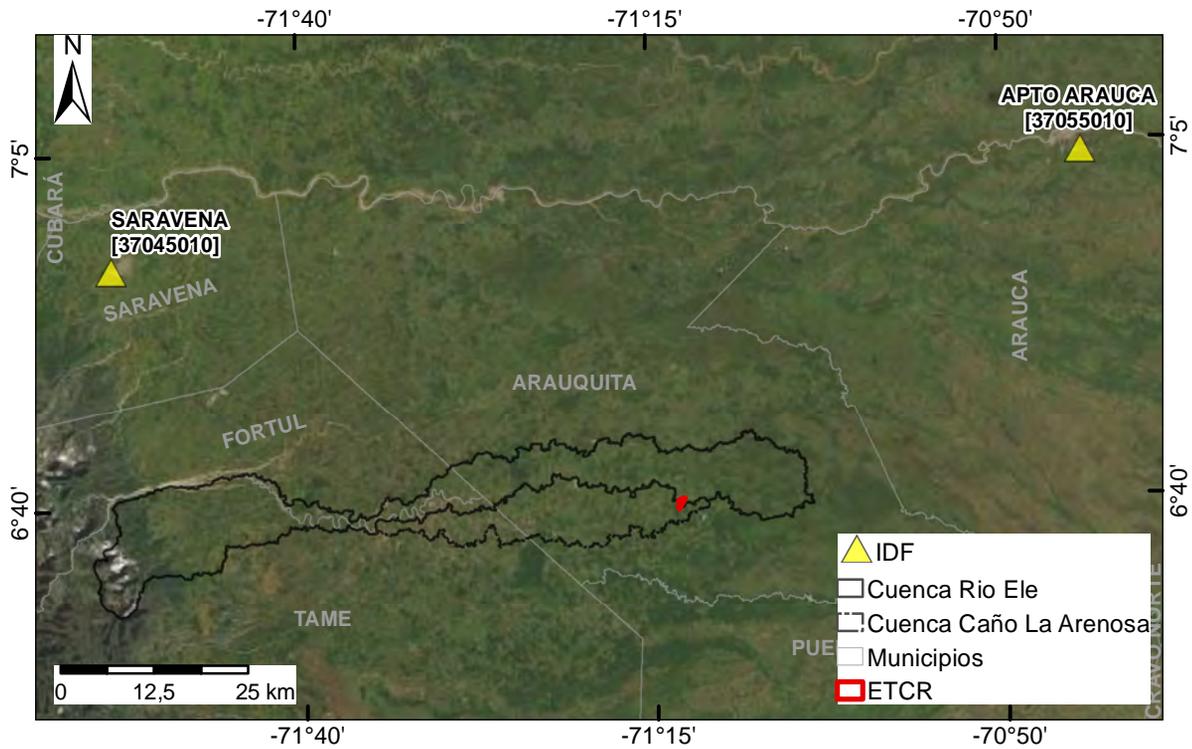


Figura 113: Ubicación de Estaciones pluviográficas en las cuencas Ele y La Arenosa

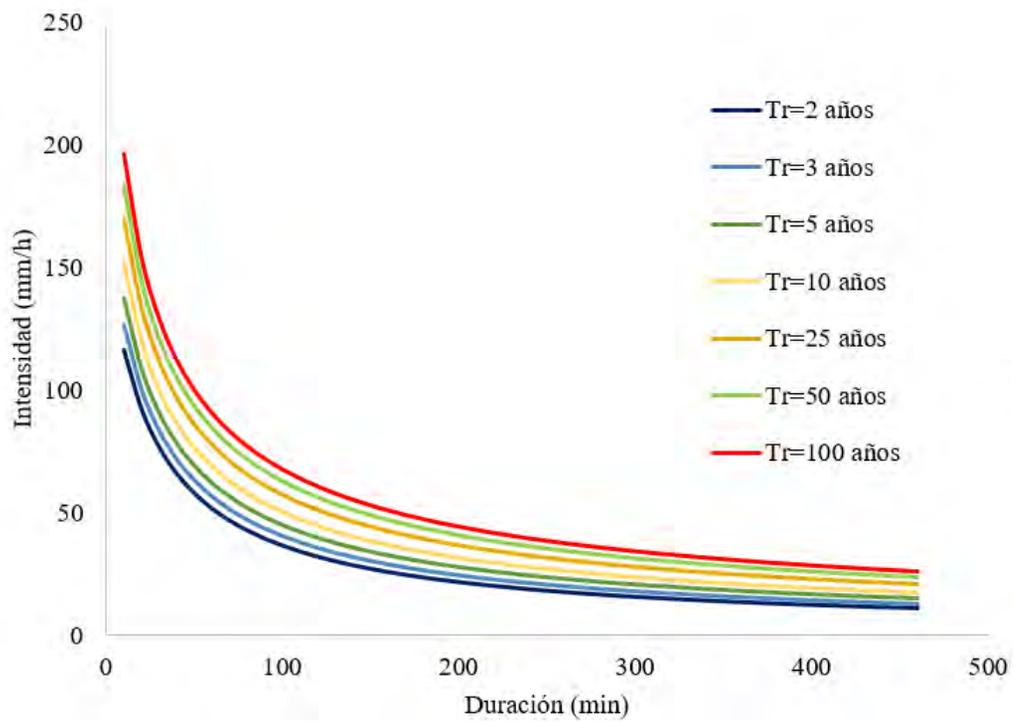


Figura 114: Curvas IDF

(Mulvaney, 1851), se han desarrollado numerosos procedimientos y metodologías para su estudio. En este contexto surgen los modelos lluvia-escorrentía, los cuales son una valiosa herramienta que permite simular la producción de caudal de una cuenca hidrográfica ante la carencia de registros de medición. En esencia, estos modelos lo que buscan es emular y pronosticar algunos procesos dentro del sistema hidrológico.

Dado que no existe información específica de caudales para cada una de las Cuencas Hidrográficas de los antiguos ETCR objeto de este estudio, se implementa un modelo lluvia-escorrentía para suplir la ausencia de instrumentación en las cuencas de mayor tamaño, como es el caso de las cuencas correspondientes al río Ele y el caño La Arenosa aledañas al antiguo ETCR de Filipinas. Si bien se cuenta con algunas estaciones de caudal en la zona, estas estaciones no corresponden estrictamente con las cuencas de trabajo, por lo que serán usadas fundamentalmente para la calibración del modelo, específicamente la estación de IDEAM Cravo Norte ubicada sobre el río Casanare (código 36027050).

En este estudio se aplica el Modelo Hidrológico Conceptual Agregado desarrollado por Vélez (2001) a las cuencas de mayor área de drenaje y donde la resolución temporal diaria es adecuada para la estimación de caudales máximos para diferentes períodos de retorno. El modelo se basa en la representación de diferentes componentes de la fase terrestre del ciclo hidrológico a través de cuatro tanques interconectados entre sí: uno representa el almacenamiento capilar, otro el flujo superficial, otro el flujo subsuperficial y otro el flujo subterráneo. Al ser un modelo conceptual configurado a partir de tanques, este modelo lluvia-escorrentía también recibe el nombre de “Modelo de Tanques”. Se realiza aquí una descripción somera del funcionamiento conceptual del modelo, para mayor detalle, remitirse a Vélez (2001).

El modelo de tanques desarrollado por Vélez (2001) realiza un balance de la cantidad de agua en cada uno de los tanques que lo conforman, actualizando los volúmenes de agua almacenados en cada uno. Uno de los principales insumos del modelo de tanques es la precipitación (X_1), la cual se toma de registros diarios de estaciones que influyen el área de la cuenca, ponderando cuál es la contribución de cada una de estas estaciones. En cada uno de los nodos (D_i) parte del agua se distribuye: una parte se dirige a uno de los tanques, y otra continúa hasta los niveles inferiores (X_i). La cantidad de agua que sigue hasta los niveles inferiores dependerá de la cantidad de agua que quede disponible después de la derivación en el nodo, del estado de almacenamiento del tanque

y de la conductividad hidráulica del nodo del conducto posterior al nodo. Cada tanque realiza una descarga (Y_i), que depende del volumen almacenado en el tanque.

A partir del segundo tanque, cada una de estas descargas corresponde a los diferentes aportes que se realizan al caudal: el aporte por escorrentía directa, el aporte por flujo subsuperficial y el aporte por el flujo base. En la Figura 115 se presenta un esquema del funcionamiento del modelo de tanques, así como la asociación física que tiene cada una de las etapas del modelo.

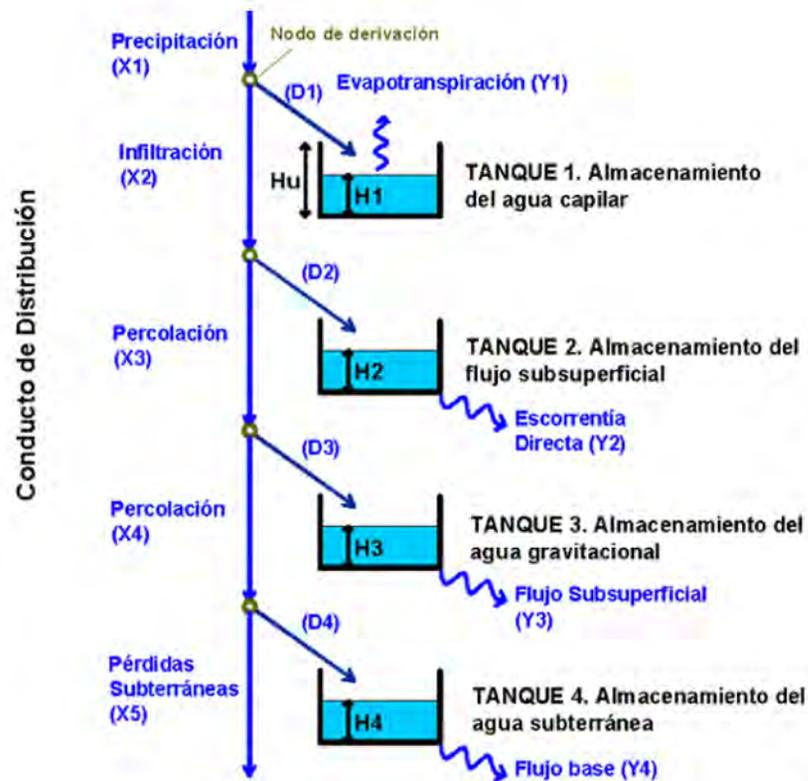


Figura 115: Esquema de funcionamiento del modelo

Tanque 1: Almacenamiento Capilar en el Suelo: Antes del tanque 1, el modelo deriva la precipitación X_1 en el nodo D_1 . Parte del agua va a los conductos inferiores, y parte se almacena en el tanque. El primer tanque representa el agua que transita por la cuenca y que solo sale por evapotranspiración, por lo que no hace parte de la escorrentía. En ella se ve representada el agua que es almacena en el suelo por capilaridad, a la detención de agua en los charcos y a la interceptación. La capacidad máxima de almacenamiento del tanque H_u está relacionada con la capacidad del suelo y de la cobertura de la superficie para almacenar agua. La capacidad de cobertura de la superficie para almacenar el

agua está estrechamente relacionada con la cobertura vegetal de la cuenca.

Tanque 2. Almacenamiento de Flujo Superficial: El tanque 2 del modelo representa el agua que puede infiltrarse a niveles inferiores del suelo o la que se transforma en escorrentía directa. La cantidad de agua que es almacenada en el segundo tanque ($H2$) depende de la capacidad del suelo para dejar pasar agua a su interior, representado a través de la conductividad hidráulica, que está en función del tipo y estructura del suelo, y que puede ser relacionada con la cobertura vegetal y los usos generales que tenga el suelo. La cantidad de agua que entra al tanque es la que resulta luego de la derivación del excedente del almacenamiento capilar ($X2$ - infiltración), y la que sale es la escorrentía directa ($Y2$) a través de la cuenca.

Tanque 3. Almacenamiento de agua gravitacional en la capa superior del suelo: El tanque 3 representa el agua almacenada en la capa superior del suelo, que se convertirá posteriormente en el flujo subsuperficial ($Y3$). La cantidad de agua que entra a este tanque es la resultante de derivación en el nodo $D3$, la cual se asocia a la cantidad de agua que se filtra por percolación ($X3$). Esta capacidad de percolación es representativa del tipo de subsuelo y de su estructura, lo que está altamente relacionado con las características geológicas de las capas inferiores del suelo. A su vez, la capacidad de percolación también está relacionada con aspectos geomorfológicos como el relieve.

Tanque 4. Almacenamiento subterráneo: El tanque $T4$ se consideraría como el almacenamiento de agua dentro del acuífero, en donde se almacena el agua gravitacional antes de salir como flujo base ($Y4$). El agua que es derivada al tanque 4 también se filtra como percolación a través de las capas inferiores del suelo.

La información de precipitación que requiere como entrada el modelo de tanques es de resolución diaria, por lo que el resultado del modelo será una serie de caudales medios diarios. Este caudal será calculado para cada paso de tiempo como la suma de la escorrentía directa ($Y2$), el flujo subsuperficial ($Y3$) y el flujo base ($Y4$).

La correcta aplicación del modelo requiere de un proceso de calibración, en el cual se seleccionan los valores adecuados de algunos parámetros de entrada. Para la calibración y validación del modelo se ha escogido la estación de IDEAM 36027050, que envuelve la zona de estudio, se ubica sobre el río Casanare y cuenta con más de 20 años de registro de caudales. A la estación seleccionada se le realiza el trazado de su cuenca aferente, con el objeto de estimar los caudales

a través del modelo y compararlos con el registro de la estación. Por envolver la zona de estudio se asume que la cuenca del río Casanare es hidrológicamente similar a las cuencas hidrográficas del antiguo ETCR Filipinas, logrando de esta manera cierta representatividad de los parámetros a escala regional. La calibración se realiza en el período temporal comprendido entre enero de 1994 y octubre de 2014 (20 años de registros diarios aproximadamente).

El criterio para seleccionar el grupo de parámetros que mejor se ajusta a los caudales observados se basó en la comparación visual de las series, en el cálculo del criterio de eficiencia de Nash-Sutcliffe (Nash, Eamonn, y Sutcliffe, 1970), en el error entre el caudal medio a largo plazo simulado y observado (“error del balance”), y en la estimación del error medio cuadrático RMSE. Adicionalmente, se verificó el comportamiento de la curva de duración de caudales. Las siguientes expresiones refieren al criterio de eficiencia de Nash (9.1), al balance (9.2) y al RMSE (9.3):

$$NASH(Q) = \left(1 - \frac{\sum (Q(t)_{obs} - Q(t)_{sim})^2}{\sum (\bar{Q}_{obs} - Q(t)_{obs})^2} \right) \quad (9.1)$$

$$Balance[\%] = \frac{\bar{Q}_{sim} - \bar{Q}_{obs}}{\bar{Q}_{obs}} \cdot 100 \quad (9.2)$$

$$RMSE[m^3/s] = \sqrt{\frac{\sum (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{N}} \quad (9.3)$$

Con $Q(t)_{obs}$ como el caudal observado, en función del tiempo t , $Q(t)_{sim}$ es el caudal simulado en el tiempo t , \bar{Q}_{obs} es el promedio de los caudales observados, \bar{Q}_{sim} es el promedio de los caudales simulados, y N es el número de datos.

El criterio de eficiencia de Nash es un indicador de qué tan similares son la serie simulada y la serie observada, y éste puede tomar valores en el rango $(-\infty, 1]$, donde 1 indica un ajuste perfecto entre las series. En términos generales, un valor positivo es satisfactorio, pues indica que la serie simulada tiene un ajuste más allá del promedio, siendo que mientras el número de Nash sea más cercano a 1, mejor será el ajuste a caudales extremos.

Por otro lado, el error del balance es un comparativo de qué tanto se ajustan los valores medios, y el error medio cuadrático es un indicador de la magnitud de los errores entre ambas series.

Uno de los principales insumos de entrada para el modelo lluvia-escorrentía es la información de las estaciones de precipitación que se encuentran dentro de la

cuenca y que poseen información suficiente. El modelo requiere que se defina la proporción del área de influencia de cada una de las estaciones de precipitación, por lo que se construyeron polígonos de Thiessen para determinar el aporte ponderado de cada estación a la cuenca sobre la que se realiza la calibración y posterior validación. Una vez validado el modelo, a través de estos mismos polígonos se determina el aporte ponderado de cada estación sobre las cuencas. En la Figura 116 se presenta la cuenca hidrográfica del río Casanare, la cuenca del río Ele y la cuenca del caño La Arenosa, las estaciones de precipitación diaria del IDEAM y la estación de caudales diarios utilizada para la calibración.

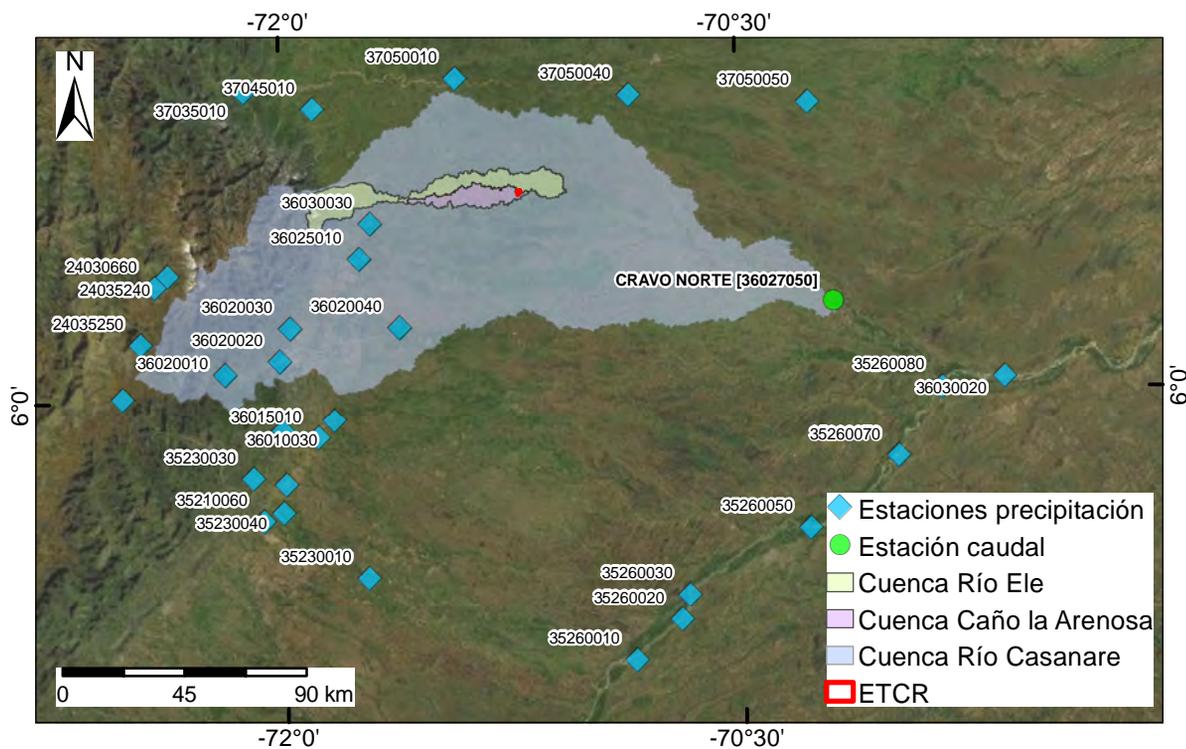


Figura 116: Ubicación estaciones de precipitación y caudal IDEAM Respecto a las cuencas

En la Tabla 45 se presenta un resumen con los parámetros obtenidos de la calibración del modelo lluvia -escorrentía, mientras que en la Figura se muestra un gráfico comparativo de la serie de registros diarios observados con la serie sintética generada a partir del modelo. En la Figura 117 se muestra la curva de duración de caudales (CDC) observada y estimada, la Figura 118 presenta la serie de caudales observados contra los estimados. En general los resultados del modelo son satisfactorios. En las Figuras 119 y 120 se presentan las series sintéticas estimadas para las cuencas del río Ele y el caño La Arenosa respectivamente.

Tabla 45: Parámetros calibrados para el modelo de tanques

Parámetros	Valor	Mínimo Sugerido	Máximo Sugerido
Almacenamiento Máximo Capilar	215,75	20	600
Conductividad Capa Sup (mm/día)	50,32	1	100
Conductividad Capa Inf (mm/día)	10	0,01	10
Perdidas Subterráneas (mm)	2,11	0	10
Tiempo de Residencia Flujo Superficial (días)	10	1	10
Tiempo de Residencia Flujo Subsuperficial (días)	10	1	10
Tiempo de Residencia Flujo Base (días)	50	50	200
Condiciones Iniciales (mm)			
Almacenamiento Capilar	221	0	216
Almacenamiento Agua Superficial	-25	0	10
Almacenamiento Gravitacional Z Sup	-7	0	30
Almacenamiento Gravitacional Z Inf (acuífero)	152	0	2000

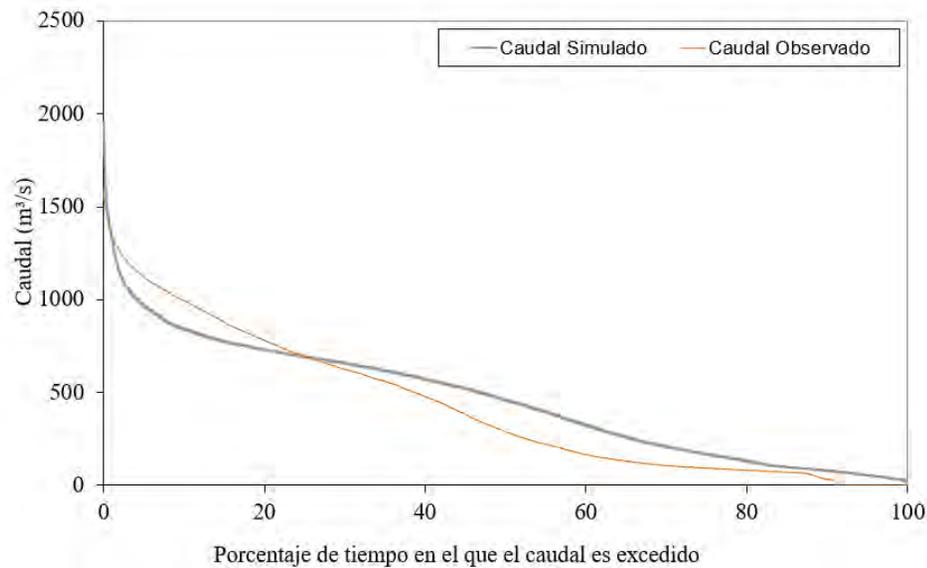


Figura 117: CDC entre la serie estimada y la observada

9.3.3. Análisis de frecuencia

Se realiza una prueba de bondad de ajuste y un análisis de frecuencia para la estimación de caudales máximos para diferentes periodos de retorno (2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 100 y 500 años) con el fin de establecer el comportamiento de los eventos extremos en el río Ele y el caño La Arenosa, aledaños al antiguo ETCR Filipinas.

Las distribuciones consideradas para el ajuste de los caudales tanto máximos como mínimos son: Normal, *Generalized Extreme Value (GEV)* la cual es una

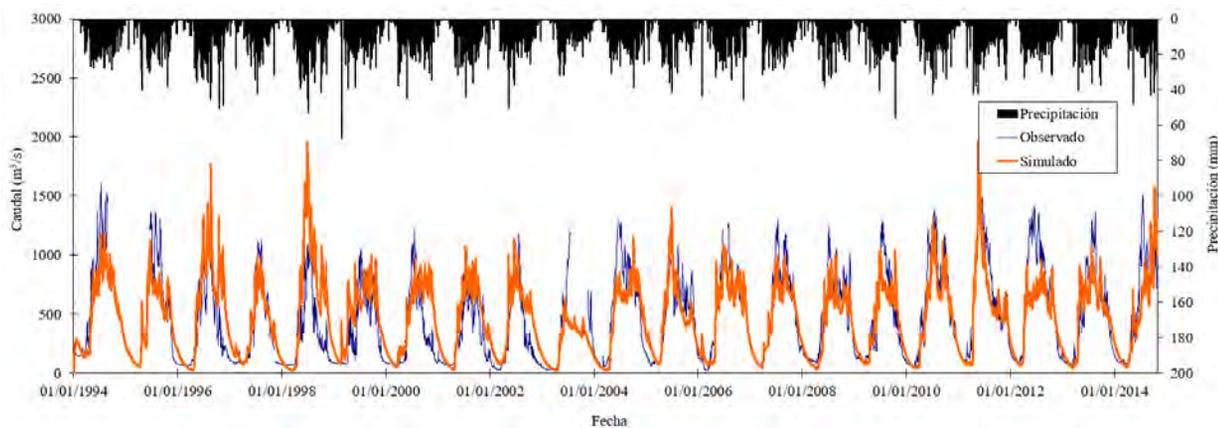


Figura 118: Serie de caudal estimada y observada

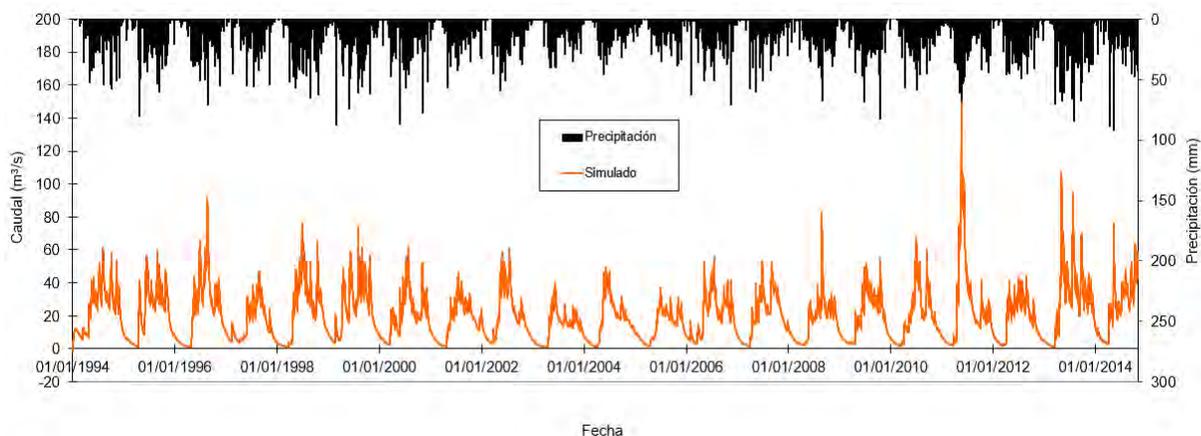


Figura 119: Serie de caudal sintética para el río Ele

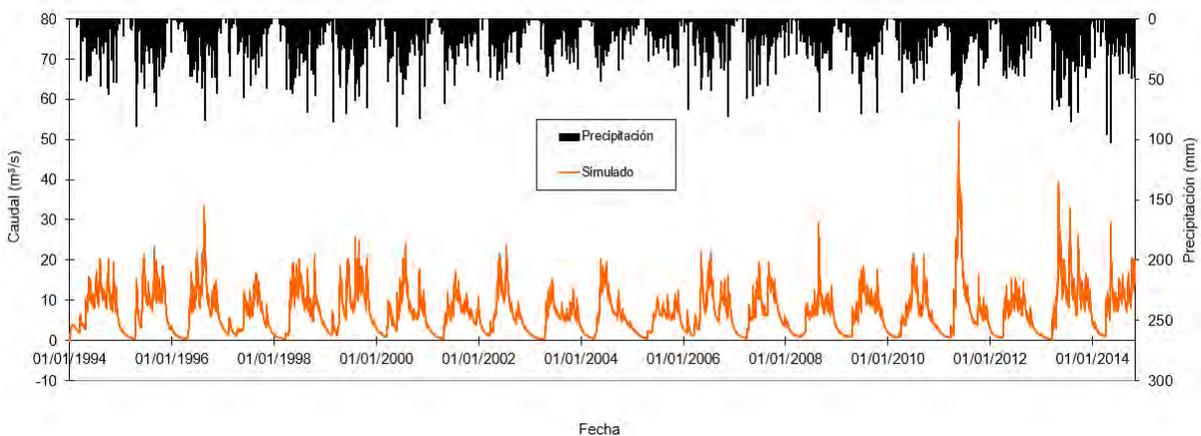


Figura 120: Serie de caudal sintética para el caño La Arenosa

forma más general de la distribución Gumbel y la distribución Gamma o Pearson de Tipo III. Adicional a las anteriores se consideran las distribuciones de los datos en logaritmo: Lognormal, Log-Gumbel y Log-gamma.

Tabla 46: Prueba de bondad de ajuste para el análisis de frecuencias - caudales río Ele

Bondad de ajuste								
Normal	Lognormal	GEV	logGEV	Gamma	Log-G	Dmín	D _α	H ₀
0,092	0,13	0,080	0,10	0,094	0,080	0,17	0,103	NO RECHAZA

Tabla 47: Prueba de bondad de ajuste para el análisis de frecuencias - caudales caño La Arenosa

Bondad de ajuste								
Normal	Lognormal	GEV	logGEV	Gamma	Log-G	Dmín	D _α	H ₀
0,0904	0,143	0,083	0,11	0,091	NaN	0,083	0,103	NO RECHAZA

Para establecer la función de distribución que mejor define el comportamiento de cada caudal en cada estación se utilizan los resultados de la prueba de bondad de ajuste; en este caso se emplea la prueba de Kolmogorov—Smirnov la cual compara la distribución empírica de los datos con la distribución teórica ajustada, esta prueba evalúa la mayor distancia $D_{n,m}$ entre las dos distribuciones $F_{1,n}(x)$ y $F_{2,m}(x)$ en una vecindad $|x - \epsilon|$ donde ϵ está definida por la cantidad n de datos de la distribución empírica (9.4).

$$D_{n,m} = \sup_x |F_{1,n}(x) - F_{2,m}(x)| \tag{9.4}$$

Este valor se compara con un valor crítico D_α que está en función de la cantidad de datos y el nivel de significancia α de la prueba, si la distancia no supera el valor crítico la hipótesis nula no puede ser rechazada y se considera que el ajuste es adecuado. Para la prueba se escogió un nivel de significancia de $\alpha=0,01$. Finalmente, de entre todas las distribuciones que se escoge la distribución con menor distancia $D_{n,m}$. En las Figuras 121 y 122 se presentan los resultados de la prueba de bondad de ajuste. Por otra parte, en la Tabla 46 y en la Tabla 47 se presentan los resultados de el test de Kolmogorov - Smirnov para el río Ele y el caño La Arenosa respectivamente, mientras que en la Tabla 48 se presentan los resultados obtenidos de caudales máximos para diferentes períodos de retorno según el análisis de frecuencias para el río Ele y en la Tabla 49. los resultados de caudales máximos para el caño La Arenosa.

Tabla 48: Caudales máximos para diferentes tiempos de retorno del río Ele

Río Ele								
Tr [años]	2	3	5	10	25	50	100	500
Q [m ³ /s]	27,05	36,41	47,16	61,16	79,67	94,02	108,80	149,86

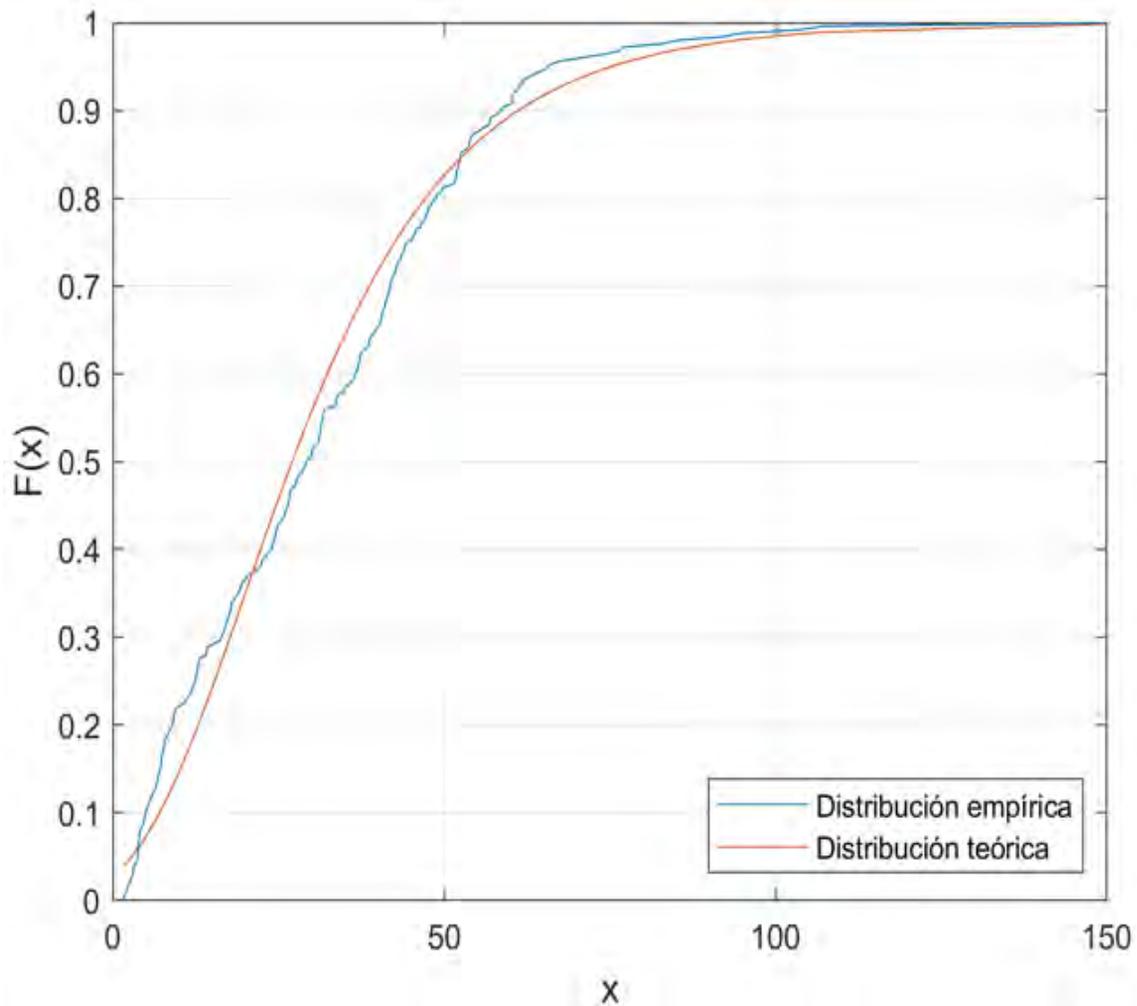


Figura 121: Prueba de bondad de ajuste río Ele

9.4. Zonificación de manchas de inundación a escala de cuenca

La estimación de amenaza por inundación a escala de cuenca se realiza a partir de los caudales máximos con período de retorno de 10, 100 y 500 años para nivel de amenaza alta, media y baja respectivamente. Las manchas de inundación se zonifican a partir del descriptor geomorfológico HAND por sus siglas en inglés *Height Above Nearest Drainage*, el cual es una normalización del DEM de acuerdo con la distancia vertical relativa al drenaje más cercano siguiendo las

Tabla 49: Caudales máximos para diferentes tiempos de retorno del caño La Arenosa

Caño La Arenosa								
Tr [años]	2	3	5	10	25	50	100	500
Q [m ³ /s]	9,81	13,16	16,97	21,86	28,22	33,08	38,00	54,60

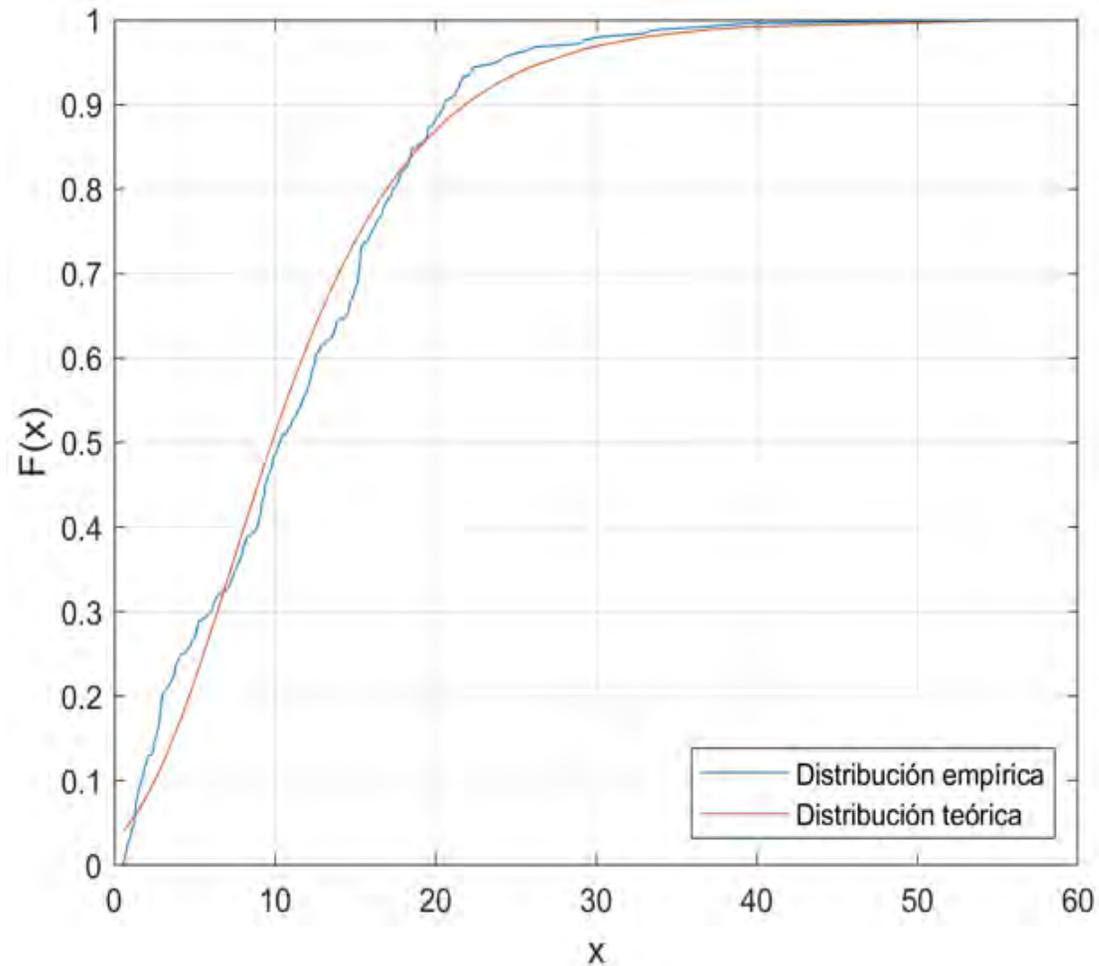


Figura 122: Prueba de bondad de ajuste río Ele

direcciones de drenaje. Asociado con niveles de inundación definidos a partir de curvas de calibración (nivel vs caudal).

La obtención del HAND parte de la red de drenaje, el mapa de direcciones de flujo y el DEM, estos dos primeros mapas permiten identificar la celda destino sobre la red de drenaje de cualquier celda, lo que permite calcular la elevación relativa como la diferencia entre la elevación de una celda determinada y la elevación de su celda destino sobre el canal. En la Figura se ilustra la obtención del HAND Rennó y cols. (2008).

Se utiliza como curva de calibración la obtenida con los datos del IDEAM en la estación 37037010 ubicada en la zona de planicie de los llanos orientales (Orinoquía colombiana), por similitud morfométrica con las corrientes correspondientes a las cuencas del antiguo ETCR Filipinas. La expresión de calibración

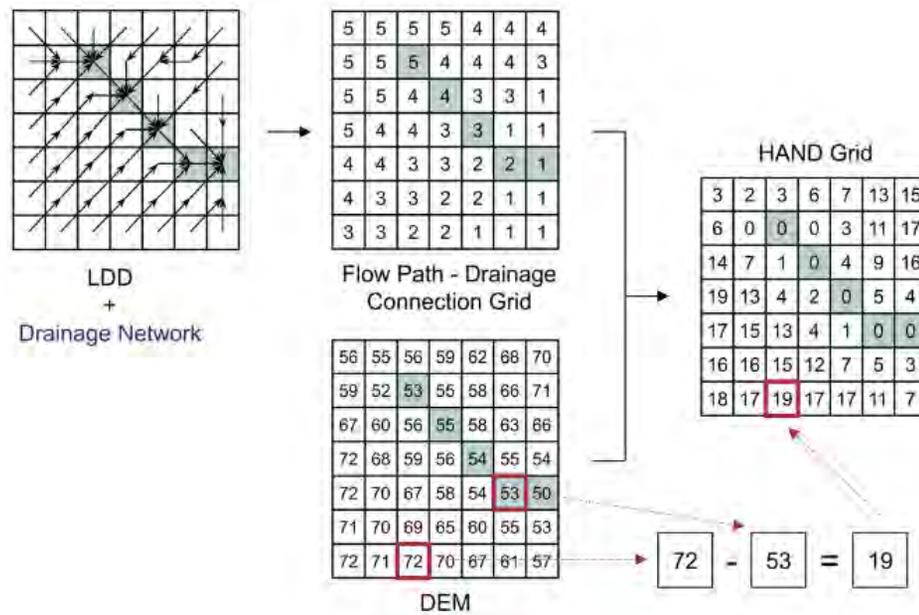


Figura 123: Descripción HAND, fuente: (Remnó y cols., 2008)

en este caso, está dada por la Ecuación 9.5:

$$H = 0,6474Q^{0,1995} \quad \text{Ríos de los Llanos Orientales} \quad (9.5)$$

Con el fin de definir los diferentes niveles de amenaza se establecen las zonas inundables para diferentes períodos de retorno en relación a la probabilidad de ocurrencia de la siguiente manera:

- Amenaza baja asociada al período de retorno de 500 años
- Amenaza media asociada al período de retorno de 100 años
- Amenaza alta asociada al período de retorno de 10 años.

A continuación, en la Figura 124 se presenta el descriptor geomorfológico HAND para la cuenca del río Ele. En la Figura 125 el calado resultante de la distribución del caudal máximo distribuido en la red de drenaje a manera de ejemplo en la cuenca del río Ele. Finalmente en la Figura 126 se muestra la zonificación de la amenaza por inundación en el antiguo ETCR Filipinas con el mapa de sombras de fondo en color gris. Si bien en los resultados se obtienen los tres niveles de amenaza como se mencionó anteriormente, la diferencia entre estos en mínima y por efectos de la escala la transición no se da de manera

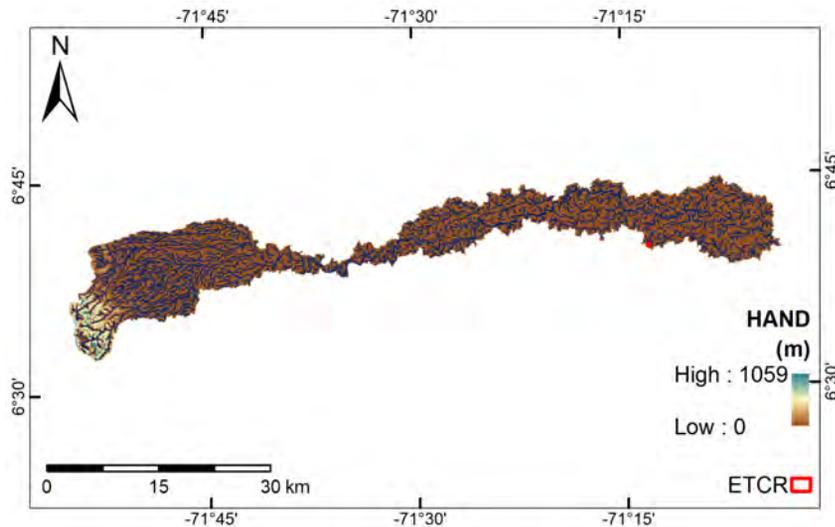


Figura 124: HAND río Ele

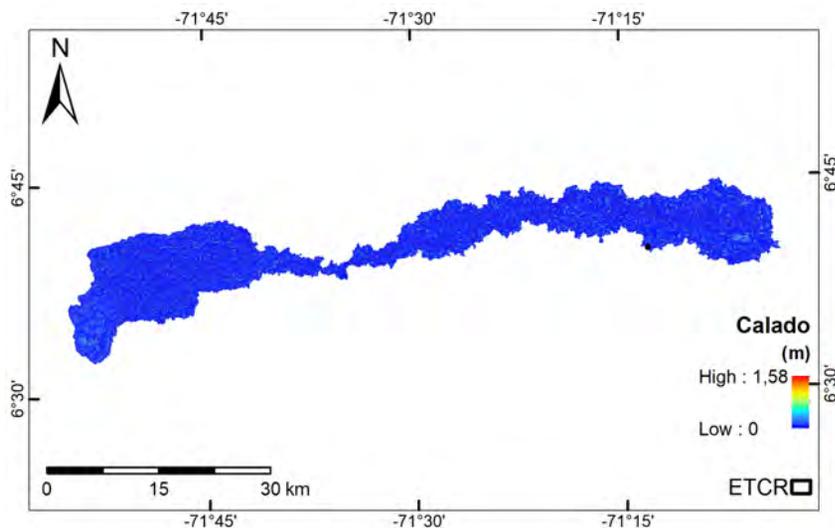


Figura 125: Ejemplo - calado río Ele

gradual y la mancha es poco sensible a la variación del caudal entre los diferentes períodos de retorno.

Se tiene que de las zonas con potencial de amenaza por inundación el 97 % de estas se encuentran en nivel alto, el 2 % en nivel medio y aproximadamente el 1 % se encuentran en nivel bajo, se tiene una baja sensibilidad de la metodología frente a la escala de trabajo en especial en zonas tan planas como los llanos de Arauca, por su parte el antiguo ETCR se encuentra influenciado por el caño La Arenosa y por el río La Ele. Es importante dar a entender que el objetivo de este tipo de modelación es identificar las corrientes que puedan representar una amenaza por inundación para el antiguo ETCR, sin embargo no posee la

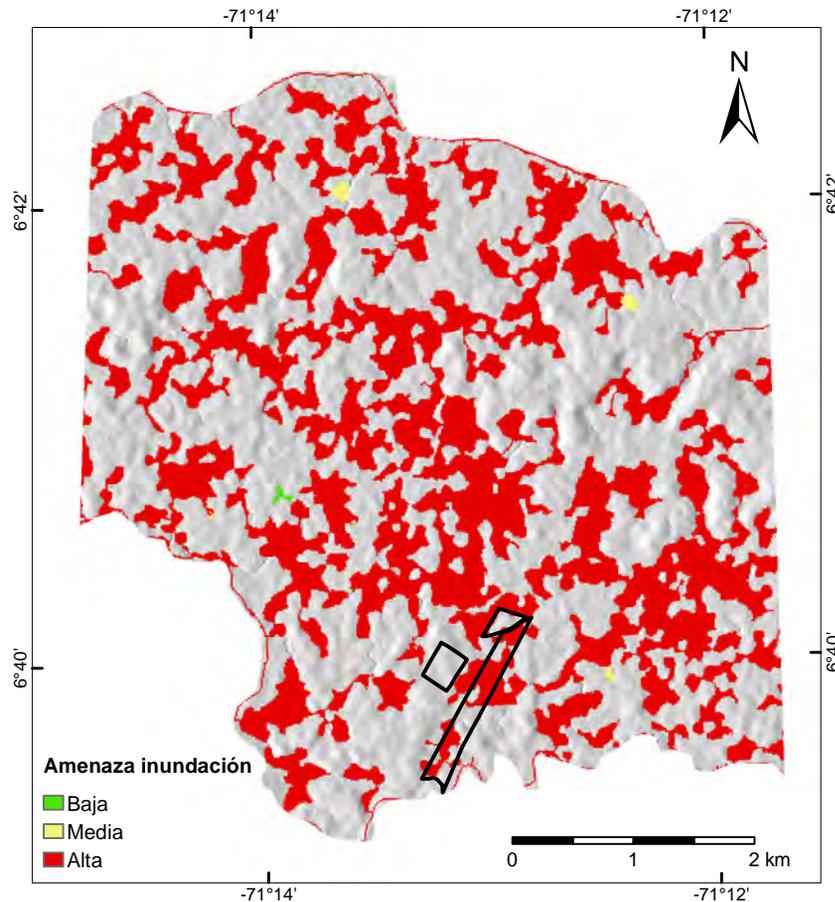


Figura 126: Zonificación amenaza por inundación en el antiguo ETCR Filipinas

escala adecuada para definir una zonificación, para esto se realizan los estudios de detalle donde se incluye el apartado de inundación.

9.5. Dinámica Fluvial

El termino fluvial hace referencia a cualquier cambio generado por la acción de un río como formas fluviales, procesos fluviales, sedimentos fluviales y organismos de agua dulce (Thomas y Goudie, 2009). La dinámica es una rama de la ciencia física que estudia el movimiento de los cuerpos y los diferentes factores físicos que lo alteran. Por lo tanto, la dinámica fluvial hace alusión al flujo de agua, el movimiento de sedimentos y las características de la forma del lecho como resultado de las constantes interacciones del flujo y el transporte de sedimentos en canales aluviales (Robert, 2014).

Los canales fluviales varían constantemente su morfología, debido a que estos se encuentran directamente influenciados por la variación local y sistemática

aguas abajo en el suministro de sedimentos, la capacidad de transporte y los efectos de la vegetación. Dichas variaciones en los canales incluyen cambios en el ancho, profundidad, velocidad, pendiente, rugosidad y tamaño de sedimento (Leopold y Maddock, 1953).

El río Ele se encuentra ubicado en la región Orinoquía, nace en la Sierra Nevada del Cocuy la cual provee de agua a numerosos caudales desde sus cumbres, como es el caso de los grandes ríos como el Arauca y Casanare. Al encontrarse las principales cuencas de captación en dichas cumbres, se garantiza que estos presenten buen caudal en el transcurso de todo el año, debido a que la sequía del verano es compensada con los deshielos (Domínguez, 1998).

Muy cerca de la zona de estudio Filipinas se encuentra el río Ele, el cual en este trayecto no mantiene un curso rectilíneo sino por el contrario presenta una morfología meándrica causada por la baja pendiente del cauce y la carga de sedimentos finos, lo que genera un equilibrio entre el material erosionado y depositado (Olivares Ramos, 2016).

Con el fin de establecer un comportamiento en la dinámica fluvial del río Ele a la altura de la zona de estudio Filipinas, se realizó un análisis del cauce para los años 1990, 2000, 2010 y 2020 como es observa en la Figura 127; para ello se utilizó imágenes satelitales Landsat 5 (ver figura (128), para cada año en cuestión. Donde se logró identificar que el cauce del río Ele, no ha permanecido constante, sino que por el contrario ha presentado desplazamientos en el tiempo.

Es de resaltar que la planicie conocida como llano de inundación ubicada entre el Meta y Apure, se caracteriza por el gradiente casi nulo de sus ríos y las altas precipitaciones que reciben durante la temporada de lluvias. Estas grandes masas de agua se unen finalmente con las procedentes del Orinoco, causando un represamiento y desbordando los causes e inundando extensas áreas. Las aguas procedentes de caños y ríos se juntan en una intrincada red de canales y lagunas, conocidas en la zona como esteros. El llano de inundación es importante ecológicamente para la biota y para evitar un desbordamiento masivo, ya que al desecarse los esteros del Lipa, Ele, Arauca, Sinaruco, Capanaparo y Apure, el nivel del río Orinoco ascenderá varios metros durante el invierno”, arrasando las ciudades ribereñas del bajo Orinoco (Domínguez, 1998).

Debido a lo anterior, se realizó un análisis de inundación en la zona para determinar si el área de estudio ha presentado eventos de inundación en los años donde se registró las mayores precipitaciones. Para ello se descargó una imagen del año 1999 de la zona con ayuda del satélite Landsat 5, debido a que

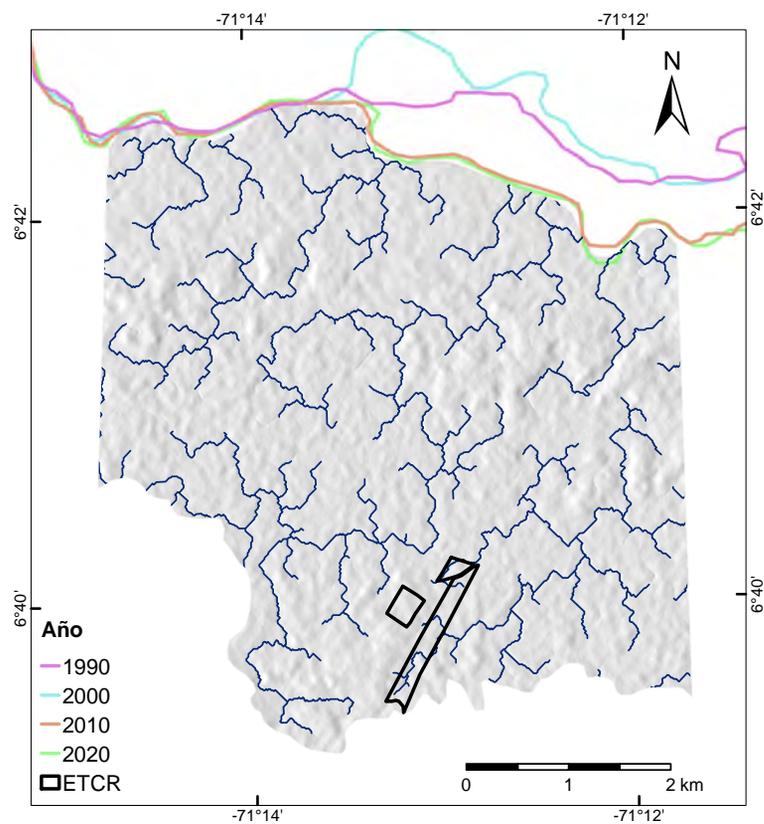


Figura 127: Dinámica fluvial río Ele

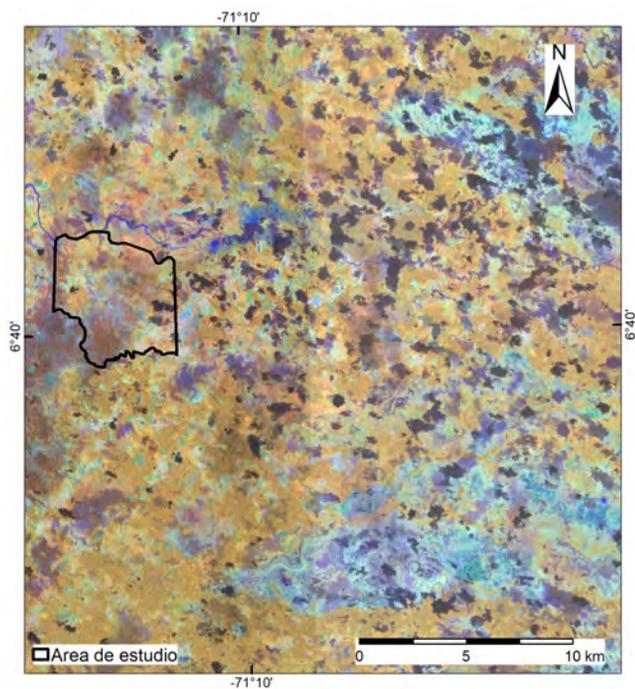


Figura 128: Zona inundación, combinación Landsat 5

en este año fue donde se registró los mayores eventos de precipitación según el Ideam, desde la puesta en marcha del satélite. Así, tras la combinación de las bandas que resaltan los cuerpos de agua se pudo determinar en la Figura 128 que las zonas de inundación o esteros se encuentran en la parte sur-oriental del sitio de estudio en tonalidades de azul. Además, esta información fue corroborada realizando una combinación de las bandas del satélite Sentinel-1, que resaltan las áreas de inundación en azul como se muestra en la Figura 129.

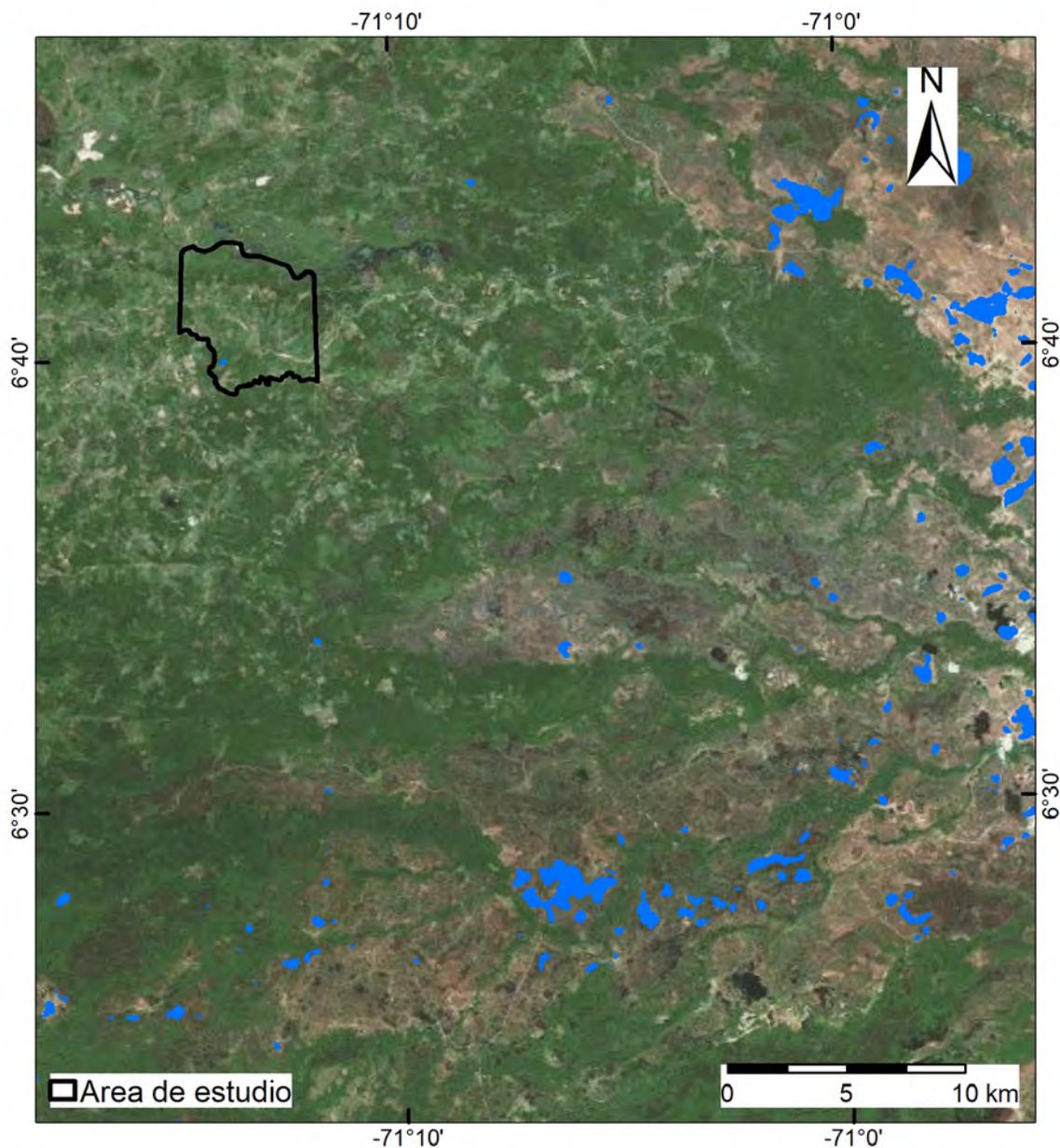


Figura 129: Zona inundación, combinación Sentinel 1

Finalmente, la Figura 130 muestra la distribución de agua superficial para el

año 2018 de la región cercana al área de estudio Filipinas, donde se evidencia que la zona inundable se encuentra localizada en la parte sureste del área de estudio. Esta información se determinó mediante Google Engine, a través de imágenes Landsat 5,7 y 8 que contienen la ubicación y distribución anual del agua superficial desde 1984 hasta 2015 basado en los valores de ocurrencia detectados a lo largo del año (Pekel, Cottam, Gorelick, y Belward, 2016).

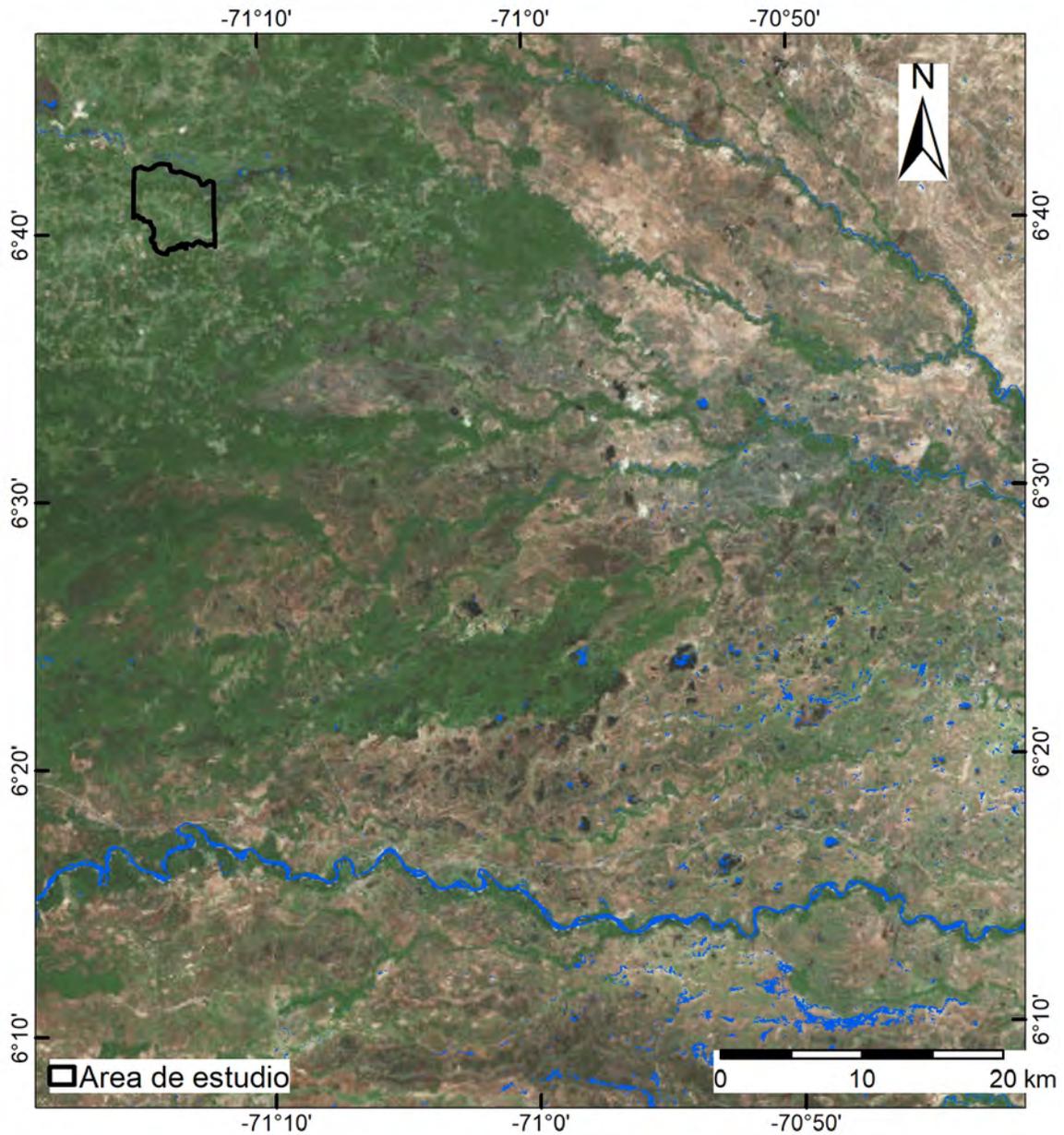


Figura 130: Zona inundación año 2018, mediante historial Landsat 5,7 y 8

Referencias

- Domínguez, C. (1998). La gran cuenca del orinoco. *Instituto de Estudios Orinocenses*.
- IDEAM. (2014). Estudio Nacional del Agua 2014.
- Lage, M. S., Antonio Flórez and Bejarano. (1997). Génesis y manifestaciones de las inundaciones en Colombia. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 6(1), 60–110.
- Leopold, L. B., y Maddock, T. (1953). *The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications* (Vol. 252). US Government Printing Office.
- Mulvaney, T. J. (1851). Mulvaney, T. J. (1851). On the use of self-registering rain and flood gauges in making observations of the relations of rainfall and flood discharges in a given catchment. *Proceedings of the institution of Civil Engineers of Ireland*, 4, 19–31.
- Nash, Eamonn, J., y Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of hydrology*, 10(3), 282–290.
- Olivares Ramos, E. E. (2016). Patrones de cambio morfológico y meándrico de 13 ríos pertenecientes a la cuenca hidrográfica del Amazonas.
- OSSO, y La RED. (2009). Guía Metodológica: DesInventar. , 1–24. Descargado de <http://www.desinventar.org>
- Pekel, J.-F., Cottam, A., Gorelick, N., y Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418–422.
- Rennó, C. D., Nobre, A. D., Cuartas, L. A., João Vianei Soares, M. G., Hodnett, J. T., y Waterloo, M. J. (2008). HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*.
- Robert, A. (2014). *River processes: an introduction to fluvial dynamics*. Routledge.
- Thomas, D. S., y Goudie, A. S. (2009). *The dictionary of physical geography*. John Wiley & Sons.
- Vélez, J. I. (2001). *Desarrollo de un modelo hidrológico conceptual y distribuido orientado a la simulación de las crecidas* (Tesis Doctoral no publicada).

Capítulo 10

Definición de áreas con condición de amenaza o riesgo

De acuerdo con el Decreto 1807 de 2014 el objetivo de zonificar la amenaza por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones, es identificar las áreas con condición de riesgo (ACR) y áreas con condición de amenaza (ACA) para su incorporación al Plan de Ordenamiento Territorial, y establecer los estudios de detalle necesarios y las obras de mitigación del riesgo requeridas.

En el presente estudio, con el fin de identificar las áreas que requieren una evaluación detallada de la amenaza, se definieron las ACA y ACR. Para este procedimiento se tomaron las zonas de amenaza media y alta por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales y se cruzó con el inventario de infraestructura del antiguo ETCR levantado con imágenes de satélite detalladas y en trabajo de campo.

A continuación se describe el procedimiento llevado a cabo para obtener cada uno de estos mapas.

10.1. Ocupación Territorial

Para precisar la información y dar una idea general de la ocupación del territorio se realizó un muestreo de las construcciones visibles, a partir de imágenes satelitales, con la ayuda proporcionada por *Arcgis Online* de *ESRI* a través de su plataforma *World Imagery*. Estos datos tienen un rango de actualidad de entre 3 y 5 años aproximadamente (última actualización: 22 de julio del 2020), permitiendo tener un conteo estimado de las casas que hacían parte de la zona de estudio. El proceso de selección se realizó por medio de los rasgos geométricos y colores característicos que señalan la intervención antrópica en el paisaje. Además, para la búsqueda de construcciones, se partió de los datos

ya suministrados por el algoritmo que se implementó para cuatro categorías de coberturas, denominado *Random Forest*, del cual se seleccionaron los pixeles correspondientes a la construcciones o urbanos y se corroboraron las zonas que según la interpretación visual correspondían a zonas con posibilidades de estar habitadas.

Según la Figura 131, para el antiguo ETCR Filipinas, se obtuvieron un total de 568 posibles construcciones que se encuentran distribuidas por toda la zona de estudio.

A través del reconocimiento de la zona que se hizo en campo, se levantaron las construcciones presentes para el antiguo ETCR-Filipinas proporcionando un mejor acercamiento en lo que compete a la ocupación del territorio (Figura 132).

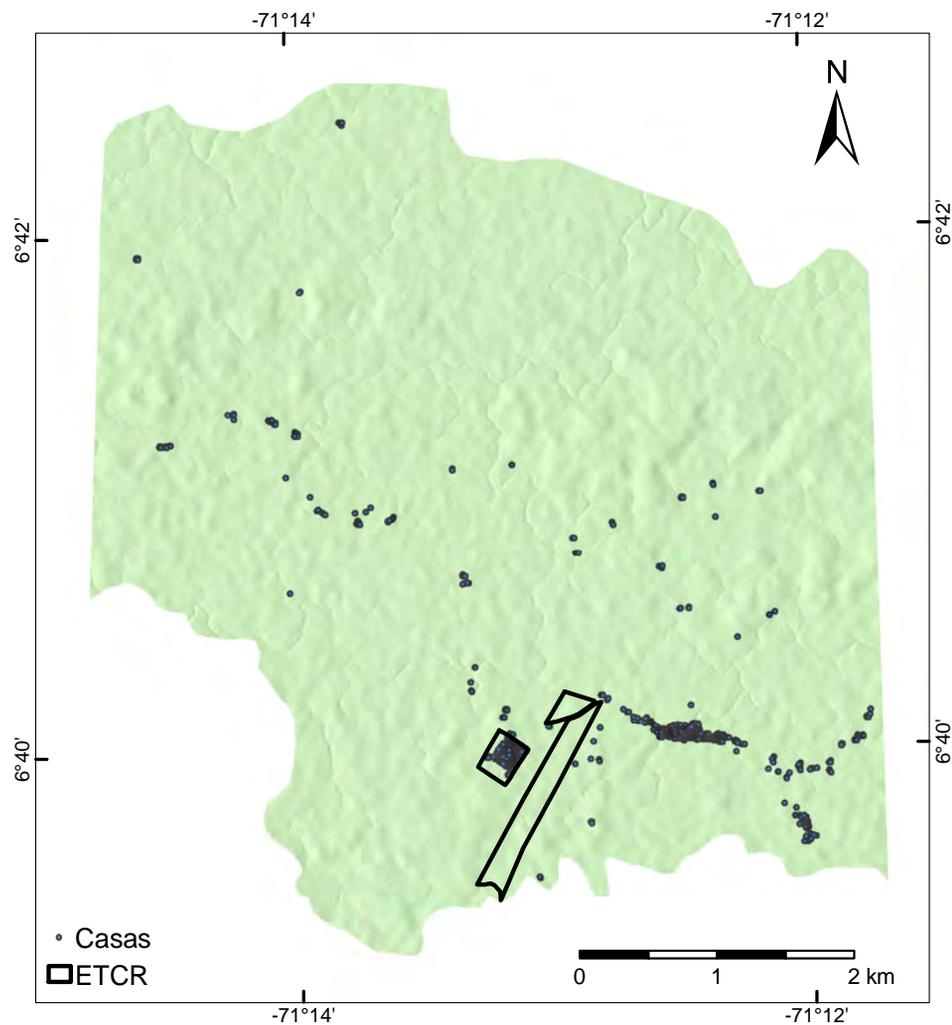


Figura 131: Ocupación territorial

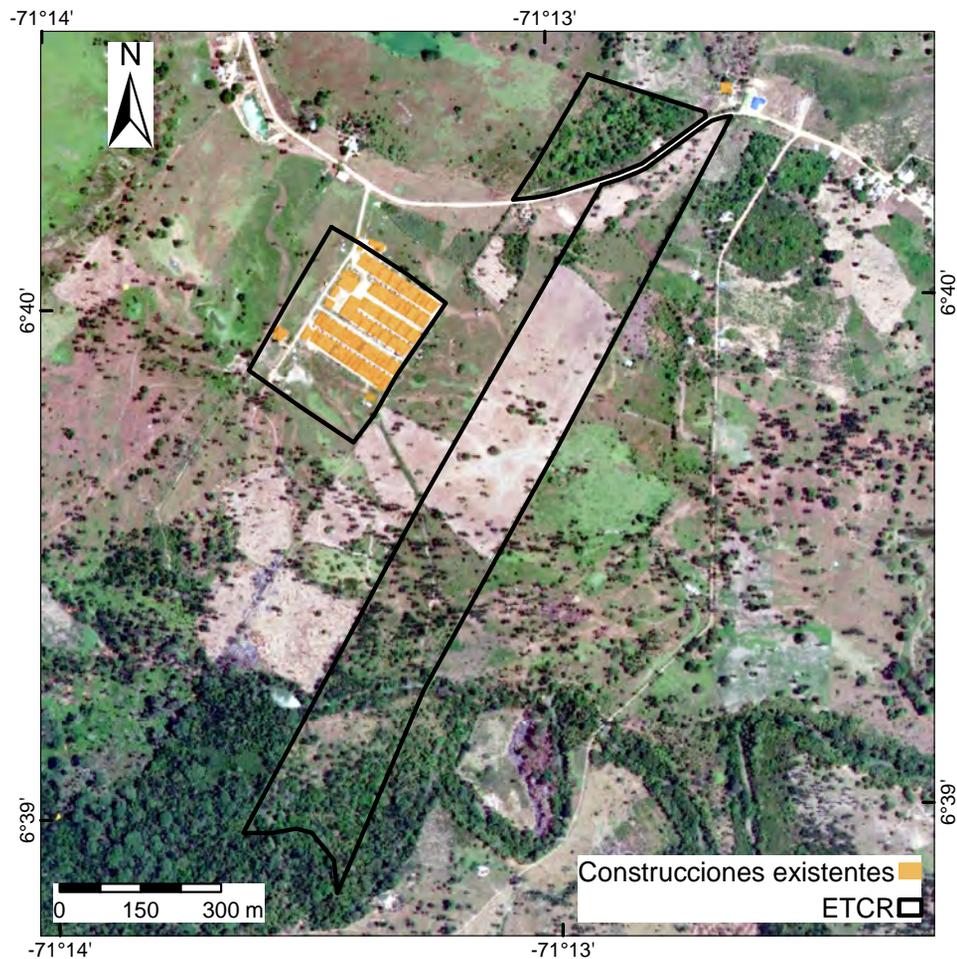


Figura 132: Levantamiento Construcciones

10.1.1. Áreas con condición de amenaza (ACA)

El Decreto 1807 de 2014 establece que las zonas con condición de amenaza (ACA) corresponden a las zonas clasificadas como de amenaza media y alta en las que se establezcan en el POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión o centros poblados rurales para permitir su desarrollo. en este caso los suelos corresponden a suelos rurales con miras a desarrollarse como centros poblados.

Para la delimitación de las ACA se utilizaron los mapas de amenaza por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, al igual que la infraestructura que refleja la ocupación levantada en capo y las imágenes satélites actualizadas. Con esta información se procede a evaluar la categoría media y alta en cada tipo de amenaza para ser contrastada con la infraestructura y así tener el mapa presentado en la Figura 133.

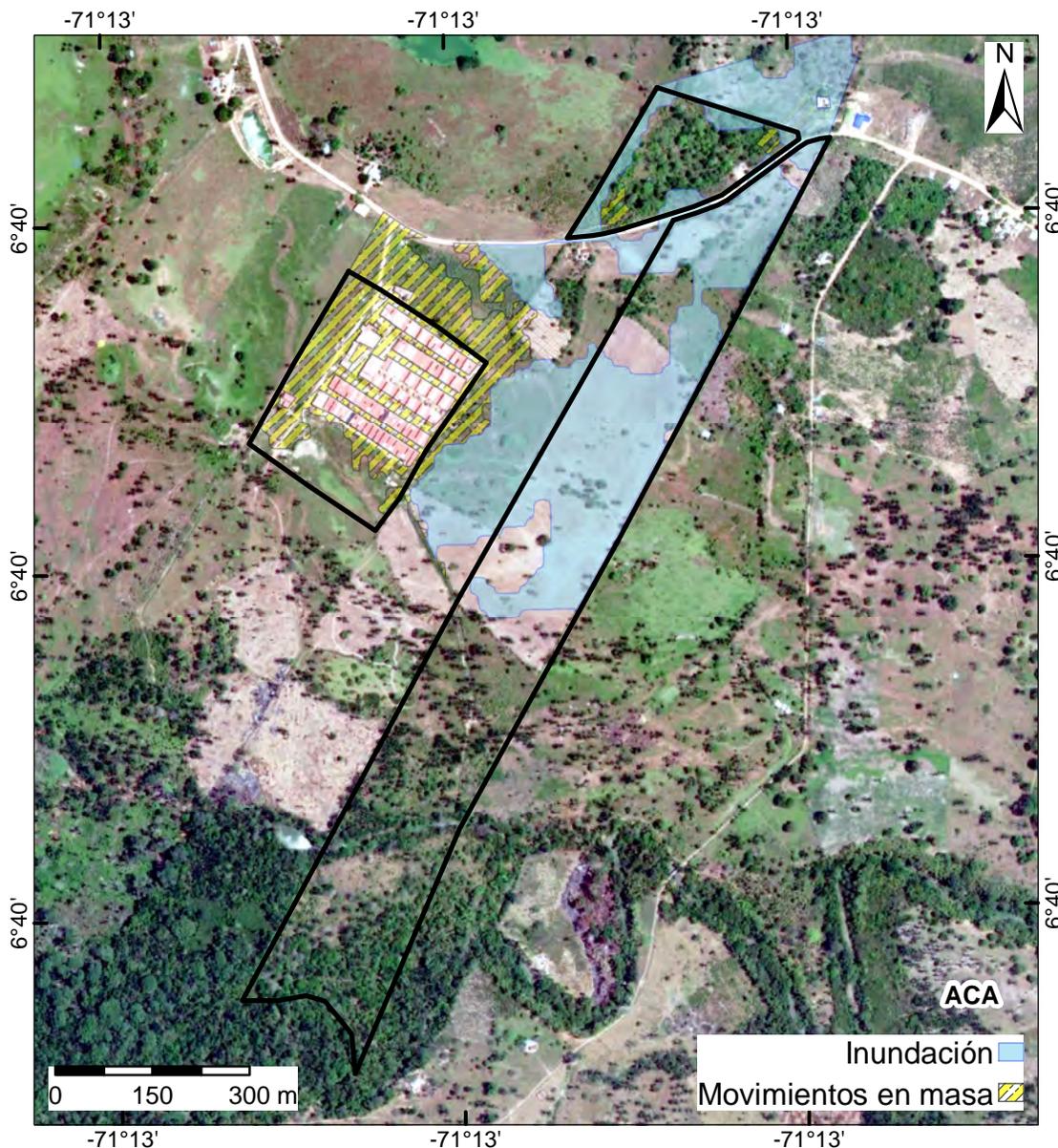


Figura 133: Zonas en condición de amenaza para el predio del antiguo ETCR.

El predio presenta dos zonas a resalta, una al lado este donde prima el ACA por inundación y en el lado oeste el ACA por movimientos en masa.

10.1.2. Áreas con condición de riesgo (ACR)

áreas con condición de riesgo (ACR) son aquellas zonas clasificadas como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos e infraestructura de servicios públicos. También se indica dentro del parágrafo del Artículo 12

del Decreto 1807 de 2014, que las zonas de amenaza media para las cuales en la revisión o expedición de un nuevo POT se proponga el cambio de densidad o un cambio en los usos del suelo que pueda generar o incrementar el riesgo en la zona.

En la delimitación de las ACR se utilizaron los mapas de amenaza por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, al igual que la infraestructura que refleja la ocupación levantada en capo y las imágenes satélites actualizadas.

Con esta información se procede a evaluar la categoría alta en cada tipo de amenaza para ser contrastada con la infraestructura y así tener el mapa presentado en la Figura 133, en el cual se resalta que la amenaza alta toque de manera parcial algún tipo de infraestructura se propende por el escenario mas critico, es decir, es marcada toda la edificación como riesgo y requerirá ser verificado en los estudios de detalle.

Debido a las bajas densidades de la ocupación de estos territorios, la infraestructura generalmente se encuentra por debajo del área mínima cartografiable ($2.500 m^2$), ya que corresponden generalmente a viviendas aisladas. Sin embargo, como se mencionó anteriormente se incluyeron de forma conservadora estas viviendas para su verificación en los estudios de detalle.

En condición de riesgo se encuentra una construcción del extremo noreste del predio, el cual es priorizado por inundaciones.

10.2. Medidas no estructurales

Finalmente, se presentan una serie de medidas generales que se pueden implementar en las zonas caracterizadas como amenaza alta en cada zona:

- Es recomendable la incorporación de estos estudios al ordenamiento territorial y de normas urbanísticas a que haya lugar por parte del ente municipal.
- Se debe definir medidas de manejo especial para las zonas de amenaza alta y mediante el desarrollo de usos agroforestales, la implementación de prácticas culturales de conservación, manejo de cultivos y manejo de esorrentías.
- Implementar planes de manejo de cauces en las quebradas aledañas y de abastecimiento del antiguo ETCR.

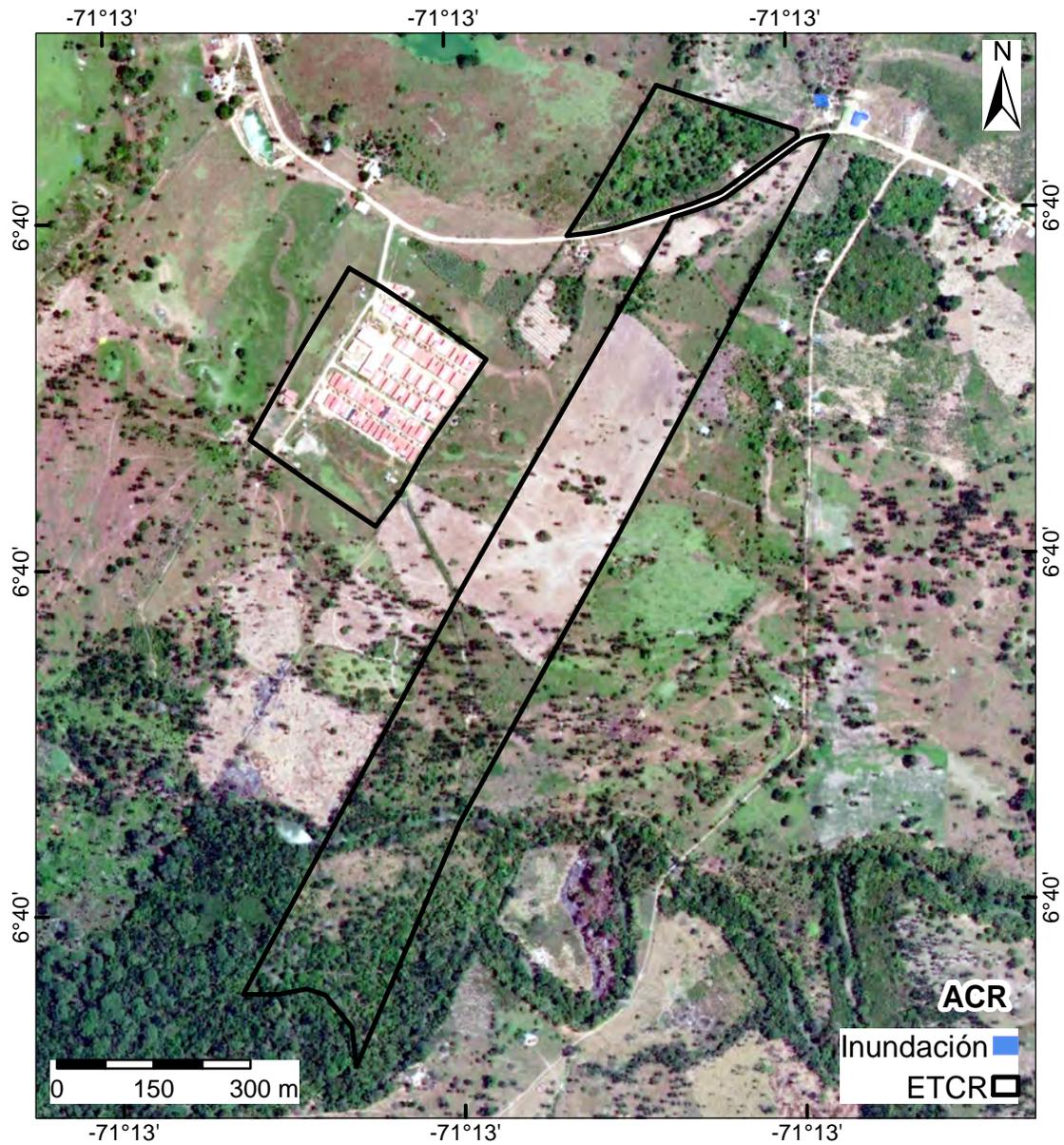


Figura 134: Zonas en condición de riesgo para el predio del antiguo ETCR.

- Se recomienda asistencia técnica y mejoramiento de prácticas agrícolas en zonas de ladera y reforestación de las laderas de montaña.
- Vigilancia y control normativo por parte de las autoridades frente a acciones de tala y quemas.
- Capacitación a la comunidad en normativa ambiental y cuidado de los terrenos y el recurso hídrico
- Prácticas agrícolas que controlen la erosión y sedimentación

- Se recomienda la instalación de un sistema de alerta temprana en las corrientes susceptibles de generar este fenómeno amenazante.
- Se propone socializaciones y capacitaciones a la comunidad sobre la importancia de la gestión del riesgo, en especial el dar a conocer las zonas demarcadas con condición de amenaza y los respectivos retiro.

10.2.0.1. Recomendaciones específicas

1. Se recomienda realizar reconocimientos de humedales, cuerpos de agua y zonas de conservación que puedan ser incorporados en los estudios detallados por inundación.
2. Dado que el predio correspondiente al antiguo ETCR Filipinas tiene planes de expandirse para la construcción de viviendas, se debe tener en cuenta la zonificación de amenaza por inundación aledaña a este y se debe sensibilizar a la comunidad.
3. Reconociendo la importancia de diques en la protección de inundaciones, se recomienda hacer planes de monitoreo y mantenimiento que permitan evitar afectaciones en los cambios de altura o caudal de los ríos cercanos.

Parte IV

Viabilidad por Amenaza *Estudios de Detalle*

Capítulo 11

Caracterización geológica a detalle

Introducción

En el capítulo de estudio básico de amenaza se realizó la evaluación de movimiento en masa, avenidas torrenciales e inundación, donde se puede observar que los dos primeros no son realmente una amenaza para el antiguo ETCR Filipinas, aun así y teniendo aun un evento por evaluar el presente capítulo busca complementar la evaluación y caracterización de la zona para tener mejor conocimiento y argumento a los resultados del estudio básico.

En el presente capítulo encontrara información a escala 1:2000 levantada por sensores como el LIDAR, prospecciones sísmicas, tomas de muestras y las visitas de campo que describe y orienta las condiciones morfodinámicas y geomorfológicas del antiguo ETCR.

11.1. Información cartográfica de detalle

Para el levantamiento cartográfico a escala 1:2000 se utilizaron técnicas de restitución con fotogrametría a partir de tomas de fotografías aéreas con drones, y levantamiento con sensores remotos activos tipo LiDAR (*Light Detection and Ranging*).

El LiDAR es una técnica de teledetección óptica que utiliza la luz de láser para obtener una muestra de la superficie de la tierra produciendo información tridimensional precisa a través de una nube de puntos con diferentes valores de elevación. La tecnología LiDAR consta de un sensor óptico activo que transmite rayos láser hacia un objetivo mientras se mueve a través de rutas de topografía específicas. El reflejo del láser del objetivo lo detectan y analizan los receptores en el sensor LiDAR. Estos receptores registran el tiempo preciso desde que el pulso láser dejó el sistema hasta cuando regresó para calcular la distancia límite

entre el sensor y el objetivo.

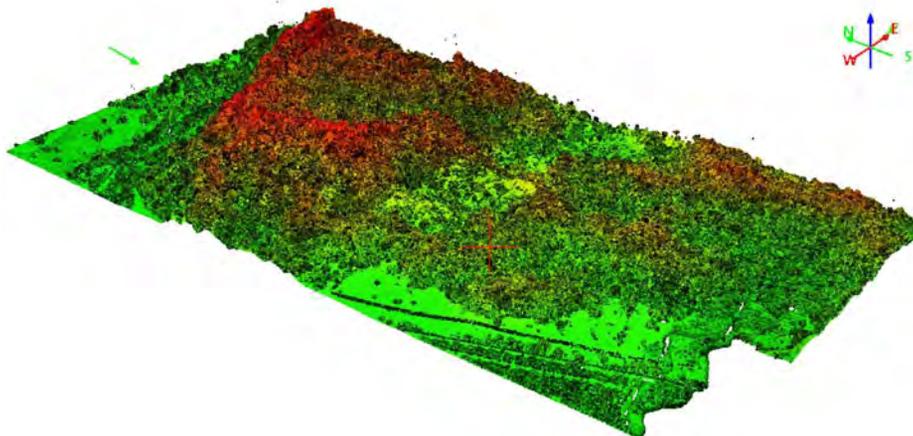


Figura 135: Resultado del trabajo realizado con LIDAR, Elaborado con el software *Quick Terrain Reader* v 8.2.0

Los sensores utilizados con esta técnica permiten determinar diferentes tiempos de llegada de los haces de luz que se diferencia en colores que representan los periodos de retorno del rayo láser tal como se observa en la Figura 135, es así como se realizan los cálculos necesarios para poder determinar cual de los tiempos es el que corresponde a la superficie y elimina los tiempos que corresponden a los arboles, las líneas eléctricas, incluso algunas estructuras, allí radica la importancia de este sistema y es que arroja un resultado preciso de la superficie del terreno.

Para el levantamiento topográfico con LiDAR se contó con la empresa Aeroestudios S.A.S. En anexo se describen los procesos de la toma de fotografías aéreas, la adquisición de Datos LiDAR y elaboración de productos digitales como Ortofotografía, DTM y DSM para el antiguo ETCR. Como productos se obtuvieron fotografías aéreas métricas a color (RGB) con una resolución en terreno (GSD por sus siglas en inglés) de 10cm. A partir del cual se generó el Modelo Digital de Terreno (MDT) con una resolución de 0.5m x 0.5m, y el levantamiento de cuatro (4) puntos de control fotoidentificables amarrados al IGAC con doble determinación de un punto IGAC y una Base Cors Permanente y un (1) punto de control cinemático.

Los parámetros técnicos utilizados son:

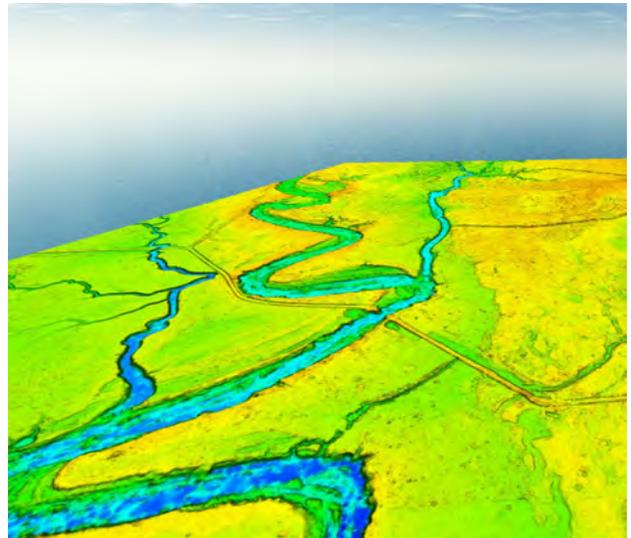
- Sistema de Referencia: **Magna-Sirgas**

- Origen de la Proyección: **Magna-Sirgas-Oeste**
- Unidad de medida: **Metro internacional**
- Datum Vertical: **Buenaventura**
- Amarre a la red geodésica nacional: **IGAC_2_A_AR_3**

Los resultados para el antiguo ETCR Filipinas se observan en la Figura 136a y en la Figura 136b.



(a) Ortofotografía del antiguo ETCR Filipinas



(b) MDT del antiguo ETCR Filipinas

Figura 136

11.2. Estudio de suelos

La etapa de exploración geotécnica en el antiguo ETCR Filipinas, está compuesta por 5 puntos de apiques y 2 puntos de perforación (ver Figura 137), de las cuales 6 son para fines de construcciones civiles (PTAP y PTAR). La distribución de los puntos exploratorios fue orientada a caracterizar el subsuelo que subyace las zonas donde se desarrolla actualmente la ocupación del predio teniendo en cuenta la topografía, geomorfología, cambios de pendiente, presencia de zonas saturadas, cambios litológicos y áreas con presencia de procesos morfodinámicos y atributos observados a través de recorridos en campo.

Las dimensiones de los apiques son 1mx1m, con profundidad de 1,5m, mientras que las perforaciones mecánicas a percusión a profundidades de 3m y 6m

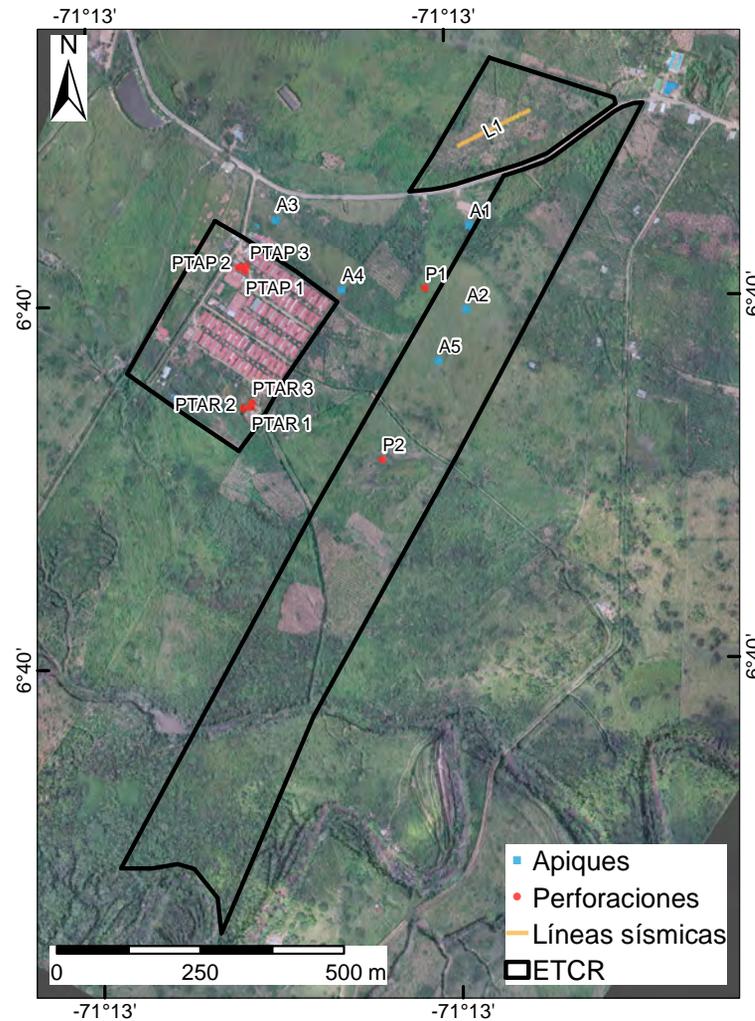


Figura 137: Exploración

con diámetro de 55 mm tomando muestras cada 50cm en shelby (muestra inalterada) o en cuchara partida (muestra alterada).

11.2.1. Prospección sísmica

La prospección sísmica se basa en el estudio de propagación de las ondas sísmicas en el terreno con el fin de determinar el perfil de velocidad de propagación de onda de corte V_s en profundidad. La caracterización geofísica se realiza en función de la rigidez de los materiales que componen el subsuelo por medio de ensayos de ondas superficiales, para estimar el perfil estratigráfico. Con los parámetros estimados se determina el tipo de perfil de suelo (Tabla. 50), espesor y parámetros sísmicos de cada capa. Además, los parámetros geomecánicos son estimados en base a las propiedades elásticas del terreno descritas mediante

relaciones entre esfuerzo–deformación. La ubicación de las líneas sísmicas ejecutadas se observa en la Figura 137, realizadas con 24 geófonos separados cada 5m.

Se emplean dos tipos de ensayo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) y el ensayo ReMi (*Refraction Microtremor*), los cuales proporcionan como resultado el perfil de velocidad de propagación de onda de corte en profundidad.

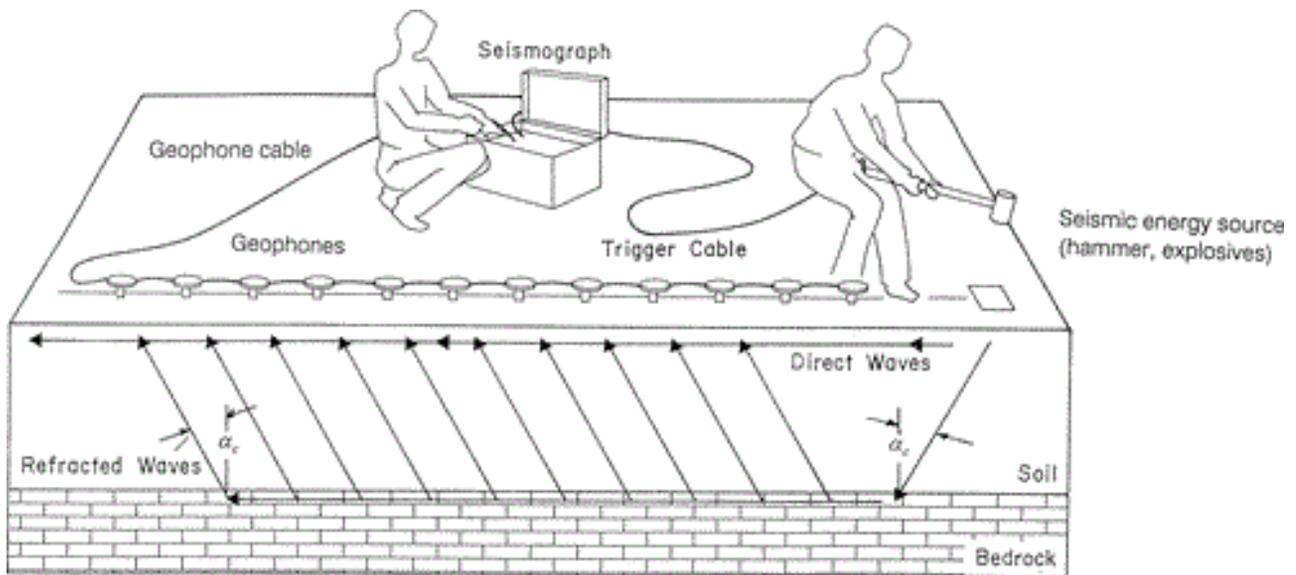


Figura 138: Esquema ensayo de refracción sísmica (ASTM, 2011)

Tabla 50: Clasificación perfiles del suelo a partir de Tabla A.2.4.4 NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Tipo de perfil	Descripción	Rango $V_s30(m/s)$
A	Roca competente	≥ 1500
B	Roca de rigidez media	760 – 1500
C	Suelo muy denso o roca blanda	360 – 760
D	Suelo rígido	180 – 360
E	Suelo blando	180 \geq
F	Suelos especiales (licuables, colapsables, arcillas muy plásticas, suelos orgánicos)	

- Ensayo MASW

El método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales es un método cuyas principales ventajas son emplear ondas Rayleigh generadas de manera activa; producidas artificialmente para definir la velocidad de propagación de las ondas sísmicas superficiales y definir la configuración del subsuelo. La

fuentes emisoras se genera mediante golpes con una masa en lugares previamente definidos denominados puntos de tiro, las ondas se propagan hasta los receptores (geófonos) (Figura 138). Además, el método puede incorporar información proveniente de los modos superiores de vibración, generando modelos de velocidad de mayor resolución (Park, Miller, y Xia, 1999).

- **Ensayo ReMi**

Es un método de análisis por Refracción de Microtremores que estima la velocidad de propagación de ondas de corte V_s en profundidad, basado en la determinación de la dispersión en la propagación de ondas superficiales. Se realiza mediante un tendido de geófonos y sismógrafo digital. Como ventaja sobre otros tipos de ensayos geofísicos, se puede utilizar como señal generadora de ondas, las vibraciones ambientales, o vibraciones inducidas por actividades antrópicas (Louie, 2001).

Como resultado se presenta el perfil bidimensional (2D) para la línea sísmica en un modelo simplificado donde se discriminan cada una de las capas que conforman el subsuelo donde se identifica V_s , espesor y abscisa de la línea sísmica.

En el perfil 2D de la línea sísmica (Figura. 139) se observa un suelo de consistencia blanda con $V_s < 200\text{m/s}$ el cual se extiende hasta una profundidad aproximada de 7 metros. Luego se evidencia un aumento de V_s hasta los 400m/s a una profundidad aproximada de 25m correspondiente a una transición a suelo rígido. A partir de los 25 metros hasta la profundidad máxima alcanzada se registran suelos con V_s correspondientes a suelos densos o rocas blandas.

A partir de la línea ejecutada se determina el perfil de suelo acorde a la velocidad de onda en corte en los 30m superficiales $V_{s,30}$, el subsuelo se clasifica en perfil de suelo D acorde a lo determinado por la NSR-10 (A- 2.4.1).

11.2.2. Análisis de laboratorio

A partir de la exploración directa realizada en el antiguo espacio territorial se definió la ejecución de una serie de ensayos de laboratorio en muestras alteradas e inalteradas, con el propósito de caracterizar física y mecánicamente los materiales que conforman el subsuelo explorados en los distintos apiques y perforaciones. En la tabla 51 se presentan los ensayos y cantidad realizados como parte de la exploración geotécnica contemplada en la caracterización detallada para la evaluación de la amenaza y el estudio geotécnico de las plantas de tratamiento de agua potable y residual.

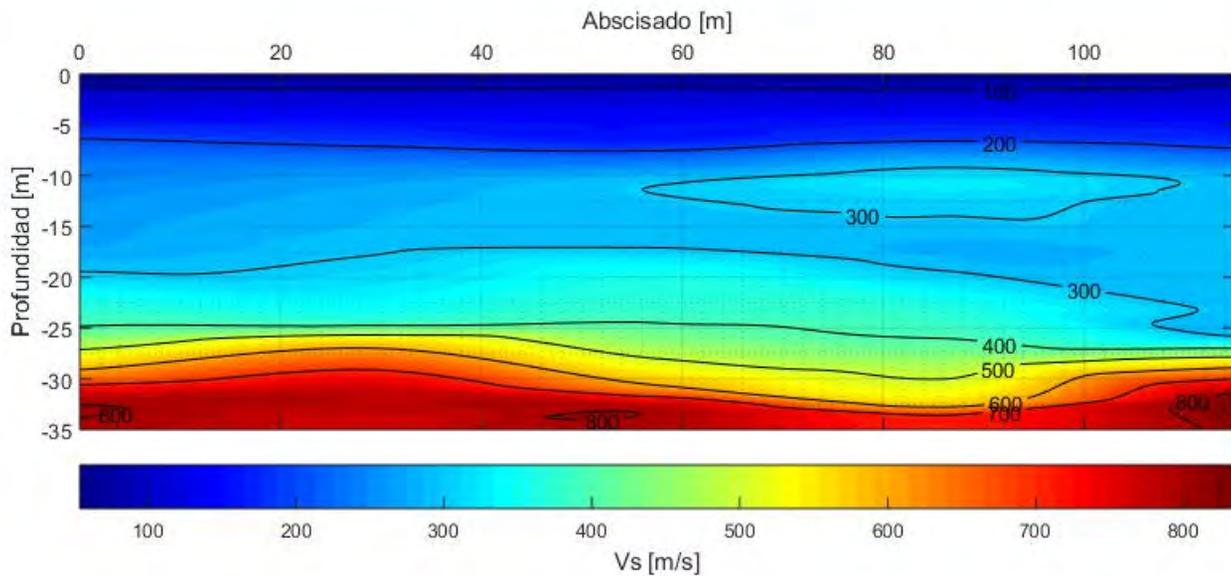


Figura 139: Perfil 2D V_s línea 1

Tabla 51: Distribución ensayos de laboratorio

Ensayo	Cantidad	Normas
Humedad natural	19	ASTMD2216
límites de consistencia	15	ASTMD4318
Granulometría por tamizado y lavado sobre la malla No.200	17	ASTMD422
Peso unitario	14	ASTMD7263
Consolidación unidimensional	2	ASTMD2435
Colapso o expansión unidimensional	2	ASTMD4546
Compresión simple o inconfiada	2	ASTMD2166
Corte directo - Consolidado drenado	5	ASTMD2080
Triaxial- Consolidado no drenado (CIU-TXC)	2	ASTMD4767

Adicionalmente, se presenta la Tabla 52 un resumen de los parámetros y propiedades obtenidos por los distintos ensayos para cada muestra y profundidad de la muestra recuperada. Dentro de los parámetros evaluados se tiene:

- ID: identificador de la exploración
- P: profundidad en metros (m)
- LL: limite liquido
- LP: limite plástico
- IP: índice de plasticidad

- % G: porcentaje gravas
- % A: porcentaje arenas
- % F: porcentaje finos
- USCS: sistema unificado de clasificación de suelos
- γ_h : Peso unitario húmedo (kN/m^3)
- γ_s : Peso unitario seco (kN/m^3)
- Su: Resistencia a la compresión uniaxial no drenada (kPa)
- c' : cohesión (kPa)
- ϕ : ángulo de fricción (grados)
- k: conductividad hidráulica saturada (m/s)

Tabla 52: Recopilación de parámetros obtenidos mediante ensayos de laboratorio

ID	P (m)	LL	LP	IP	%G	%A	%F	USCS	γ_h (kN/m^3)	γ_s (kN/m^3)	Su (kPa)	c' (kPa)	ϕ (°)	k (m/s)
AP1-M1	0,5	21	19	2	0	8,2	91,8	ML						
AP1-M2	1,2				0	82,6	17,4	SM						
AP2-M1	0,5								16,7	12,3				
AP2-M2	1,2	28	25	3	0	1,7	98,3	ML						
AP3-M1	0,5								17,2	13,3				
AP3-M2	1,2	27,2	23,2	4	0	0,8	99,2	ML						
AP4-M1	0,5	23	20	3	0	3,8	96,2	ML	16,9	12,9				
AP5-M1	0,5								18,1	14,2				
AP5-M2	1,2	20	16,1	3,9	0	89,9	10,1	SP-SM						
P1-M1	0,75	20	13	7	0	5,6	94,4	CL	18,3	14,3	25,9			
P1-M3	2,75	18,7	14,7	4	0	70,5	29,5	SM						
P2-M1	0,75	26	18	8	0	0,8	99,2	CL	18,8	15,1		12	30	
P2-M3	2,75								13,2	10,3				
PTAP1-M1	0,75								18,8	15,6		8	36	
PTAP1-M5	4,75	18	16	2	4,2	74	21,8	SM						
PTAP2-M1									18,8	15,6		0	38	
PTAP2-M2	1,75								19,4	15,8		12	33	2,60E-07
PTAP2-M4	3,75	24	19	5	0,5	30	69,5	CL-ML						
PTAP3-M1	0,75								16,7	14,3				
PTAP3-M2	1,75	20	17	3	0	69,7	30,3	SM						
PTAP3-M3					0	86,8	13,2	SM						
PTAR1-M1	0,75								18,3	15,2	47,6	0	27	9,70E-08
PTAR1-M3	2,75	22	17	5	0,2	10,3	89,5	CL-ML						
PTAR2-M6	5,75	21	15	6	3	59,2	37,8	SC-SM						
PTAR3-M1	0,75								18	13,5		5	34	
PTAR3-M2	1,75								22,1	19,6		0	33	
PTAR3-M4	3,75	19,7	13,2	6,5	0,9	29,7	69,4	CL-ML						
PTAR3-M5	4,75	26	18	8	0,5	14,6	84,9	CL						

11.2.3. Zonas geotécnicas homogéneas

De acuerdo con la investigación geológica y geomorfológica, la exploración del subsuelo y los ensayos de laboratorio se asociaron los materiales observados en las unidades geológicas superficiales en zonas geotécnicas homogéneas.

Con base en los ensayos de laboratorio y la exploración directa se caracteriza los parámetros y propiedades de las zonas geotécnicas homogéneas requeridos en los modelos físicos empleados en la evaluación de la amenaza por movimientos en masa.

Inicialmente, se consolida la información geotécnica disponible de cada zona con los distintos apiques y perforaciones según la ubicación y profundidad de la exploración. A partir de los ensayos de granulometría por tamizado e hidrómetros y límites de consistencia se define el material predominante en la zona según la clasificación unificada de suelos (U.S.C.S), con base en los porcentajes del material (%Gravas, %Arenas y %finos) obtenido en las distintas muestras y las propiedades plásticas según la carta de plasticidad.

Con respecto a las propiedades de resistencia se contemplaron los ensayos mecánicos donde el espécimen se somete al proceso de falla bajo el incremento de carga, en los cuales se determinan parámetros de resistencia para esfuerzos efectivos definido por la envolvente de falla de Mohr-Coulomb (cohesión y ángulo de fricción) bajo las distintas condiciones de falla impuestas. Por lo tanto, los parámetros de resistencia adoptados en las distintas zonas Geotécnicas son determinados a partir de los ensayos de compresión simple, corte directo y triaxial.

Igualmente, se estimaron los parámetros de resistencia a profundidad mediante los valores de resistencia a la penetración estándar, *Standard Penetration Test* conocido como SPT (N golpes/pie). La metodología empleada corresponde a la propuesta por Gonzalez (1999), en la cual se obtiene de manera aproximada los parámetros efectivos de cohesión (c') y ángulo de fricción (ϕ') drenados mediante el uso de correlaciones con los números de golpes (N-SPT) corregidos por factores de confinamiento y energía propuestos por Bowles y cols. (1996). El método de Gonzalez (1999) fue implementando en los distintos valores de N-SPT registrados a profundidad en las perforaciones ejecutadas entre los 3 y 6m. No obstante, se consideró únicamente el valor aproximado de ϕ' obtenido por la metodología, al proveer un mayor desempeño y aproximación de las correlaciones para materiales granulares o intermedios, en comparación con materiales cohesivos (Montenegro, 2014). Para mayor detalle en la metodología empleada se sugiere consultar el Anexo (Correlaciones con N-SPT) del estudio de las plantas de tratamiento de agua potable y residual.

Como parte de la caracterización hidráulica de las zonas geotécnicas homogéneas se estimaron los valores de conductividad hidráulica saturada K_s a

partir de diferentes aproximaciones; se contempla los valores aproximados de los ensayos de consolidación unidimensional. Adicionalmente, se emplea funciones de Pedotransferencia (PTF) mediante el modelo ambiental SPAW (Saxton, Johnson, y Shaw, 1974), con el propósito de estimar la conductividad hidráulica saturada a partir de la textura del suelo (Wösten, Pachepsky, y Rawls, 2001). Igualmente, se considera como límites el rango de valores reportados en <http://www.geotechdata.info/parameter/>.

A continuación se presentan los valores y variación de los parámetros asignados a cada una de las zonas geotécnicas homogéneas mediante la metodología descrita anteriormente, la variación de los parámetros se establece a partir de estadísticos de tendencia central (media, moda y mediana).

Zona 1 – Qaalim: La zona se caracteriza por ser relativamente homogénea, en la mayoría de puntos explorados se presentan limos de baja plasticidad (ML) y arcillas de baja plasticidad (CL), tal como se muestra en la distribución de los diferentes puntos en la carta de plasticidad (Figura 140). En la exploración ejecutada en esta zona se presenta valores de N-SPT entre 2 y 31 golpes/0,3m. Los parámetros de resistencia reportados presentan una media de 5,3kPa para la cohesión y 33° para el ángulo de fricción.

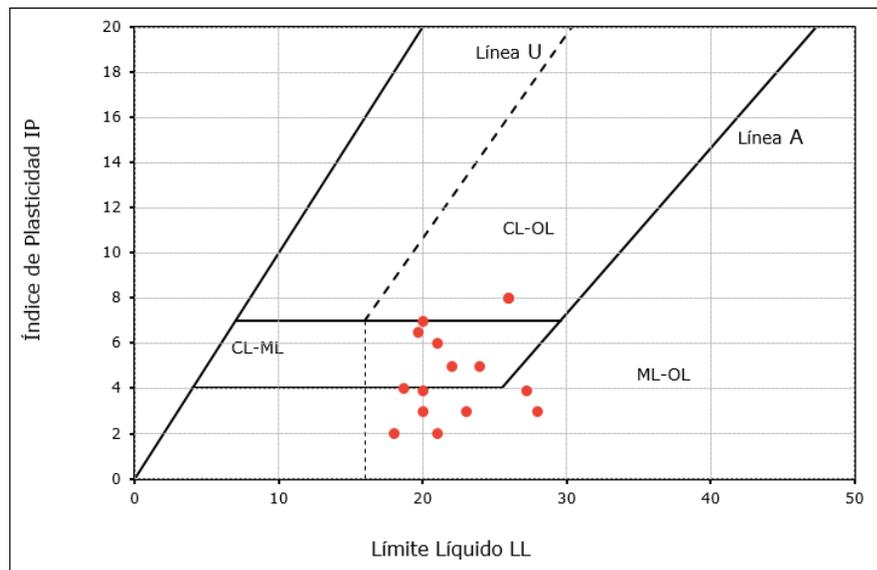


Figura 140: Variabilidad en los límites de consistencia de la zona 1 mediante la Carta de plasticidad de Casagrande.

11.3. Geomorfología Local

La geomorfología es un factor condicionante, expresado a través de la topografía del terreno, que se convierte en un primer insumo fundamental para la identificación de los puntos para la exploración de campo. El S. G. SGC (2015) considera el mapa geomorfológico detallado, como un insumo primordial para la homogeneización de las unidades con características de comportamiento geomecánico similar, junto con el mapa de geología para ingeniería.

Las geoformas asociadas a un ambiente fluvial que incluye las geoformas que se originan por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca (SGC, 2015) (Figura 4). Las unidades que se encuentran en la zona de estudio son descritas por SGC (2015) como Divagación de cauce activo (Fdc) (Figura 141), geoforma activa, configurada a partir de una dinámica aluvial horizontal y se ensancha en función de la Llanura aluvial baja. Es un escenario dinámico donde el río transporta, acumula y re-moviliza grandes volúmenes de material de arrastre, Qa.

Se distinguen acumulaciones aluviales extensas dispuestas en planicies con aportes de sedimentos de desbordes relacionados con inundaciones o encharcamientos ocasionales. Las planicies aluviales contienen acumulaciones de materiales transportados por los ríos que nacen en la cordillera Oriental y se caracterizan por presentar ocasionalmente una morfología de bajos, diques laterales y antiguos cauces parcialmente rellenos. Estos depósitos aluviales forman una llanura homogénea, casi completamente plana con mínimas manifestaciones de relieve interno y una incisión muy baja de los cauces. Las llanuras de inundación se localizan bordeando los cauces fluviales, donde es limitado localmente por escarpes de terraza. Adyacente a las corrientes y caños principales se presentan depósitos recientes en llanuras de inundación asociados a la acción dinámica actual y desborde recurrente de los ríos. Las llanuras de inundación se caracterizan por presentar relieve plano, tono grises de textura homogénea donde no hay vegetación y tonos oscuros heterogéneos donde ella existe (inundación).

11.4. Morfodinámico

En la zona de estudio se identificó un proceso morfodinámico en la zona sur de encharcamiento asociado a la dinámica fluvial de las cauces que rodean esa

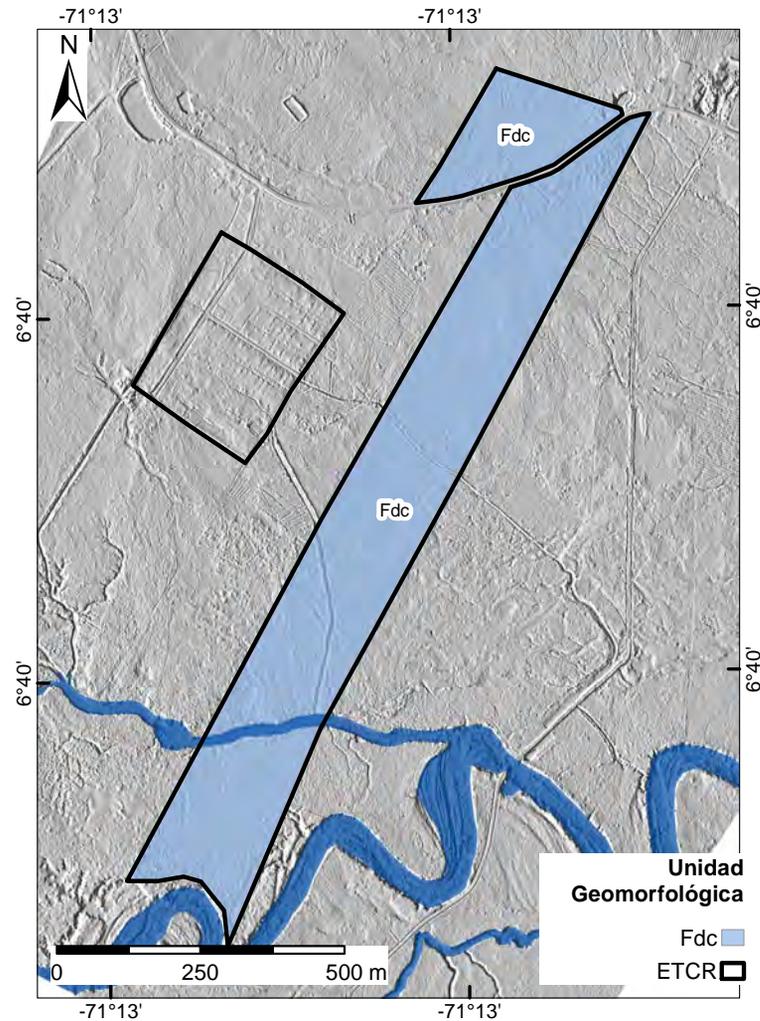


Figura 141: Mapa de unidades geomorfológicas en el antiguo ETCR Filipinas. Divagación de cauce activo (Fdc)

parte del predio evidenciando los procesos de inundación y sedimentación que se dan en las épocas de alta precipitación. Debido a las condiciones de baja pendiente en la zona no se identificaron procesos asociados al relieve (Figura 142).

11.5. Unidades geológicas superficiales

En el antiguo ETCR Filipinas se identificó una única unidad geológica superficial (UGS), la cuales corresponde al suelo residual asociado la unidad de depósitos de orillales (Qa).

El material superficial que predomina en el antiguo ETCR Filipinas, corresponde a suelo residual desarrollado sobre depósitos cuaternarios (Qa), ocupando

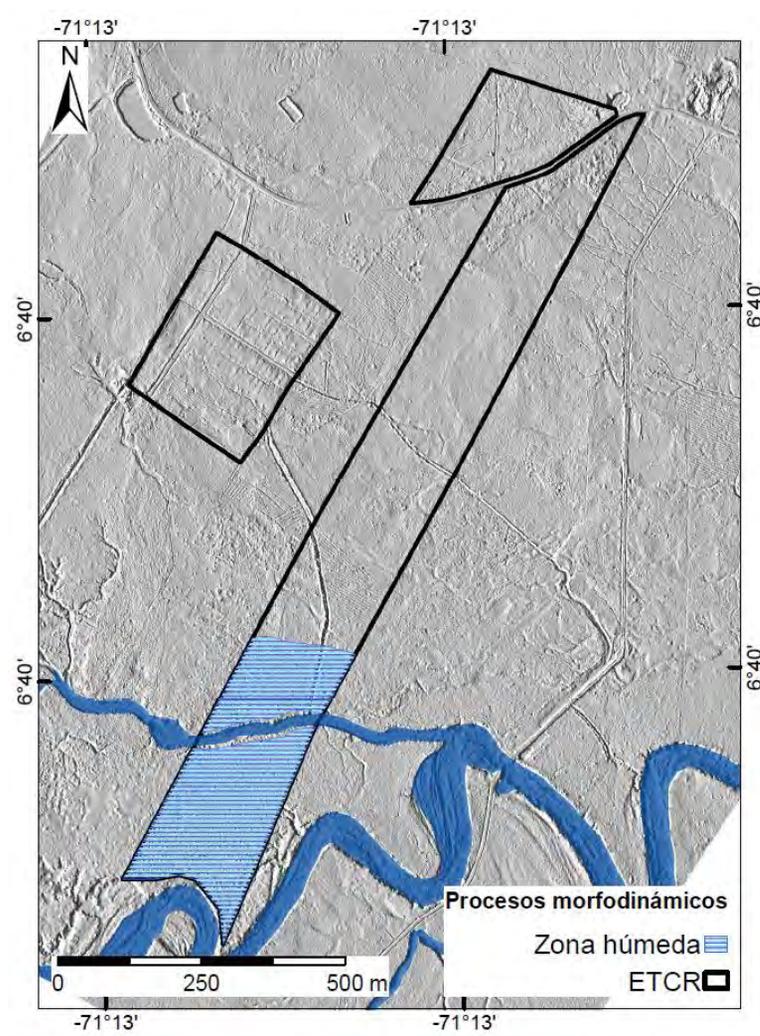


Figura 142: Mapa morfodinámico del antiguo ETCR Filipinas.

la totalidad del predio, se observó en la totalidad de apiques y afloramientos siendo la unidad dominante en la zona de estudio (Figura 143). Corresponde a una arena muy fina a limo arenoso de baja plasticidad de color café (Figura 144a) que presenta variaciones grises en algunos puntos (Figura 144b) con tonalidades naranja (zonas de oxidación) completamente meteorizado, poco plástico, muy húmedo y con un contenido de materia orgánica moderado (Figura 143).

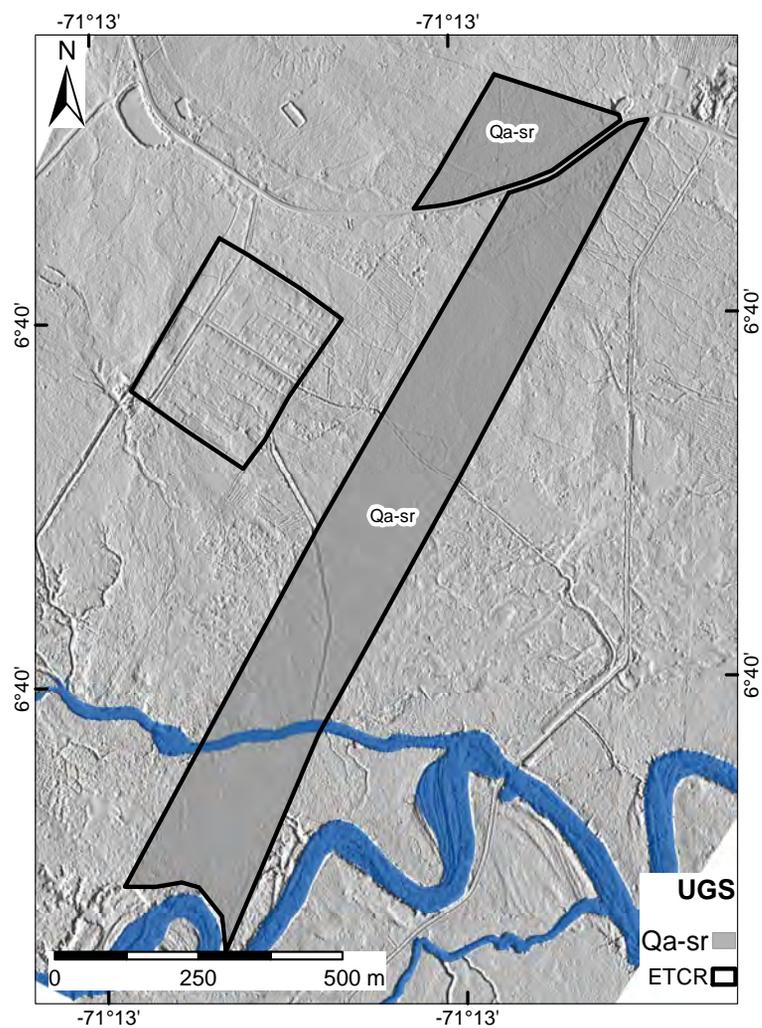


Figura 143: Mapa de unidades geológicas superficiales (UGS) en el antiguo ETCR Filipinas.
Depósitos de Orillales (Qa)



(a) Suelo Residual (Tonalidades Grises) (Qa-sr)

(b) Apique- Suelo Residual (Qa-sr)

Figura 144: Materiales superficiales

Referencias

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). AIS.
- ASTM. (2011). ASTM D5777 Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation [Manual de software informático].
- Bowles, L., y cols. (1996). *Foundation analysis and design*. McGraw-hill.
- Gonzalez, A. J. (1999). Estimativos de parámetros efectivos de resistencia con el spt. *X Jornadas geotécnicas de la ingeniería colombiana*.
- Louie, J. (2001, 04). Faster, better: Shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction micro-tremor arrays. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 91. doi: 10.1785/0120000098
- Montenegro, L. (2014). Calibración del método de parámetros de resistencia con spt en suelos de la región llanera colombiana. *Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá*.
- Park, C., Miller, R., y Xia, J. (1999, 05). Multichannel analysis of surface waves (masw). *Geophysics*, 64. doi: 10.1190/1.1444590
- Saxton, K., Johnson, H., y Shaw, R. (1974). Modeling evapotranspiration and soil moisture [watershed hydrology]. *Transactions of the ASAE (USA)*.
- SGC. (2015). *PROPUESTA METODOLÓGICA SISTEMÁTICA PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS GEOMORFOLÓGICOS ANALÍTICOS APLICADOS A LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000. ANEXO A GLOSARIO DE TÉRMINOS GEOMORFOLÓGICOS* (Inf. Téc.). Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- SGC, S. G. (2015). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. Servicio Geológico Colombiano-SGC.
- Wösten, J., Pachepsky, Y. A., y Rawls, W. (2001). Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *Journal of hydrology*, 251(3-4), 123–150.

Capítulo 12

Amenaza por Inundaciones

Introducción

Se realiza la zonificación de amenaza por inundación para el antiguo ETCR de Filipinas a partir de los resultados de simulaciones hidrodinámicas bidimensionales llevadas a cabo con ayuda del modelo digital de elevación de alta resolución (0,5 m de tamaño de píxel). Los resultados de calado y velocidad total de flujo son exportados con la misma resolución del modelo de elevación digital desde el software de simulación, para posteriormente clasificar y zonificar los diferentes niveles de amenaza (baja, media y alta). El caudal de simulación se obtiene a partir de las descargas máximas estimadas para 500 años de período de retorno calculadas en el capítulo de Estudios Básicos para inundación. En la Figura 146 se muestra un diagrama con el procedimiento desarrollado para llevar a cabo dicha zonificación. Las zonas que se encuentran sujetas a la ocurrencia de inundaciones en el área de estudio son todos los cauces allí presentes, así como sus zonas aledañas. En este estudio se analiza la amenaza por inundación asociada al caño La Arenosa que influye directamente en el antiguo ETCR de Filipinas como se presenta en la Figura 145.

12.1. Descripción del modelo hidrodinámico bidimensional

Para llevar a cabo la simulación hidrodinámica se utiliza el software IBER, el cual es uno de los modelos bidimensionales mayormente empleados y con licencia libre. El módulo hidrodinámico de IBER resuelve las ecuaciones de Saint Venant bidimensionales, incorporando los efectos de la turbulencia y rozamiento superficial por viento a partir de un modelo numérico de volúmenes finitos. A continuación, se presentan las ecuaciones constitutivas de conservación de masa



Figura 145: Caño La Arenosa - antiguo ETZR Filipinas

y momentum:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hU_x}{\partial x} + \frac{\partial hU_y}{\partial y} &= 0 \\
 \frac{\partial}{\partial t}(hU_x) + \frac{\partial}{\partial x} \left(hU_x^2 + g\frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} (hU_xU_y) \\
 &= -gh\frac{\partial z_b}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t h \frac{\partial U_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t h \frac{\partial U_x}{\partial y} \right) \\
 \frac{\partial}{\partial t}(hU_y) + \frac{\partial}{\partial y} \left(hU_y^2 + g\frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hU_xU_y) \\
 &= -gh\frac{\partial z_b}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t h \frac{\partial U_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t h \frac{\partial U_y}{\partial y} \right)
 \end{aligned} \tag{12.1}$$

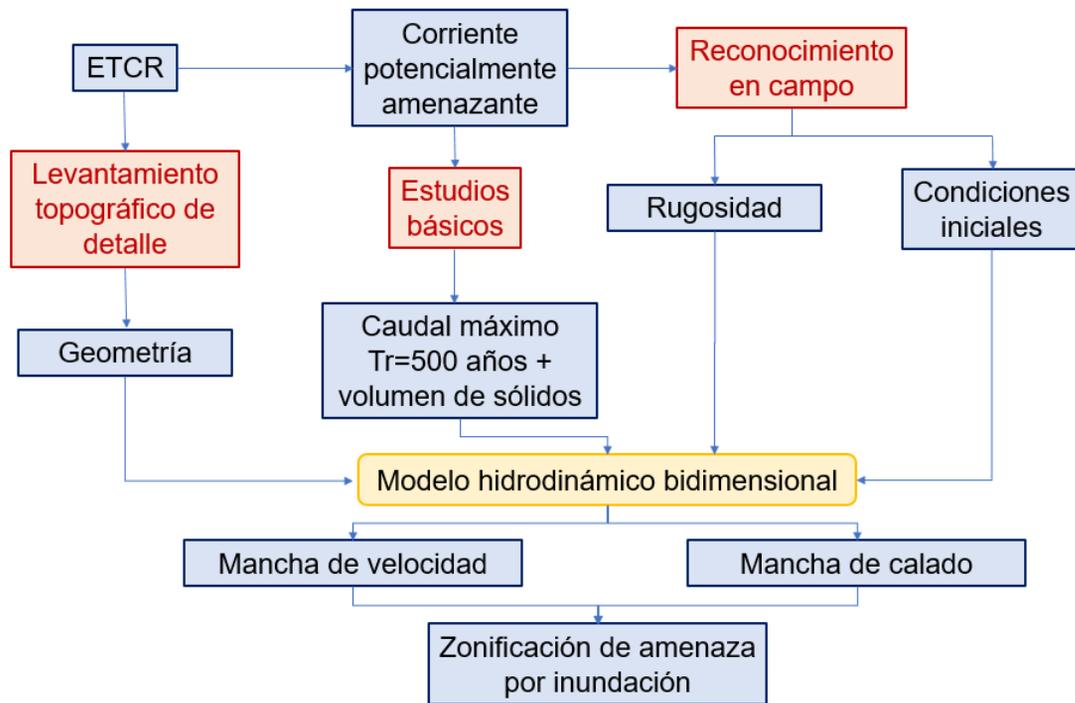


Figura 146: Procedimiento para zonificación de amenaza por inundación

Donde h es el calado, U_x, U_y son las velocidades horizontales promediadas en profundidad, g es la aceleración de la gravedad, ρ es la densidad del agua, z_b es la cota del fondo, τ_x es la fricción en la superficie libre debida al rozamiento producido por el viento, τ_b es la fricción debida al rozamiento del fondo y ν_t es la viscosidad turbulenta (Bladé y cols., 2014). Es necesario ingresar los parámetros de: caudal de entrada en cada corriente objeto de estudio, rugosidad según la superficie y condiciones iniciales y de borde en caso de conocerse. A continuación, se describen los diferentes parámetros de entrada del modelo.

12.1.1. Caudales de simulación

A continuación, en la Tabla 53 se presenta un resumen con los caudales de simulación para la corriente objeto de estudio. El área de drenaje estimada en el punto de salida para garantizar que se esté simulando el escenario más crítico.

Tabla 53: Caudales de simulación - inundaciones

Corriente	Área de drenaje (m^2)	Q máx 500 años (m^3/s)
Caño La Arenosa	204650000	54,6

12.1.2. Rugosidad

Los valores del coeficiente de fricción del cauce vienen dados por la resistencia al flujo ejercida por los sedimentos que conforman el lecho y las márgenes de las quebradas del área de influencia, así como por la cobertura vegetal. La estimación del coeficiente de rugosidad de Manning del cauce se hace de acuerdo de Cowan modificado (Arcement, G.J., Schneider, 1989), el cual se basa en la estimación de un valor inicial de la rugosidad y su posterior modificación según valores correctores y expresa el valor final de n de Manning como:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m \quad (12.2)$$

donde:

- n coeficiente de rugosidad del cauce
- n_0 rugosidad debida a los materiales del cauce
- n_1 rugosidad debida a la irregularidad del cauce a lo largo del tramo
- n_2 rugosidad debida a las variaciones de la sección transversal a lo largo del tramo
- n_3 rugosidad debida al efecto de las obstrucciones a lo largo del tramo
- n_4 rugosidad debida a la presencia de vegetación a lo largo del tramo
- m rugosidad debida a la sinuosidad del tramo

Los diferentes valores de las rugosidades propuestos por Cowan se muestran en la Tabla 54. La asignación de estos valores para cada uno de los cauces se hizo a partir de observaciones en las visitas de campo y el uso de la fotografía aérea.

En las llanuras de inundación y demás zonas potencialmente inundables, el coeficiente de rugosidad de Manning se asignó teniendo en cuenta el uso del suelo propuesto por Chow, Maidment, y Mays (1994).

12.1.3. Condiciones de borde y condiciones iniciales

Para el caso de las simulaciones llevadas a cabo en el antiguo ETCR, las condiciones de borde aguas arriba están sujetas al caudal de entrada y a las condiciones de geometría y rugosidad previamente definidas, aguas abajo, no

Tabla 54: Valores de referencia para coeficiente de rugosidad de Manning

Condiciones		Descripción	Val.n
Material	Tierra	Cauce en arcilla	0,02
	Roca	Cauce en roca	0,025
	Grava fina	Cauce en grava	0,024
	Grava gruesa		0,028
Irregularidad	Baja	Canal liso	0,000
	Menor	Excavado en buenas condiciones	0,005
	Moderada	Presencia de erosión	0,001
	Alta	Canal en malas condiciones	0,002
Variaciones en la S. Transversal	Gradual	Casi uniforme	0,000
	Ocasionales	Contracciones y expansiones infrecuentes	0,005
	Frecuentes	Contracciones y expansiones frecuentes	0,0015
Efecto de obstrucciones	Pequeño	Ocupan menos del 5 % del cauce	0,000
	Menor	Ocupan entre el 5 % y el 15 % del cauce	0,010
	Apreciable	Ocupan entre el 15 % y el 50 % del cauce	0,020
	Alto	Ocupan más del 50 % del cauce	0,040
Vegetación	Baja	$D > 3$ veces altura de vegetación	0,005
	Media	D entre 1 y 3 veces altura de vegetación	0,01
	Alta	$D =$ altura de vegetación	0,025
	Muy Alta	Altura de vegetación es $2 * D$	0,05
Sinuosidad	Menor	Sinuosidad entre 1,0 y 1,2	1,00
	Apreciable	Sinuosidad entre 1,2 y 1,5	1,15
	Alta	Sinuosidad $> 1,5$	1,30

hay necesidad de implementar un control tipo elevación de superficie libre. Las condiciones iniciales del caño La Arenosa corresponden a un calado de 1,0 m.

12.2. Categorización de amenaza por inundación

Para la zonificación de amenaza por inundación se tiene en cuenta la información disponible para cada corriente producto de la simulación, específicamente los resultados de la distribución espacial de la velocidad y la profundidad de flujo y el producto de ambas variables. la categorización de la amenaza se realiza teniendo en cuenta los niveles de amenaza propuestos por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de Estados Unidos FEMA (2014) la cual categoriza la amenaza por inundaciones de acuerdo a la profundidad del flujo, la velocidad de éste y el producto de estas dos variables como amenaza baja, media, alta, muy alta y extrema; en este caso los niveles de amenazas muy alta y extrema se incluyeron en la categoría alta, quedando únicamente tres posibles niveles de amenaza: baja, media y alta, como se muestra en la Figura 147.

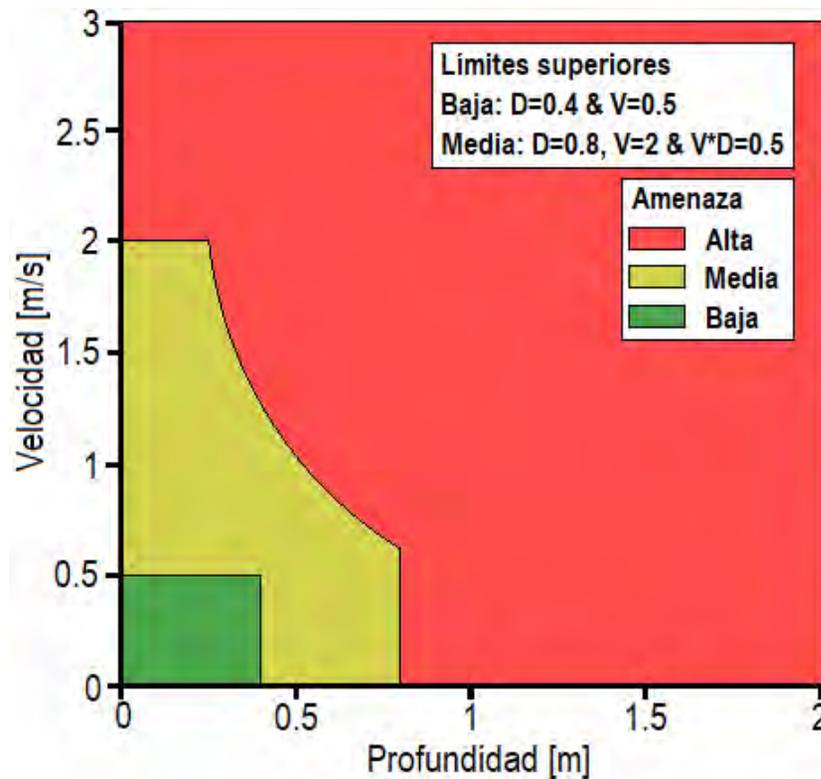


Figura 147: Categorización de amenaza por inundaciones

12.3. Resultados

Se presentan los resultados obtenidos de las variables hidráulicas necesarias para la zonificación de amenaza por inundación. En la Figura 148. se muestra la espacialización de la profundidad, mientras que en la Figura 149 se muestran los resultados de distribución espacial de la velocidad de flujo. Finalmente, en la Figura 151 se muestra la zonificación de amenaza por inundación para el antiguo ETCR Filipinas en los tres niveles (alta, media y baja).

Para el evento de inundación se presentan calados de hasta 2,83m sobre los canales pero con valores más bajos en la llanura de inundación, de no más de 1,3m, y de casi 0,01m donde se encuentran actualmente las viviendas transitorias y zonas más alejadas de los canales. En cuanto a las velocidades, se obtienen valores de hasta 3,82m/s cerca de las entradas y las salidas del modelo, estos valores no deben ser tenidos en cuenta ya que se trata de un espacio donde el modelo intenta estabilizarse con base en las condiciones de borde entregadas inicialmente; en el resto del dominio se aprecian velocidades no mayores a 1,0m/s en el canal, bajando a velocidades por debajo de 0,1m/s en las zonas más lejanas de la llanura de inundación, demostrando así que se trata de

inundación lenta que puede tardar varias horas en alcanzar la parte más alta del antiguo ETCR. También durante el proceso de simulación se aprecia que la inundación es conducida principalmente a través de los canales preexistentes en la zona de estudio.

Debido a la complejidad de la dinámica del río durante el proceso de inundación combinado con la baja pendiente y gran extensión del área de estudio, no es posible establecer obras de mitigación estructural que sean económicamente sostenibles en la parte baja del antiguo ETCR. Sin embargo, en las partes más altas, donde la inundación tarda más en llegar y lo hace de manera más controlada, es posible plantear obras de conducción y manejo de aguas para un mayor aprovechamiento del espacio de ser necesario.

12.4. Amenaza final por inundaciones

Posteriormente, se realiza un ajuste heurístico basado en la revisión de las geoformas fluviales cartografiadas y se corrige la potencial expansión de las inundaciones, con ello su potencial de amenaza. Este ajuste se presenta en la Figura 150.

El ajuste se realiza hacia el extremo más norte de la mancha, que corresponde al nivel de amenaza baja. El polígono de amenaza por inundación ocupa aproximadamente la mitad (47,9%) del predio El Porvenir y el 0,7% del antiguo ETCR Filipinas, por lo cual se recomienda hacer la ocupación del lugar hacia la parte norte del polígono. Las zonas con amenaza alta, al interior del predio El Porvenir están localizadas sobre las áreas más próximas al caño Cuarteles, así como en una zona de depresión, propensa al almacenamiento de agua llamada estero, identificada en las campañas de campo.

Además, se realiza la corrección recomendada en el Decreto 1807 del 2014, la cual consiste en una depuración correspondiente al área mínima cartografiable. Este ajuste adicional se presenta en la Figura 151 y constituye el resultado del mapa de amenaza final por inundaciones.

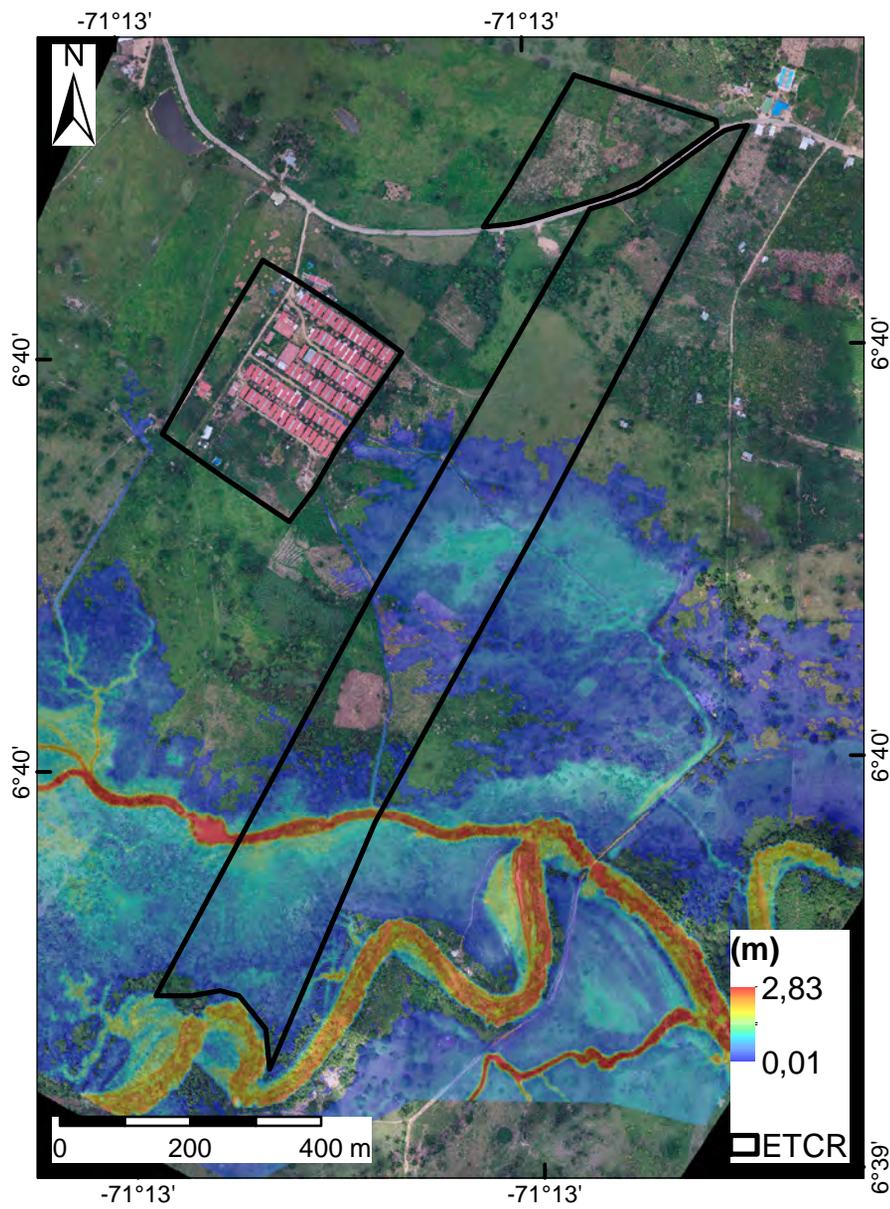


Figura 148: Distribución espacial del calado

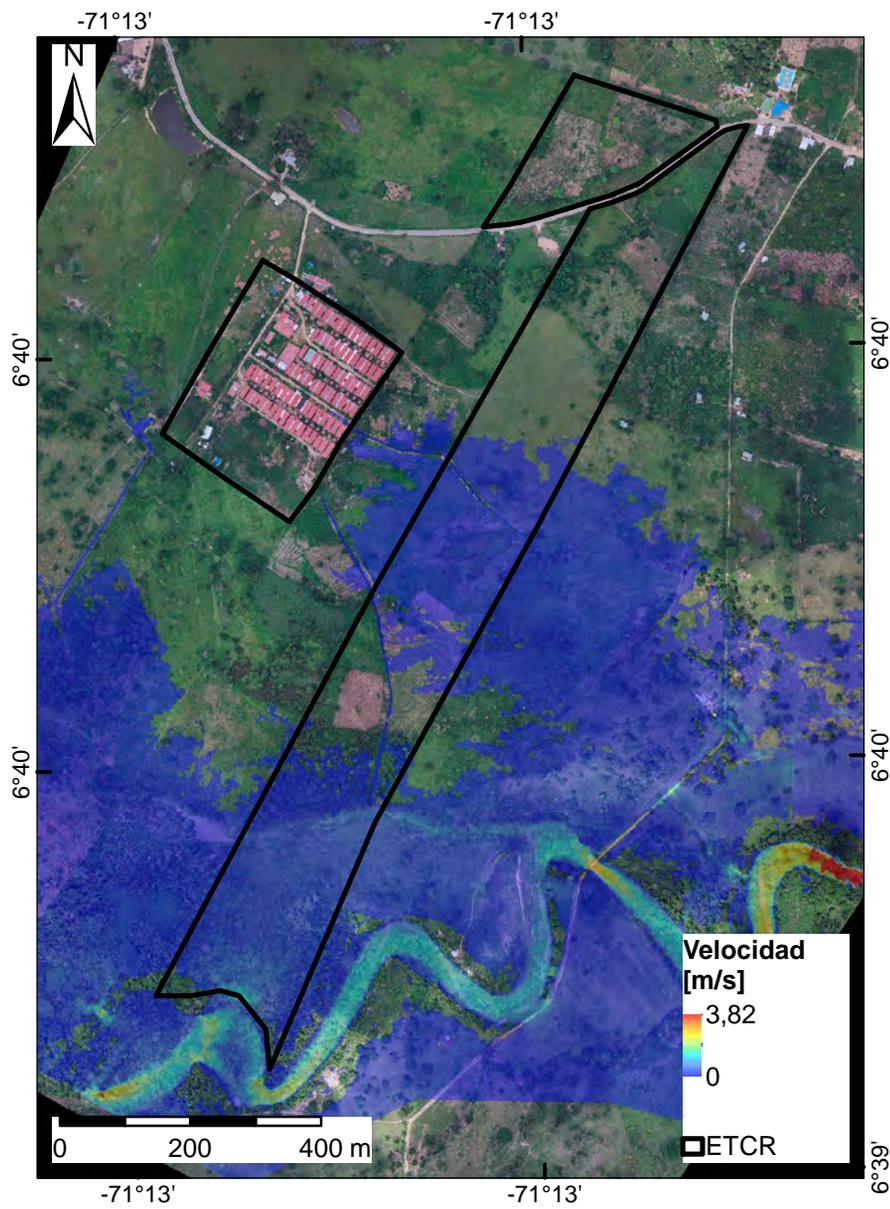


Figura 149: Distribución espacial de la velocidad de flujo.

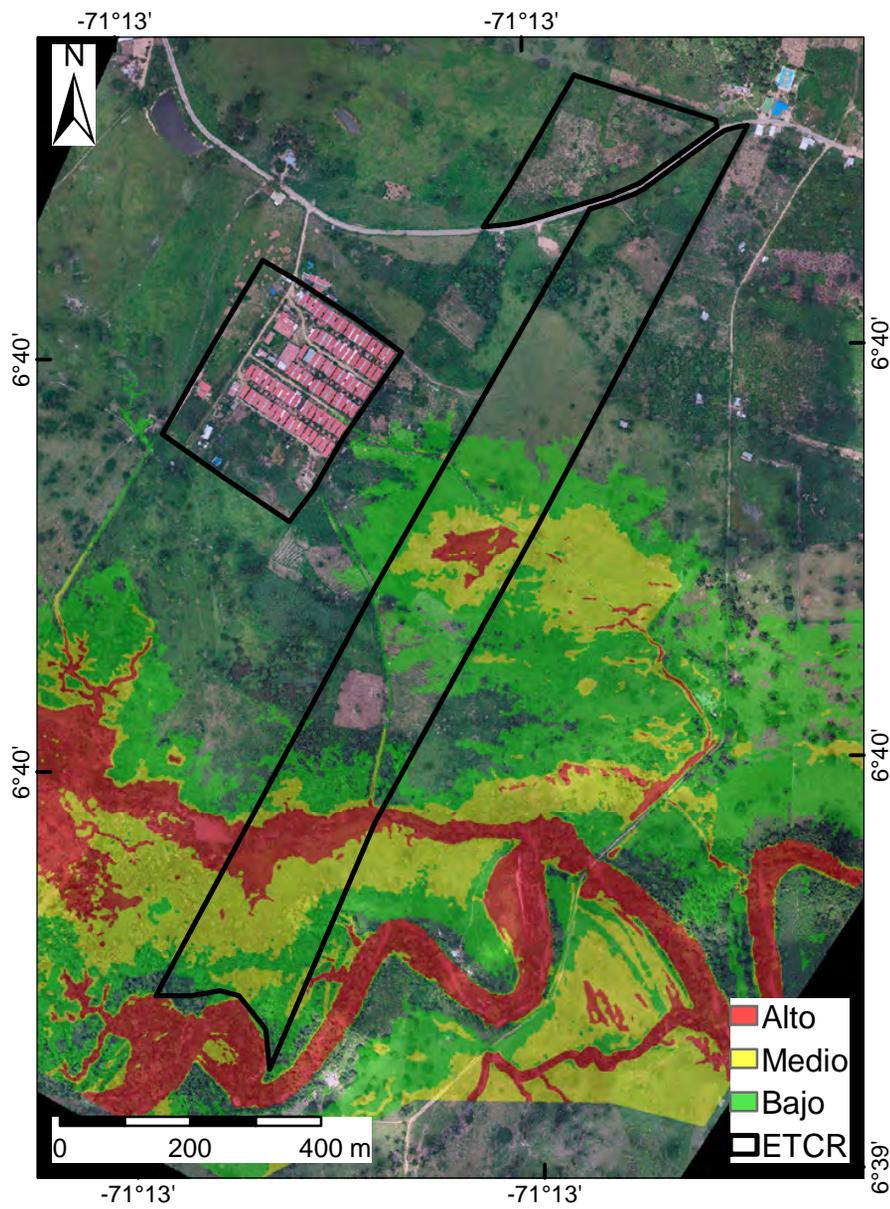


Figura 150: Zonificación de amenaza por inundaciones ajustada geomorfológicamente.

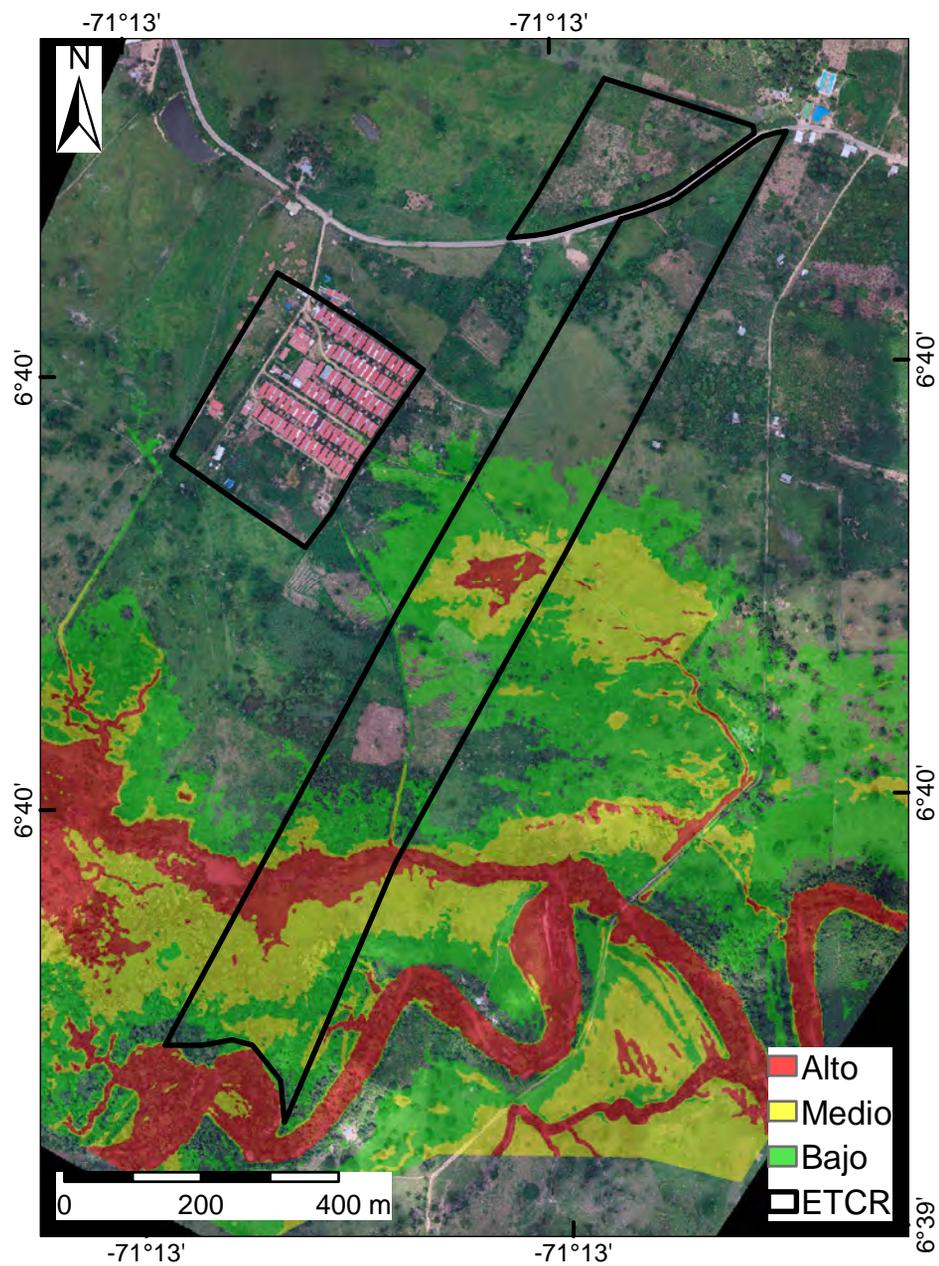


Figura 151: Zonificación final de amenaza por inundaciones.

Referencias

- Arcement, G.J., Schneider, V. (1989). Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains. *Water-Supply Paper 2339, US Geological Survey*.
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., ... Coll, A. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Metodos Numericos para Calculo y Diseno en Ingenieria*, 30(1), 1–10. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.rimni.2012.07.004> doi: 10.1016/j.rimni.2012.07.004
- Chow, V. T., Maidment, D. R., y Mays, L. W. (1994). *Hidrologia Aplicada*.
- FEMA. (2014). Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping Flood Depth and Analysis Grids.

Capítulo 13

Vulnerabilidad

En el presente capítulo se realiza la evaluación de la vulnerabilidad, considerando tanto la exposición de los elementos (bienes físicos y personas) como su grado de fragilidad ante el evento amenazante. Según el Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo (UNDP, 2004) la vulnerabilidad es clasificada en cuatro categorías: vulnerabilidad física (pérdidas del daño físico de infraestructura y edificaciones), vulnerabilidad ambiental (pérdidas de recursos naturales), vulnerabilidad social (pérdidas de la población y estructura social), y vulnerabilidad económica (efecto de la condición económica).

La estimación de las diferentes categorías de vulnerabilidad usualmente se aborda bajo métodos basados en las ciencias naturales y sociales (Crozier y Glade, 2005). La vulnerabilidad social ante amenazas naturales se enfoca principalmente en la sociedad, mientras que la vulnerabilidad física se centra en la interacción del daño y el ambiente físico (Uzielli, Nadim, Lacasse, y Kaynia, 2008). A continuación, se presenta las metodologías empleados y resultados de la vulnerabilidad bajo el enfoque social y físico ante inundaciones en el antiguo ETCR Filipinas.

13.1. Vulnerabilidad social

La vulnerabilidad en los estudios de riesgo de detalle, se supedita de manera reglamentaria a los análisis de exposición y fragilidad de los bienes y las personas expuestas, es decir, se cifra en función de los posibles niveles de daño en las infraestructuras y afectación en materia de pérdidas probables de vidas o de lesiones corporales, asociadas con los niveles de daño de las edificaciones (SGC, 2015). Esta, se analiza de acuerdo a los eventos o fenómenos más recurrentes en el territorio nacional: avenidas torrenciales, inundaciones y deslizamientos, según el decreto 1807 de 2014.

A pesar de la invisibilidad generalizada de otras formas de vulnerabilidad en los modelos de riesgo, que inciden de manera directa en la generación de escenarios, las diferentes herramientas derivadas de la norma frente a la gestión del riesgo, vienen incorporando a manera de sugerencia otros tipos de análisis que conlleven al conocimiento de esas otras vulnerabilidades, entre ellas la vulnerabilidad social, la cual puede dar cuenta de esas características del colectivo que los hace más o menos fuertes o débiles, ante la materialización del riesgo.

Aunque se esté ante reflexiones sobre asentamientos que no se han consolidado en términos infraestructurales, las personas en proceso de reincorporación son un colectivo que se viene conformando y preparando para participar en la construcción de su ámbito habitacional y relacional. En este sentido, el acercamiento a la vulnerabilidad desde una perspectiva social, es importante porque permite conocer los niveles de preparación, resiliencia y capacidades con la que cuentan las personas, y el colectivo como tal, para enfrentar la ocurrencia de un evento y/o generar prácticas sociales y culturales de protección de la vida y el territorio.

Al respecto la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres de Colombia (UNGRD, 2017), en los lineamientos para el análisis de la vulnerabilidad social, en los estudios de la gestión municipal del riesgo de desastres, expresa que, si bien para los estudios técnicos no hay vulnerabilidad sin exposición, esto no es cierto frente a la vulnerabilidad social, dado que esta se soporta en un componente de “indefensión personal” ante cualquier crisis u amenaza y que permanece aunque no exista el daño o la exposición, una gestión integral del riesgo debería entonces contemplar este aspecto. En otros términos, se expresa que el fortalecimiento de los medios de vida, la percepción del riesgo, el lazo social (UNGRD, 2017), entre otros aspectos, son constitutivos de respuestas resilientes a eventos extremos y a prácticas relacionadas con la exposición de la vida y los bienes.

Para acercarse a la fragilidad social de los antiguo ETCR, frente a una zona en proceso de consolidación que se proyectará bajo los estándares de la norma, se identificaron dos factores de vulnerabilidad desde la perspectiva social a evaluar, y que permiten, de acuerdo a lo anterior, identificar aspectos de demografía y estructura social que expresen sus preexistencias, antes del riesgo. Estos factores son las fragilidades y las capacidades.

La primera, las fragilidades, se describen a partir de dos dimensiones: una social y una económica. La fragilidad social, da cuenta de las condiciones del co-

lectivo y las personas ante aspectos mínimos para el disfrute de derechos, como son el acceso a la educación y la salud. La fragilidad económica, establece las condiciones de acceso a recursos que les permiten la satisfacción de necesidades básicas. Frente al riesgo, estos aspectos son esenciales para instaurar procesos de preparación y fortalecimiento de capacidades para la reducción del riesgo y el manejo de las emergencias.

Las capacidades por su parte, dan cuenta de las posibilidades que brinda el tejido social existente a las personas, en la generación de seguridad, confianza y gestión para el desarrollo. Estas se concibieron en tres dimensiones: capacidad organizativa -direccionada a establecer los niveles de organización-, confianza y participación, capacidad de gestión y cooperación -que da cuenta del relacionamiento de los habitantes del antiguo ETCR, mediante sus figuras de liderazgo con los actores en los ámbitos territoriales en los que habitan específicamente con los de la GRD y con otros actores en diferentes niveles territoriales-; por último se identifica la capacidad de apropiación que tiene que ver con los imaginarios de la vida en el asentamiento, con respecto al tiempo, al crecimiento de la población y a sus aspiraciones de permanencia, esto, en aras de comprender qué tan cercana es su relación con el territorio, puesto que entre más cercana es esta relación, mayor capacidad de gestión de los diversos aspectos del territorio existe.

Para el análisis de la vulnerabilidad desde la perspectiva social se establece un índice, definido mediante variables e indicadores asociados a las categorías mencionadas; a cada una de las variables se le estableció un rango de calificación cualitativa: alto, medio y bajo, donde según corresponda a la fragilidad o la capacidad, e igual con los demás parámetros; y una calificación cuantitativa que da cuenta, mediante un gráfico de redes, del cálculo de las variables asociadas a cada categoría. En la Tabla 55 se observa la escala de calificación.

Los datos para la realización de esta metodología se construyeron a partir de las bases de datos, resultado de la encuesta realizada en el marco de este proyecto a las familias de los antiguo ETCR. La muestra está delimitada a la presencia de los miembros de la familia en las viviendas, dada el alto nivel de movilidad poblacional de las personas en reincorporación a la vida civil. De acuerdo a los datos arrojados y a los análisis de la información de naturaleza etnográfica devenida de la labor en campo, se hace la calificación a criterio de experto.

En el caso de Filipinas, se realizaron 29 encuestas con las que se caracterizó a

78 personas. Esta caracterización se hizo sobre las siguientes variables: género, edad, nivel de escolaridad, tipo de afiliación en salud, discapacidad y actividad productiva principal. Las demás variables referentes a las proyecciones de permanencia de la familia, la pertenencia a agrupaciones, organizaciones y otras y el conocimiento sobre la gestión del riesgo y las formas organizativas presentes en el territorio, sólo aplican para la persona que contestó. En este sentido, de acuerdo a la pregunta, el universo de la muestra es 78 o 29.

Es importante resaltar que dentro de la estructura poblacional de los habitantes del antiguo ETCR, se encuentran pocos jóvenes en edad escolar, por ello los indicadores se direccionan de manera importante a la sociodemografía de población joven y adulta (de 15 años en adelante).

A continuación, se exponen los factores, las categorías y los indicadores de análisis de la vulnerabilidad:

13.1.1. Fragilidades socioeconómicas



Figura 152: Fragilidad social y económica antiguo antiguo antiguo ETCR

Las fragilidades sociales del antiguo ETCR Filipinas, fueron analizadas a partir de la cobertura en salud de sus habitantes, su nivel de escolaridad y un enfoque diferencial social, que incluye la discapacidad y la jefatura única del hogar. Por su parte las fragilidades económicas, se observaron por medio de las familias sin ingresos adicionales a la renta básica, un enfoque diferencial económico que consideró mujeres sin ingresos adicionales a la renta básica frente a hombres sin ingresos adicionales a la renta básica y el número de proyectos

Tabla 55: Esquema elementos para establecer la vulnerabilidad

FACTOR DE VULNERABILIDAD	CATEGORIA	INDICADORES (preguntas de encuesta)
Fragilidad Social	Escolaridad	Número de personas de 17 años en adelante con secundaria incompleta
	Cobertura en salud	Número de personas con cobertura en salud
	Enfoque diferencial social	Número de personas en condición de discapacidad
		Número de personas con jefatura única del hogar
	Número de mujeres con jefatura única del hogar sin ingresos adicionales	
Fragilidad económica	Ingresos adicionales	Número de familias sin ingresos adicionales a la renta básica
	Enfoque diferencial económico	Número de mujeres sin ingresos adicionales a la renta básica/Número de hombres sin ingresos adicionales a la renta
	Proyectos productivos activos	Número de proyectos productivos activos
Capacidad organizativa	Organizaciones sociales	Número de formas asociativas (proyectos, cooperativas, comités, colectivos, asociaciones, entre otras) presentes en el antiguo ETCR
	Participación	Número de personas que pertenecen a organizaciones, colectivos, comités, y otras agrupaciones
	Confianza en actores locales	Número de personas que confían, cuando tienen una dificultad, en las organizaciones del antiguo ETCR
Capacidad de gestión y cooperación	Participación del antiguo ETCR a nivel local	Participación de los representantes del antiguo ETCR en instancias de decisión y/o planificación a nivel local
	Conocimiento y participación en la GRD	Número de personas que conocen organizaciones locales para la GRD
		Número de personas que participan en organizaciones para la GRD
Alianzas y cooperación	Número de alianzas establecidas por antiguo ETCR	
Capacidad de apropiación	Permanencia en el antiguo ETCR	Número de personas que se proyectan viviendo en el antiguo ETCR
	Expectativas de crecimiento	Número de personas que creen que sus familias vivirán con ellos en el antiguo ETCR

Tabla 56: Escala de valoración

CATEGORÍA	CALIFICACIÓN CUALITATIVA
Escolaridad	Medio
Cobertura en salud	Bajo
Enfoque diferencial social	Medio
Ingresos adicionales	Bajo
Enfoque diferencial económico	Alto
Proyectos productivos (antiguo ETCR)	Bajo

productivos que se están desarrollando actualmente.

Como se observa en el Figura 153, la fragilidad más alta es el enfoque diferencial económico, lo cual indica que, de las personas sin ingresos adicionales, la mayoría son mujeres (el 52 %). Aunque es una cifra muy equiparable frente a los hombres sin ingresos adicionales (el 48 %), cabe anotar que, cuando se trata de hombres y mujeres excombatientes, hay una diferencia mínima entre ellos, pues ambos acceden al trabajo formal indiscriminadamente, en su mayoría empleados como escoltas de la Unidad Nacional de Protección. Sin embargo, si se hace este análisis frente a todos los habitantes del antiguo ETCR, excombatientes y no excombatientes, se puede observar que hay un número significativo de personas sin acceso a oportunidades laborales.

Frente a este análisis, es fundamental comprender que la dinámica de género en los antiguo ETCR es muy diferente a la de otros colectivos, puesto que en la generalidad no hay roles tan marcados y el acceso a información y recursos es mucho más equitativo.

La escolaridad, variable con calificación media en esta categoría (la fragilidad), muestra que el 55 % de las personas mayores a 17 años no ha terminado la secundaria o la dejó inconclusa y hay pocas personas con un nivel de formación profesional dentro del antiguo ETCR. Esta cifra, sin embargo, es muy variable, puesto que actualmente en los antiguo ETCR, se están desarrollando procesos de educación, formación y cualificación para que las personas en proceso de reincorporación realicen sus estudios desde básica primaria, hasta formación profesional.

En cuanto al enfoque diferencial social, variable igualmente con calificación media, por un lado, se encontró que la población con discapacidad que habita el antiguo ETCR corresponde al 9 %, siendo la mayoría de esta cifra discapacidad motora. Esta valoración se hizo de acuerdo a la media nacional, cuya cifra es 4,07 %. Frente a este referente, el 9 % es una cifra importante para una población

de aproximadamente 356 personas que habita el antiguo ETCR actualmente. Este es un dato muy significativo en la proyección de las viviendas permanentes, teniendo en cuenta que se deben adecuar para que las personas con movilidad reducida puedan acceder de manera equitativa a todos los lugares.

Por otro lado, se encontró que el 21 % de las personas que allí habitan son personas con jefatura única del hogar, sin embargo, de estos hogares, ninguno está a la cabeza sólo de mujeres; cabe anotar que esta variable no busca reflejar que las mujeres excombatientes son vulnerables por ser mujeres jefas de hogar, sino que pueden llegar a serlo, cuando son cabeza de hogar y no tienen ingresos adicionales a la renta básica.

La cobertura en salud es una de las variables que indica menos fragilidad en el esquema, puesto que el 95 % de las personas cuentan con salud subsidiada e incluso algunos pertenecen al régimen contributivo.

Igualmente, los proyectos productivos que tienen son aproximadamente siete. Entre ellos están la ceba y cría de ganado, la producción del Sacha Inchi, la elaboración de calzado y otros se enfocan en la cría de peces, gallinas ponedoras, una iniciativa de proyecto apícola que se está gestando y en su mayoría se siembra plátano (tienen más de 40mil matas sembradas).

13.1.2. Capacidades sociales

Las capacidades en el antiguo ETCR Llano Grande, se observaron a través de tres dimensiones: las capacidades organizativas, las capacidades de gestión y cooperación y las capacidades de apropiación (Figura 153).

Frente a las capacidades organizativas, la presencia de organizaciones sociales tiene un nivel alto en el antiguo ETCR, siendo una de las variables mayor calificadas del gráfico, puesto que tiene un número importante de organizaciones y colectivos, principalmente de índole económico y productivo, e igualmente hay una alta participación en otro tipo de agrupaciones, relacionadas con la educación, la salud y la cultura, entre otros. Para ello, el 100 % de las personas encuestadas antiguo ETCR se organizan en comunas, comités o pequeñas asociaciones, que les permiten llevar a cabo proyectos familiares y comunitarios y generar escenarios de decisión para resolver sus necesidades y dificultades. La confianza en instituciones u organizaciones es menos representativa, lo cual obedece a que, en su mayoría, los habitantes del antiguo ETCR manifiestan mayor confianza en sus vecinos, amigos o familiares, mientras que el 48 % confía en organizaciones propias -como el partido FARC- o instancias estatales, encar-



Figura 153: Capacidades antiguo ETCR

gadas de hacerles acompañamiento en el proceso de reincorporación. Algunas personas manifestaron que no confían en nadie y por tanto cuando lo necesitan, no piden apoyo de ninguna persona o entidad.

Las capacidades relativas a la gestión y cooperación, varían entre el rango alto y medio. Por un lado, hay una importante participación del antiguo ETCR en instancias de decisión local, debido a que participan activamente los Concejos Municipales de paz, el Plan de Desarrollo del municipio y participan de la JAC de la Vereda Filipinas (Tabla 57).

Las alianzas y cooperación con organizaciones locales, regionales, nacionales o internacionales, son importantes, ya que cuentan con más de cuatro alianzas de este tipo. Entre ellas se cuenta con el apoyo Naciones Unidas, el programa del Banco Mundial de Alimentos, la WCS (Wildlife Conservation Society), entre otras.

En lo referido al conocimiento y la participación en la gestión del riesgo de desastres, variable con calificación media, se encuentra que trece personas conocen alguna organización para la gestión del riesgo y de ellas tres participan en las mismas. De los antiguo ETCR visitados, éste es el único que cuenta con brigadistas, aunque se tuvo conocimiento de que, por la pandemia, no han podido realizar las capacitaciones en los temas de riesgo de desastres.

En cuanto a las capacidades de apropiación, tanto la permanencia como las expectativas de crecimiento en el antiguo ETCR son altas, esto relacionado

Tabla 57: Escala de valoración

CATEGORÍA	CALIFICACIÓN CUALITATIVA
Presencia de organizaciones sociales	Alto
Participación en organizaciones, colectivos, comités, y otras agrupaciones	Alto
Confianza en instituciones u organizaciones	Medio
Participación en instancias de decisión y/o planificación a nivel local	Alto
Conocimiento y participación en organización para la GRD	Medio
Alianzas y cooperación con organizaciones locales, regionales, nacionales o internacionales	Alto
Permanencia en el antiguo ETCR	Alto
Expectativas de crecimiento de las familias en el antiguo ETCR	Alto

con que el 93 % de las personas que actualmente habitan el antiguo ETCR se proyectan viviendo definitivamente allí, pero, además, de éstas, el 59 % creen que traerán a sus familias a vivir con ellos. Según lo expresan sus líderes, en el antiguo ETCR Filipinas hay arraigo, y una de las razones principales es que ya hay una tierra que les pertenece, que fue comprada con escrituras por los asociados de Asovip (Asociación Vida y Paz) y esto hace que las nuevas familias que se han ido consolidando se quieran quedar viviendo en este lugar

Este hecho no sólo obedece a la estabilidad económica, sino a la comprensión de las transitoriedades y permanencias en el lugar, sus visiones de futuro en términos de ocupación y crecimiento en el territorio, lo cual es importante para identificar los niveles de cohesión social adquiridos, y finalmente, la apropiación del territorio. Frente al riesgo de desastres, esta capacidad incide, puesto que puede fortalecer los procesos de participación frente al tema y con ello, la gestión del riesgo en sus territorios.

13.2. Vulnerabilidad física

En esta sección se determina la vulnerabilidad de las estructuras ubicadas en el antiguo ETCR Filipinas bajo los distintos eventos de amenaza considerados en el proyecto (movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales). Esto, con el propósito de cuantificar los daños esperados o pérdidas económicas

de las estructuras actuales como efecto de la posible materialización de las amenazas evaluadas en el capítulo 12. Como insumo en la estimación del riesgo y planificación territorial (Merz, Kreibich, Schwarze, y Thieken, 2010). Para la evaluación de la vulnerabilidad física se han desarrollado distintas metodologías, tales como, modelos con enfoque cualitativo, cuantitativo, semi-cuantitativo, matrices de riesgo (e.g. Frédéric, Asté, y Leroi, 1996; Kaynia y cols., 2008; Reichenbach, Galli, Cardinali, Guzzetti, y Ardizzone, 2005).

En el presente proyecto se aborda la vulnerabilidad bajo un enfoque cuantitativo a partir de la vulnerabilidad física, la cual es definida como el grado de pérdida debido al daño físico de estructuras y edificaciones (UNDP, 2004). A continuación, se presenta la metodología y resultados correspondientes a la vulnerabilidad física únicamente para inundaciones, ya que en el espacio territorial no se presenta exposición ante amenaza por movimientos en masa y avenidas torrenciales, acorde con lo mencionado en la sección 11.

13.2.1. Vulnerabilidad por Inundaciones

Las inundaciones fluviales son un componente natural del ciclo hidrológico con una variedad de consecuencias que incluyen daños económicos, sociales, ecológicos y ambientales (Pistrika, 2010). Como efecto del cambio climático, es probable que las inundaciones en muchas partes del mundo aumenten en intensidad y frecuencia en el futuro (Yamazaki D, 2018).

A partir del modelo hidrodinámico bidimensional empleado en el capítulo 9 se obtiene la mancha de calado, que más precisamente indica la profundidad de la inundación y su extensión, esta es la magnitud considerada en la amenaza por inundación y los posibles daños ocasionados a los elementos (estructuras) presentes en el área de estudio. La metodología implementada para la cuantificación del daño ocasionado por la inundación se considera el modelo propuesto por J y cols. (2020):

$$EAD = 0,5 \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_{i+1}} \right) (D_i + D_{i+1}) \quad (13.1)$$

Donde:

T = Período de retorno.

D = Daño económico

La Ecuación 13.1 expresa en qué medida un área se ve afectada por inundaciones utilizando el modelo de pérdidas por inundación para estimar los

daños anuales esperados (EAD) agregando los daños estimados para diferentes períodos de retorno de inundaciones. La estimación de los daños económicos considera una serie de insumos, tales como: (1) mapa de profundidad de inundación, (2) mapa de elementos expuestos, y (3) curvas de daño. A continuación se describen las características de los insumos y la cuantificación del daño económico mediante las curvas de daño propuestas por J y cols. (2020).

13.2.1.1. Curvas de daño

Las curvas de daño estiman el porcentaje de daño a partir de la profundidad de la inundación. En la Figura 154 se presentan las curvas de daño según los materiales empleados en los elementos expuestos. Estas curvas son definidas en la metodología de J y cols. (2020) que se realizó por medio de una compilación exhaustiva de funciones de daño relativo representadas en la Tabla 58. Esta información se extrajo de informes de proyectos y consultoría internacionales, y de análisis empírico artículos de varios países con diferentes condiciones y categorías similares de uso de la tierra. Las funciones se derivaron mediante análisis de regresión y una posterior adaptación técnica (J, L, y D, 2017).

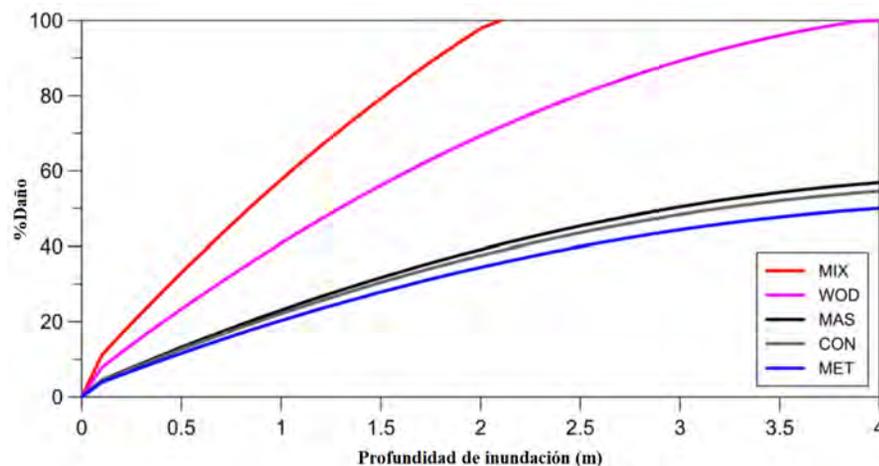


Figura 154: Funciones de daño según la profundidad de inundación en construcciones residenciales bajo diferentes materiales (material mixto, MIX; madera, WOD; mampostería, MAS; concreto, CON; acero/metal, MET). Adaptado de J y cols. (2020).

La Figura 154 representa el porcentaje de daño en diferentes tipos de materiales de la Tabla 59 para una determinada profundidad de la inundación, los tipos de materiales definen la variabilidad de cada curva debido a la fragilidad de los materiales, otro aspecto importante de la variabilidad de las curvas es que a mayor profundidad de la inundación mayor será el porcentaje de daños.

Tabla 58: Funciones de daño según categorías de construcción y valores para los materiales de las estructuras. Donde h =profundidad de inundación y mf =factor de material.

Categoría	Función de daño (%)	Tipos de material	mf
Residencial	$\text{Daño} = (-2,41h^2 + 23,34h + 2,12) * mf$	Estructura de mampostería	1
Comercial	$\text{Daño} = (-1,38h^2 + 21,92h + 1,94) * mf$	Madera	1,77
Industrial	$\text{Daño} = (-0,48h^2 + 15,11h + 4,03) * mf$	Acero/Metal	0,88
Religión	$\text{Daño} = (-0,11h^2 + 13,98h + 8,17) * mf$	Concreto	0,96
Gubernamental	$\text{Daño} = (-0,33h^2 + 14,78h + 8,32) * mf$	Estructura material mixto	2,5
Instalaciones esenciales	$\text{Daño} = (-0,11h^2 + 13,98h + 8,17) * mf$		
Otros	$\text{Daño} = (-0,13h^2 + 15,75h + 9,21) * mf$		

El tipo de material descrito para los elementos varia entre concreto, metal, madera, etc; y da una categoría para clasificar a que tipo de construcción corresponde los elementos como por ejemplo residencial, industrial, comercial, etc. Luego en los sitios vulnerables por la mancha de inundaciones se selecciona una ecuación extraída de la metodología que involucra la profundidad de la inundación en cada casa, su tipo de material y su categoría, que finalmente esta ecuación nos arroja un valor del daño ocasionado para cada vivienda o cualquier otro elemento significativo a analizar.

Tabla 59: Categoría y tipos de material para diferentes elementos de construcción

Categoría de construcción	ID	Tipos de material	ID
Residencial	RES	Estructura de mampostería	MAS
Comercial	COM	Madera	WOD
Industrial	IND	Acero/Metal	MET
Religión	REL	Concreto	CON
Gubernamental	GOV	Estructura material mixto	MIX
Instalaciones esenciales	ESF		
Otros	OTR		

Para los actuales espacios de vivienda se consideraron estructuras construidas con materiales de estructura mixta (MIX), esto a partir del inventario de estructuras que se recolectaron en las visitas de campo que dan información del material y estado de las viviendas.

Las funciones de daño de profundidad son relativas (Tabla 58) a las categorías de construcciones y el factor de material (mf), este último factor (mf) es asignado según el tipo de material empleado y hace relación a la fragilidad intrínseca de la estructura, en el caso del área de estudio la categoría que se utilizó fue Residencial debido al contexto de vivienda de los espacios territoriales de capacitación y reincorporación.

En la Tabla 60 se observa los factores implementados en las construcciones del área de estudio.

La profundidad de inundación (h) se obtiene de la mancha de calado extraído del análisis de amenaza por inundación. En el cual se obtienen los valores de h para cada vivienda, se optó por emplear el valor máximo de inundación que estaba presente en el polígono de la vivienda por medio de la herramienta de zonal.statistic de Arcmap, al extraer el valor máximo de la inundación presente en la vivienda.

Tabla 60: Factores en la implementación de la metodología para las estructuras antiguo ETCR Filipinas.

Construcción	Categoría	Tipo de material	mf	Profundidad inundación	Daño (%)
Estructura de alojamiento	Residencial	Mampostería	1	0m	0

13.2.1.2. Mapa de vulnerabilidad por Inundación

La representación de las posibles viviendas afectadas por inundación se observa en la Figura 155 en la que se muestra el porcentaje de daño con respecto al calado. En la Figura 155 se observa que la lejanía de las viviendas al caño la arenosa y sus afluentes hace que las viviendas no se encuentren afectadas por el nivel del agua durante un evento de inundación. Por lo tanto, ninguna vivienda interactúa con la mancha de inundación.

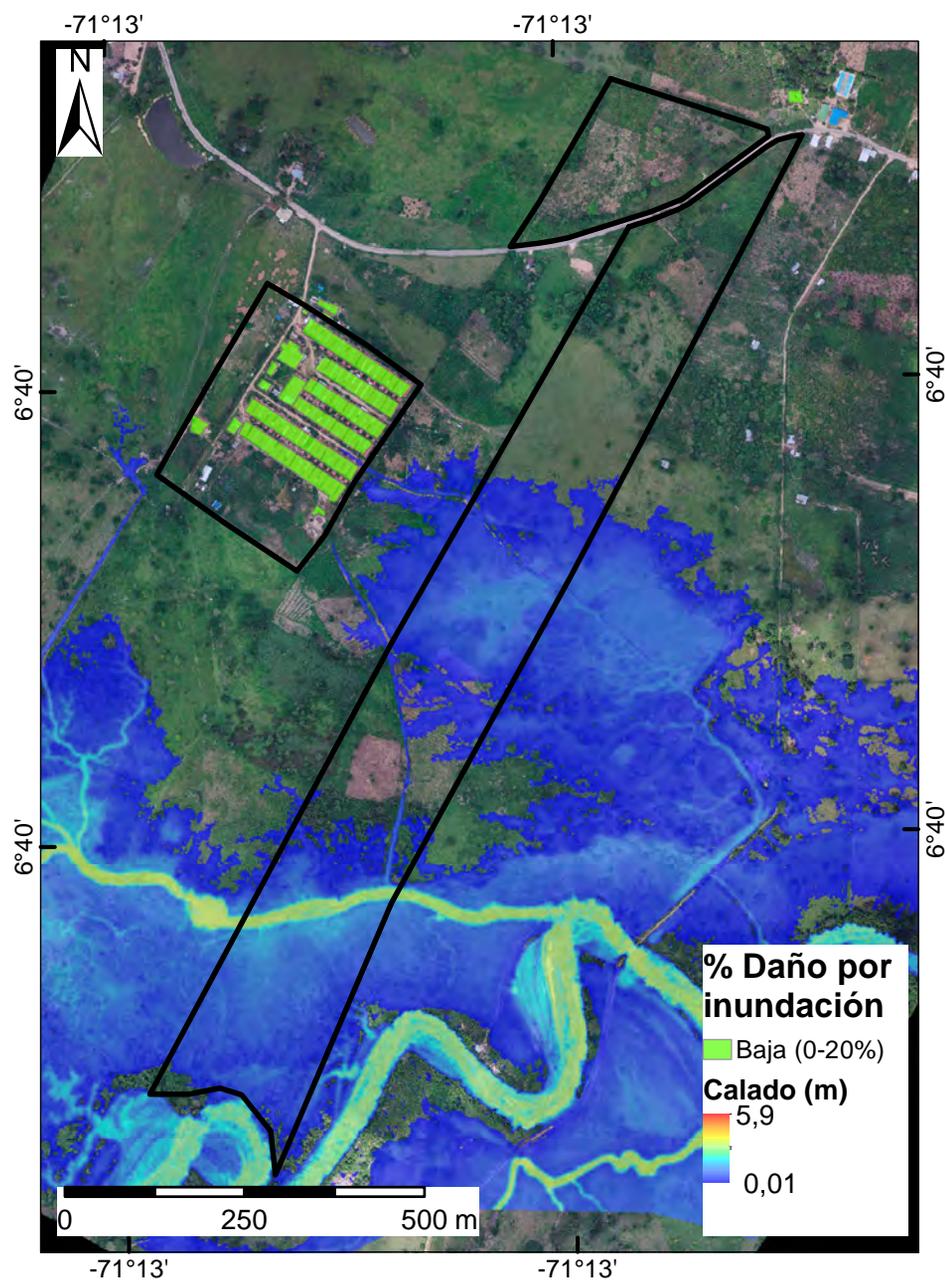


Figura 155: Daño por inundación en el antiguo ETCR Filipinas

Referencias

- Crozier, M. J., y Glade, T. (2005). Landslide hazard and risk: issues, concepts and approach. *Landslide hazard and risk*, 1–40.
- Frédéric, L., Asté, J., y Leroi, E. (1996, 01). Vulnerability assessment of elements exposed to mass-movement: Working toward a better risk perception. En (p. 263 - 269).
- J, P., L, T., y D, O. (2017). Métodos para la evaluación del riesgo de inundación fuvial: revisión de literatura y propuesta metodológica para ecuador. *Maskana*.
- J, P., L, T., y Orellana. (2020). Assessment of microscale economic food losses in urban and agricultural areas: case study of the santa bárbara river, ecuador. *Natural Hazard*.
- Kaynia, A., Papathoma-Köhle, M., Neuhäuser, B., Ratzinger, K., Wenzel, H., y Medina-Cetina, Z. (2008). Probabilistic assessment of vulnerability to landslide: application to the village of lichtenstein, baden-württemberg, germany. *Engineering Geology*, 101(1-2), 33–48.
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., y Thielen, A. (2010). Assessment of economic flood damage. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*, 10(8), 1697–1724.
- Pistrika, A. (2010). Flood damage estimation based on food simulation scenarios and a gis platform. *European Water*.
- Reichenbach, P., Galli, M., Cardinali, M., Guzzetti, F., y Ardizzone, F. (2005). Geomorphologic mapping to assess landslide risk: concepts, methods and applications in the umbria region of central italy. *Landslide Risk Assessment. John Wiley, Chichester*, 429–468.
- SGC, S. G. (2015). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. Servicio Geológico Colombiano-SGC.
- UNDP, U. N. D. P. (2004). *Reducing disaster risk: A challenge for development a global report*. United Nations.
- UNGRD. (2017). Lineamientos para el análisis de la vulnerabilidad social en los estudios de la gestión municipal del riesgo de desastres.
- Uzielli, M., Nadim, F., Lacasse, S., y Kaynia, A. M. (2008). A conceptual framework for quantitative estimation of physical vulnerability to landslides. *Engineering Geology*, 102(3-4), 251–256.
- Yamazaki D, H. Y., Watanabe S. (2018). Global food risk modeling and projections of climate change impacts. *Global food hazard: applications in modeling, mapping, and forecasting..*

Capítulo 14

Riesgo

En el presente capítulo se presenta la evaluación del riesgo cuantitativo asociado al evento amenazante de inundación. Con el propósito de establecer el riesgo generado por cada uno de los eventos se emplea el concepto de riesgo específico descrito en la Guía del Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2015). El riesgo específico es definido por la Ecuación 14.1 y el riesgo total de cada elemento expuesto se considera como la suma de los riesgos específicos para todo tipo de evento, para el antiguo ETCR Filipinas únicamente se considera el riesgo por inundación (Ecuación 14.2).

$$R_s = P(H_i) * V * E \quad (14.1)$$

Donde:

- R_s = riesgo específico o grado de pérdidas esperadas
- $P(H_i)$ = amenaza o probabilidad de ocurrencia
- V = Vulnerabilidad del elemento expuesto
- E = Costo económico del elemento expuesto en pesos (\$)

$$R_t = R_{Inun} \quad (14.2)$$

Donde:

- R_t = riesgo total
- R_{Inun} = riesgo específico por inundación

Las componentes de amenaza y vulnerabilidad contempladas en la cuantificación del riesgo son abordadas a partir de las metodologías descritas en el capítulo 12 y 13.2.1, respectivamente. A continuación, se presentan los resultados del riesgo específico y total para los elementos expuestos actuales en el antiguo ETCR Filipinas.

14.1. Riesgo actual

En cuanto a los eventos de inundación la probabilidad asociada a la amenaza se determina como el inverso del periodo de retorno, el cual corresponde al caudal máximo estimado para un periodo de 500 años.

Por otra parte, los daños esperados por el evento de inundación obedece al análisis descrito en las secciones 13.2.1, en las cuales se determinó cuantitativamente la probabilidad (0-1) de que se generen daños ante la ocurrencia de las amenazas. La última componente en la evaluación del riesgo contempla el valor monetario (costo) de los elementos expuestos. Este costo se contempla con base al valor monetario de los bienes considerados por la agencia nacional de reincorporación y normalización (ARN) estipulado en la resolución 472 del 31 de Julio del 2018. El valor comercial aproximado de cada polígono existente en el antiguo ETCR Filipinas se estima de \$ 379.602.809.

En el asentamiento actual no se presenta riesgo por inundación, ya que la mancha de inundación no interactúa con las viviendas actuales, tal como se muestra en la Figura 155. Los módulos de viviendas actuales son identificados espacialmente en la Figura 156.

14.2. Riesgo prospectivo

Como parte de la viabilidad del proyecto de vivienda rural se pretende evaluar el riesgo de las viviendas proyectadas en el antiguo ETCR; siendo así importante definir una aproximación de ubicación espacial y considera las características de los prototipos de viviendas concebidas.

14.3. Esquema de aproximación espacial

Con el fin de obtener cantidades de obra ajustables al antiguo ETCR, se realiza un ejercicio de aproximación esquemática del espacio con estructuras básicas necesarias de acuerdo con las 187 familias priorizadas por la ARN para la adquisición de vivienda en este espacio.

Para la realización de este ejercicio se tuvo en cuenta el diseño de La Pradera, realizado por Taller Síntesis y la arquitecta Ana Elvira Vélez, con 50 viviendas sociales implantadas en Salgar, Antioquia que hacen parte del Proyecto para la reconstrucción de Salgar después de la avalancha en 2015. Estas viviendas de 60 m^2 tienen un lote de 260 m^2 que permite actividades propias de la ruralidad como pequeñas huertas y jardines. Teniendo en cuenta este proyecto y con el

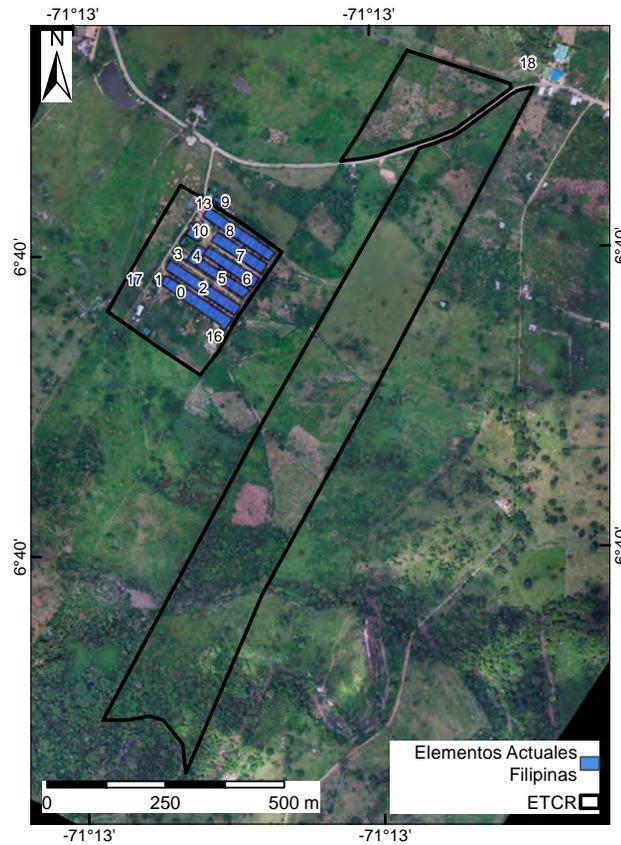


Figura 156: Elementos actuales dentro del antiguo ETZR Filipinas

fin de generar el menor impacto ambiental, se plantea una vía principal que atraviesa el predio y caminos peatonales que distribuyen hacia las viviendas. Además bajo la conversación con la Dirección de Vivienda Rural y la propuesta de 6 tipologías de vivienda, se realiza el ejercicio básico de ubicación de vías, predios con su vivienda asociada y análisis de otras infraestructuras planteadas como la PTAP, PTAR, equipamientos recreativos y culturales.

El predio de Filipinas actualmente cuenta con $276519,32 \text{ m}^2$, teniendo en cuenta las restricciones normativas y las zonas de amenaza alta para los tres eventos evaluados (movimiento en masa, avenidas torrenciales e inundación), surge un área efectiva de $99974,05 \text{ m}^2$ para localizar las infraestructuras futuras.

Para la implantación de las viviendas rurales, se plantean predios de 300 m^2 con el fin de asegurar pequeñas huertas y jardines privados en cada predio.

En La Figura 157 se observa una posible distribución de los 187 predios necesarios. De los $99974,05 \text{ m}^2$ disponibles para implantar las estructuras futuras, se utilizan $67441,92 \text{ m}^2$ para viviendas y vías de acceso, resultando así un espacio disponible de $32532,13 \text{ m}^2$ para ubicar usos complementarios y espacio público.



Figura 157: Propuesta predios para viviendas

En cada uno de estos espacios priorizados se tuvo en cuenta la menor categoría de amenaza, pendientes que faciliten la incorporación del proyecto y respetando las condiciones normativa se presenta en La Figura 158 uno recuadros correspondientes a las viviendas tipo, implantadas en el centro de predio de conformación cuadrada. Se debe tener en cuenta que, dichas viviendas no corresponden a diseños definitivos y pueden variar a hora de ser ejecutadas tanto en posición como el tamaño (el actual ejercicio la considera de $55,8 m^2$).

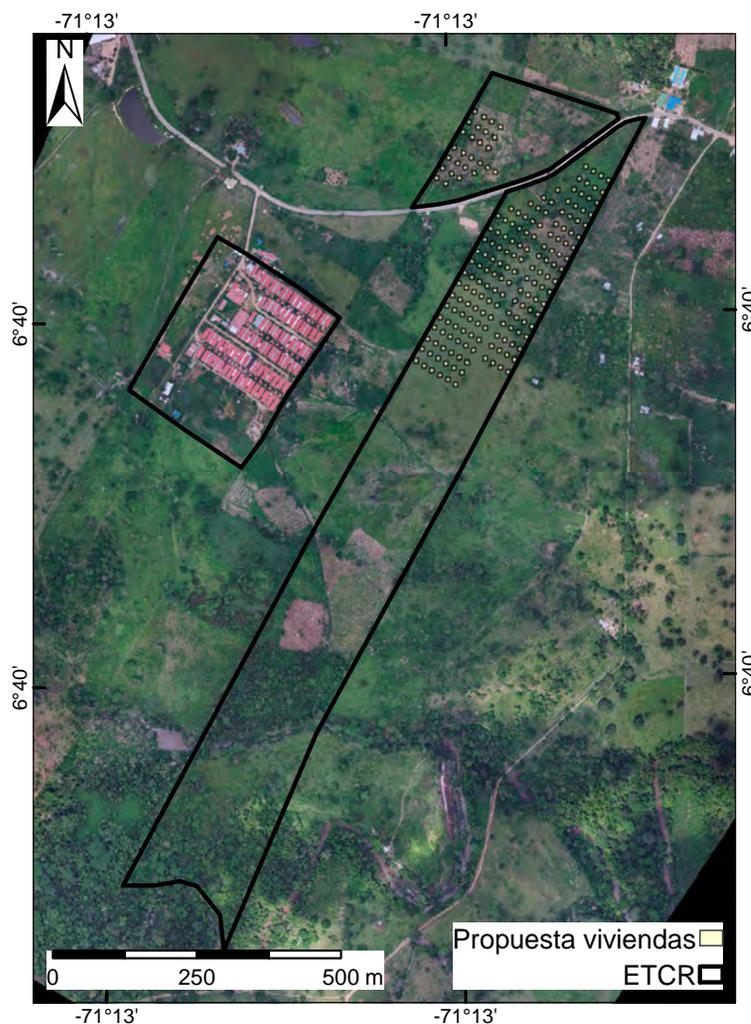


Figura 158: Viviendas guías

La ubicación de los predios propuestos están dados principalmente por la presencia de amenaza por inundación en gran parte de la zona sur orienta

14.3.1. Prototipo vivienda rural

La tipología para las viviendas proyectadas corresponden a mampostería reforzada, este tipo de edificaciones tienen un sistema estructural de mampostería con elementos de refuerzo (barras, láminas, pernos, platinas, etc.). Las viviendas para los modelos prototipo están constituidas por una estructura de concreto que comprenden casi aproximadamente el 50% del total de los elementos que componen el inmueble, además, muros en mampostería, carpintería metálica, instalaciones hidráulicas, instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas, acabados, sistema de post-tratamiento prefabricado, y cubierta (ver Figura 159). Los prototipos de vivienda comprenden un área de entre 52,8 y 55,55m². El valor económico de cada vivienda se estima de \$ 38.995.699.



Figura 159: Prototipo vivienda rural proyectada

14.3.1.1. Evaluación de riesgo prospectivo

A partir de las características tipológicas y materiales proyectados para la construcción de las viviendas permanentes se establece la fragilidad y tipo de material para la cuantificación de la vulnerabilidad por inundación. La metodología empleada es descrita en la sección 13.2.1.1.

El tipo de material a considerar en el análisis de daños por inundación se considera estructuras de mampostería de categoría residencial, por ende se asigna el valor de 1 para el factor de material (mf).

En cuanto a las componentes de amenaza y vulnerabilidad para el riesgo prospectivo de las viviendas proyectadas se consideran la misma metodología empleada en la sección de riesgo actual (sección 14.1).

Con respecto a los eventos de inundación en la Figura 160 se presenta el daño asociada al calado.

Finalmente, como ejercicio preliminar a las viviendas proyectadas se estima el riesgo específico por inundación, así como el riesgo total para cada vivienda en el antiguo ETCR Filipinas. Al igual que en el escenario actual; las viviendas proyectadas no presentan riesgo por ningún tipo de evento considerado en el

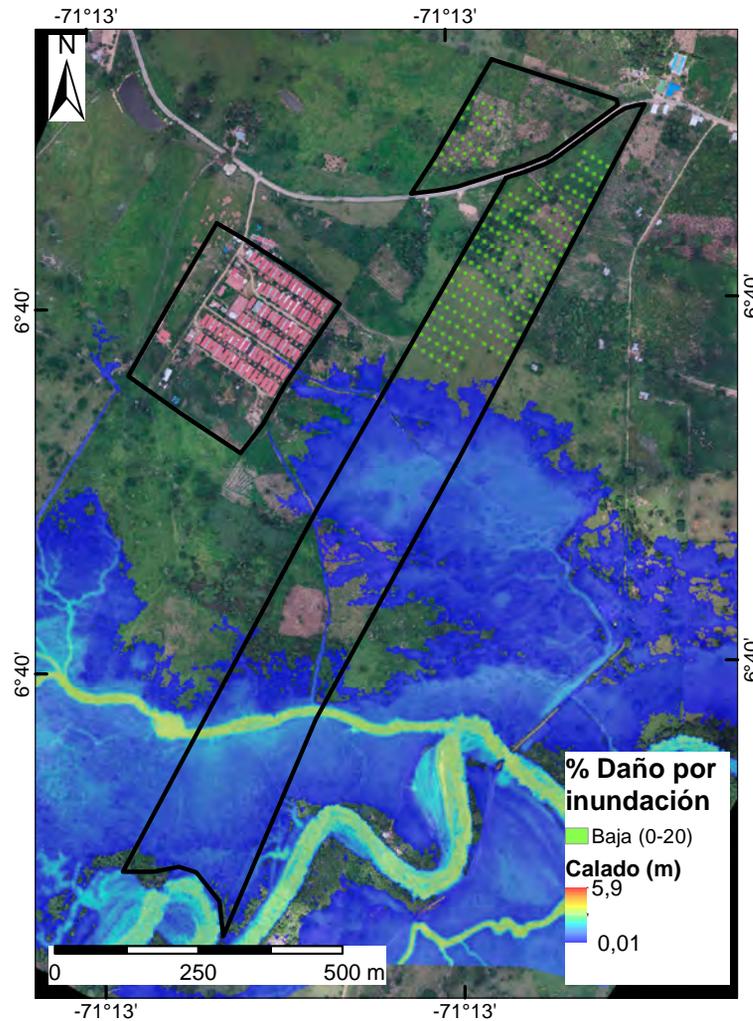


Figura 160: Daño por inundación en elementos prospectivos en el antiguo ETCR Filipinas

proyecto (movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundación). La ubicación espacial preliminar de las viviendas se presenta en la Figura 161.

14.4. Riesgo Socioeconómico

El riesgo, entendido como el daño que se puede generar cuando se materializa una amenaza, depende en gran medida de la capacidad de daño y de las fragilidad o situaciones propias a las personas y bienes que están expuestos o localizados en el área de daño. En términos generales, el riesgo es un sistema, localiza geográficamente, que se configura por la amenaza, las fragilidades y las capacidades.

A partir de la comprensión anterior, se definió la evaluación de la amenaza a partir de la matriz de riesgo, instrumento en el cual se expresa la interacción de

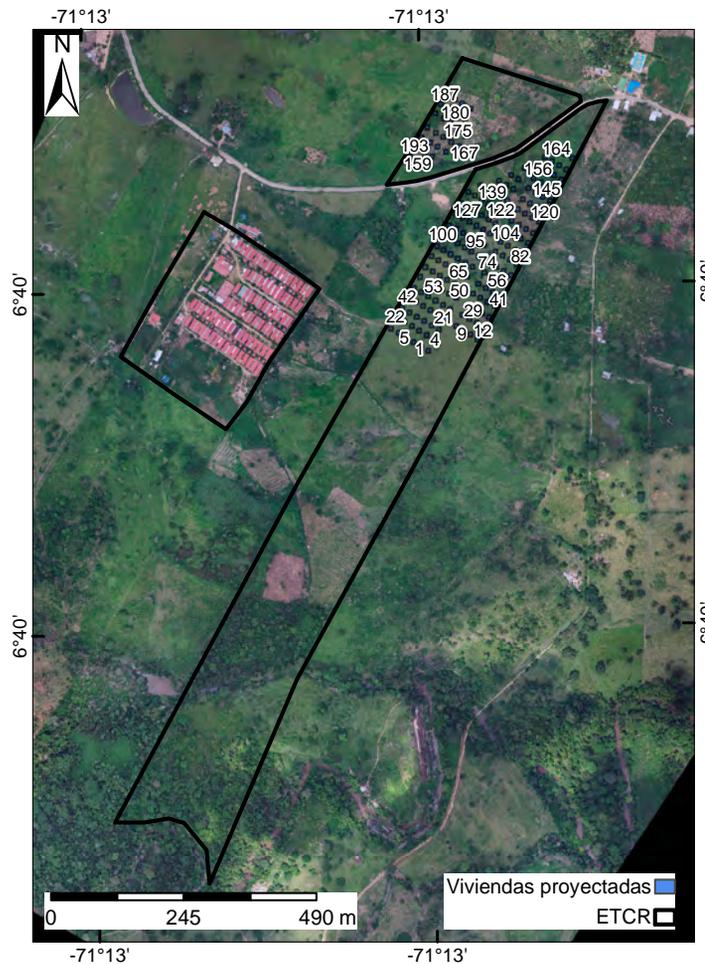


Figura 161: Viviendas proyectadas dentro del antiguo ETCR Filipinas

la amenaza, a partir de su presencia y potencial de daño, con las fragilidades de los elementos del sistema, pero también de las capacidades de ese mismo sistema para evitar, contrarrestar o recuperarse de tal daño. Los valores de la matriz parten de evaluaciones cuantitativas, pero avanzan a la calificación, para dicha interacción, por expertos con el conocimiento de los elementos que constituyen tal interacción, tanto teórica como empíricamente, es decir, el conocimiento a partir del trabajo en terreno.

Si bien, para dar cumplimiento a lo exigido como pre factibilidad para la construcción del proyecto de vivienda solo se requieren los estudios de amenaza, dada la experiencia del equipo se decidió aportar este elemento de análisis de riesgo ya que es este análisis el que permite anticiparse a prácticas antrópicas que posteriormente pueden convertirse en detonante de las amenazas. Es decir, este análisis integral permite una mirada de más largo plazo en la configuración de asentamientos humanos.

La evaluación de riesgo para el antiguo ETCR Filipinas tomando como referencia los siguientes valores, mostrados en la Figura 61, permite evidenciar que el riesgo no es un aspecto de gran preocupación para la consolidación del centro poblado; sobre todo, porque la amenaza única es la de inundación y su posibilidad de afectación es baja porque el potencial de daño de la amenaza en sí misma es bajo, y pese a que los habitantes se encuentran en situación de fragilidad entre media y media-alta, las capacidades que tienen son tan altas que es fácil avanzar en procesos que eviten los daños.

Tabla 61

Rangos para valoración del riesgo			
0-3	3, 1-5, 9	6-8, 9	9-11, 9
Bajo	Medio	Medio-alto	Alto

14.4.1. Matriz de riesgo

Amenaza	Probabilidad 0-0,3 remoto - 0,4-0,6 ocasional - 0,7-0,8 moderado - 0,9-1 frecuente	Impacto						Fragilidad				Capacidad				Nivel de Riesgo		
		Humano	Ambiental	Viviendas	Productivos	Equipamientos	Evaluación	Social	Económico	Estructural	Evaluación	Organizativa	Gestión y Cooperación	Apropiación	Evaluación			
AVENIDAS TORRENCIALES	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
INUNDACIONES	0,1	0	0,7	0,1	0,5	0,1	1,4	0,4	0,4	0,8	1,5	0	0	0	0	0	0	3
MOVIMIENTO EN MASA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Figura 162

En conclusión, medidas estructurales básicas, acompañadas de medidas no estructurales de formación para los habitantes, serán suficientes para mantener un riesgo bajo y muy bajo en el poblado.

Referencias

SGC, S. G. (2015). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. Servicio Geológico Colombiano-SGC.

Capítulo 15

Medidas de mitigación y remediación

El Artículo 20 del Decreto N°1807 del 2014 establece que se deben plantear medidas de intervención que podrán ser estructurales y no estructurales con la intención de prevenir, mitigar y/o reducir la amenaza y/o vulnerabilidad de los elementos expuestos. Por lo que se exponen medidas estructurales y no estructurales para su implementación en el antiguo ETCR.

15.1. Medidas no estructurales

Acorde con el Decreto 1077 del 2015 “*Determinación de medidas de intervención. Con base en los resultados de los estudios básicos, se deben determinar las medidas de mitigación no estructurales orientadas a establecer el modelo de ocupación del territorio y las restricciones o condicionamientos para el uso del suelo cuando sea viable, mediante la determinación de normas urbanísticas*” se determina las medidas de mitigación no estructurales orientadas a establecer el modelo de ocupación del territorio y las restricciones para el uso del suelo. Además, en el Artículo 20 (medidas de intervención) menciona que las medidas no estructurales son aquellas orientadas a regular el uso, la ocupación y el aprovechamiento del suelo, sistemas de alertas tempranas, socialización y apropiación cultural de los principios de responsabilidad y precaución. Las implementaciones de las medidas no estructurales ayudan a la máxima reducción del riesgo, especialmente la pérdida de vidas. Por ello, las medidas no estructurales buscan la reducción de la vulnerabilidad de la población en riesgo a partir del planeamiento y la gestión llevados a cabo antes, durante y después de un evento. Las medidas no estructurales son de especial importancia para que en conjunto con las medidas estructurales se pueda mitigar el riesgo de una manera efectiva y balanceada.

La dos medidas no estructurales fundamentales corresponden a la inclusión

de los presentes estudios en el Plan de Ordenamiento Territorial, y que permite que no se conformen condiciones de riesgo en el área, Adicionalmente el alcance del presente estudio incluye los Estudios de detalle, los cuales también deberán ser incorporados.

Como segunda medida fundamental, complementaria al POT, se refiere a la implementación de sistemas de alerta temprana (SAT) que permitan monitorear y hacer un seguimiento al desarrollo de eventos hidrometeorológicos que puedan generar una condición de riesgo para los pobladores. Para esto se presenta en el presente capítulo la definición de umbrales de lluvia críticos, y que podrán ser implementados para la construcción de un SAT.

Además, a continuación, se presentan otra serie de medidas no estructurales para las zonas de amenaza media y alta zonificadas en el capítulo, 12. Así, de acuerdo con las condiciones locales y resultados del presente estudio se propone las siguientes medidas según el tipo de evento:

Inundaciones:

- Creación del plan de manejo y ordenamiento de cuencas hidrográficas (POMCA), con el fin de estudiar los cambios hidrológicos y con esto, las variaciones del cauce.
- Establecer estrategias para el control y manejo de inundaciones
- Implementación de planes de mantenimiento y limpieza de los cauces.
- Establecer estrategias para prácticas agrícolas que puedan actuar como control de erosión en las laderas, lo cual permite disminuir la carga de sedimentos de los cauces.
- Establecer Sistema de monitoreo permanente relacionado con los niveles del cauce en cuestión. Asociado a esto, implementar un sistema de alerta temprana el cual permita notificar a la comunidad cuando los niveles presenten un riesgo para ellos.
- Concientizar a la comunidad a través de capacitaciones, el riesgo que implica instalarse cerca al cauce. Además, resaltar en estas campañas los puntos de Amenaza alta y media a inundación.

15.1.1. Umbrales de lluvia

Un umbral de lluvia, es un nivel mínimo o máximo de una cierta cantidad de precipitación, después de lo cual se produce un proceso (Reichenbach, Cardinali, De Vita, y Guzzetti, 1998). Los umbrales de lluvia buscan definir una cantidad de lluvia acumulada en cierto tiempo para la cual ocurren la mayor cantidad de eventos y de esta forma utilizarse para anticipar o pronosticar su ocurrencia. Según (Guzzetti, Peruccacci, y Rossi, 2007) los umbrales críticos de lluvia para predecir eventos de movimientos en masa se pueden hallar con dos metodologías:

- Métodos empíricos o estadísticos aplicados ampliamente a debido a su fácil implementación (Aristizábal, González, Montoya, y Vélez, 2011; Glade, Crozier, y Smith, 2000)
- Utilizando modelos físicos numéricos que son más complejos de definir y aplicar

La metodología para definir los umbrales es importante resaltar las siguientes definiciones. El término Lluvia Acumulada (LA), o lluvia a corto plazo, se refiere a la cantidad de lluvia caída en los días inmediatamente previos a la ocurrencia del evento; por otro lado, la Lluvia Acumulada Antecedente (LAA), o lluvia de largo plazo, representa la cantidad de lluvia acumulada en los días precedentes a los definidos como Lluvia Acumulada (LA) (Aristizábal y cols., 2011).

Luego de conocer cuales son las condiciones de lluvia en el área de estudio, se procede a calcular los datos de la Lluvia Acumulada y la Lluvia Acumulada Antecedente para CHIRPS e IDEAM, a escala diaria para las estaciones del IDEAM y para CHIRPS, se evaluarán los umbrales a escala mensual, esto último se debe a que la correlación más alta entre los datos satelitales y del IDEAM se presenta a escala mensual, como se observa en la Figura 19.

15.1.1.1. Umbrales de lluvia estaciones IDEAM escala diaria

Para la definición de los umbrales de lluvia para las estaciones del IDEAM, se toman todos los datos disponibles de lluvia de las estaciones para luego comparar la lluvia acumulada de 1 día (mm) y la lluvia acumulada antecedente de 30 días (mm); de lo mencionado se tienen los siguientes resultados, mostrados en las Figuras 163, 164 y 165, se puede observar diferentes concentraciones al inicio mas densidad de puntos y secuencialmente se va perdiendo la densidad de

los puntos, estas concentraciones que fueron marcadas en colores permiten conformar un sistema de alertas verde, amarilla, naranja y roja para la ocurrencia de eventos fuertes de lluvia y además de la lluvia que se ha venido acumulando que podrían ocasionar el desencadenamiento de procesos morfodinámicos.

Podemos visualizar en las gráficas que las zonas son definidas de la siguiente manera alerta verde (baja) para la estación Arauquita oscila entre 0 y 30 mm/día para lluvia acumulada y para lluvia acumulada antecedente 0 a 500 mm en 30 días de acumulado, para la estación Matezamuro oscila entre 0 y 20 mm/día para lluvia acumulada y para lluvia acumulada antecedente 0 a 400 mm en 30 días de acumulado y para la estación Morichal, oscila entre 0 y 25 mm/día para lluvia acumulada y para lluvia acumulada antecedente 0 a 600 mm en 30 días de acumulado. En alerta media(amarillo) para la estación Arauquita oscila entre 30 y 60 mm/día para lluvia acumulada y para lluvia acumulada antecedente entre 500 y 700 mm en 30 días de acumulado, para la estación Matezamuro oscila entre 20 y 50 mm/día para lluvia acumulada y para lluvia acumulada antecedente entre 400 y 700 mm en 30 días de acumulado, y para la estación Morichal oscila entre 25 y 60 mm/día para lluvia acumulada y para lluvia acumulada antecedente entre 600 y 900 mm en 30 días de acumulado. En alerta alta(naranja) para la estación Arauquita oscila entre 60 y 80 mm/día para lluvia acumulada y para lluvia acumulada antecedente superior a 700mm en 30 días de acumulado, para la estación Matezamuro oscila entre 50 y 80 mm/día para lluvia acumulada y para lluvia acumulada antecedente oscila entre 700 y 1000 mm en 30 días de acumulado y para la estación Morichal oscila entre 60 y 100 mm/día para lluvia acumulada y para lluvia acumulada antecedente oscila entre 900 y 1200 mm en 30 días de acumulado, valores superiores a la zona naranja son clasificados como alerta muy alta(zona roja).

15.1.1.2. Umbrales de lluvia de satélite CHIRPS escala mensual

Para determinar los umbrales en la lluvia estimada por satélite se sigue el mismo procedimiento mencionado anteriormente, pero en este caso, a escala mensual; adicionalmente, es importante resaltar que el análisis de los umbrales se realiza a nivel de cuenca, es decir, se tiene a consideración la lluvia, mostrada por CHIRPS, que cae sobre todo el área de interés, en este caso la cuenca del río Ele y el caño La Arenosa. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 166, donde se compara la lluvia acumulada de un mes contra la lluvia acumulada antecedente de 3 meses.

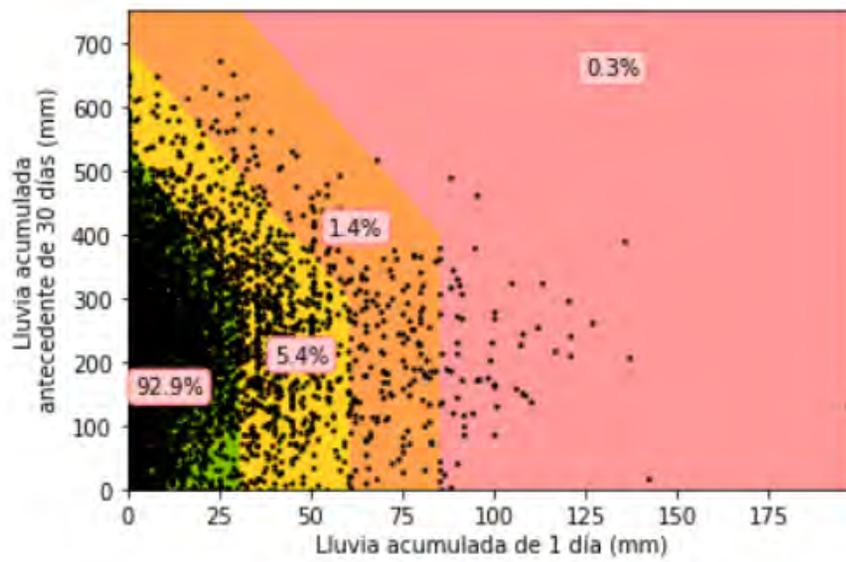


Figura 163: Umbral de lluvia estación Arauquita IDEAM

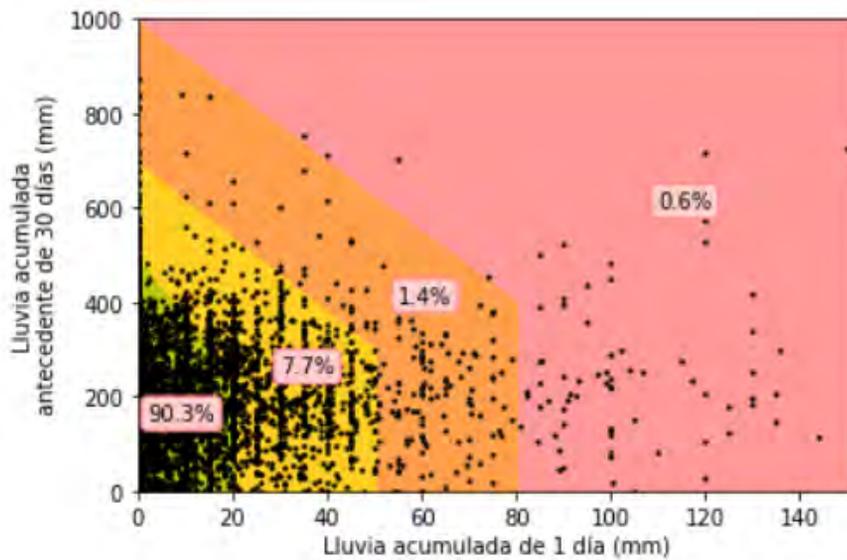


Figura 164: Umbral de lluvia estación Matezamuro IDEAM

Podemos observar en la Figura 166 que las zonas son definidas de la siguiente manera alerta baja(verde) oscila entre 0 y 1200 mm/mes para lluvia acumulada y para lluvia acumulada antecedente 0 a 5000 mm en 3 meses de acumulado, para alerta media(naranja) oscila entre 1200 y 4000 mm/mes para lluvia acumulada, valores superiores a los anteriores son clasificados como alerta alta(rojo). Por otro lado en la Figura 167 que las zonas son definidas de la siguiente manera alerta baja(verde) oscila entre 0 y 20 mm/mes para lluvia acumulada y para lluvia acumulada antecedente 0 a 150 mm en 3 meses de acumulado, para aler-

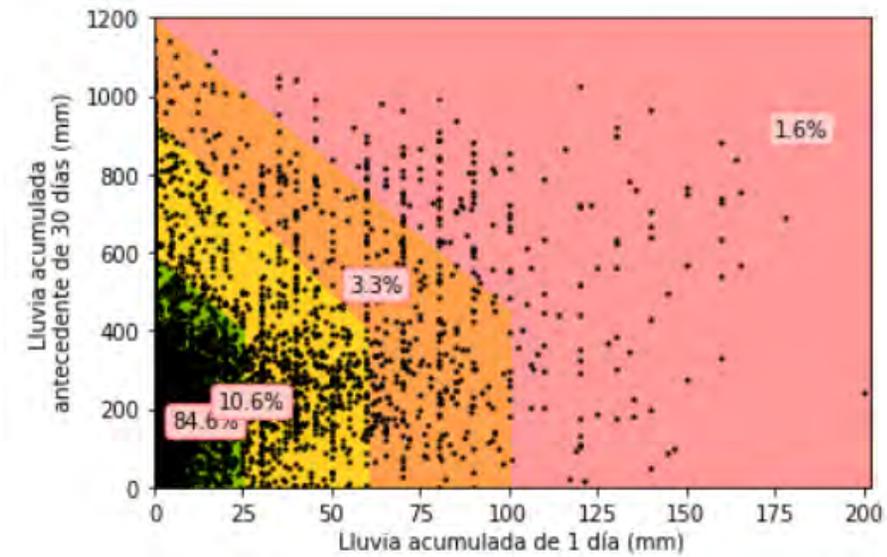


Figura 165: Umbral de lluvia estación Morichal IDEAM

ta media(naranja) oscila entre 20 y 85 mm/mes para lluvia acumulada, valores superiores a los anteriores son clasificados como alerta alta(rojo).

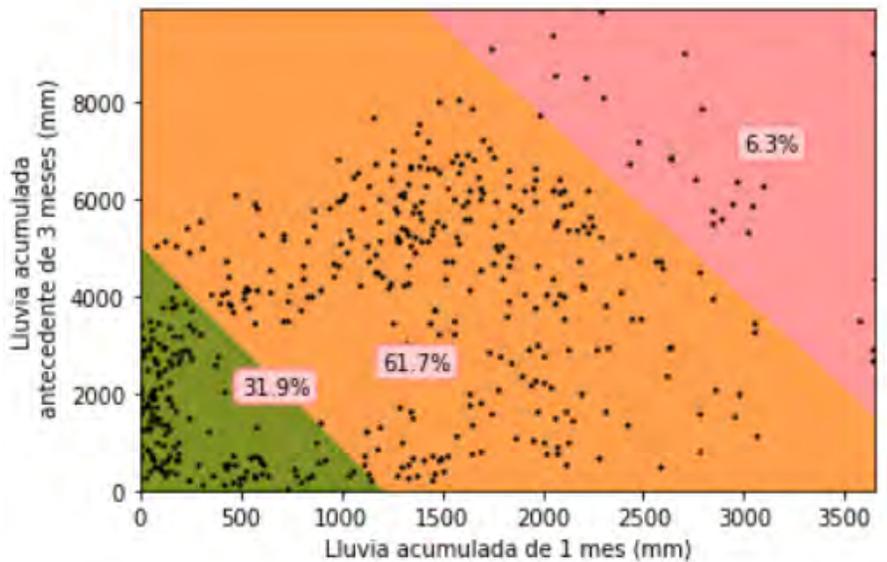


Figura 166: Umbral de lluvia para satélite CHIRPS Río Ele

15.1.1.3. Umbrales de lluvia como sistemas de alerta temprana (SAT)

Una de las medidas más efectivas para la reducción de las pérdidas asociadas a fenómenos naturales detonados por lluvias son los sistemas de alerta temprana (SAT) basados en umbrales empíricos de lluvia (Thiebes y Glade, 2016). Cuatro

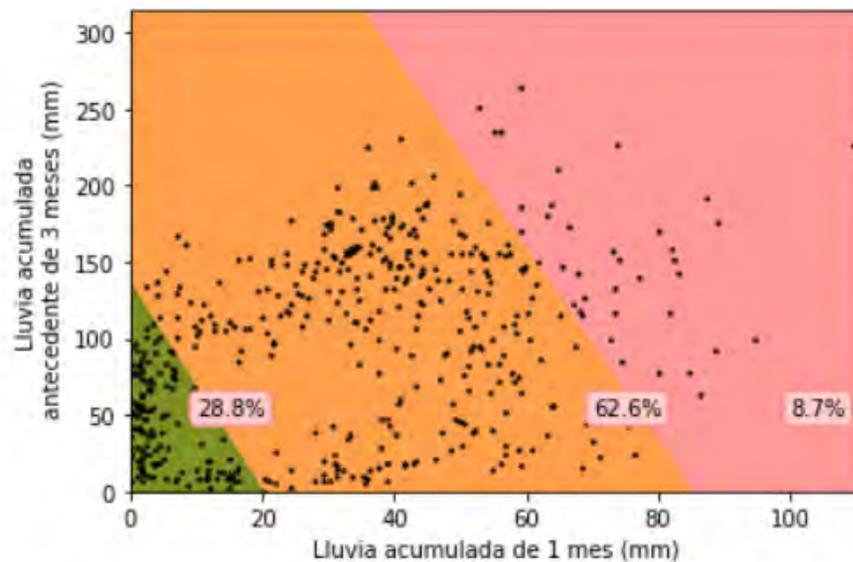


Figura 167: Umbral de lluvia para satélite CHIRPS Caño La arenosa

elementos se requieren para un SAT operacional: (i) una evaluación adecuada del riesgo, (ii) la implementación de monitoreo y modelos de predicción, (iii) una estrategia de diseminación de la información simple, sintética y confiable, y (iv) el desarrollo de estrategias de respuesta combinadas con educación y conocimiento en las comunidades (Canli y Loigge, 2018).

Los umbrales de lluvia de las anteriores imágenes nos ayudan a identificar cuales son los niveles de precipitación mas altos que podrían desencadenar distintos fenómenos naturales como movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones. Como recomendación para la comunidad es importante tener en cuenta el monitoreo de la precipitación y verificar los limites de los umbrales (franja roja en las figuras anteriores de umbrales), si se da el caso de que en el registro de la precipitación sobrepasa el limite de los umbrales informar y alertar al consejo de gestión del riesgo del municipio sobre las condiciones de lluvia.

15.1.2. Estrategias para el aprovechamiento del suelo

Teniendo en cuenta los estudios de detalle sobre la viabilidad normativa, surgen unas zonas disponibles para ser ocupadas, en las cuales se distinguen áreas edificables y no edificables que corresponde con el estudio de amenazas por inundación, movimientos en masas y avenidas torrenciales.

Se establecen tres (3) estrategias generales para la intervención de estas zonas

enfocadas en la creación de espacio público, revegetación de superficies y la definición de zonas productivas, estas opciones se eligen según las condiciones de cada antiguo ETCR y se definen así:

- Espacios públicos, como complemento al uso de vivienda se definen espacios públicos que pueden ser libres u edificados según la categoría de riesgo. Para garantizar la no ocupación del suelo en vivienda en las altas pendientes, se recomienda plantear dichas zonas como espacios públicos aprovechables para el disfrute de la población.
- Revegetación, con el fin de proteger suelos no edificables, se plantea la revegetación como estrategia en suelos de amenaza alta principalmente. asegurando así que no se establezcan infraestructuras futuras en estos espacios.
- Zonas productivas, entendiendo la necesidad de establecer espacios para el desarrollo de proyectos productivos de la comunidad, se piensan zonas productivas que pueden ser exclusivamente de cultivos o complementados con infraestructura de apoyo, en áreas no afectadas por amenazas altas.

El antiguo ETCR está afectado principalmente por zonas de inundación por lo que se plantea como estrategia de mitigación no estructural la creación de espacio público libre y ocupado por equipamientos de acuerdo con las necesidades particulares. Además, se definen zonas productivas que pueden ser libres para cultivos y con áreas aptas para la construcción de infraestructuras de apoyo (Tabla 62).

Tabla 62: Áreas aprovechamiento del suelo

Descripción	Área m ²	Estrategia
Área bruta antiguo ETCR	276519,32	
Restricciones normativas	36148,95	
Área neta antiguo ETCR	240370,37	
Edificable vivienda	67441,92	
Amenaza por mvto inundación	140396,32	espacio público libre
Espacio adicional edificable	32532,13	espacio público equipamientos

15.2. Medidas estructurales

Las medidas estructurales consisten en la construcción de obras con la intención de reducir y/o anular el impacto de las condiciones amenazantes sobre

la población y las estructuras que constituyen el antiguo ETCR. En el estudio desarrollado se considera medidas estructurales básicas de protección y prevención.

En el antiguo ETCR Filipinas solo se realizó análisis de amenaza por inundación (Sección 12) debido a las condiciones geomorfológicas que presenta el sitio. En la Figura 151 se presenta la zonificación de amenaza por inundación, debido a los resultados obtenidos no se presentan sugerencias de obras de mitigación ya que cualquier medida estructural puede generar situaciones adversas en otros sitios.

Referencias

- Aristizábal, E., González, T., Montoya, J., y Vélez, D. (2011). Análisis de umbrales empíricos para el pronóstico de movimientos en masa. *Revista EIA*, 15, 95–111.
- Canli, E., y Loigge, B. (2018). Spatially distributed rainfall information and its potential for regional landslide early warning systems. *Natural Hazards*.
- Glade, T., Crozier, M., y Smith, P. (2000). Applying probability determination to refine landslide-triggering rainfall thresholds using an empirical “ antecedent daily rainfall model.”. *Pure & Applied Geophysics*, 157(6–8), 1059.
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., y Rossi, . S., M. (2007). Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern europe. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 98(3–4), 239–267.
- Reichenbach, P., Cardinali, M., De Vita, P., y Guzzetti, F. (1998). Regional hydrological thresholds for landslides and floods in the tiber river basin (central italy). *Environmental Geology*, 35(2), 146–159.
- Thiebes, B., y Glade, T. (2016). Landslide early warning systems—fundamental concepts and innovative applications. *Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice*.

Parte V

Esquema de aproximación espacial

Capítulo 16

Esquema de aproximación espacial

Introducción

Siendo esta una fase de prefactibilidad, se hace necesario no solo realizar las verificaciones de viabilidad normativa, viabilidad sanitaria y viabilidad de amenaza, vista en los capítulos anteriores, sino que se busca realizar una aproximación presupuestal que tiene en cuenta características propias cada antiguo ETCR. Para ello se realiza una propuesta de ubicación de cada infraestructura futura en un ejercicio que busca verificar las posibilidades de desarrollo que serán evaluadas en detalle en las fases siguientes a este convenio.

16.1. Planteamiento espacial

En la búsqueda de plantear las infraestructuras para el antiguo ETCR se hace relevante revisar diferentes elementos claves para poder definir las viviendas, equipamientos y vías que se ha evaluado a lo largo de este estudio para el predio.

En la Figura 168 se observa las restricciones marcadas en el capítulo de viabilidad normativa que son puntos importantes al momento de establecer una propuesta de ocupación del espacio. Estas restricciones están marcadas por retiros de fuentes hídricas, el retiro a vías principales y suelos de protección. En la imagen también se marca un círculo rojo que corresponde al retiro de 200 m, estipulado en la resolución 0330 de 2017, a centros poblados para las plantas de tratamiento de agua residual - PTAR-.

En la Figura 169 se muestra el cruce de amenaza de detalle estudiadas en la parte IV, el cual corresponde a amenaza por movimientos en masa, amenaza de inundación y amenaza de avenidas torrenciales. Dentro de esta zonificación se tienen en cuenta la amenaza media y baja, siendo esta última las zonas

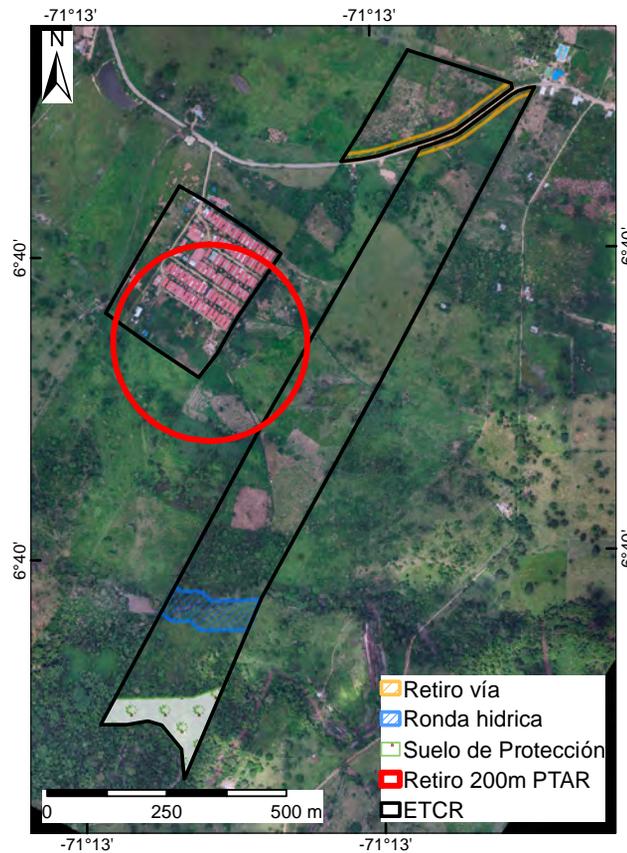


Figura 168: Restricciones normativas

priorizadas para realizar la propuesta de ocupación.

Con el cruce de estos elementos normativos y de amenaza se cuenta con un área neta urbanizable de 126215,73 m², en la cual se realizará la propuesta para los 187 predios, vías y posibles usos asociados. Se realiza un análisis de infraestructuras como instituciones educativas tal como se presenta en la Tabla 63, que muestra la cantidad de instituciones educativas en relación con la distancia en que se encuentran del antiguo ETCR. Adicionalmente se muestran las unidades productivas que, en conjunto con la ARN, se lograron identificar. Es importante mencionar que las unidades productivas requieren infraestructuras que no están siendo tenidas en cuenta en este documento y deberán ser estudiadas con mayor detalle en fases siguientes.

Para Filipinas se cuenta con 11 instituciones que varían entre educación preescolar, primaria y secundaria en una radio de 20 km, de las cuales, las 11 se encuentran a una distancia menor a 2.5 km. Las actividades productivas principales giran en torno a la producción de sacha inchi y comercio local.

Tras los análisis mencionados, se presenta a continuación los elementos pro-

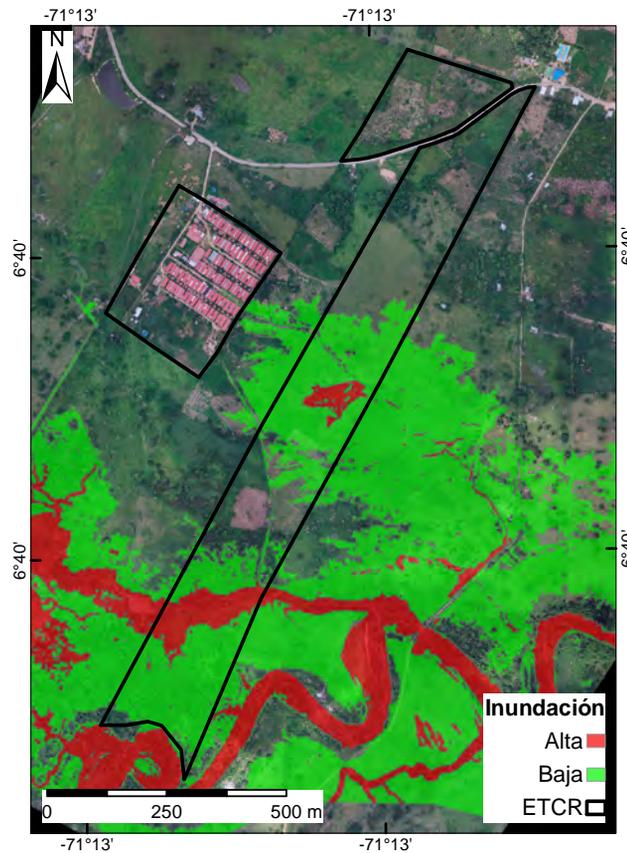


Figura 169: Evaluación de amenazas

puestos para el antiguo ETCR con equipamientos, vías y viviendas.

16.1.1. Equipamientos

Reconociendo la importancia de promover el intercambio social y cultural en el antiguo ETCR, se plantean infraestructuras de usos complementarios a la vivienda que suplen necesidades básicas como sitios de reunión y recreación para la población. De acuerdo con lo anterior, se tienen en cuenta 2 posibles equipamientos de los cuales la comunidad ha manifestado en los encuentros territoriales, su importancia.

- Cancha múltiple

La cancha de césped cuenta con un área de $44 \text{ m} \times 24 \text{ m} = 1056 \text{ m}^2$ y una dotación mínima de arcos y sistemas de anclaje. En el diseño se tiene en cuenta: base estructural de soporte y drenaje, demarcación, red eléctrica y andenes de transición.

- Centro comunitario

Tabla 63: influencia de instituciones educativas y unidades productivas

ETCR		Filipinas
Área total		376565,44
Número de viviendas		187
Población		255
Instituciones educativas	0 - 1 km	1
	1 - 2,5 km	10
	2,5 - 10 km	
	10 - 20 km	
	TOTAL	11
Unidades productivas	Producción del sachá inchi	
Equipamientos existentes	Tiendas particulares, Área de salud, Sala de informática, Salón de juegos, aulas (primaria y secundaria), Biblioteca	

Este equipamiento cuenta con espacios que permiten la integración social y el intercambio cultural al interior del antiguo ETCR. Están contemplados talleres, salón múltiple, cocina, zonas administrativas y batería de servicios.

Para la determinación del área de este equipamiento, se tiene en cuenta la guía de diseño Colegios 10, que plantea que un salón comunitario debe presentar $2.8 m^2$ por habitante. Para Filipinas, teniendo en cuenta una población de 255 habitantes, el centro comunitario tiene $714 m^2$

16.1.2. Viviendas

Teniendo en cuenta que el desarrollo de la infraestructura es de carácter nueva y estará ceñida a los lineamientos dados desde la Dirección de Vivienda Rural en sus diferentes componentes de subsidio y estructura, se realizarán los cálculos con las 6 tipologías presentadas.

El análisis se centra en la conformación espacial distribuida entre 54 y $56 m^2$, cumpliendo con los estándares básicos propuestos para definirla como una vivienda digna en Colombia, la cual incluye:

- 3 habitaciones
- Espacio múltiple
- Cocina
- Cuarto de herramientas
- Alberca

- Saneamiento básico
- Terrazas

El tamaño de cada uno de estos espacios varía en menor medida según la distribución que va desde viviendas alargadas, cuadradas, en "luz en ü", que permite diferentes implantaciones en los predios de acuerdo con las necesidades particulares que deben ser evaluadas y ajustadas en etapas de diseño. (<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/fichas-tecnicas-vivienda-nueva-vivienda-rural.pdf>).

Como se mencionó en el el capítulo de riesgo prospectivo para el antiguo espacio territorial se tiene dos zonas priorizadas marcadas en predios de 300 m^2 en los cuales se estaría incorporando la infraestructura de la vivienda (Fig. 170)

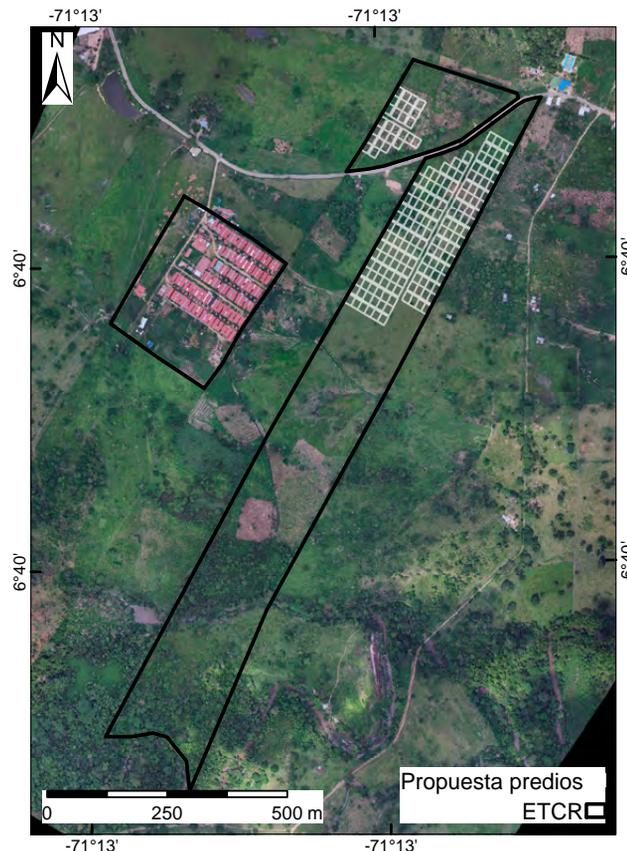


Figura 170: Propuesta de predios

16.1.3. Infraestructura vial

Dentro del desarrollo urbanístico, se contemplan elementos importantes como son las zonas de acceso peatonal y de vehículos. En la actual propuesta se tiene en cuenta las vías existentes en el antiguo ETCR y se plantea un sistema de caminos peatonales que permite el acceso a las propuestas de predios mostrados en el capítulo de riesgo.

La vía vehicular principal es de tercer orden, es decir, que cuenta con una sección de 6 m y los caminos peatonales de 1,8 m. En La Figura 171 se muestra el planteamiento espacial de las vías y senderos peatonales para el antiguo ETCR con 617 m de vía vehicular y 801,05 m de senderos peatonales.



Figura 171: Propuesta infraestructura vial

16.2. Borrador norma urbanística objeto de ajuste en Arauquita

Con base en el análisis de normativa urbanística del PBOT vigente del Municipio de Arauquita, la cantidad de viviendas demandadas en cada antiguo ETCR y el ejercicio de cabida de lotes y edificaciones realizadas sobre áreas netas urbanizables, se presentan la propuesta de norma urbanística objeto de modificación e incorporación en el Plan de Ordenamiento a través del procedimiento de ley.

Cada norma debe ser ubicada dentro del proyecto de Acuerdo que adoptará el POT en el componente respectivo y de acuerdo a su jerarquía.

16.2.1. Componente general

Titulo XXX. Clase de suelo

Artículo 1°. Suelo Suburbano

Adiciónese el Artículo 10 del Acuerdo 032 de diciembre 04 de 2009 en la siguiente expresión:

Hace parte del suelo suburbano los terrenos de los Antiguos Espacios Territoriales de Consolidación y Restauración.

Los diferentes suelos rurales de categoría suelo suburbano se delimitan en el Mapa xxx. Suelos suburbanos

Artículo 2°. Umbral de suburbanización

A partir del carácter de desarrollo de baja ocupación y densidad del suelo suburbano, las posibilidades de suministro de agua potable y saneamiento básico, las normas de conservación y protección del medio ambiente, se establece un umbral máximo de suburbanización del xxx % del suelo rural, equivalente a una superficie aproximada de xxxx ha, agrupando las diferentes subcategorías de suelo suburbano.

Artículo 4°. Participación en Plusvalía.

El Municipio de Arauquita participará de la plusvalía causada por los siguientes hechos generadores:

1. La consideración de parte del suelo rural como suburbano-

El porcentaje de participación en las plusvalías será el 30 % del incremento del valor del suelo causado por los hechos generadores

16.2.2. Componente rural

Titulo XXX. Vías y movilidad

Artículo 3°. Jerarquización vial rural.

Son las vías que en sus diferentes categorizaciones ya sea para transporte público o privado y de carga, se encuentran adscritas dentro de la zona rural del Municipio y que no hacen parte de la red Vial Nacional jerarquizadas como se establece a continuación

1. **Vías Primarias Rurales.** Son las vías que comunican la cabecera de los corregimientos con las respectivas veredas, así como las veredas entre sí, en uno o más corregimientos; adicionalmente pueden formar parte de anillos veredales y vías que comunican con los centros poblados.
2. **Vías Secundarias Rurales** Son las que permiten el acceso directo a las veredas desde las vías primarias y las interconexiones principales entre estas
3. **Vías Terciarias Rurales** Son las que sirven de acceso a partir de la red primaria o secundaria, a uno o varios predios teniendo un alcance limitado.
4. **Vías Privadas.** . Conjunto de vías vehiculares ubicadas al interior de las propiedades, cuya función principal es facilitar el acceso desde el sistema vial municipal

Artículo 4°. De las secciones viales.

Según la jerarquía vial establecida en el Artículo 6 del presente Acuerdo se establece las siguientes secciones viales mínimas.

1. Vías Primarias Rurales. Tendrán las siguientes secciones: Calzada mínima: 6 metros, cuneta - berma o andén según el caso: 2.00 metros c/u, sección pública mínima: 10 metros, antejardín: 10 metros, retiro mínimo: 15 metros a eje de vía.
2. Vías Secundarias Rurales. Las vías secundarias se ejecutarán con la siguiente sección vial mínima: Calzada mínima: 4 metros. Cuneta-berma o andén según el caso: 1,50 metros c/u. sección pública mínima: 7 metros. Antejardín: 10 metros y retiro mínimo: 13,50 metros a eje de vía
3. Vías Terciarias Rurales. Las vías terciarias se ejecutarán con la siguiente sección vial mínima: Calzada mínima: 4 metros. Cuneta-berma o andén según el caso: 1,50 metros c/u. Sección pública mínima: 7 metros. Antejardín: 10 metros. Retiro mínimo: 13,50 metros a eje de vía.
4. Vías Privadas. Las vías privadas se ejecutarán con la siguiente sección vial mínima: Calzada mínima: 3 metros. Cuneta-berma o andén según el caso: 1,50 metros c/u. Sección pública mínima: 6 metros.

Titulo XXX. Uso del suelos

Artículo 5°. De la zonificación de los usos del suelo.

La zonificación de usos del suelo rural identifica la forma adecuada de utilizar el territorio de acuerdo con la distribución de recursos, las características de cada espacio y las implicaciones sociales y ambientales, sociales, culturales y económicas de cada actividad; constituye una acción esencial en el uso racional de los recursos naturales, en la búsqueda de la sostenibilidad del territorio, tal como se espacializa en el Mapa xx. Usos del Suelo Rural).

Artículo 6°. Usos del suelo rural.

En el suelo rural se determinan los siguientes usos:

1. Forestal Protector
2. Forestal Productor
3. Uso agroforestal
4. Uso agropecuario
5. Uso agrícola
6. Áreas Mineras
7. Usos en suelos suburbanos

Artículo 7°. De la mezcla de usos en los suelos suburbanos

Adiciónese el Artículo 107 del Acuerdo 032 de diciembre 04 de 2009:

La mezcla de usos del suelo en suelos suburbanos es La Tabla 64

Parágrafo. Los usos del suelo no permitidos en la tabla anterior se consideran usos prohibidos.

Artículo 8°. Régimen de interrelación de usos del suelo

El régimen de interrelación corresponde a las proporciones de terreno que podrá destinarse un lote de terreno a los usos principales, complementarios y restringidos según las actividades permitidas en el artículo anterior sobre su área neta urbanizable.

Parágrafo. En el caso de existir suelos de protección ambiental, el régimen de usos del suelo sobre dichas áreas será el determinado en la respectiva categoría de protección. Ver Capítulo xxx. Suelos de Protección Ambiental.

Título XXX. Aprovechamiento urbanístico

Artículo 9°. Densidades habitacionales

La densidad habitacional se define como la cantidad de unidades de vivienda por hectárea bruta que puede soportar un territorio dentro de un polígono o tipo

Tabla 64: uso del suelo

Uso principal	Uso compatible o complementario	Uso condicionado o restringido
Agricultura	Vivienda, Comercio minorista cotidiano (actividades de primera necesidad que permitan satisfacer las necesidades básicas de la comunidad). Servicios comunitarios y mercantiles de baja intensidad (Peluquerías, restaurantes, cafeterías, alojamiento, entre otros). Agricultura (ERA) unidad de medida hortícola, y de mediana ocupación. Practicas agropecuarias de especies menores y escalonadas. Centros de acopio de almacenamiento o mercados verdes y logística de apoyo a la economía y cultura local. Servicios de turismo sostenible. Equipamientos comunitarios, básicos sociales, acorde con el nivel de centralidad establecida. Ganadería intensiva bovina, porcina, caprina y similares, aves de corral. Piscicultura. Plantaciones forestales	Los depósitos de vehículos de transporte público, industria artesanal, pequeña y mediana.

Tabla 65: Uso con áreas mínimas y máximas

Usos	Área mínima	Área Máxima
Uso Principal	60 %	100 %
Uso Complementario	0 %	30 %
Uso Restringido	0 %	10 %

de tratamiento determinado. Para el suelo rural, se establece en concordancia con la política de bajas densidades y con prevalencia de la valoración de los aspectos ecológicos del área rural.

La densidad habitacional establecida para cada polígono de uso del suelo es La Tabla 66:

Tabla 66: Densidad habitacional

Uso del suelo	Densidad
Usos en suelo suburbano	6.50 viv/ha

Artículo 10°.Índice de Ocupación en suelos suburbanos

Modifíquese parcialmente el Artículo 116 del Acuerdo 032 de diciembre 04 de 2009:

El índice de ocupación, correspondiente al área máxima a ocupar con construcciones en primer piso en suelos suburbanos se establece en 20 % .

Artículo 11°. Altura de edificaciones

Modifíquese parcialmente el Artículo 116 del Acuerdo 032 de diciembre 04 de 2009:

Para suelos suburbanos se establece una altura máxima de 2 pisos más buhardilla integrada a la vivienda. Los niveles de sótanos o semisótanos.

Titulo XXX. Obligaciones urbanísticas

Artículo 12°. De las obligaciones urbanísticas

Para las parcelaciones se establecen la Tabla 67 cesiones urbanísticas.

Tabla 67: Cesiones urbanísticas

CÓDIGO	COBERTURA BOSCOSA	ESPACIO PÚBLICO (suelo)	EQUIPAMIENTOS (construcción)	
			VIVIENDA m2	OTROS USOS %
xxxxxx	15 % del área neta del lote resultantes de proceso de parcelación	5 % Área bruta del lote objeto de parcelación	20 m por cada destina- ción de vi- vienda	1 % del área total construida

Titulo XXX. Norma de parcelación

Artículo 13°. Área mínima de lote en suelos suburbanos

Modifíquese parcialmente el Artículo 116 del Acuerdo 032 de diciembre 04 de 2009:

Corresponde a un parámetro que la preservación de las calidades ambientales, paisajísticas y productivas del suelo rural, así como de evitar la saturación del suelo con altas densidades habitacionales.

El área mínima de los lotes para desarrollos por subdivisión o parcelación en suelos suburbanos es de 300 m².

Artículo 14°. Frente mínimo de lote

Modifíquese parcialmente el Artículo 116 del Acuerdo 032 de diciembre 04 de 2009:

El frente mínimo en suelos suburbanos se establece en 20m.

Artículo 15°. Antejardines

Todo lote producto de procesos de parcelación o subdivisión generará un antejardín de 4m sobre el acceso del inmueble los cuales permanecerán en cobertura vegetal y no podrá ser reemplazado por piso duro.

Artículo 16°. Cerramientos de lote

En suelo rural se permiten las divisiones de predios en cercos vivos o separaciones en alambazón liso o de púas.

En cualquier caso se prohíbe la instalación de cercas eléctricas sobre vías públicas, vías privadas o servidumbres.

Titulo XXX. Normas volumétricas

Artículo 17°. Área mínima vivienda

Modifíquese parcialmente el Artículo 116 del Acuerdo 032 de diciembre 04 de 2009:

Se establece un área mínima de vivienda de 45 m^2 .

Artículo 18°. Área de local

Modifíquese parcialmente el Artículo 116 del Acuerdo 032 de diciembre 04 de 2009: El área mínima de local comercial se establece en 24 m^2 . y un máximo de 250 m^2 .

Artículo 19°. Retiros de construcción a linderos.

Modifíquese parcialmente el Artículo 116 del Acuerdo 032 de diciembre 04 de 2009:

Toda edificación conservará un retiro mínimo de 5 metros a todos los linderos.

Artículo 20°. Iluminación y ventilación

Todo espacio de la edificación tendrá ventilación directa a través de patios, fachadas y vacíos.

Artículo 21°. Condiciones mínimas de habitabilidad

Cualquier desarrollador antes de entregar u ocupar una vivienda deberá tramitar el correspondiente certificado de ocupación.

Se considera que una vivienda puede ser habitada cuando además de cumplir con todas las normas urbanísticas establecidas en el presente Acuerdo, cumple con los siguiente requisitos mínimos de acabados:

1. Existencia física de Techo, muros en obra gris, puertas y ventanas sobre fachadas, patios y vacíos.
2. Existencia de cocina, salón múltiple y 2 habitaciones.
3. Baño con equipos sanitarios y ducha con enchape en piso y muros.

4. Existencia de puerta en Baños.
5. Existencia de poyo y pozuelo en cocina.
6. Existencia de lavadero en zona de ropas.

16.3. Presupuesto

A continuación, se presenta los valores económicos de los rubros de viviendas, infraestructura vial básica y equipamientos complementarios mencionados en el capítulo anterior como los priorizados para el antiguo ETCR. Además, se presenta los valores aproximados de las plantas de tratamiento de agua vistos en los capítulos de estudios de detalle y viabilidad sanitaria respectivamente. El presupuesto detallado, se puede visualizar en el Anexo 5 que presenta un archivo de cálculo con los pertinentes elementos de cantidad, unidad y precio 2020 - 2021.

Se resalta que los elementos acá presentados se realizan teniendo en cuenta proyectos ejecutados anteriormente en el país y Proyectos Tipo, que hacen parte de una iniciativa del Departamento Nacional de Plantación en la búsqueda de plantear soluciones ágiles para construcciones a nivel Nacional.

Los valores económicos y cantidades aquí consignados pueden variar teniendo en cuenta particularidades de materiales, transporte y mano de obra. Se resalta que cada presupuesto debe ser evaluado y ajustado de acuerdo con los diseños específicos de cada estructura a la hora de ser ejecutados.

Los precios de las infraestructuras futuras se proyectan para el 2021 teniendo en cuenta el incremento del promedio del IPC de los últimos 5 años, correspondiente al 3,21 % para la infraestructura vial, equipamientos, obras de mitigación y plantas de tratamiento de aguas y un incremento del 5 % en el salario mínimo legal vigente para las viviendas.

16.3.1. Equipamientos

En la Tabla 68 se presentan los valores totales calculados para los equipamientos de cancha y centro comunitario, el primero de ellos ya se viene desarrollando en el predio actualmente y por ello debe ser evaluada su localización y pertinencia en el momento de las implantaciones arquitectónicas en la siguiente fase.

Tabla 68: Resumen costo equipamientos

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR TOTAL
EQUIPAMIENTOS		\$ 1.627.192.305
Cancha múltiple en césped	1	\$ 518.496.849
Centro comunitario	714	\$ 1.108.695.456

16.3.2. Viviendas

En la Tabla 69 se presentan los valores totales de cada tipología presentada por la Dirección de Vivienda Rural, para las 114 viviendas en las diferentes opciones de tipología, entendiendo que estas serán definidas en una etapa siguiente. Se resalta que existe la posibilidad de mezcla de tipologías y dicho valor depende de la cantidad y el tipo a elegir y por ello la importancia de resaltar su valor individual para ser calculado según sea el caso.

Tabla 69: Resumen de costo para viviendas por tipología

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR TOTAL
VIVIENDAS		
VISRT1	187	\$ 12.668.211.585
VISRL1	187	\$ 12.731.362.636
VISRA1	187	\$ 12.546.413.156
VISRC1	187	\$ 12.691.805.694
VISRC2	187	\$ 11.872.814.610
VISRU1	187	\$ 12.616.255.793

16.3.3. Infraestructura vial

En la Tabla 70 se presentan los valores totales de la infraestructura vial propuesta, la cual está basada en los valores referenciados de Proyectos Tipo y proyectos previos realizados por INVÍAS en Colombia. (<https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/hechos-de-transparencia/analisis-de-precio-unitarios>)

Es de resaltar que el predio cuenta con una vía principal que pasa por su costado mas norte.

Tabla 70: Resumen costo infraestructura vial

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR TOTAL
VÍAS		\$ 685.954.028
Vías de tercer orden	0,617	\$ 529.798.278
Caminos peatonales	801,05	\$ 156.155.750

16.3.4. Tratamiento de agua

En el capítulo de viabilidad Sanitaria se presentaron las plantas de tratamiento de agua para el saneamiento del antiguo ETCR. Para el agua potable se tiene en cuenta bocatoma, desarenador, aducción y planta de tratamiento. Para aguas residuales, la planta de tratamiento y el alcantarillado de descarga. A continuación se presenta la tabla 71 con los valores totales para cada infraestructura, en caso de requerir mayor detalle en cantidades o especificaciones técnicas, se podrán consultar en el anexo 4 proyectos de agua.

Tabla 71: Resumen costo tratamiento de agua

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR TOTAL
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS		\$ 2.339.264.602
Potable	1	\$ 1.281.250.106
Residual	1	\$ 1.058.014.497

Resumen presupuestal

Para finalizar el actual ejercicio presupuestal aproximado a las características propias del antiguo ETCR como son su número de núcleos familiares, topografía, normativas y de amenaza sin un diseño arquitectónico, se presenta en La Tabla 172, la cual resumen los costos globales de los elementos expuestos en este capítulo por tipología de vivienda aproximada teniendo como valor máximo la incorporación de todos los elementos de: 17383.773.571 correspondiente a la tipología VISRL1.

Tipologías	Viviendas	Vías	Equipamientos	Plantas de tratamiento	TOTALES
<i>VISRT1</i>	\$ 12.668.211.585	\$ 685.954.028	\$ 1.627.192.305	\$ 2.339.264.602	\$ 17.320.622.520
<i>VISRL1</i>	\$ 12.731.362.636	\$ 685.954.028	\$ 1.627.192.305	\$ 2.339.264.602	\$ 17.383.773.571
<i>VISRA1</i>	\$ 12.546.413.156	\$ 685.954.028	\$ 1.627.192.305	\$ 2.339.264.602	\$ 17.198.824.092
<i>VISRC1</i>	\$ 12.691.805.694	\$ 685.954.028	\$ 1.627.192.305	\$ 2.339.264.602	\$ 17.344.216.629
<i>VISRC2</i>	\$ 11.872.814.610	\$ 685.954.028	\$ 1.627.192.305	\$ 2.339.264.602	\$ 16.525.225.545
<i>VISRU1</i>	\$ 12.616.255.793	\$ 685.954.028	\$ 1.627.192.305	\$ 2.339.264.602	\$ 17.268.666.729

Figura 172: Costo total

Parte VI
Concepto

Capítulo 17

Concepto técnico de viabilidad

La Universidad Nacional de Colombia - sede Medellín en cumplimiento de las obligaciones del Contrato Interadministrativo No 752 de 2020, suscrito con el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, con el objeto de evaluar la viabilidad del antiguo Espacio Territorial de Capacitación y Reincorporación Filipinas, de acuerdo con la información disponible y el estado del arte como se detalla en el documento técnico, concluye:

1. En términos de viabilidad jurídica se considera que la figura adecuada para la implantación de los proyectos de vivienda permanentes del ETCR Filipinas es Centro Poblado Rural, sin embargo los usos del suelo y las densidades de viviendas requeridas no permiten la incorporación del ETCR al Plan de Ordenamiento Territorial vigente. Razón por la cual, el procedimiento mas ágil, que no involucre la revisión y ajuste previa del POT, es la expedición de nueva normatividad que considere como caso excepcional los ETCR dentro del marco del Proceso de Paz, y permita la implantación del ETCR.
2. En términos de saneamiento básico la oferta hídrica disponible es por extracción subterránea (Pozo) en las coordenadas en WGS84 -71,219764 X y 6,668257 (sistema Magna Este 984270,5029 X y 1229140,79928 y) abastecido por el Acuífero alimentado por río La Ele y Caño La Arenosa 20379,2 l/s, con valores mínimos históricos de 13028,2 l/s, abastece las demandas estimadas del ETCR para 428 viviendas, considerando un incremento de la población de 0,5 % anual. Esta captación requerirá procesos de potabilización cumpliendo los valores exigidos en la resolución 2115 del 2007. El tratamiento de potabilización se propone por el método coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección que ofrezca las con-

diciones de salud necesarias para la población. En cuanto al tratamiento de las aguas residuales se requiere un sistema reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) +FAFA+ Clarificación secundaria.

3. El ETCR Filipinas cuenta con un área total de 27,65 ha; de las cuales 2,07 ha presentan amenaza alta por inundación. Estas áreas no son aptas para el desarrollo urbanístico del centro poblado rural que albergará la población de excombatientes de las FARC-EP ubicados en este predio. Del total del área de predio el 40,4% corresponde a amenaza media, estas áreas podrán ser utilizadas para el desarrollo urbanístico siempre y cuando se ejecuten las obras de mitigación propuestas en el estudio de detalle, adicional a las obras y requerimientos que reglamenta la Ley, tal como la NRS-10. El área restante del predio 52,1% presenta amenaza baja. Estas áreas son las más recomendadas para la implantación del proyecto urbanístico; sin embargo las condiciones aptas que presentan estas zonas son dinámicas por lo tanto están sujetas al uso y manejo adecuado, tanto en la fase de construcción como de ocupación permanente de las viviendas, así como el cumplimiento de las normas que rigen, tal como la NSR-10.

En consecuencia:

4. Se considera desde el componente técnico de amenaza, normatividad y saneamiento que el antiguo ETCR Filipinas **ES VIABLE** para un desarrollo urbanístico que se ajuste a los lineamientos brindados en el presente estudio técnico de soporte.

Parte VII

Anexo

Capítulo 18

Anexos

En el desarrollo del actual convenio se ha realizado levantamiento de información, cálculos, revisión de documentos y construcción de especificaciones que se presentaran en carpetas anexas a este informe y se explican de manera general a continuación:

18.1. Anexo 1 Levantamiento topográfico

Para dar cumplimiento al Decreto 1077 de 2015 para estudios de detalle escala 1:2.000 se realizo el levantamiento cartográfico bajo los estandares definidos por el IGAC. En en anexo 1 encontra:

1. Informe
2. Nube de Puntos
3. Ortofoto
4. Modelo Digital del Terreno (DTM)
5. Modelo Digital de Superficie (DSM)
6. Curvas de nivel
7. Fotocontrol

18.2. Anexo 2 Estudios subsuelo

En la construcción del modelo geológico geotécnico que permite parametrizar las condiciones del antiguo ETCR y de esta manera fortalecer los modelos físicos. Se realizaron una serie de exploraciones directas e indirectas que apoyan este proceso y se adjuntan sus resultados de la siguiente manera en el anexo 2

1. Informe Linea sísmica
2. Registro de apiques
3. Registro perforaciones
4. Ensayo de consolidación
5. Corte CD
6. Densidad
7. Expansión
8. Gravedad Especifica
9. Hidrómetro
10. Humedades
11. Triaxial CU
12. Triaxial ciclico
13. Clasificación
14. Compresión simple
15. Informe PTAP - PTAR

18.3. Anexo 3 Documentos normativos

Durante el estudio de la viabilidad normativa de cada uno de los antiguos ETCR se compilo y elaboro información que sirvió como insumo para los análisis presentados en el documento, los cuales se encuentran en esta anexo.

18.4. Anexo 4 Cálculos y estudios Agua

En el estudio de viabilidad sanitaria se realizan una serie de estudios y cálculos que permitan realizar la correcta caracterización del recurso hídrico, análisis de alternativas para las PTAP y PTAR mencionados en el capitulo II y se anexan para mayor detalle de la siguiente manera:

1. Alternativas
2. Cálculos - especificaciones

3. Planos

4. proyectos de agua

18.5. Anexo 5 Cálculos presupuesto de vivienda

En el capítulo de presupuesto se presenta el resumen de valores para la infraestructura futura tal como las vías, las viviendas, equipamientos y obras de mitigación, los cuales se presentan mejor discriminados en el archivo de cálculo acá presente.

En esta archivo Se tiene en cuenta cantidades particulares y APUs tomados del Departamento nacional de Planeación y el Instituto Nacional de Vías.

18.6. Anexo 6 Estándares Cartográficos

Es el documento donde se mencionan las características y expone el como esta definida la estructura de la base de datos cartográfica del actual convenio para facilitar su comprensión y lectura.