

## TABLA DE CONTENIDO

<b>7</b>	<b>DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES</b>	<b>9</b>
7.1	AGUAS SUPERFICIALES	16
7.1.1	Caudal de Agua Solicitado	16
7.1.2	Identificación de Fuentes de Captación	17
7.1.3	Diseño y Sistemas de Captación	18
7.1.4	Análisis de los Conflictos Actuales o Potenciales frente a la Disponibilidad del recurso	20
7.1.5	Régimen Hidrológico y Caudales de la Corriente a Intervenir – Río Chicamocha	23
7.1.6	Solicitud de Permiso	41
7.2	AGUAS SUBTERRÁNEAS	42
7.2.1	Localización	42
7.2.2	Caudal Requerido	44
7.2.3	Descripción del Sistema de Perforación	45
7.2.4	Análisis de los Posibles Conflictos por la Disponibilidad y Usos del Recurso	48
7.2.5	Cronograma de Obras y Presupuesto	57
7.2.6	Caudal Requerido	57
7.3	VERTIMIENTOS	58
7.3.1	Caracterización de Actividades Generadoras	59
7.3.2	Caracterización del Vertimiento	59
7.3.3	Operación y Sistema de Tratamiento de las Aguas Residuales Domésticas e Industriales	60
7.3.4	Plan De Gestión De Manejo Del Riesgo De Vertimientos	95
7.3.4.1	Generalidades	95
7.3.4.2	Plan Estratégico	96
7.3.4.3	Conocimiento del Riesgo	97
7.3.4.4	Plan Operativo	129
7.3.4.5	Plan de Contingencia para la Contaminación de Acuíferos	137
7.3.4.6	Plan Informativo	144
7.3.5	Disposición Final De Aguas Residuales En Suelo	148
7.3.5.1	Descripción de cada unidad de suelo	148
7.3.5.2	Caracterización físico-química del área de disposición	149
7.3.6	Resultados del Monitoreo	153

<b>7.3.7</b>	Invertebrados Presentes En El Suelo .....	186
7.3.7.1	Análisis de los Elementos Climáticos.....	188
7.3.7.2	Pruebas De Infiltración .....	190
7.3.7.3	Riesgo de contaminación del acuífero .....	194
<b>7.3.8</b>	Solicitud de Permiso.....	197
<b>7.4</b>	OCUPACIONES DE CAUCE .....	203
<b>7.4.1</b>	Análisis de Frecuencia para Caudales Máximos y Medios.....	206
<b>7.4.2</b>	Ubicación de los Tramos Homogéneos .....	225
<b>7.4.3</b>	Diseño Preliminar De Las Obras A Construir.....	225
<b>7.4.4</b>	Procedimientos Constructivos.....	228
<b>7.4.5</b>	Solicitud De Permiso .....	231
<b>7.5</b>	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN .....	234
<b>7.6</b>	APROVECHAMIENTO FORESTAL.....	235
<b>7.6.1</b>	Inventario Forestal.....	235
<b>7.6.2</b>	Tipo De Muestreo Realizado.....	235
<b>7.6.3</b>	<b>Localización y Georreferenciación de las Parcelas .....</b>	<b>245</b>
<b>7.6.4</b>	Cantidad Y Área de las Obras y/o Actividades que Requieren Aprovechamiento .....	246
<b>7.6.5</b>	Área Y Volúmenes De Aprovechamiento Por Tipo De Cobertura .....	246
<b>7.6.6</b>	Productos Forestales, Disposición Final y Manejo De Desperdicios .....	249
<b>7.6.7</b>	Planillas de Información de los Inventarios.....	253
<b>7.6.8</b>	Solicitud De Permiso .....	253
<b>7.7</b>	EMISIONES ATMOSFÉRICAS .....	253
<b>7.7.1</b>	Fuentes De Emisión .....	253
<b>7.7.2</b>	Resultados del Monitoreo de Calidad del Aire .....	254
<b>7.7.3</b>	Modelo de elevación del terreno .....	272
<b>7.7.4</b>	Precipitación .....	274
<b>7.7.5</b>	Temperatura .....	274
<b>7.7.6</b>	Velocidad y dirección del viento .....	276
<b>7.7.7</b>	Radiación solar.....	278
<b>7.7.8</b>	Altura de capa de mezcla .....	279
<b>7.7.9</b>	Estabilidad atmosférica .....	280
<b>7.7.10</b>	Variables de superficie .....	281
<b>7.7.11</b>	Estimación de contaminantes atmosféricos.....	282
<b>7.7.12</b>	Resultados Modelo de Dispersión.....	286
<b>7.7.13</b>	Solicitud De Permiso .....	315

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 7-1 CARACTERÍSTICAS DE USO Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES PARA EL ÁREA DE PERFORACIÓN EXPLORATORIA COR - 15 .....	9
TABLA 7-2 CAUDAL DE AGUA REQUERIDOS POR EL PROYECTO .....	16
TABLA 7-3 CORRIENTES DE AGUA PROPUESTAS PARA LA CAPTACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES EN EL ÁREA DE PERFORACIÓN EXPLORATORIA COR 15 .....	17
TABLA 7-4 RELACIÓN DE CONCESIONES DE AGUA OTORGADAS POR CORPOBOYACA EN EL ÁREA DE INTERÉS 21 .....	21
TABLA 7-5 ESTACIONES CON INFORMACIÓN DE CAUDALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO .....	23
TABLA 7-6 FÓRMULAS REGIONALES CAUDAL MEDIO-ÁREA .....	26
TABLA 7-7 RENDIMIENTO HÍDRICO ESTACIONES PTE CHÁMEZA Y PAZ DE RÍO .....	27
TABLA 7-8 CAUDALES CARACTERÍSTICOS DE LAS ESTACIONES PTE CHÁMEZA Y PAZ DE RÍO.....	28
TABLA 7-9 CAUDALES MÍNIMOS DIARIOS ESTACIONES PTE CHÁMEZA Y PAZ DE RÍO .....	28
TABLA 7-10 DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD PARA AJUSTE DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA.....	31
TABLA 7-11 RESULTADOS TIEMPO DE CONCENTRACIÓN POR CUENCA HIDROGRÁFICA .....	33
TABLA 7-12 CAUDALES MEDIO MENSUALES MULTIANUALES ESTIMADOS CAPTACIÓN 1 .....	34
TABLA 7-13 CAUDALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO ESTIMADOS CAPTACIÓN 1 (M3/s) 35 .....	35
TABLA 7-14 CAUDALES MEDIO MENSUALES MULTIANUALES ESTIMADOS CAPTACIÓN 1.....	37
TABLA 7-15 CAUDALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO ESTIMADOS CAPTACIÓN 2 (M3/s) 39 .....	39
TABLA 7-16 PUNTOS PROPUESTOS PARA LA CAPTACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES EN EL ÁREA DE PERFORACIÓN EXPLORATORIA COR 15 .....	42
TABLA 7-17 LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS PROYECTADOS PARA PERFORAR UN POZO Y REALIZAR APROVECHAMIENTO .....	42
TABLA 7-18 PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA POR UNIDAD GEOLÓGICA .....	48
TABLA 7-19 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-2 .....	50
TABLA 7-20 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-15 .....	51
TABLA 7-21 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-18 .....	52
TABLA 7-22 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-27 .....	53
TABLA 7-23 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-28 .....	54
TABLA 7-24 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-29 .....	55
TABLA 7-25 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-33 .....	57
TABLA 7-26 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE PERFORACIÓN DE POZO .....	57
TABLA 7-27 ACTIVIDADES GENERADORAS .....	59
TABLA 7-28 COMPOSICIÓN TEÓRICA DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES .....	59
TABLA 7-29 CAUDALES A VERTER EN EL ÁREA DE PERFORACIÓN EXPLORATORIA COR-15.....	60
TABLA 7-30 ESQUEMAS DE TRAMPA DE GRASAS.....	61
TABLA 7-31 ESQUEMA DE OPERACIÓN PLANTA DE LODOS ACTIVADOS.....	61
TABLA 7-32 BALANCE DE MASA DEL SISTEMA DE AGUA.....	70
TABLA 7-33 CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL TRATADA PARA EL REÚSO .....	71
TABLA 7-34 PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL SOBRE LA UNIDAD DE SUELO MMC.....	75
TABLA 7-35 PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL SOBRE LA UNIDAD DE SUELO MME.....	75
TABLA 7-36 PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL SOBRE LA UNIDAD DE SUELO MMH.....	76
TABLA 7-37 TEXTURAS DE SUELOS PROPUESTOS PARA VERTIMIENTO.....	76
TABLA 7-38 CAPACIDAD DE CAMPO DE SUELOS PROPUESTOS PARA VERTIMIENTO.....	76
TABLA 7-39 CÁLCULO DE LA LÁMINA DE VERTIMIENTO.....	77
TABLA 7-40 VERIFICACIÓN DEL ERROR DEL BALANCE DE MASA PARA LOS MODELOS DE VERTIMIENTO EN SUELO 91 .....	91
TABLA 7-41 POSIBLES CAUSAS DE LOS EVENTOS AMENAZANTES.....	102

TABLA 7-42 CONSOLIDACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE RIESGO .....	103
TABLA 7-43 PROBABILIDAD DEL RIESGO .....	105
TABLA 7-44 PROBABILIDAD (FRECUENCIA OCURRENCIA) DE RIESGOS PARA ESCENARIOS DEFINIDOS ...	105
TABLA 7-45 ESTIMACIÓN DE LA GRAVEDAD PARA EL PLAN DE GESTIÓN DEL RIESGO PARA VERTIMIENTOS DEL PROYECTO APE COR-15 .....	111
TABLA 7-46 CALIFICACIÓN DE LA GRAVEDAD.....	115
TABLA 7-47 MATRIZ DE NIVELES DE ACEPTABILIDAD DEL RIESGO Y NIVELES DE PLANEACIÓN .....	116
TABLA 7-48 FASES ILUSTRATIVAS DE ATENCIÓN A EMERGENCIAS .....	129
TABLA 7-49 TIPO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN EL PROYECTO.....	131
TABLA 7-50 AGENTES TRATANTES Y CONTAMINANTES TRATABLES .....	142
TABLA 7-51 DIRECTORIO ENTIDADES APOYO PARA ATENCIÓN DE EMERGENCIAS EN BOYACÁ .....	144
TABLA 7-52 MIEMBROS DEL PLAN DE CONTINGENCIA .....	147
TABLA 7-53 UNIDADES DE SUELO.....	148
<b>TABLA 7-54 UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE SUELO PARA EL APE COR-15</b> .....	149
TABLA 7-55 DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS EMPLEADOS PARA EL ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISIQUÍMICOS DEL SUELO – ANÁLISIS A.....	151
TABLA 7-56 DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS EMPLEADOS PARA EL ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISIQUÍMICOS DEL SUELO – ANÁLISIS B (DECRETO 050 DE 2018) .....	151
TABLA 7-57 RESULTADOS FISIQUÍMICOS REPORTADOS PARA LAS MUESTRAS DE SUELO – ANÁLISIS A	154
TABLA 7-58 RESULTADOS FISIQUÍMICOS REPORTADOS PARA LAS MUESTRAS DE SUELO – ANÁLISIS B (DECRETO 050 DE 2018).....	163
TABLA 7-59 RESULTADOS DE COLOR REPORTADOS PARA LAS MUESTRAS DE SUELO .....	178
TABLA 7-60 ATRIBUTOS ECOLÓGICOS HALLADOS.....	188
TABLA 7-61 TASA Y FACTOR DE INFILTRACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	191
TABLA 7-62 CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL SUELO .....	194
TABLA 7-63 TASAS DE APLICACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA SISTEMAS DE INFILTRACIÓN .....	194
TABLA 7-64 CÁLCULO DE VULNERABILIDAD EN EL AI DEL MEDIO FÍSICO.....	195
TABLA 7-65 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE CAUDALES - CORRIENTE CHICAMOCHA .....	207
TABLA 7-66 CAUDALES MÁXIMOS PARA CADA CUENCA – M. TRANSPOSICIÓN DE CAUDALES .....	208
TABLA 7-67 CAUDALES MÍNIMOS PARA CADA CUENCA – M. TRANSPOSICIÓN DE CAUDALES.....	209
TABLA 7-68 CAUDALES MÍNIMOS – M. TRANSPOSICIÓN DE CAUDAL.....	210
<b>TABLA 7-69 CAUDALES MEDIOS, MÁXIMOS Y MÍNIMOS PUNTOS DE OCUPACIÓN DE CAUCES</b> .....	211
TABLA 7-70 DINÁMICA FLUVIAL OCUPACIONES DE CAUCE .....	223
TABLA 7-71 OBRAS DE DRENAJE Y ESTRUCTURAS TÍPICAS NECESARIAS PARA LAS VÍAS DE ACCESO A LOCACIONES	228
TABLA 7-72 SITIOS DE OCUPACIÓN DE CAUCE APE COR-15 .....	231
TABLA 7-73 TÍTULOS MINEROS PARA EXTRACCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN BOYACÁ .....	235
<b>TABLA 7-74 ÁREAS OCUPADAS POR LAS COBERTURAS DE LA TIERRA EN EL APE COR-15</b> .....	235
<b>TABLA 7-75 COORDENADAS DE UMF. COBERTURA BOSQUE RIPARIO</b> .....	245
TABLA 7-76 COORDENADAS DE UMF. COBERTURA PASTOS ARBOLADOS .....	245
TABLA 7-77 OBRAS O ACTIVIDADES PROPUESTAS PARA EL PROYECTO .....	246
TABLA 7-78 ESTADÍGRAFOS COBERTURA BOSQUE RIPARIO.....	247
<b>TABLA 7-79 NÚMERO DE INDIVIDUOS, ÁREA BASAL, VOLÚMENES COMERCIAL Y TOTAL POR HECTÁREA DE LA COBERTURA BOSQUE RIPARIO</b> .....	247
TABLA 7-80 ESTADÍGRAFOS COBERTURA PASTOS ARBOLADOS .....	247
TABLA 7-81 NÚMERO DE INDIVIDUOS, ÁREA BASAL, VOLÚMENES COMERCIAL Y TOTAL POR HECTÁREA DE LA COBERTURA PASTOS ARBOLADOS.....	248
TABLA 7-82 VOLÚMENES DE MADERA APROVECHABLE EN PLANTACIONES FORESTALES .....	248
TABLA 7-83 MÁXIMO VOLUMEN APROVECHABLE POR UNIDAD DE COBERTURA VEGETAL.....	253
TABLA 7-84 FICHA DE LA ESTACIÓN UNO (1) DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE .....	256
TABLA 7-85 FICHA DE LA ESTACIÓN DOS (2) DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE .....	258
TABLA 7-86 FICHA DE LA ESTACIÓN TRES (3) DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE .....	260

TABLA 7-87 FICHA DE LA ESTACIÓN CUATRO (4) DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE .....	262
TABLA 7-88 FICHA DE LA ESTACIÓN CINCO (5) DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE .....	264
TABLA 7-89 FICHA DE LA ESTACIÓN SEIS (6) DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE .....	266
TABLA 7-90 LOCALIZACIÓN GENERAL DE LOS PUNTOS DE MONITOREO DISPUESTOS PARA EL PRESENTE ESTUDIO	268
TABLA 7-91 VALORES DE ALBEDO.....	281
TABLA 7-92 VALORES RELACIÓN DE BOWEN .....	281
TABLA 7-93 VALORES RUGOSIDAD DE SUPERFICIE.....	282
TABLA 7-94 FACTORES DE EMISIÓN MOTORES DIESEL GRANDES (GENERADORES ELÉCTRICOS).....	285
TABLA 7-95 RESULTADOS EMISIONES KG/MES PARA LOS GENERADORES ELÉCTRICOS .....	286
TABLA 7-96 HOMOLOGACIÓN TIPOS DE VEHÍCULOS .....	287
TABLA 7-97 CARACTERÍSTICAS FUENTES LINEALES DE EMISIÓN – ESCENARIO 1.....	287
TABLA 7-98 FACTORES DE EMISIÓN FUENTES MÓVILES .....	288
TABLA 7-99 EMISIONES GRAMO POR DÍA FUENTES MÓVILES – ESCENARIO 1 .....	288
TABLA 7-100 CONCENTRACIONES MEDIAS - ESTACIONES CALIDAD DE AIRE .....	288
TABLA 7-101 FUENTES FIJAS OBJETO DE ESTUDIO.....	289
TABLA 7-102 FACTOR DE EMISIÓN COMBUSTIÓN INTERNA A DIESEL .....	289
TABLA 7-103 FACTOR DE EMISIÓN TEA .....	289
TABLA 7-104 CARACTERÍSTICAS COMBUSTIBLE .....	290
TABLA 7-105 ANÁLISIS ULTIMO GAS DE ALIVIO .....	290
TABLA 7-106 EMISIONES FUENTES FIJAS - ESCENARIO 2 .....	291
TABLA 7-107 RESUMEN FUENTES DE EMISIÓN.....	291
TABLA 7-108 CARACTERÍSTICAS FUENTES LINEALES DE EMISIÓN – ESCENARIO 2.....	291
TABLA 7-109 EMISIONES GRAMO POR DÍA FUENTES MÓVILES .....	292
TABLA 7-110 RESULTADOS MODELACIÓN - CONCENTRACIONES MÁXIMAS.....	314

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 7-1 UBICACIÓN DE PUNTOS SOLICITADOS CAPTACIÓN DEL APE COR 15 .....	18
FIGURA 7-2 SISTEMA DE CAPTACIÓN DIRECTA DESDE CARROTANQUE .....	19
FIGURA 7-3 PLACA PARA LA INSTALACIÓN DE MOTOBOMBA PARA CAPTACIÓN DE AGUA .....	20
FIGURA 7-4 COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN Y EL CAUDAL MEDIO EN ESTACIONES DEL RÍO CHICAMOCHA .....	24
FIGURA 7-5 VARIACIÓN TEMPORAL DE CAUDALES EN LAS ESTACIONES PUENTE CHÁMEZA Y PAZ DE RÍO..	25
FIGURA 7-6 DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTES CON LOS RANGOS INTERCUARTILES, MEDIANA, VALORES EXTREMOS Y ATÍPICOS, ESTACIÓN PTE CHÁMEZA.....	25
FIGURA 7-7 DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTES CON LOS RANGOS INTERCUARTILES, MEDIANA, VALORES EXTREMOS Y ATÍPICOS, PARA LA ESTACIÓN PAZ DE RÍO .....	26
FIGURA 7-8 TENDENCIA DEL CAUDAL MEDIO PARA EL PERIODO 1983-2010, ESTACIONES PTE CHÁMEZA Y PAZ DE RÍO	27
FIGURA 7-9 CAUDALES MEDIO MENSUALES MULTIANUALES ESTIMADOS CAPTACIÓN 1 .....	34
FIGURA 7-10 CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES CAPTACIÓN 1.....	35
<b>FIGURA 7-11 TOPO-BATIMETRÍAS SECCIÓN TRASVERSAL CAPTACIÓN 1 .....</b>	<b>36</b>
FIGURA 7-12 CAUDALES MEDIO MENSUALES MULTIANUALES ESTIMADOS CAPTACIÓN 2 .....	38
FIGURA 7-13 CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES CAPTACIÓN 2 .....	39
<b>FIGURA 7-14 TOPO-BATIMETRÍAS SECCIÓN TRASVERSAL CAPTACIÓN 2 .....</b>	<b>40</b>
<b>FIGURA 7-15 DISTRIBUCIÓN DE LOS SITIOS PROPUESTOS PARA AL PERFORACIÓN DEL POZO DE AGUA .....</b>	<b>44</b>
FIGURA 7-16 PREDISEÑO DEL POZO.....	46
FIGURA 7-17 EQUIPOS TIPO QUE SE PODRÁN UTILIZAR PARA LA PERFORACIÓN DEL POZO DE AGUA SUBTERRÁNEA	47
<b>FIGURA 7-18 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-2.....</b>	<b>49</b>

FIGURA 7-19 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-15.....	50
FIGURA 7-20 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-18.....	52
FIGURA 7-21 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-27.....	53
FIGURA 7-22 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-28.....	54
FIGURA 7-23 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-29.....	55
FIGURA 7-24 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-33.....	56
FIGURA 7-25 ESQUEMA DE SKIMMER CONVENCIONAL .....	62
FIGURA 7-26 DISTRIBUCIÓN DE LAS PISCINAS EN SISTEMA DEWATERING .....	63
FIGURA 7-27 DISTRIBUCIÓN DE UN SISTEMA DE ASPERSIÓN CON NEBULIZADOR PARA DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES TRATADAS .....	68
FIGURA 7-28 LOCALIZACIÓN DE LAS UNIDADES DE SUELO PARA VERTIMIENTO .....	74
FIGURA 7-29 SELECCIÓN DE PROCESOS A MODELAR EN HYDRUS 1D.....	77
FIGURA 7-30 SELECCIÓN DE LAS CAPAS DE SUELO EN HYDRUS 1D.....	78
FIGURA 7-31 SELECCIÓN DE LAS OPCIONES DE TIEMPO EN HYDRUS 1D.....	78
FIGURA 7-32 SELECCIÓN DE LOS REPORTES DE MODELACIÓN EN HYDRUS 1D .....	79
FIGURA 7-33 SELECCIÓN DE CONDICIONES DE ITERACIÓN Y CONVERGENCIA EN HYDRUS 1D .....	80
FIGURA 7-34 SELECCIÓN DEL MODELO DE SUELO EN HYDRUS 1D.....	81
FIGURA 7-35 PREDICCIÓN CON REDES NEURONALES DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL SUELO MMC EN HYDRUS 1D 82	
FIGURA 7-36 PREDICCIÓN CON REDES NEURONALES DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL SUELO MME EN HYDRUS 1D 83	
FIGURA 7-37 PREDICCIÓN CON REDES NEURONALES DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL SUELO MMH EN HYDRUS 1D 84	
FIGURA 7-38 SELECCIÓN DE LAS CONDICIONES INICIALES Y DE FRONTERA DEL MODELO DE SUELO EN HYDRUS 1D 85	
FIGURA 7-39 DEFINICIÓN DE LA IRRIGACIÓN (VERTIMIENTO) EN HYDRUS 1D.....	85
FIGURA 7-40 INCLUSIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIA SOBRE LA UNIDAD MMC EN HYDRUS 1D 86	
FIGURA 7-41 INCLUSIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIA SOBRE LA UNIDAD MME EN HYDRUS 1D 86	
FIGURA 7-42 INCLUSIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIA SOBRE LA UNIDAD MMH EN HYDRUS 1D 87	
FIGURA 7-43 INCLUSIÓN DE LA CONDICIÓN INICIAL DE HUMEDAD EN LA UNIDAD MMC EN HYDRUS 1D ....	88
FIGURA 7-44 INCLUSIÓN DE LA CONDICIÓN INICIAL DE HUMEDAD EN LA UNIDAD MME EN HYDRUS 1D ....	89
FIGURA 7-45 INCLUSIÓN DE LA CONDICIÓN INICIAL DE HUMEDAD EN LA UNIDAD MMH EN HYDRUS 1D ....	90
FIGURA 7-46 INICIO DE SIMULACIÓN EN HYDRUS 1D .....	91
FIGURA 7-47 MODELACIÓN SATISFACTORIA EN HYDRUS 1D .....	91
FIGURA 7-48 AVANCE DEL FRENTE HÚMEDO DEL VERTIMIENTO EN LA UNIDAD MMC CALCULADO EN HYDRUS 1D 93	
FIGURA 7-49 AVANCE DEL FRENTE HÚMEDO DEL VERTIMIENTO EN LA UNIDAD MME CALCULADO EN HYDRUS 1D 94	
FIGURA 7-50 AVANCE DEL FRENTE HÚMEDO DEL VERTIMIENTO EN LA UNIDAD MMH CALCULADO EN HYDRUS 1D 95	
FIGURA 7-51 PROCEDIMIENTO GENERAL DE RESPUESTA DEL PDC.....	130
FIGURA 7-52 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	133
FIGURA 7-53 ESQUEMA DE UNA BARRERA QUÍMICA.....	140
FIGURA 7-54 EXTENSIÓN DE GEOMEMBRANA EN ZANJA PERIMÉTRICA RESPECTO AL ÁREA A AISLAR....	140
FIGURA 7-55 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UNA BARRERA REACTIVA PERMEABLE.....	141
FIGURA 7-56 SISTEMA DE “FUNNEL AND GATE” EN UNA BARRERA REACTIVA PERMEABLE.....	142
FIGURA 7-57 ESQUEMA DE UN DISPOSITIVO PARA OXIDACIÓN QUÍMICA.....	143
FIGURA 7-58 LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE SUELO PARA EL APE COR-15 .....	150
FIGURA 7-59 REGISTROS DE PH OBTENIDOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO .....	156

FIGURA 7-60 REGISTROS DE CONDUCTIVIDAD OBTENIDOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	157
FIGURA 7-61 REGISTROS DE HUMEDAD OBTENIDOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	158
FIGURA 7-62 CONCENTRACIONES DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL Y MATERIA ORGÁNICA .....	160
FIGURA 7-63 TEXTURA EN LOS SUELOS EVALUADOS.....	162
FIGURA 7-64 REGISTROS DE PH OBTENIDOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO .....	166
FIGURA 7-65 REGISTROS DE CONDUCTIVIDAD OBTENIDOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	167
FIGURA 7-66 REGISTROS DE HUMEDAD OBTENIDOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	170
FIGURA 7-67 REGISTROS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD OBTENIDOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	171
FIGURA 7-68 REGISTROS DE HIERRO TOTAL OBTENIDOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	172
FIGURA 7-69 REGISTROS DE POTENCIAL REDOX OBTENIDOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO .....	173
FIGURA 7-70 COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DEL SUELO.....	174
FIGURA 7-71 PORCENTAJES INTERCAMBIABLES PARA K, MG, CA2+ Y AL+3 DEL SUELO .....	177
FIGURA 7-72 REGISTROS DE HONGOS OBTENIDOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	180
FIGURA 7-73 REGISTROS DE BACTERIAS HETERÓTROFAS OBTENIDOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO...	180
FIGURA 7-74 REGISTROS DE BACTERIAS DE TIPO ACTINOMICETO OBTENIDOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO	181
FIGURA 7-75 <b>REGISTROS DE FIJADORES DE NITRÓGENO LIBRE OBTENIDOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO</b>	<b>182</b>
FIGURA 7-76 REGISTROS DE SOLUBILIZADORES DE FOSFATOS OBTENIDOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO	182
FIGURA 7-77 REGISTROS DE CELULOLÍTICOS OBTENIDOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	183
FIGURA 7-78 REGISTROS DE OXIDANTES DE AMONIO Y OXIDANTES DE NITRITO OBTENIDOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO	184
FIGURA 7-79 REGISTROS DE AMONIFICANTES OBTENIDOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	184
FIGURA 7-80 REGISTROS DE DENITRIFICANTES OBTENIDOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO .....	185
FIGURA 7-81 REGISTROS DE RESPIRACIÓN OBTENIDOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO .....	186
FIGURA 7-82 PORCENTAJES DE ABUNDANCIA INVERTEBRADOS PRESENTES EN LAS MUESTRAS DE SUELO	188
FIGURA 7-83 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN.....	189
FIGURA 7-84 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA TEMPERATURA .....	189
FIGURA 7-85 GRÁFICA DE BALANCE HÍDRICO.....	190
FIGURA 7-86 VELOCIDADES DE INFILTRACIÓN E INFILTRACIONES ACUMULADAS EN LOS PUNTOS ANALIZADOS	193
FIGURA 7-87 VARIACIÓN ESPACIAL DE LA VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL AI DEL APE COR-15 .....	197
FIGURA 7-88 PERIODO DE RETORNO PARA LA CORRIENTE DEL CHICAMOCHA.....	208
FIGURA 7-89 DISEÑO TÍPICO DE UNA ALCANTARILLA SENCILLA Ø =36" .....	226
FIGURA 7-90 DISEÑO TÍPICO DE UNA ALCANTARILLA DOBLE Ø =36".....	226
FIGURA 7-91 DISEÑO TÍPICO DE UNA BATEA DE TUBO .....	227
FIGURA 7-92 DISEÑO TÍPICO DE UN BOX COULVERT.....	227
FIGURA 7-93 MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL.....	272
FIGURA 7-94 PRECIPITACIONES MENSUALES.....	274
FIGURA 7-95 TEMPERATURA PROMEDIO .....	275
FIGURA 7-96 CLIMOGRAMA DE GAUSSEN.....	275
FIGURA 7-97 ROSA DE LOS VIENTOS ANUAL .....	276
FIGURA 7-98 ROSAS DE VIENTOS PROMEDIO MENSUAL .....	277
FIGURA 7-99 ROSAS DE VIENTOS HORARIA .....	278
FIGURA 7-100 VARIABILIDAD RADIACIÓN SOLAR .....	279
FIGURA 7-101 VARIABILIDAD CBL Y SBL.....	280
FIGURA 7-102 VARIABILIDAD DE LA ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA .....	280
FIGURA 7-103 VISTA DE TEA DE 15 METROS DE ALTURA .....	284
FIGURA 7-104 DIAGRAMA DE FLUJO EMISIONES POR TRÁFICO RODADO.....	287

FIGURA 7-105 RECEPTORES DOMINIO DE MODELACIÓN .....	293
FIGURA 7-106 MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES PM10 24 HORAS – LÍNEA BASE .....	294
FIGURA 7-107 MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES PM10 ANUAL – LÍNEA BASE .....	294
FIGURA 7-108 ISOPLETAS PM10 - LÍNEA BASE .....	295
FIGURA 7-109 MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES PM2.5 24 HORAS – LÍNEA BASE .....	296
FIGURA 7-110 MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES PM2.5 ANUAL – LÍNEA BASE .....	297
FIGURA 7-111 ISOPLETAS PM2.5 - LÍNEA BASE .....	298
FIGURA 7-112 MODELO DE DISPERSIÓN PARA NO2 1 HORA – LÍNEA BASE .....	299
FIGURA 7-113 MODELO DE DISPERSIÓN PARA NO2 ANUAL – LÍNEA BASE .....	300
FIGURA 7-114 MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES PARA SO2 1 HORA - LÍNEA BASE.....	301
FIGURA 7-115 MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES PARA SO2 24 HORAS - LÍNEA BASE.....	301
FIGURA 7-116 MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES PARA CO 1 HORA - LÍNEA BASE .....	302
FIGURA 7-117 MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES PARA CO 8 HORAS - LÍNEA BASE .....	302
FIGURA 7-118 MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES PM10 24 HORAS – SIN MEDIDAS DE CONTROL	303
FIGURA 7-119 MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES PM10 ANUAL – SIN MEDIDAS DE CONTROL	304
FIGURA 7-120 MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES PM2.5 24 HORAS – SIN MEDIDAS DE CONTROL	305
FIGURA 7-121 MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES PM2.5 ANUAL – SIN MEDIDAS DE CONTROL	306
FIGURA 7-122 MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES NO2 1 HORA – SIN MEDIDAS DE CONTROL	307
FIGURA 7-123 MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES NO2 ANUAL – SIN MEDIDAS DE CONTROL..	308
FIGURA 7-124 MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES SO2 1 HORA – SIN MEDIDAS DE CONTROL.	309
FIGURA 7-125 MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES SO2 24 HORAS – SIN MEDIDAS DE CONTROL	310
FIGURA 7-126 MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES CO 1 HORA – SIN MEDIDAS DE CONTROL ..	311
FIGURA 7-127 MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES CO 8 HORAS – SIN MEDIDAS DE CONTROL.	312
FIGURA 7-128 MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES PM10 24 HORAS – CON MEDIDAS DE CONTROL	313
FIGURA 7-129 MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES SO2 24 HORAS – CON MEDIDAS DE CONTROL	314

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 7-1 LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE CAPTACIÓN 1 SOBRE EL RÍO CHICAMOCHA .....	37
FOTOGRAFÍA 7-2 VÍA DE ACCESO AL PUNTO DE CAPTACIÓN 1 SOBRE EL RÍO CHICAMOCHA .....	37
FOTOGRAFÍA 7-3 LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE CAPTACIÓN 2 SOBRE EL RÍO CHICAMOCHA .....	41
FOTOGRAFÍA 7-4 PANORÁMICA VÍA DE ACCESO AL PUNTO DE CAPTACIÓN 2 SOBRE EL RÍO CHICAMOCHA	41
FOTOGRAFÍA 7-5 EQUIPO DE ULTRAFILTRACIÓN .....	64
FOTOGRAFÍA 7-6 VERTIMIENTO SOBRE VÍAS INTERNAS.....	66
FOTOGRAFÍA 7-7 SISTEMA DE ASPERSIÓN .....	67
FOTOGRAFÍA 7-8 VISTA DE LA LÍNEA 1 DE NEBULIZADORES .....	68
FOTOGRAFÍA 7-9 VISTA DE LA LÍNEA 2 DE NEBULIZADORES .....	68
FOTOGRAFÍA 7-10 NEBULIZADOR .....	68
FOTOGRAFÍA 7-11 VÁLVULAS DEL SISTEMA DE NEBULIZACIÓN JUNTO CON LOS FILTROS.....	68
FOTOGRAFÍA 7-12 REVISIÓN DE ELEMENTOS Y EMPAQUES DE LOS FILTROS .....	69
FOTOGRAFÍA 7-13 AJUSTE Y REVISIÓN DE COMPONENTES DEL NEBULIZADOR .....	69
FOTOGRAFÍA 7-14 VÁLVULAS DE LOS NEBULIZADORES.....	69
FOTOGRAFÍA 7-15 NEBULIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES TRATADAS .....	69
FOTOGRAFÍA 7-16 ZONAS O ÁREAS DENTRO DE LA UNIDAD MMC.....	199
FOTOGRAFÍA 7-17 ZONAS O ÁREAS DENTRO DE LA UNIDAD MMH.....	200
FOTOGRAFÍA 7-18 ZONAS O ÁREAS DENTRO DE LA UNIDAD MME.....	203

## 7 DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES

A continuación, se presentan las necesidades de recursos naturales que demandará el proyecto y que serán utilizados, aprovechados o afectados durante las diferentes fases del mismo. En la **Tabla 7-1** se presentan las características generales de uso y aprovechamiento de recursos naturales estimados para el Área de Perforación Exploratoria - APE COR 15.

**Tabla 7-1 Características de Uso y Aprovechamiento de Recursos Naturales para el Área de Perforación Exploratoria COR - 15**

CONCESIÓN DE AGUAS					
FUENTES SUPERFICIALES					
ETAPA	FUENTE HÍDRICA	CAUDAL REQUERIDO			USO
		ETAPA	CAUDAL	USO	
Etapas de construcción de obras civiles  Vías de acceso  Locación  Perforación  Pruebas de Producción  Construcción de Líneas de Flujo  Pruebas Hidrostáticas	Río Chicamocha	Construcción de obras civiles Vías de acceso locación.	1.0 l/s 0.001 m3/s	Doméstico e industrial	Doméstico e Industrial
		Perforación	2.0 l/s (1 l/s para uso doméstico 1 l/s para uso industrial) 0.002 m3/s	Doméstico e industrial	
		Pruebas de Producción	2.0 l/s (1 l/s para uso doméstico 1 l/s para uso industrial) 0.002 m3/s	Doméstico e industrial	
		Pruebas Hidrostáticas	2 l/s	Industrial	
		EPF	Operación y construcción EPF 2.0 l/s (1 l/s para uso doméstico 1 l/s para uso industrial) 0.002 m3/s	Doméstico e industrial	

MAUREL & PROM COLOMBIA B.V., solicita Concesión de Aguas Superficiales, para uso industrial y doméstico en el desarrollo de las actividades exploratorias que comprende el proyecto, en el río Chicamocha, en los sitios y condiciones de captación que se indican a continuación, con un caudal de 2LPS:

PUNTO CAPTACIÓN	COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN BOGOTÁ	
	ESTE	NORTE
Río Chicamocha No. 1	1138754	1142373
Río Chicamocha No. 2	1136811	1136481

### EXPLORACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Se solicita permiso de exploración de aguas subterráneas dentro del Área de Perforación Exploratoria COR 15, para la perforación de un (1) pozo profundo asociado a cada plataforma de perforación exploratoria y en caso de pasar a pruebas de producción un pozo asociado a una de las plataformas a perforar, siguiendo las recomendaciones del estudio de prospección de recursos hídricos subterráneos realizado para el APE COR-15 en el marco de este estudio, con una profundidad máxima de 180m y un caudal de aprovechamiento de 2 LPS.

TOMOGRAFÍA	ESTE [m]	NORTE [m]	UNIDAD GEOLÓGICA	PROFUNDIDAD REJILLAS [m]	ELEVACIÓN [msnm]	COMENTARIOS
1.LTE-2	1135395	1135429	Qpl	Entre 80 m y 120 m	2460	Las rejillas iniciarían a 2380 msnm, es el mismo nivel al que está la confluencia de la Q. La Floresta con el río Chicamocha y muy por debajo de las corrientes de agua cercanas al punto.
2. LTE-15	1133203	1137784	Oso	Entre 30 m y 70 m	2700	Zona de granito fracturado
3. LTE-18	1139281	1142963	Qal	Entre 30 m y 70 m	2334	En depósitos del río Chicamocha.
4. LTE_27	1136878	1135806	Qal	Entre 20 m y 50 m	2393	En depósitos del río Chicamocha.
5. LTE-28	1135831	1135948	Qal	Entre 20 m y 40 m	2404	Es un depósito aluvial.
6. LTE-29	1136430	1140342	K1b3t	Entre 40 m y 80 m	2745	La rejilla empezaría a 2705 msnm, por debajo de los cuerpos de agua cercanos y un manantial al nororiente
7.LTE-33	1136950	1137166	Qal	Entre 50 m y 120 m	2380	Está ubicado sobre una zona de depósitos aluviales.

### DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES

ETAPA	MEDIO RECEPTOR	CAUDAL O VOLUMEN A DISPONER	ALTERNATIVA DE DISPOSICIÓN FINAL																		
Etapas de construcción de obras civiles Vías de acceso Locación Perforación Pruebas de Producción Pruebas Hidrostáticas	Suelo Fuentes superficiales.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ETAPA</th> <th>CAUDAL A VERTER</th> <th>ORIGEN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Construcción de obras civiles</td> <td>1.2 LPS</td> <td>ARI* ARD**</td> </tr> <tr> <td>Perforación</td> <td>1.5 LPS</td> <td>ARI* ARD**</td> </tr> <tr> <td>Pruebas de Producción</td> <td>1.5 LPS</td> <td>ARI* ARD**</td> </tr> <tr> <td>Pruebas Hidrostáticas</td> <td>1.8 LPS</td> <td>ARI*</td> </tr> <tr> <td>Operación del EPF</td> <td>1 LPS ARI 0.5 LPS ARD</td> <td>ARI* ARD**</td> </tr> </tbody> </table>	ETAPA	CAUDAL A VERTER	ORIGEN	Construcción de obras civiles	1.2 LPS	ARI* ARD**	Perforación	1.5 LPS	ARI* ARD**	Pruebas de Producción	1.5 LPS	ARI* ARD**	Pruebas Hidrostáticas	1.8 LPS	ARI*	Operación del EPF	1 LPS ARI 0.5 LPS ARD	ARI* ARD**	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vertimientos mediante riego en vías sin pavimentar</li> <li>- Sistema de Aspersión o campos de infiltración: en las unidades MMc, MMe y MMh y cumpliendo con la zonificación ambiental de manejo de la actividad.</li> <li>- Reutilización en actividades del proyecto</li> <li>- Entrega a Terceros autorizados.</li> </ul>
		ETAPA	CAUDAL A VERTER	ORIGEN																	
		Construcción de obras civiles	1.2 LPS	ARI* ARD**																	
		Perforación	1.5 LPS	ARI* ARD**																	
		Pruebas de Producción	1.5 LPS	ARI* ARD**																	
		Pruebas Hidrostáticas	1.8 LPS	ARI*																	
Operación del EPF	1 LPS ARI 0.5 LPS ARD	ARI* ARD**																			
*Agua Residual Industrial **Agua residual Domestica																					

TIPO DE RESIDUO		TRATAMIENTO	DISPOSICIÓN FINAL
Aguas Residuales Domésticas	Aguas grises	Pasan a trampa de grasas y llevadas a un tanque para ajuste de parámetros	– Se envían a piscina de tratamiento de aguas residuales industriales
	Aguas Negras	Se llevan a planta portátil de tratamiento	– Reutilización – Sistema de Aspersión o campos de infiltración en las plataformas o en áreas aledañas a (Vertimiento ARD y ARI) – Riego en vías de acceso sin pavimentar – Entrega a Terceros autorizados.
Aguas residuales industriales	Aguas de escorrentía de lavado de equipos y tanques de dewatering	Se recogen en piscinas o tanques para separar sólidos y luego son conducidas a plantas portátiles de tratamiento	– Reutilización – Sistema de Aspersión o campos de infiltración en áreas aledañas a las plataformas – Riego en vías de acceso sin pavimentar. – Entrega a Terceros autorizados.
Aceites y lubricantes residuales	Se recogen en canecas dentro de las locaciones o frentes de trabajo		– Entregados a terceros autorizados para disposición final
Aguas residuales de las pruebas hidrostáticas			– Reutilizadas en actividades del proyecto – Entrega a Terceros autorizados.
Aguas de formación		Conducidas a plantas portátiles de tratamiento	– Reutilización – Sistema de Aspersión o campos de infiltración en las plataformas o en áreas aledañas a (Vertimiento ARD y ARI) – Riego en vías de acceso sin pavimentar. – Entrega a Terceros autorizados.

#### OCUPACIONES DE CAUCE

Se solicita permiso para ocupación de cauces para el APE COR 15, en ocho (8) sitios con el propósito de poder realizar el mantenimiento, la construcción de vías de acceso a las locaciones e instalación de líneas de flujo que se requieran sobre cuerpos de agua superficial (ríos, quebradas y afluentes menores). Se reforzarán y construirán estructuras que permitan el tránsito de vehículos y maquinaria sobre la vía. Las principales estructuras a construir o adecuar se describen a continuación haciendo referencia al drenaje a intervenir:

No.	Vía	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá		Nombre del drenaje	Tipo de drenaje	Estructura Existente	Localización Política administrativa	Tipo de Intervención
		Este	Norte					
1	Vía 1	1140506,83	1139696	Quebrada Canelas	Permanente	Puente en concreto reforzado con una longitud de 37,4 m y un ancho de 7.7m. Capa de rodadura en pavimento rígido. Presenta buenas condiciones de drenaje y buenas	Este puente marca el límite entre los municipios de Tasco (Vereda Canelas) y Corrales (vereda Reyes Patria).	Ampliación de la rasante y reforzamiento de las estructuras.

						condiciones estructurales, no se observan fisuras o agrietamiento. El estado de la superficie de rodadura es bueno, no se evidencia desgaste, hundimientos ni agrietamientos.	
2	Vía 5	1134254	1137039	Quebrada NN	Permanente	Pontón con una longitud de 5,7 m y ancho de calzada de 5m. Capa de rodadura en pavimento flexible. Se encuentra en un estado bueno en cuanto al drenaje. Presenta buenas condiciones estructurales. El estado general de la superficie es bueno, no se evidencia desgaste, hundimientos y agrietamientos en la capa de rodadura.	Refuerzo, ampliación de la rasante, mejoramiento de las condiciones del ángulo de giro.  Limpieza de la estructura para que no pierda su capacidad hidráulica
3	Vía 2.1	1138778	1142475	Río Chicamocha	Permanente	Puente en concreto reforzado con una luz de 21.1 m y un ancho de 3.7 m. Capa de rodadura en pavimento rígido. Buenas condiciones de drenaje. Presenta buenas condiciones estructurales, no se observan fisuramiento o agrietamiento. El estado general de la superficie es bueno, no se evidencia	Eventualmente refuerzo  Este puente sirve de límite entre los municipios de Tasco (vereda Santa Barbara) y Beteitiva (vereda de Buntia).

						desgaste, hundimientos y agrietamientos en la capa de rodadura. A los costados tiene barandas en concreto de 1m de altas.		
4	Vía 7	1136954	1144875	Quebrada Gaspar	Permanente	Ponton en concreto reforzado con una longitud de 5m y ancho de 6,5m. La capa de rodadura es tierra, con buenas condiciones de drenaje y estructurales, no se observan fisuras ni agrietamiento en su estructura. El estado general de la superficie es buena, no se evidencia desgaste, hundimientos ni agrietamientos en la capa de rodadura.	Límite de las veredas Otenga y Buntia, Municipio de Beteitiva.	Refuerzo de la estructura, ampliación y limpieza
5	Vía 2.2	1139223	1144951	Quebrada de la Rinconada (Quebrada Otengá)	Permanente	Puente en concreto reforzado con una longitud de 11.4m y ancho de 3,80m; capa de rodadura en pavimento rígido. Buen estado de drenajes. Presenta buenas condiciones estructurales, no se observan fisuramiento o agrietamiento. Su estado general de la superficie es bueno, no se evidencia desgaste, hundimientos y	La quebrada es el límite entre las veredas Soiquia y Centro del municipio de Beteitiva.	Ampliación de la rasante y refuerzo de la estructura

						agrietamientos en la capa de rodadura.		
6	Vía 2.2	1139207	1144944	Quebrada Sicuanova	Permanente	Ponton en madera con una longitud de 4,5 m y un ancho de 2,6. Capa de rodadura en tierra. Se encuentra en un estado bueno en cuanto al drenaje. Su estado general de la superficie es bueno, no se evidencia desgaste, hundimientos y agrietamientos en la capa de rodadura. La vía cuenta con cuneta en tierra en el costado izquierdo, su estado es en condiciones generales es regular.	Esta quebrada es el límite entre las veredas Soiquia y Saurca, del municipio de Beteitiva	Ampliación de la rasante y refuerzo de la estructura Reconstrucción y ampliación de la estructura.  Limpieza para garantizar la capacidad hidráulica
7	Vía 2.2	1139574	1147487	Quebrada Saurca	De invierno	Puente en concreto reforzado con una longitud de 9.5 m y un ancho de 3.5m. Su capa de rodadura es en pavimento tierra. Se encuentra en un estado bueno en cuanto al drenaje. Estructuralmente no presenta fisura o grietas que perjudiquen la estructura. El estado general de la superficie es bueno, no se evidencia desgaste, hundimientos y agrietamientos en la capa de rodadura	Esta quebrada marca el límite entre las veredas de Saurca y Divaquía, del municipio de Beteitiva.	Mantenimiento y monitoreo Ampliación de la rasante y refuerzo de la estructura

8	Vía 2.2	1139169	1136464	Qda. NN	De invierno	Box coulvert con una longitud de 2m, ancho de 4.2 y 3m de alto. La capa de rodadura es en tierra. Se encuentra en buen estado. Presenta buenas condiciones estructurales. El estado general de la superficie es bueno, no se evidencia desgaste, hundimientos y agrietamientos en la capa de rodadura. La vía cuenta con cuneta al costado izquierdo en tierra, su estado es bueno.	Vefeda de Reyes Patria en el municipio de Corrales.	Reconformación de la estructura y limpieza por mejoramiento de radio de giro y mantenimiento de la pendiente.
---	---------	---------	---------	---------	-------------	---	---	---

\*movilidad para la ubicación de las ocupaciones de cauce 6 m (3 m aguas arriba y 3 m aguas abajo)

### MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Los materiales pétreos (afirmado sub-base, base, arena, triturado, piedra) requeridos para el proyecto serán adquiridos en fuentes de material que cuenten con la respectiva Licencia Ambiental y Título Minero otorgada por la Autoridad ambiental respectiva. En el momento de realizar el presente estudio las fuentes de material identificadas son:

No	CONTRATO DE CONCESION Agencia Nacional de Minería -ANM Título Minero	Modalidad	Titular	Material	Municipio	Vereda	Licencia Ambiental	Fecha Otorgada
1	17956	Licencia de Explotación	María Silvestre Caro	Arena	Tasco	Santa Bárbara	871	3/11/199
2	00181-15	Licencia de Explotación	Sika Andina S.A	Materiales de Construcción	Corrales	Reyes Patria	1241	19/12/200
3	00-582-15	Licencia especial de materiales de construcción	Maria Cristina Téllez Álvarez	Materiales de Construcción / Arena	Tasco	Santa Bárbara	929	27/03/201
4	JBF-08071	Contrato de Concesión	Dora Constanza León Rojas	Materiales de Construcción / Arena	Tasco	Santa Bárbara	2938	26/10/201
5	18244	Licencia de Explotación	Mary Chinome Guío	Arena	Tasco	Santa Bárbara	566	30/08/199
6	14830	Licencia de Explotación	Luis Ismael Álvarez León	Materiales de Construcción	Tasco	Santa Bárbara	539	27/08/199

### APROVECHAMIENTO FORESTAL

Se solicita aprovechamiento forestal para la construcción de vías de acceso, plataformas multipozo, facilidades tempranas de producción, estaciones de recibo y líneas de flujo en el Área de Perforación Exploratoria COR 15.

UNIDAD DE COBERTURA	VOLUMEN TOTAL (m3)
Bosque Ripario	239.59
Pastos arbolados	90.06
Plantación Forestal	89.9
<b>TOTAL</b>	<b>419.55</b>

### RESIDUOS SÓLIDOS

Se solicita autorización para el manejo y tratamiento de los residuos sólidos que se generarán en las diferentes etapas del proyecto, específicamente residuos: orgánicos, reciclables, incinerables y peligrosos. La disposición final de los residuos será realizada a través de Rellenos Sanitarios municipales que cuenten con permiso vigente y/o con terceros autorizados.

Solicita Autorización para la construcción, conformación y manejo de Zonas de Disposición de Material de Excavación (ZODMES) en el Área de Perforación Exploratoria COR 15, específicamente zonas próximas a las locaciones destinadas para este fin. Las coordenadas de localización exactas serán entregadas cada Plan de Manejo Específico.

### EMISIONES ATMOSFÉRICAS

Se solicita permiso de emisiones atmosféricas para la quema del gas generado en las pruebas de producción cortas y extensas en desarrollo del proyecto de perforación exploratoria en el APE COR 15, mediante teas que permitan la combustión completa a fin de controlar la emisión de material particulado y gases contaminantes, cumpliendo con las especificaciones del Artículo 40 del Decreto 02 de 1982, del Decreto 948 de 1995, del Decreto 979 de 2006 y de la Resolución 610 de 2.010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Dichas teas se ubicarán y contarán con la altura mínima, de conformidad con lo establecido en la normatividad vigente en materia de emisiones atmosféricas por fuentes fijas (Resolución 0909 de junio 5 de 2008).

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

## 7.1 AGUAS SUPERFICIALES

A continuación, se presenta la información referente a oferta y demanda del recurso hídrico, requerida para la solicitud de concesión de agua superficial.

### 7.1.1 Caudal de Agua Solicitado

Para la ejecución de las actividades del proyecto del APE COR 15 se requiere la utilización del recurso agua en un caudal máximo de 2 L/s, los cuales se justifican a continuación:

Para la ejecución del proyecto de perforación exploratoria APE COR 15 se requiere el aprovechamiento del recurso hídrico superficial para las etapas de Construcción de obras civiles (tales como vías de acceso, locación, facilidades, estaciones de recibo), Perforación, Pruebas de Producción, Pruebas Hidrostáticas y Operación, como se muestra en la **Tabla 7-2**.

**Tabla 7-2 Caudal de agua requeridos por el proyecto**

ETAPA	DESCRIPCIÓN	CAUDAL	USO
<b>CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES, VÍAS DE ACCESO LOCACIÓN</b>	En la adecuación de la vía y plataforma de perforación se requiere agua básicamente para las actividades constructivas de afirmado y rellenos (si las condiciones del material en el momento de la conformación lo ameritan y dependiendo de las condiciones climáticas y de	2.0 l/s (0.002 m3/s)	Doméstico e industrial

ETAPA	DESCRIPCIÓN	CAUDAL	USO
	los ensayos de campo) y para las construcciones de obras en concreto.		
<b>PERFORACIÓN</b>	Industrial: para las actividades de perforación como preparación del lodo de perforación, lavado de equipos, entre otras; y doméstico: para duchas, servicios sanitarios, entre otros.	2.0 l/s (0.002 m3/s)	Doméstico e industrial
<b>PRUEBA DE PRODUCCIÓN</b>	Industrial: equipos, maquinaria y doméstico.	(1 l/s para uso doméstico y 1 l/s para uso industrial)	Doméstico e industrial
<b>PRUEBAS HIDROSTÁTICAS</b>	las actividades de construcción y prueba hidrostática	2 L/s (0.002 m3/s)	Industrial
<b>EPF</b>	Operación y construcción EPF	2.0 l/s (0.002 m3/s)	Doméstico e industrial

Fuente: MAUREL & PROM COLOMBIA B.V., 2019

### 7.1.2 Identificación de Fuentes de Captación

Para la presentación de la correspondiente solicitud de uso del recurso hídrico superficial para el desarrollo del Área de Perforación Exploratoria COR 15, se establecen las fuentes y tramos de captación propuestos para el uso y aprovechamiento del recurso hídrico por parte del proyecto, descritos en la **Tabla 7-3**. Los puntos de captación se proponen con un rango de movilidad de +/- 3 metros aguas arriba y aguas abajo. Los puntos solicitados se ubican sobre puentes de vías municipales por lo cual no se relaciona nombre de propietario del predio.

**Tabla 7-3 Corrientes de Agua Propuestas para la Captación de Aguas Superficiales en el Área de Perforación Exploratoria COR 15**

CORRIENTE	COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN BOGOTÁ		UNIDAD TERRITORIAL	ÉPOCA DE CAPTACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO
	ESTE	NORTE			
Río Chicamocha – Pto. de captación 1	1138754E	1142373N	Municipio de Tasco, vereda Santa Bárbara Predio propiedad de Acerías Paz del Río Margen Derecha	Todo el año	
Río Chicamocha – Pto. de Captación 2	1136811E	1136481N	Municipio de Corrales vereda Didamón Predio Baldío Margen Izquierda		

Los sitios propuestos para captación corresponden a áreas previamente intervenidas que cuentan con un fácil acceso. Cabe aclarar que para el ingreso a los puntos de captación se realizará la adecuación de la vía de acceso para carrozanque o se instalará línea de flujo para conducir el agua hacia un sitio de almacenamiento y posterior transporte al sitio de operación o se realizará el tendido de línea de flujo hasta las plataformas multipozo o facilidades de producción.

La **Figura 7-1** presenta la ubicación de los puntos de captación propuestos para el desarrollo de las actividades de perforación exploratoria en el APE COR 15.



**Figura 7-1 Ubicación de Puntos Solicitados Captación del APE COR 15**

### 7.1.3 Diseño y Sistemas de Captación

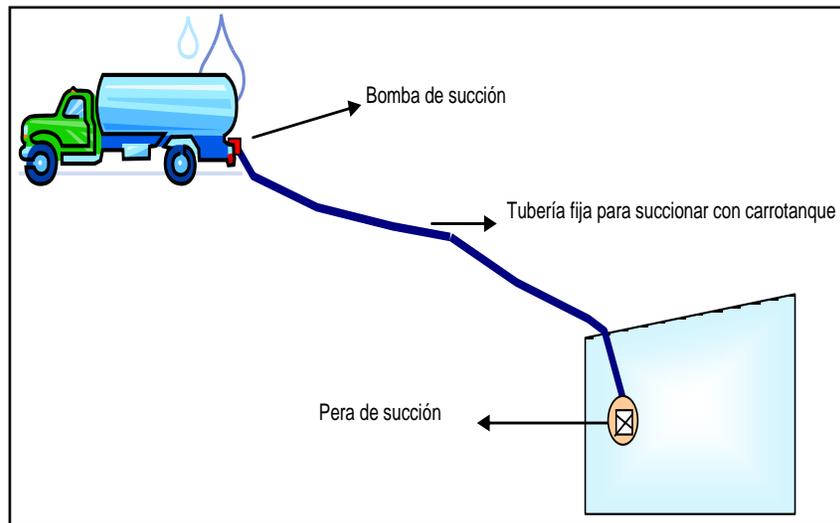
La captación de aguas se realizará:

- Mediante una motobomba adosada a un cárcamo portátil que contendrá la motobomba, la cual se unirá a una manguera o tubería de succión de 2" proveniente de la corriente de agua;
- Mediante la instalación de una motobomba en un punto fijo contando con su dique de aislamiento y conexiones para abastecer los carrotanques o la línea de flujo que conducirá el agua hasta los sitios de almacenamiento en plataformas o en las facilidades de producción. Dicha tubería contará con un accesorio en el extremo de succión que impida la entrada de material de arrastre, tal como se muestra en la **Figura 7-2**.

Se captará estrictamente el caudal requerido para cada actividad, controlando el volumen mediante un medidor de flujo, con el fin de evitar la generación de sobrantes en los frentes de trabajo, que deban ser retornados.

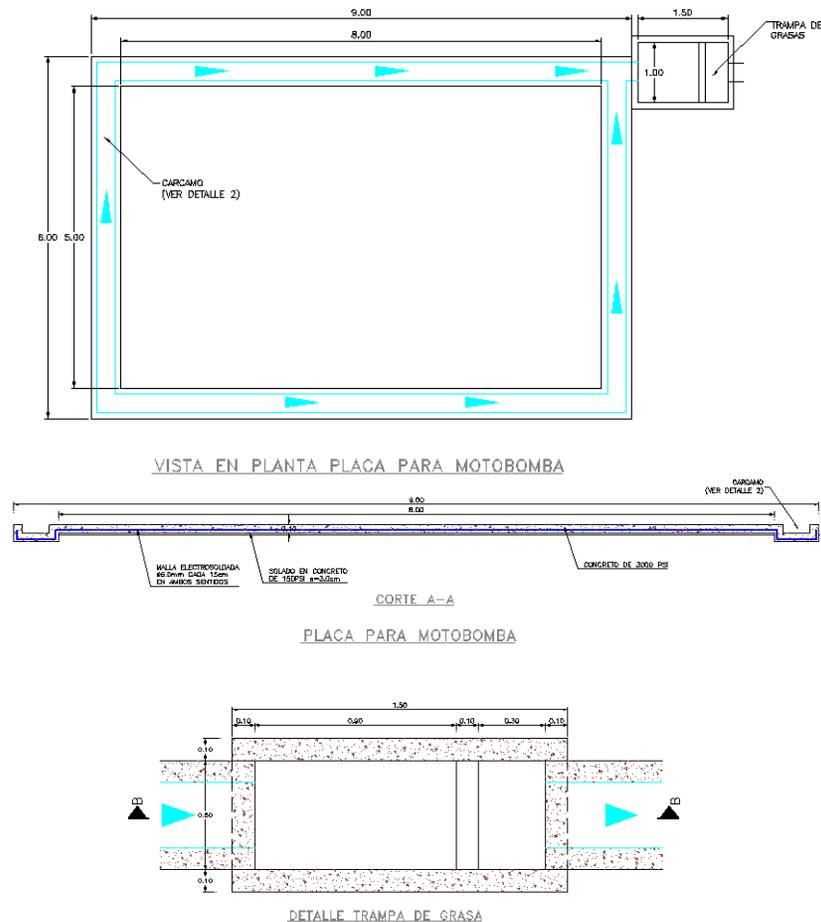
Los carrotaques que se utilicen para el transporte de agua hasta los sitios de utilización no ingresarán por ningún motivo a las fuentes superficiales en las cuales se solicita el permiso. Estos vehículos se ubicarán a una distancia suficiente del margen de la fuente hídrica, durante el proceso de captación, con el fin de prevenir la alteración de las características del recurso hídrico.

En el uso de carrotaque y como medida preventiva, el cárcamo portátil recogería cualquier escape posible de la motobomba con el fin de evitar la contaminación del medio. En esta modalidad se llevará el registro diario de carrotaque cargados indicando el volumen o capacidad de cada uno de ellos.



**Figura 7-2 Sistema de Captación Directa desde Carrotaque**  
Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

Para la captación se contempla la opción de captación permanente, mediante motobomba instalada fuera de la ronda protectora de la fuente en una caseta de 2 m x 3 m (área de 6m<sup>2</sup>) con medidor de flujo. Ver **Figura 7-3**.



**Figura 7-3 Placa para la Instalación de Motobomba para Captación de Agua**  
*Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019*

En cuanto a la conducción, luego de hecha la captación de la corriente superficial emplearán los carrotanques, los cuales tendrán una capacidad variable entre 3200 y 2700 galones y su uso, será exclusivo para el transporte de agua. Previo al llenado del vehículo deberá hacerse la limpieza del tanque y, una vez llenado, se puede iniciar el transporte hasta los frentes de trabajo o áreas operativas.

#### 7.1.4 Análisis de los Conflictos Actuales o Potenciales frente a la Disponibilidad del recurso

##### ➤ Usos Identificados

Los principales usos que se le dan al recurso hídrico en el APE COR 15 para el desarrollo de las actividades económicas son para uso doméstico, agropecuario e industrial.

##### ○ *Uso Doméstico:*

Dentro del Área de Perforación Exploratoria COR15 se cuenta con acueductos veredales los cuales son la fuente de abastecimiento para las comunidades; de la misma forma se hace

aprovechamiento de aguas lluvias ya que en verano en algunos sectores del área el recurso hídrico es escaso debido a las condiciones de la zona y por ende se asegura que el servicio de agua sea constante. Frecuentemente se utilizan motobombas como medio de captación del agua, al igual que métodos manuales utilizando contenedores o cubetas y se emplean sistemas de conducción por gravedad.

Los habitantes de la región sobre todo a nivel rural disponen las aguas residuales en pozos sépticos que no cuentan con las especificaciones técnicas apropiadas. Posteriormente estas aguas se infiltran en el suelo y subsuelo; otros suelen disponer sus aguas servidas directamente sobre el terreno sin ningún tratamiento previo.

- *Uso Agropecuario*

Dentro del Área de perforación exploratoria COR 15, se identificó la actividad agrícola dirigida en su mayoría al cultivo de arveja, habas, papá, tomate y algunos frutales en ciertos sectores, de la misma forma se observa actividad ganadera a baja escala, el recurso hídrico necesario para dichas actividades económicas es suministrado tanto por los acueductos veredales, como por captaciones específicas para usos como la piscicultura tal como lo establece el registro de CORPOBOYACÁ. También se hace aprovechamiento de aguas lluvias las cuales son almacenadas para posteriormente ser distribuidas en reservorios.

- *Uso Industrial*

La actividad económica principal de los diferentes municipios ubicados dentro del Área de Perforación Exploratoria COR 15 es la industria de la minería, la cual requiere hacer uso del recurso hídrico para su actividad y de la misma forma genera vertimientos industriales en las diferentes fuentes, dicho recursos es tomado de los cuerpos de agua existentes entre estos el más importante, el río Chicamocha.

➤ **Inventario de Usos y Usuarios Registrados**

En la **Tabla 7-4** se presenta la relación de concesiones otorgadas para uso y aprovechamiento del agua por CORPOBOYACÁ, inventario que fue corroborado por el equipo de la UPTC para establecer la disponibilidad del recurso para las actividades previstas en el APE COR 15:

**Tabla 7-4 Relación de Concesiones de agua otorgadas por CORPOBOYACA en el área de interés**

No.	MUNICIPIO	VEREDA	SIST_CAPTA	MICROCUENCA	CAUDAL FUENTE	CAUDAL OTORGADO	USUARIO	USO_AGUA
1	Beteitiva	Saurca	Superficial	Chicamocha	0,05	0,025	Pablo E Vargas	Agrícola
2	Beteitiva	Saurca	Superficial	Chicamocha	0,5	0,27	Municipio De Beteitiva	Domestico
3	Beteitiva	Saurca	Superficial	Rio Chicamocha	1	0,41	1023979	ABREVADERO
4	Beteitiva	Saurca	Superficial	Rio Chicamocha	2,5	0,545	Eloisa Araque Rojas	Domestico
5	Beteitiva	Divaquia	Superficial	Chicamocha	1,67	0,95	Municipio De Beteitiva	Abrevadero, Domestico
6	Beteitiva	Soiquia	Bocatoma De Fondo	Media Chicamocha	0	1	Municipio De Beteitiva	Domestico
7	Beteitiva	Soiquia	Bocatoma Lateral	Media Chicamocha	3	0,048	Asociacion De Pscicultores De Beteitiva ( Asopispena)	Abrevadero, Domestico
8	Beteitiva	Soiquia	-	Rio Chicamocha	41,5	0,07	María Cristina Rojas	Doméstico,

No.	MUNICIPIO	VEREDA	SIST_CAPTA	MICROCUENCA	CAUDAL FUENTE	CAUDAL OTORGADO	USUARIO	USO_AGUA
								Pecuario
9	Betétiva	Soiquia	-	Chicamocha	9,02	0,13	María Cristina Rojas	Doméstico, Pecuario
10	Betétiva	Soiquia	Superficial	Chicamocha	0,47	0,139	Rogelio Rojas Rojas Representante Asociación Las Hoyas A La Guada	Doméstico
11	Betétiva	Buntia	Succión.	Rio Chicamocha	1510,25	0,95	Mario Cárdenas Gil Y Gloria Inés Rojas Gil	Pecuario Y Agrícola
12	Corrales	Modeca	Superficial	Chicamocha	2,72	0,219	Jose N Sanchez R	Industrial
13	Corrales	Reyes Patria	Superficial	Rio Chicamocha	4788	219	Mauricio Cely Albarracin	Industrial
14	Corrales	Reyes Patria	Superficial	Chicamocha	0,12	0,09	Jose Idulfo Fonseca Pinto	Abrevadero, Domestico, Riego
15	Corrales	Reyes Patria	Superficial	Rio Chicamocha	1960	1,21	Jose Antonio Vargas Castellanos	Industrial (Lavado De Arena)
16	Corrales	Reyes Patria	Bombeo	Rio Chicamocha	9265,34	0,99	Tamizadora El Triunfo	Industrial Industrial (Lavado De Arena)
17	Corrales	Reyes Patria	Bombeo	Rio Chicamocha	9265,34	0,99	Minerales La Mexicana	Industrial Industrial (Lavado De Arena)
18	Corrales	Reyes Patria	Superficial	Media Chicamocha	117,6	1,46	Municipio De Corrales	Diario
19	Corrales	Reyes Patria	Superficial	Rio Chicamocha	0,5	0,69	Jose Rodulfo López Fonseca	D
20	Corrales	Corrales	Superficial	Rio Chicamocha	16,63	2,6	Minas Paz Del Rio S,A	Industrial
21	Corrales	Reyes Patria	Superficial	Rio Chicamocha	0,23	0,2	Municipio De Corrales	Domestico
22	Corrales	Reyes Patria	Otro	Rio Chicamocha Medio	6668	0	Consortio Muisca Sogamoso	Agrícola
23	Corrales	Reyes Patria	Otro	Rio Chicamocha	6669	0	Consortio Muisca Sogamoso	Agrícola
24	Corrales	Reyes Patria	Succión	Rio Chicamocha Medio	6688,43	0,5	Pedro Alberto Agudelo	Industrial
25	Corrales	Reyes Patria	Succión	Rio Chicamocha Medio	6688,43	0,1	Nelson Javier Torres Castro	Industrial
26	Corrales	Modecá	Na	Rio Chicamocha Medio	0	0	Municipio De Tópaga	Na
27	Tasco	San Isidro	Superficial	Chicamocha	286	0,61	Alvaro Llanos Nino	Riego
28	Tasco	Santa Bárbara	Bombeo	Rio Chicamocha	9265,34	0,343	Dora Costanza Leon Rojas	Industrial Industrial (Lavado De Arena)
29	Tasco	San Isidro	Superficial	Chicamocha	544,8	0	Personera Mpal Marina Fonseca	Domestico
30	Tasco	San Isidro	Superficial	Chicamocha	15,2	0,3	Luis Alberto Rodríguez Parra	Abrevadero, Domestico
31	Tasco	Santa Bárbara	Superficial	Chicamocha	8,16	3,54	Suscriptores De La Vereda Sn Isidro	Abrevadero, Domestico
32	Tasco	San Isidro	Superficial	Rio Chicamocha	68,4	0,1	Jose Manuel Pasachoa	Riego

No.	MUNICIPIO	VEREDA	SIST_CAPTA	MICROCUEENCA	CAUDAL FUENTE	CAUDAL OTORGADO	USUARIO	USO_AGUA
33	Tasco	Canelas	Superficial	Rio Chicamocha	16	0,63	Municipio De Corrales-	Domestico
34	Tasco	San Isidro	Superficial	Rio Chicamocha	9651	33,75	Asosario	Pecuario, Riego
35	Tasco	San Isidro	Superficial	Chicamocha	9651	33,75	Asosario	Pecuario, Riego
36	Tasco	Santa Bárbara	Superficial	Rio Chicamocha	172	14	Asosuarios Distrito De Riego Pequena Escala-Asodistricanelas	Pecuario, Riego

De los 36 usuarios identificados el caudal que demandan es de 320 LPS. Al realizar la estimación de los caudales en cada uno de los puntos señalados para el APE COR-15 se puede establecer que no se presentará conflicto por cuanto existe caudal disponible.

El río Chicamocha de acuerdo con la estación del IDEAM a la altura de Paz del Río registra un caudal de 40100 LPS, por lo cual la disponibilidad para usuarios actual y futura frente a este cuerpo de agua es alta. No obstante, en buena medida en el río Chicamocha y en algunos de sus afluentes los vertimientos de tipo doméstico son frecuentes lo que compromete la calidad del agua y la disponibilidad para muchos usuarios.

Teniendo en cuenta que el proyecto del APE COR-15 requiere el agua para usos de tipo doméstico e industrial y que contará con las debidas plantas de tratamiento "in situ" para su manejo y puesta en las condiciones requeridas, no reviste inconveniente. Pero si es claro que la calidad del agua se encuentra comprometida por los distintos aportes que recibe correspondientes a vertimientos de aguas residuales domésticas, el lavado de los suelos producto de la escorrentía y demás aportes de otros usuarios por ejemplo en materia de residuos sólidos.

### 7.1.5 Régimen Hidrológico y Caudales de la Corriente a Intervenir – Río Chicamocha

Como se presentó en el capítulo 5, para el análisis de caudales se tomó como referencia las estaciones sobre el río Chicamocha (**Tabla 7-5**), denominadas Puente Chámeza (municipio de Nobsa), localizada en la parte final de la denominada cuenca alta del río y cerca del inicio de la cuenca media; y la estación Paz de Río localizada en el municipio de su nombre, localizada aguas debajo de la terminación norte del polígono APE COR15.

Se consideran estas dos estaciones ya que la primera (Puente Chámeza) se localiza antes de la entrada del río Chicamocha al área del Proyecto APE COR-15 y la otra (Paz de Río), kilómetros aguas debajo de la terminación norte del polígono del área de estudio.

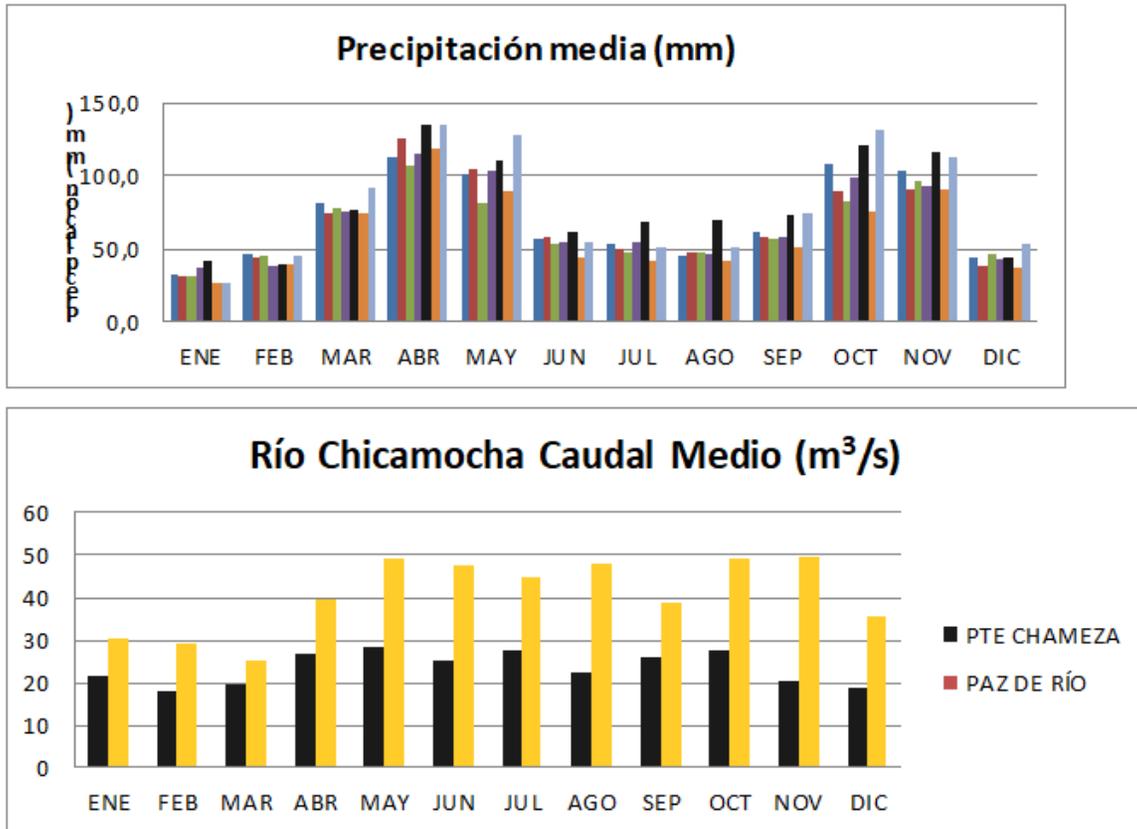
**Tabla 7-5 Estaciones con información de Caudales en el área de estudio**

MUNICIPIO	CODIGO	ESTACIÓN	ELEVACIÓN (msnm)	INFORMACIÓN	PERIODO
Nobsa	2403729	Pte Chámeza	2476	Valores medios, mínimos y máximos mensuales de caudales (m3/seg)	1965-2015
Paz de rio	2403751	Paz de Río	2225	Valores medios, mínimos y máximos mensuales de caudales (m3/seg)	1983-2010

Fuente: IDEAM, 2018

Para el análisis se tomó un periodo de registro uniforme (27 años) en este caso correspondiente a 1983-2010, que posee información homogénea de las 2 estaciones. Se puede observar que el comportamiento de los caudales medios guarda directa relación con la precipitación, con dos periodos de mayor caudal en ambas estaciones (abril-mayo y octubre-noviembre), correspondiente

a las temporadas lluviosas del año y dos periodos de caudales más bajo correspondientes a las temporadas de estiaje. (Ver **Figura 7-4**).

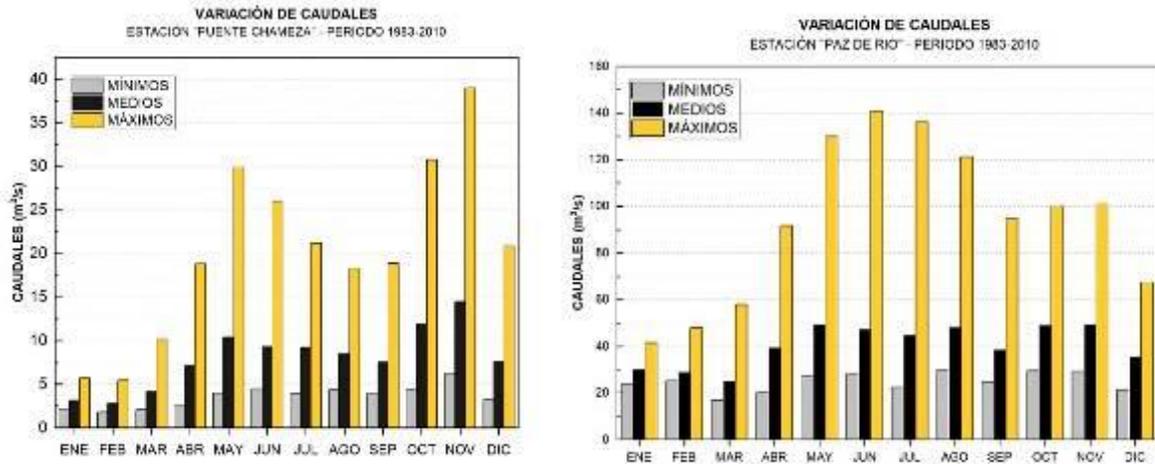


**Figura 7-4 Comparativo del comportamiento temporal de la precipitación y el caudal medio en estaciones del río Chicamocha**

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019, con información IDEAM

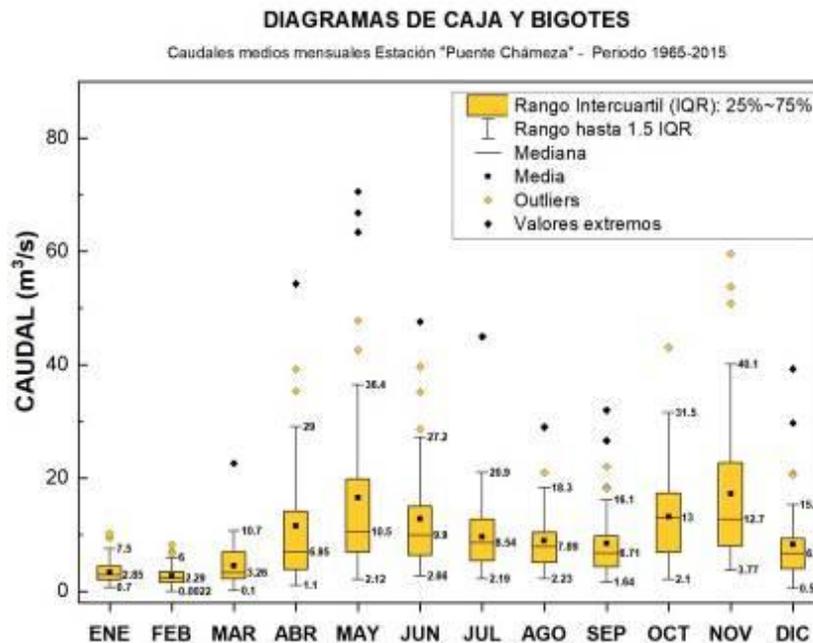
### ➤ Caudales medios

Los histogramas de caudales medios mensuales de las estaciones consideradas (Puente Chámeza y Paz del Río), permiten observar que el pico o moda para cada una de ellas ocurre en los meses de abril-mayo y octubre-noviembre (ver **Figura 7-5** a la **Figura 7-7**), coincidente con la distribución bimodal de la precipitación.



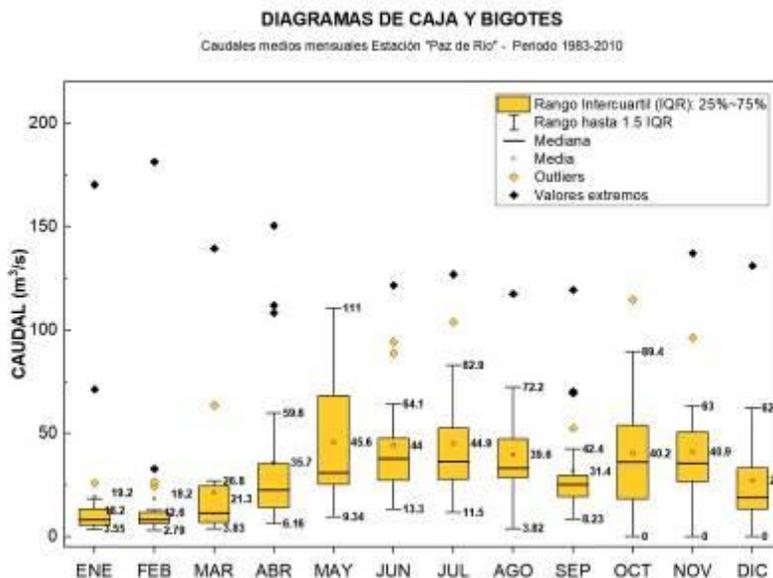
**Figura 7-5 Variación temporal de caudales en las estaciones Puente Chámeza y Paz de Río**  
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Igualmente, los diagramas de caja y bigotes permiten observar que en la estación Puente Chámeza los caudales más altos corresponden a los meses de mayo y noviembre, con valores máximos medios de 36,4 m<sup>3</sup>/s y 40,1 m<sup>3</sup>/s respectivamente. Así mismo se observa que los valores mínimos también concuerdan con las temporadas secas del año (enero y febrero), observando valores mínimos de 0,7 m<sup>3</sup>/s. (Ver **Figura 7-6**).



**Figura 7-6 Diagrama de Caja y Bigotes con los rangos intercuartiles, mediana, valores extremos y atípicos, Estación Pte Chámeza**  
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

En la estación Paz de Río los caudales más altos también correspondiente al mes de mayo es de  $111 \text{ m}^3/\text{s}$  y en el mes de octubre alcanza  $89,4 \text{ m}^3/\text{s}$ , respectivamente. Así mismo se observa que los valores mínimos también concuerdan con las temporadas secas del año (enero y febrero), observando valores mínimos  $3,55 \text{ m}^3/\text{s}$ . (Ver **Figura 7-7**).



**Figura 7-7 Diagrama de Caja y Bigotes con los rangos intercuartiles, mediana, valores extremos y atípicos, para la estación Paz de Río**  
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Se concluye respecto a la cuenca del río Chicamocha, que a medida que el río aumenta su longitud de desarrollo y recorrido a través de la cuenca, aumentan sus caudales medios.

### ➤ Rendimientos hídricos

De acuerdo a la relación regional establecida entre el área de las microcuencas y el caudal medio registrado de los afluentes al río Chicamocha en cada una de sus márgenes teniendo en cuenta información complementaria de otras estaciones de la parte baja de la cuenca alta del río Chicamocha y de la cuenca del Lago de Tota, se obtuvo una relación directamente proporcional entre el área y el caudal medio, para los afluentes de la margen izquierda (zona 1), margen derecha (zona 2) y afluentes director al río Chicamocha (Zona 3) (Ver **Tabla 7-6**).

**Tabla 7-6 Fórmulas regionales caudal medio-área**

ZONA	FORMULA
1	$Q \text{ medio } z1 \text{ (m}^3/\text{s)} = 0.0931 \cdot \text{Área (km}^2) + 0.5023$
2	$Q \text{ medio } z2 \text{ (m}^3/\text{s)} = 0.1161 \cdot \text{Área (km}^2) + 0.5283$
3	$Q \text{ medio } z2 \text{ (m}^3/\text{s)} = 0.000034 \cdot \text{Área (km}^2) + 1.643314$

Fuente: CORPOBOYACÁ - UNIDISTRITAL, 2010

Mediante la cual se calcula el rendimiento para las estaciones consideradas (Puente Chámeza y Paz del Río) (Ver **Tabla 7-7**).

**Tabla 7-7 Rendimiento hídrico estaciones Pte Chámeza y Paz de Río**

CÓDIGO ESTACIÓN	NOMBRE	ÁREA (KM2)	CAUDAL MEDIO (M3/S)	RENDIMIENTO (L/S/KM2)
2403729	Pte. Chámeza	2200	9.53	4.33
2403751	Paz del Río	3331	18.28	5.49

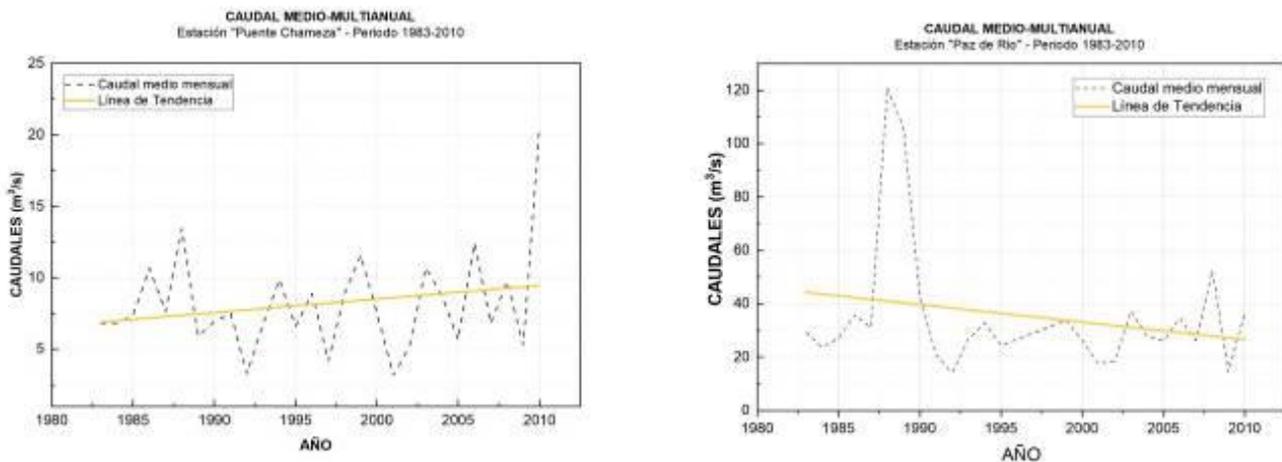
Fuente: **CORPOBOYACÁ - UNIDISTRITAL, 2010**

Mostrando un caudal medio de 9,53 m<sup>3</sup>/s y 18,28 m<sup>3</sup>/s para las estaciones Pte Chámeza y Paz del Río, con rendimientos hídricos de 4,33 y 5,49 l/s/km<sup>2</sup>, respectivamente, lo cual también confirma que a medida que avanza en su recorrido el río Chicamocha, aumenta su caudal medio.

#### ➤ Distribución temporal de caudales

La distribución temporal de caudales medios se ilustra en la **Figura 7-8**, en donde se observa la variabilidad a través del periodo considerado; se destaca un pico de caudal correspondiente al año 1988-1989 en la estación Paz de río y en ambas en el año 2010, el cual coincide con la temporada de lluvias asociado al fenómeno de la Niña en ese año.

En la estación Puente Chámeza se observa una tendencia ligeramente creciente en el periodo 1983-2010, mientras que en la estación Paz de río la tendencia es ligeramente decreciente (**Figura 7-8**).



**Figura 7-8 Tendencia del caudal medio para el periodo 1983-2010, estaciones Pte Chámeza y Paz de Río**

Fuente: **UPTC-INCITEMA, 2019**

#### ➤ Curvas de duración de caudales medios

Para evaluar las curvas de duración de caudal se utiliza la información correspondiente a las 2 estaciones antes mencionadas. Con la información de caudales medios mensuales para el periodo

considerado, se obtiene la curva de duración de caudales; esta curva permite determinar el caudal que es igualado o excedido un porcentaje de tiempo. (Ver **Tabla 7-8**).

**Tabla 7-8 Caudales característicos de las estaciones Pte Chámeza y Paz de Río**

PARÁMETRO	PTE CHAMEZA (m3/s)	PAZ DEL RIO (m3/s)
MÁXIMO	50,83	181,4
MEDIO	8,19	40,5
MÍNIMO	0,8	0,5
50%	7,85	28,9
90%	5,98	6,1
95%	2,84	4,75
98%	2,82	3,6
99%	2,8	2,79
100%	0,8	0,5

*Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019*

Se puede observar que el río Chicamocha ha registrado caudales mínimos (menos de 1 m3/s), especialmente en la estación Paz de Río, asociado posiblemente a fenómenos prolongados de sequía y/o combinado con pérdida de caudal por captaciones para regadío, a lo largo de su recorrido.

➤ **Caudales mínimos para las estaciones de análisis**

El caudal mínimo diario para diferentes periodos de retorno en las estaciones consideradas se presenta en la **Tabla 7-9**:

**Tabla 7-9 Caudales mínimos diarios estaciones Pte Chámeza y Paz de Río**

TASA DE RETORNO	PTE CHÁMEZA (m3/s)	PAZ DE RIO (m3/s)
2,33	1,38	3,79
5	0,88	2,10
10	0,61	1,48
20	0,40	1,16
50	0,20	0,92
100	0,007	0,81
Chi2	0,23	7,09

*Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019*

De tal manera que se prevé que el cauce del río Chicamocha tendrá en su cauce un caudal base superior a 0 m3/s, lo cual concuerda con lo establecido en el POMCA (CORPOBOYACÁ - UNIDISTRITAL, 2010).

➤ **Caudales para los Puntos de Captación**

Para los dos puntos solicitados para aprovechamiento de agua superficial se calcularon los caudales en sitio, así como su curva de duración:

Para la estimación de dichos caudales medios se empleó la base física del balance hidrológico que es la formulación de las ecuaciones de conservación de masa para volúmenes de control o unidades hidrográficas determinadas. Expresa la equivalencia entre los aportes de agua que entran

al volumen de control y la cantidad de agua que sale considerando además las variaciones internas en el almacenamiento de humedad ocurridas durante un periodo de tiempo determinado.

#### Formula de Turc

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

#### Donde

ETR Evapotranspiración real en mm/año

P Precipitación en mm/año, para la fórmula de Turc

t Temperatura media anual en °C

L: Factor Helio =  $300 + 25 * t + 0.05 * t$

La infiltración es el volumen de agua procedente de las precipitaciones que atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo y del subsuelo, para determinar el cálculo de infiltración de la precipitación mensual registrada se encuentra dada por la siguiente expresión

$$P_i = (C_i) * (P - ETP)$$

#### Donde

Pi = Precipitación que infiltra mensualmente al suelo (mm/mes)

Ci = Coeficiente de infiltración (adimensional)

P = Precipitación mensual en (mm/mes)

ETR = Evapotranspiración real (mm/mes)

Una vez estimada el agua que se filtran mensualmente en la cuenca, se establece que el agua restante es la que escurre superficialmente, por lo tanto, para el cálculo de la escorrentía anual (mm) en la cuenca y cuenca total se utiliza la expresión matemática que relaciona el caudal y el área de drenaje.

$$E = \frac{31.5 * Q}{A}$$

#### Donde

E = Escorrentía en mm

Q = Caudal en m<sup>3</sup>/s

A = Área de drenaje km<sup>2</sup>

Posterior a la implementación de la metodología de balance hídrico para estimación de caudales medios, y basados en la información de caudales que se tiene en estación Chameza, se procede a realizar estimación de caudales por medio del rendimiento hídrico, para los puntos de captación.

Dichos resultados se presentan en la **Tabla 7-12** y **Tabla 7-14**.

➤ **Caudales extremos para los Puntos de Captación**

La magnitud de un evento extremo esta inversamente relacionada con su frecuencia de ocurrencia, es decir, eventos muy severos ocurren con menor frecuencia que eventos más moderados. El objetivo del análisis de frecuencia de información hidrológica es relacionar la magnitud de los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia mediante el uso de distribuciones de probabilidad. Se supone que a la información hidrológica analizada es independiente y esta idénticamente distribuida y el sistema hidrológico que la produce se considera estocástico, independiente del espacio y del tiempo. (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

El análisis de frecuencias en el presente estudio se realizó mediante la selección de los caudales máximos calculados en las series de caudales medios mensuales, debido a que, los caudales analizados contemplan todos los eventos climáticos registrados en las series de tiempo, producto del procesamiento de precipitaciones totales.

Los caudales máximos fueron registrados para diferentes periodos de retorno, este concepto supone que un evento extremo ocurre si una variable aleatoria X es mayor o igual que un cierto nivel XT. El periodo de retorno T de un evento  $X \geq X_T$  es el valor esperado de T,  $E(T)$ , su valor promedio medido sobre el número de ocurrencias suficientemente grande. Por consiguiente, el periodo de retorno de un evento con una magnitud dada puede definirse como el intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud especificada. (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

La probabilidad  $p=P(X \geq X_T)$  de ocurrencia del evento  $X \geq X_T$  en cualquiera observación puede relacionarse con el periodo de retorno en la siguiente forma. Para cada observación existen dos resultados posibles: ya sea "éxito"  $X \geq X_T$  (Probabilidad p) p falla  $X < X_T$  (probabilidad 1-p). Debido a que las observaciones son independientes, la probabilidad de in intervalo de recurrencia de duración T es el producto de las probabilidades T-1 fallas seguidas por un éxito, es decir  $(1-p)^{T-1}p$  y el valor esperado para T está dado por las siguientes ecuaciones (ibíd.):

$$E_{(T)} = \sum_{\tau=1}^{\infty} \tau(1-p)^{\tau-1}p$$

$$= p + 2(1-p)p + 3(1-p)^2p + 4(1-p)^3p + \dots$$

$$= p[+2(1-p) + 3(1-p)^2 + 4(1-p)^3 + \dots]$$

La expresión dentro de los corchetes tiene la forma de una expansión de series de potencia  $(1+x)^n = nx + [n(n-1)/2]x^2 + [n(n-1)(n-2)/6]x^3 + \dots$ , con  $x=-(1-p)$  y  $n=-2$ , luego puede reescribirse como:

$$E_{(T)} = \frac{p}{[1 - (1-p)]^2}$$

$$E_{(T)} = \frac{1}{p}$$

Luego  $E(T)=T=1/p$ ; es decir, la probabilidad de ocurrencia de un evento en cualquier observación es inverso de su periodo de retorno:

$$P(X \geq X_T) = \frac{1}{T}$$

Una serie de valor extremo incluye el valor mínimo o máximo que ocurre en cada uno del intervalo de tiempo de igual longitud o registro. La longitud de intervalo de tiempo usualmente se toma como un año y una serie seleccionada de esa manera se conoce como una serie anual. Con esto, la ocurrencia de un gran creciente bien puede estar relacionada con unas condiciones de suelo saturado producidas por otro gran creciente ocurrido un corto tiempo antes. Como resultado, usualmente es mejor utilizar la serie de máximos anuales para el análisis. A medida que el periodo de retorno del evento considerado es mayor, los resultados son más adecuados debido a que la posibilidad que dos de estos eventos ocurran durante un mismo año es muy pequeña. (ibíd.)

El cálculo de las magnitudes de eventos extremos requiere que la función de distribución de probabilidad sea invertible, es decir, dado un valor para T o  $[F(X_T)=T/(T-1)]$ , el correspondiente valor de XT puede determinarse. Las Funciones de distribuciones de probabilidad existentes y más utilizadas en hidrología se presentan en la **Tabla 7-10**.

**Tabla 7-10 Distribución de probabilidad para ajuste de información hidrológica**

FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	DESCRIPCIÓN	ECUACION	RANGO	PARAMETROS
Normal	La distribución normal surge del teorema del límite central, el cual establece que si una secuencia de variables aleatorias $X_i$ son independientes y están idénticamente distribuidas con media $\mu$ y varianza $\sigma^2$ , entonces la distribución de la suma de $n$ de las variables aleatorias $Y = \sum_{i=1}^n X_i$ , tiende hacia la distribución normal con media $n\mu$ y varianza $n\sigma^2$ a medida que aumenta $n$ .	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$-\infty \leq x \leq \infty$	$\mu = \bar{x}, \sigma = s_x$
Log normal	Si la variable aleatoria $Y = \log X$ esta normalmente distribuida, entonces se dice que $X$ está distribuida en forma log normal. Chow (1954) llegó a la conclusión que esta distribución se aplica a las variables hidrológicas formadas como productos de otras variables debido a que si $X = X_1 X_2 X_3 \dots X_n$ , entonces $Y = \log X = \sum_{i=1}^n \log X_i = \sum_{i=1}^n Y_i$ , lo cual tiende a una distribución normal para valores grandes de $n$ siempre y cuando los $X_i$ sean independientes y	$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\log x - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right),$	$x > 0$	$\mu_y = \bar{y}, \sigma_y = s_y$

FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	DESCRIPCIÓN	ECUACION	RANGO	PARAMETROS
	<p>estén idénticamente distribuidos. Se ha encontrado que la distribución log normal describe la distribución de la conductividad hidráulica en el medio porosos (Freeze, 1975), la distribución del tamaño de las gotas de lluvia en una tormenta y otras variables hidrológicas.</p>			
<p><b>Pearson Tipo III</b></p>	<p>La distribución Pearson tipo IIO, también llamada la distribución gamma de tres parámetros, introduce un tercer parámetro el límite inferior <math>\epsilon</math>, de tal manera que, por el método de los momentos, los tres momentos de la muestra (la media, la desviación estándar y el coeficiente de asimetría) pueden transformarse en los tres parámetros <math>\lambda</math>, <math>\beta</math>, <math>\epsilon</math> de la distribución de probabilidad. Esta es una distribución muy flexible, que puede asumir diferentes formas a medida que <math>\lambda</math>, <math>\beta</math>, <math>\epsilon</math> varían (Bobee y Ro itaille, 1977)</p>	$f(x) = \frac{\lambda^\beta (x - \epsilon)^{\beta-1} e^{-\lambda(x-\epsilon)}}{\Gamma(\beta)}$	$x \geq \epsilon$	$\lambda = \frac{s_x}{\sqrt{\beta}}, \beta = \left(\frac{2}{C_s}\right)^2$ $\epsilon = \bar{x} - s_x \sqrt{\beta}$
<p><b>Log Pearson Tipo III</b></p>	<p>Si Log X sigue una distribución Pearson tipo III, entonces se dice que X sigue una distribución Los Pearson tipo III. Esta es la distribución estándar para análisis de frecuencia de crecientes máxima en Estados Unidos (Benson, 1968). La distribución de Log Pearson tipo III se desarrolló como un método para ajustar una curva a cuenta información. Su uso está justificado por que se ha encontrado que arroja buenos resultados en muchas aplicaciones particularmente para la información de picos de crecientes.</p>	$f(x) = \frac{\lambda^\beta (y - \epsilon)^{\beta-1} e^{-\lambda(y-\epsilon)}}{x \Gamma(\beta)}$ <p>donde <math>y = \log x</math></p>	$\log x \geq \epsilon$	$\lambda = \frac{s_x}{\sqrt{\beta}},$ $\beta = \left[\frac{2}{C_s(y)}\right]^2$ $\epsilon = \bar{y} - s_y \sqrt{\beta}$ <p>(Suponiendo que <math>C_s(y)</math> es positivo)</p>

FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	DESCRIPCIÓN	ECUACION	RANGO	PARAMETROS
Gumbel	Los valores extremos son valores máximos o mínimos seleccionados de conjuntos de datos. Por ejemplo, el caudal máximo anual en un lugar dado es el mayor caudal registrado durante un año y los valores de caudal máximo anual para cada año de registro histórico conforman un conjunto de valores extremos que puede analizarse estadísticamente.	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[ -\frac{x-u}{\alpha} - \exp \left( -\frac{x-u}{\alpha} \right) \right]$	$-\infty < x < \infty$	$\alpha = \frac{\sqrt{6}s_x}{\pi}$ $u = \bar{x} - 0.5772\alpha$

Fuente: Modificado de (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

✓ Caudal máximo cuenca hidrográfica asociada al punto de captación

La generación de caudales máximos para las cuencas hidrográficas existentes en el área de estudio se desarrolla bajo el método racional, siendo este uno de los modelos más útiles en cuencas pequeñas como las que se evalúan en el presente informe que no superan los 85km<sup>2</sup>, dicho método se representa en la siguiente expresión:

$$Q = 0.278 (C * i * A)$$

Donde:

A: Área de cuenca hidrográfica (km<sup>2</sup>)

i: Intensidad (mm/hr)

C: Coeficiente de escorrentía

✓ Caudal mínimo cuenca hidrográfica asociada al punto de captación

Para el desarrollo de los caudales mínimos se realiza análisis de información de precipitación mínima 24 horas tomada en el periodo correspondiente a los años desde 1992 y 2016, en este caso en particular, para determinar los caudales mínimos se calcularon por medio del software Hyfran

Posteriormente, es necesario conocer la duración de las lluvias asociadas al área de estudio, para ello, se aplican diferentes fórmulas empíricas en cada una de las cuencas aferentes a las captaciones cuyos resultados se presentan en la **Tabla 7-11**.

**Tabla 7-11 Resultados tiempo de concentración por cuenca hidrográfica**

MÉTODO	KIRPICH	KIRPICH (CFE)	R.R. ROWE	US ARMY CORPS OF ENGINEERS (TEMEZ)	CHOW	SOIL CONSERVATION SERVICE	PROMEDIO (horas)
FORMULA	$t_c = 0.195 (L^3 / H)^{0.385}$	$t_c = ((0.86 L^3) / H)^{0.325}$	$t_c = ((0.86 L^3) / AH)^{0.385}$	$t_c = 0.3 (L / S^{0.25})^{0.76}$	$t_c = 0.00505 (L / S^{0.5})^{0.64}$	$t_c = L^{1.15} / ((3085 (AH)^{0.38}))$	
Cap 1	22.4 horas	13.8 horas	13.8 horas	9.3 horas	12.2 horas	21.8 horas	15.5 horas
Cap 2	21.7 horas	13.3 horas	13.3 horas	8.9 horas	11.84 horas	21 horas	15.0 horas

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- Punto de Captación 1

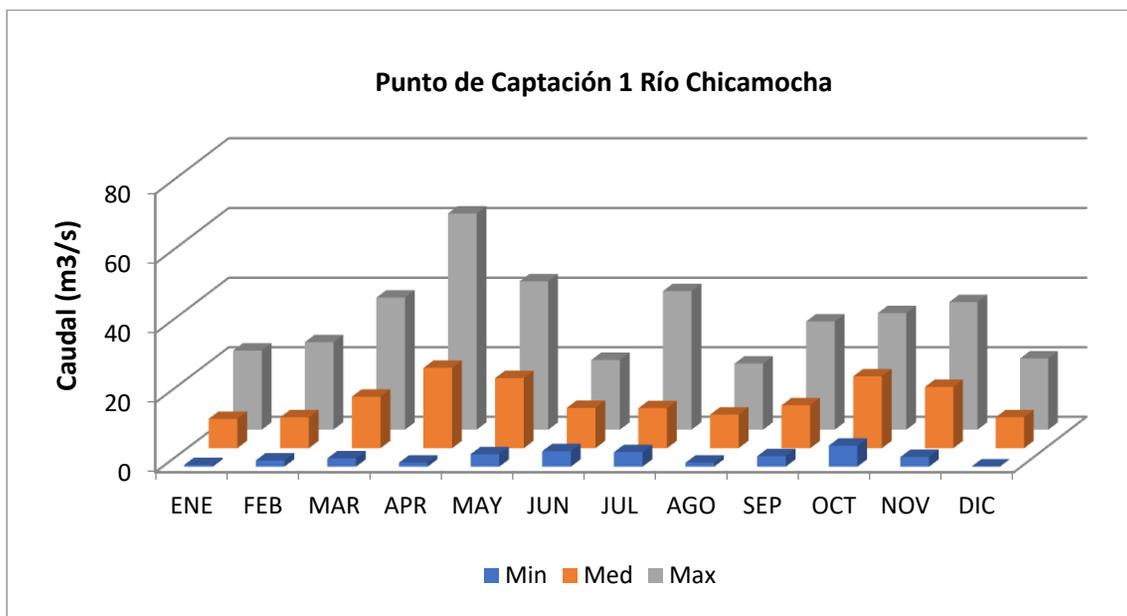
CAPTACIÓN	ESTE	NORTE
Captación 1	1138754	1142373

**Tabla 7-12 Caudales Medio Mensuales Multianuales Estimados Captación 1**

Fuente	N° Años	Máximo Registro	Mínimo Registro	Media	Mediana	Desviación estándar	Registro 10%, O Caudal de Aguas Altas	Registro 50%, O Caudal de Aguas Altas	Registro 90%, O Caudal de Aguas Altas
Captación 1	20	62.2 (m3/s)	0.04 (m3/s)	13.98	12.67	9.43	27.9 (m3/s)	12.7 (m3/s)	3.7 (m3/s)

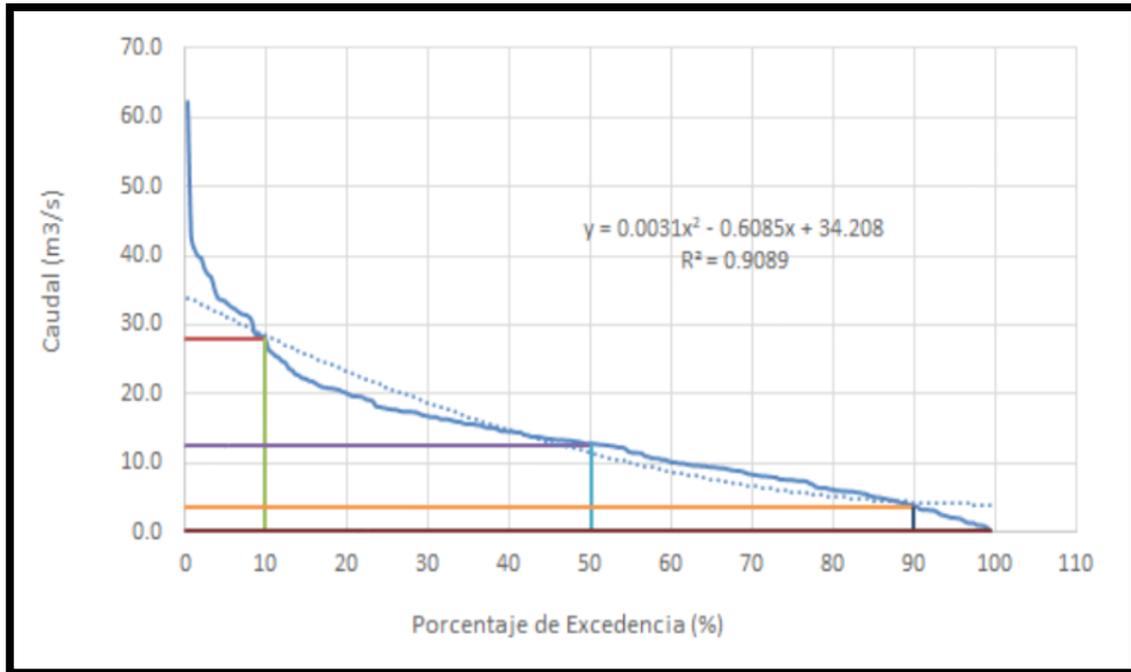
METODO	Caudal (m3/s)	ENE	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Balance Hídrico	Min	0,51	1,81	2,42	1,16	3,59	4,46	4,16	1,14	3,02	6,05	2,79	0,04
	Med	8,43	8,91	14,85	23,11	20,18	11,61	11,5	9,65	12,34	20,68	17,61	8,92
	Max	22,77	25,19	38,01	62,15	42,68	20,07	39,86	19,02	31,15	33,55	36,71	20,48
Rendimiento hídrico	Min	0,75	0,88	0,11	1,17	2,26	2,84	2,33	2,38	1,75	2,24	4,03	0,55
	Med	3,46	2,99	4,55	11,31	17,50	13,56	10,32	9,10	8,53	14,13	18,59	8,93
	Max	10,03	8,81	24,12	57,90	75,20	50,73	47,44	21,66	28,36	45,87	63,52	41,84

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019



**Figura 7-9 Caudales Medio Mensuales Multianuales Estimados Captación 1**

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

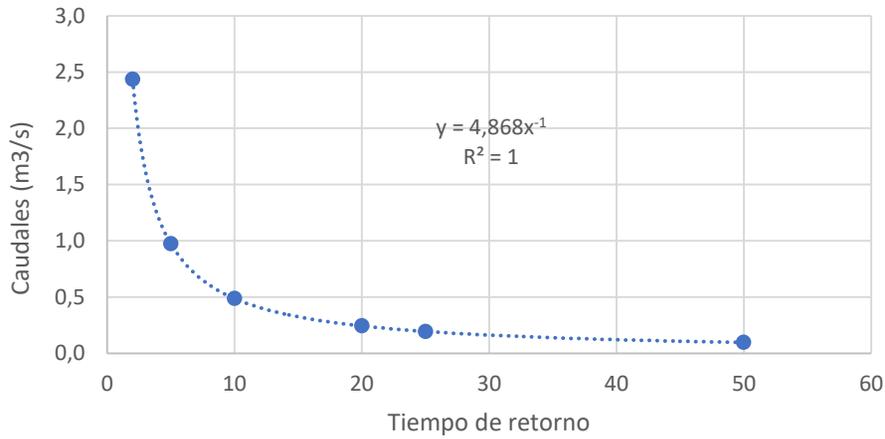


**Figura 7-10 Curva de Duración De Caudales Captación 1**  
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

**Tabla 7-13 Caudales Máximos y Mínimos Diferentes Periodos de Retorno Estimados Captación 1 (m3/s)**

CAUDALES MÁXIMOS CAPTACIÓN 1						
CAUDAL (m3/s)						
	2	5	10	20	25	50
Intensidad (mm/hr)	1,9	2,5	2,9	3,3	3,4	3,7
Caudal (m3/s)	170,9	222,0	255,6	287,7	297,9	329,6

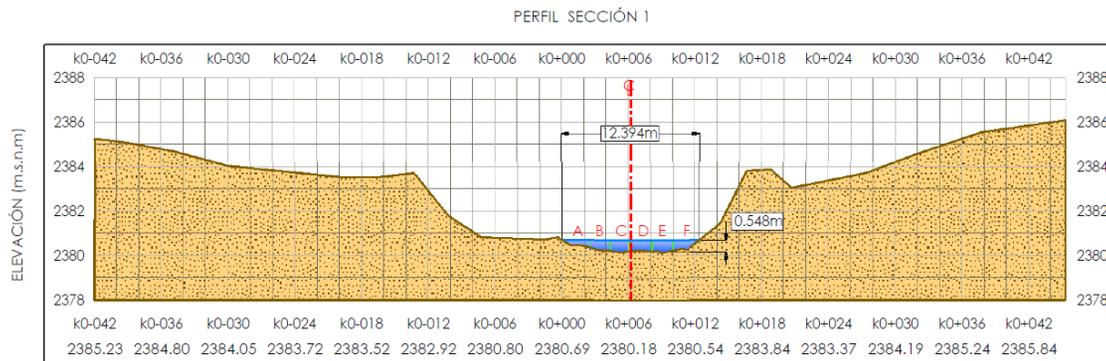
**CAUDALES MÍNIMOS CAPTACIÓN 1**



Tr (años)	2	5	10	20	25	50
Intensidad (mm/hr)	0,028	0,011	0,006	0,003	0,002	0,001
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	2,43	0,97	0,49	0,24	0,19	0,10

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Para el presente punto de captación 1 se encuentra ubicado espacialmente en la intersección del río Chicamocha con la carretera que conduce a Betétiva, igualmente en dicho punto se realiza topo-batimetría y aforo de caudales y se presentan los resultados en la **Figura 7-11**.



Ancho Lámina (m)	12.394	Profundidad Máxima (m)	0.548	Cota Lecho (m.s.n.m.m)	2380.1	Área Mojada (m <sup>2</sup> )	4.933
Perímetro Total (m)	24.920	Cota Lámina (m.s.n.m.m)	2380.1	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)	4.802	Velocidad Media (m/s)	0.973

**Figura 7-11 Topo-batimetrías sección transversal Captación 1**

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019



Fotografía 7-1 Localización del Punto de Captación 1 sobre el Río Chicamocha



Fotografía 7-2 Vía de acceso al Punto de Captación 1 sobre el Río Chicamocha

- Punto de Captación 2

CAPTACIÓN	ESTE	NORTE
Captación 2	1136811	1136481

Tabla 7-14 Caudales Medio Mensuales Multianuales Estimados Captación 1

Fuente	N° Años	Máximo Registro	Mínimo Registro	Media	Mediana	Desviación estándar	Registro 10%, O Caudal de Aguas Altas	Registro 50%, O Caudal de Aguas Altas	Registro 90%, O Caudal de Aguas Altas
Captación 2	20	57.7 (m3/s)	0.04 (m3/s)	12.98	11.76	8.76	25.9 (m3/s)	11.8 (m3/s)	3.4 (m3/s)

METODO	Caudal I (m3/s)	ENE	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Balance Hídrico	Min	0,48	1,68	2,25	1,08	3,33	4,14	3,86	1,06	2,8	5,62	2,59	0,04
	Med	7,83	8,27	13,7	21,46	18,74	10,78	10,6	8,96	11,4	19,2	16,3	8,28

METODO	Caudal (m3/s)	ENE	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
				9				8		5		5	
	Max	21,14	23,39	35,29	57,71	39,63	18,63	37,01	17,66	28,92	31,16	34,09	19,02
Rendimiento hídrico	Min	0,80	0,95	0,11	1,26	2,43	3,05	2,51	2,56	1,88	2,41	4,34	0,60
	Med	3,72	3,22	4,91	12,18	18,85	14,61	11,12	9,80	9,18	15,22	20,02	9,61
	Max	10,80	9,49	25,98	62,35	81,00	54,64	51,09	23,33	30,55	49,41	68,42	45,07

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

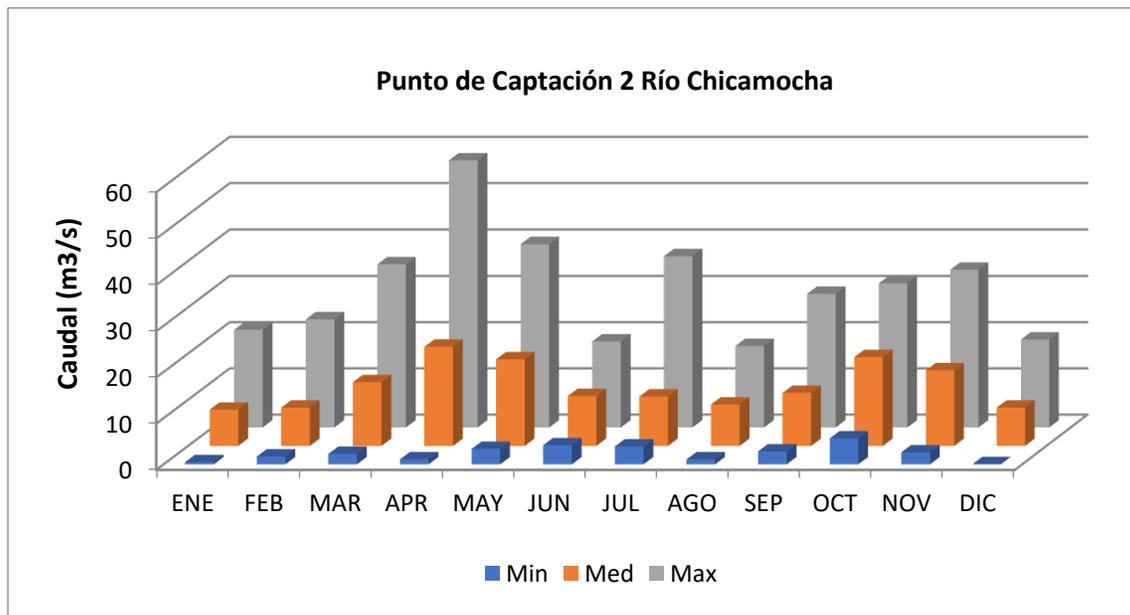


Figura 7-12 Caudales Medio Mensuales Multianuales Estimados Captación 2

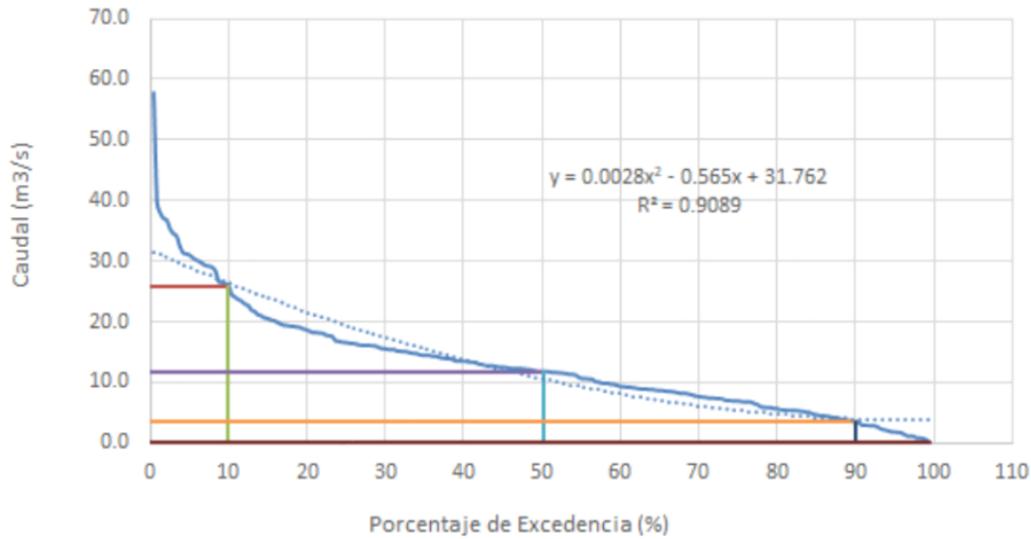
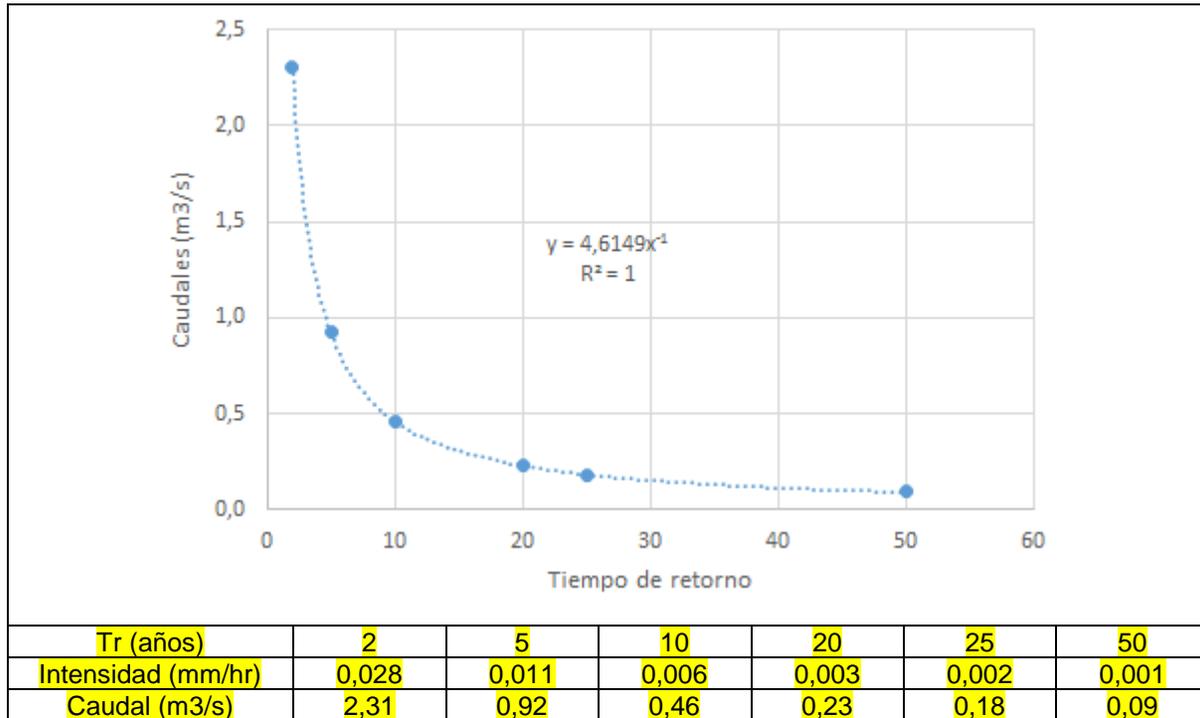


Figura 7-13 Curva De Duración De Caudales Captación 2

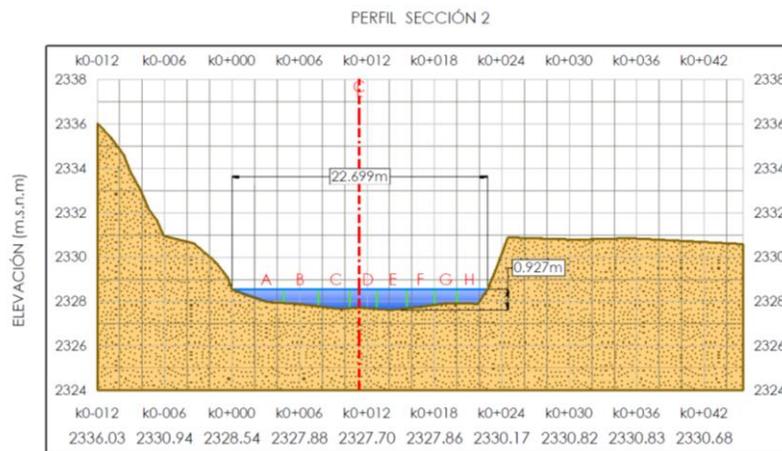
Tabla 7-15 Caudales Máximos y Mínimos Diferentes Periodos de Retorno Estimados  
Captación 2 (m3/s)

CAUDALES MÁXIMOS CAPTACIÓN 2						
Tr (años)	2	5	10	20	25	50
Intensidad (mm/hr)	2,0	2,6	3,0	3,3	3,5	3,8
Caudal (m3/s)	162,0	210,4	242,3	272,7	282,4	312,4
CAUDALES MÍNIMOS CAPTACIÓN 2						



Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El punto de captación 2 se encuentra en la cabecera del municipio de corrales, lugar donde el día 13 de diciembre de 2019 se realiza levantamiento topo-batimétrico y aforo de caudales de la sección transversal, como ya se enuncio punto 1 solicitado para captación sobre el río Chicamocha. Los resultados de la topo-batimetría se presenta en la **Figura 7-14**.



Ancho Lámina (m)	22.699	Profundidad Máxima (m)	0.924	Cota Lecho (m.s.n.m)	2327.6	Área Mojada (m2)	15.168
Perímetro Total (m)	23.006	Cota Lámina (m.s.n.m)	2328.5	CAUDAL (m3/s)	5.629	Velocidad Media (m/s)	0.371

**Figura 7-14 Topo-batimetrías sección transversal Captación 2**

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019



**Fotografía 7-3 Localización del Punto de Captación 2 sobre el Río Chicamocha**



**Fotografía 7-4 Panorámica Vía de acceso al Punto de Captación 2 sobre el Río Chicamocha**

De acuerdo con los valores medidos en los dos sitios de captación sobre el río Chicamocha, no se presentarán conflictos con los usuarios aguas debajo de este cuerpo de agua, por cuanto la captación prevista para el APE COR-15 solo será de 2 LPS y con los caudales medios registrados no se generará interferencia en las otras captaciones, como lo establecen las tablas **Tabla 7-12** y **Tabla 7-14** en el caso más extremo estarán disponibles cerca de 3.7 m<sup>3</sup>/s y 3.4 m<sup>3</sup>/s, es decir que frente a los 320 LPS concesionados por CORPOBOYACA para los diferentes usuarios sobre la margen del río, existirá disponibilidad de cerca de 3.400 LPS, es decir disponibilidad amplia y suficiente.

Por otra parte, Con lo caudales mínimos determinados para períodos de retorno entre 2,5 e incluso 10 años, no existiría interferencia.

#### 7.1.6 Solicitud de Permiso

MAUREL & PROM COLOMBIA B.V., solicita Concesión de Aguas Superficiales, para uso industrial y doméstico en el desarrollo de las actividades exploratorias que comprende el proyecto, en los sitios y condiciones de captación que se indican en la **Tabla 7-16**.

**Tabla 7-16 Puntos Propuestos para la Captación de Aguas Superficiales en el Área de Perforación Exploratoria COR 15**

No.	CORRIENTE	FRANJA DE MOVILIDAD	COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN BOGOTÁ		UNIDAD TERRITORIAL	CAUDAL DE CAPTACIÓN SOLICITADO	OBSERVACIONES
			ESTE	NORTE			
1	Río Chicamocho No. 1 Margen derecho	+/- 3 metros aguas arriba y 3 m aguas abajo)	1138754	1142373	Municipio de Tasco, vereda Santa Bárbara Predio propiedad de Acerías Paz del Río Margen Derecha	2LPS	En cualquier época del año
2	Río Chicamocho No. 2 Margen Izquierdo		1136811	1136481	Municipio de Corrales vereda Didamón Predio Baldío Margen Izquierda		

Fuente: INCITEMA-UPTC, 2019

## 7.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS

La ejecución del proyecto de perforación exploratoria COR 15, requiere de permiso de exploración y explotación del recurso hídrico subterráneo, con el fin de determinar la localización, características y dimensiones de zonas favorables para la acumulación de aguas subterráneas dentro del área de interés del proyecto y realizar posteriormente el aprovechamiento del sitio.

### 7.2.1 Localización

Se realizará la exploración de aguas subterráneas dentro del Área de Perforación Exploratoria COR 15, para la perforación de un (1) pozo profundo asociado a cada plataforma de perforación, siguiendo las recomendaciones del estudio de prospección de recursos hídricos subterráneos a partir de tomografías realizado, con una profundidad máxima de 180 m.

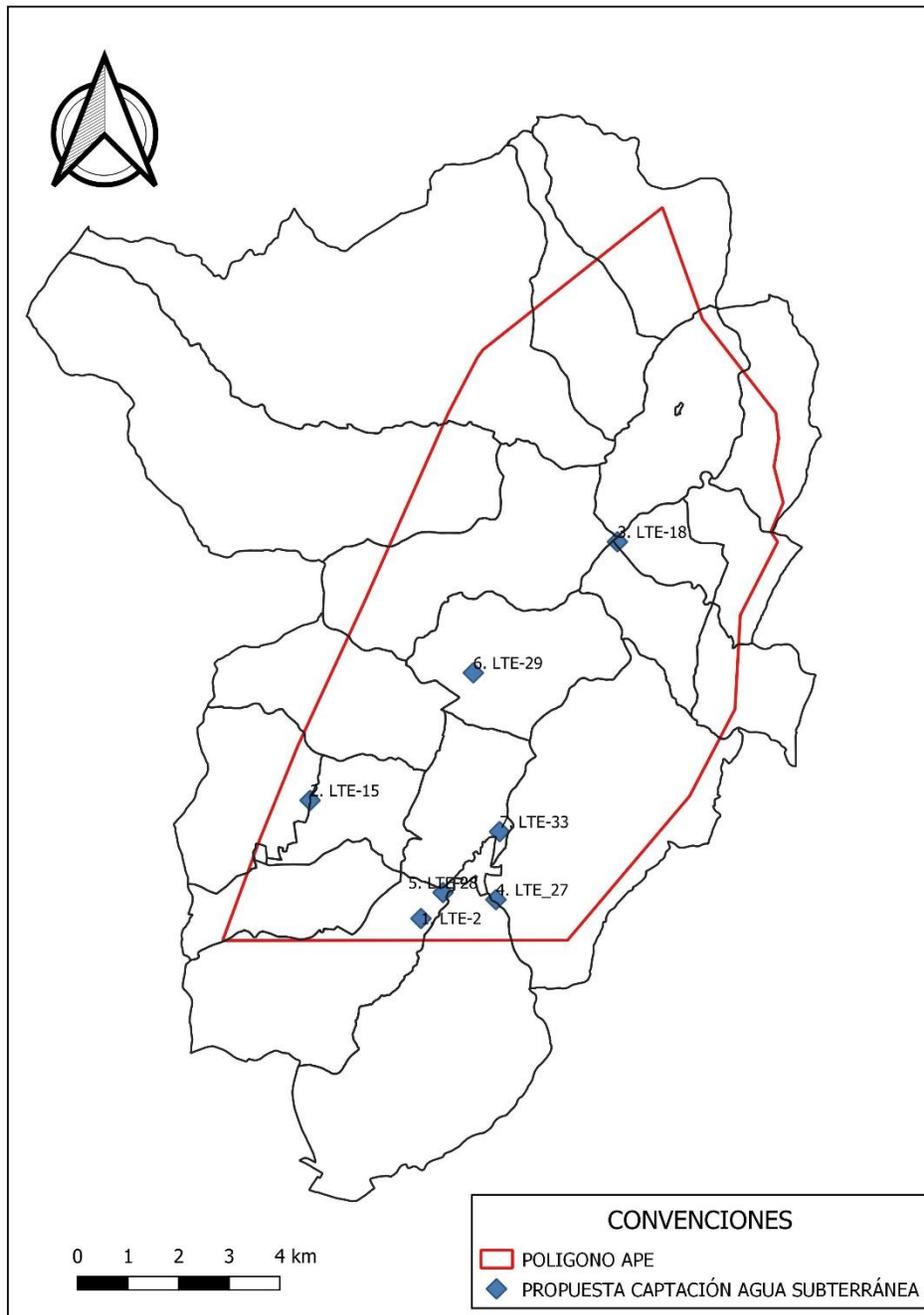
En los PMA específicos para cada pozo exploratorio se presentarán las coordenadas de los pozos profundos a perforar y de los cuales se proyecta captación en caso que las pruebas de bombeo realizadas lo permitan. Los resultados de las pruebas de bombeo se presentarán en los Informes de Cumplimiento Ambiental.

Los sitios en donde se podría realizar el pozo se presentan a continuación en la **Tabla 7-17** y en la **Figura 7-15**.

**Tabla 7-17 Localización de los Sitios Propuestos para Perforar un Pozo y Realizar Aprovechamiento**

TOMOGRAFÍA	ESTE [m]	NORTE [m]	UNIDAD GEOLÓGICA	PROFUNDIDAD REJILLAS [m]	ELEVACIÓN [msnm]	COMENTARIOS
------------	----------	-----------	------------------	--------------------------	------------------	-------------

LTE-2	1135395	1135429	Qpl	Entre 80 m y 120 m	2460	Las rejillas iniciarían a 2380 msnm, es el mismo nivel al que está la confluencia de la Q. La Floresta con el río Chicamocha y muy por debajo de las corrientes de agua cercanas al punto.
LTE-15	1133203	1137784	Oso	Entre 30 m y 70 m	2700	Zona de granito fracturado
LTE-18	1139281	1142963	Qal	Entre 30 m y 70 m	2334	En depósitos del río Chicamocha.
LTE_27	1136878	1135806	Qal	Entre 20 m y 50 m	2393	En depósitos del río Chicamocha.
LTE-28	1135831	1135948	Qal	Entre 20 m y 40 m	2404	Es un depósito aluvial.
LTE-29	1136430	1140342	K1b3t	Entre 40 m y 80 m	2745	La rejilla empezaría a 2705 msnm, por debajo de los cuerpos de agua cercanos y un manantial al nororiente
LTE-33	1136950	1137166	Qal	Entre 50 m y 120 m	2380	Está ubicado sobre una zona de depósitos aluviales.



**Figura 7-15 Distribución de los sitios Propuestos para la Perforación del Pozo de Agua**  
Fuente: UPTC- INCITEMA, 2019

### 7.2.2 Caudal Requerido

En la **Tabla 7-2** se relaciona el caudal requerido por etapa, el caudal máximo es de 2 LPS, dependiendo de los resultados de las pruebas de bombeo se determinará el caudal definitivo. El caudal requerido es para aprovechamiento doméstico e industrial.

### 7.2.3 Descripción del Sistema de Perforación

El sistema de perforación para el pozo será de rotación, cuyas especificaciones técnicas son:

#### ➤ Sistema y Diámetro de Perforación

Se utilizará el sistema de rotación directa por lodos. El diámetro de la perforación de prueba, es de 8 ½ pulgadas.

#### ➤ Toma de Muestras

Se iniciará la perforación tomando muestras desde 3 metros en adelante. Para la toma de muestras, el perforador seguirá los siguientes pasos: se iniciará la perforación entre 3 y 4 metros, una vez se llegue a 4 metros, se levantará la broca 10 centímetros y se circulará tomando muestras hasta que el lodo salga limpio; una vez se tome la muestra, se bajará la broca y se reiniciará la perforación entre 4 y 5 metros, y así sucesivamente. Las muestras se rotularán, y se describirán para formar una columna estratigráfica detallada.

#### ➤ Registro Eléctrico de Pozo

Terminada la perforación de prueba hasta la profundidad indicada, se tomará un registro eléctrico de pozo, con sondas de SP, Gamma Ray y Resistividad.

#### ➤ Diseño del Pozo y Materiales para la Construcción

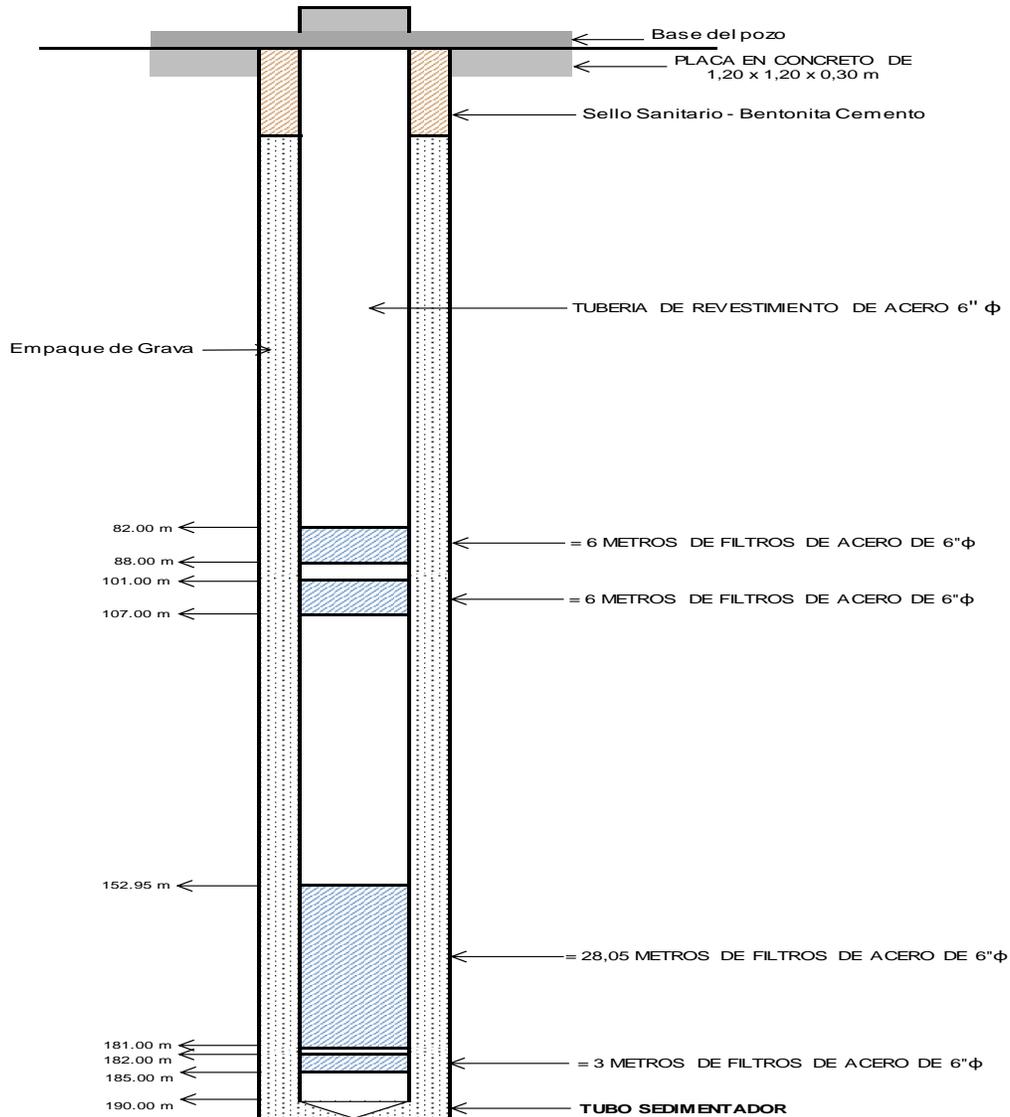
Una vez se tenga los datos del registro eléctrico del pozo, los análisis granulométricos y la columna estratigráfica, se escogerá la abertura de los filtros. Los materiales deben tener las siguientes especificaciones: tubería y filtros en PVC RDE21, en 4 pulgadas. El material estabilizador, será una gravilla seleccionada, lavada y sin calcáreos.

#### ➤ Adecuación de Tubería y Filtros

Con base en el diseño se adecuará en el campo la tubería y filtros.

#### ➤ Instalación de Tubería y Filtros

Utilizando sistema de doble polea, se colocarán la tubería y filtros, de tal manera que la tubería entre libremente. Sí se tranca, hay que sacar la tubería y limpiar el pozo, recirculando, utilizando la misma broca de la ampliación final. Una vez el pozo este limpio, se instalará la tubería y los filtros.



**Figura 7-16 Prediseño del Pozo**

Fuente: UPTC - IINCITEMA, 2019

### ➤ Colocación del Material Estabilizador

Instalada la tubería y filtros, se procederá a limpiar el pozo y a colocar el material estabilizador.

Para la limpieza del pozo, se instalará la tubería de perforación sin broca en el fondo del pozo (3 metros antes de su terminación), y se tamará la boca del pozo con cauchos, recirculando agua limpia, de tal forma que el lodo salga por las paredes del pozo. Esta recirculación se llevará a cabo hasta que el lodo salga "cortado". Cuando se corta el lodo, se nota claramente dos coloraciones agua limpia - lodo, formando figuras similares a rombos.

Una vez se encuentre el lodo cortado, indicando que la mayor parte de éste se ha removido, se procederá a colocar el material estabilizador, echando las bolsas de material por entre el pozo y la tubería de revestimiento. Se continuará la recirculación hasta que la gravilla tape los filtros.

➤ **Desarrollo del Pozo**

Con el fin de sacar el resto de lodo de la perforación, se procederá a limpiar el pozo, utilizando agua limpia, y compresor.

Se debe utilizar un dispersante de arcillas, como TRIPOLIFOSFATO DE SODIO, el cual se disolverá en el tanque de recirculación y se inyectará al pozo, dejándolo en reposo durante 12 horas. Este dispersor disuelve las arcillas, disminuyendo el tiempo de desarrollo.

➤ **Pruebas de Bombeo**

Se deberán efectuar pruebas de bombeo a caudal constante con una duración de 12 horas continuas, utilizando una bomba con una capacidad cercana a la futura explotación; también se harán sus respectivas pruebas de recuperación.

➤ **Alimentadores de gravilla, Sello Sanitario y medidores de niveles**

Se construirá con cemento un sello sanitario que una la tubería con el material estabilizador y con los materiales de los alrededores, hasta una profundidad de 5 metros. En las esquinas de este sello, se colocarán tubos en acero al carbón, para alimentar la gravilla si ésta va bajando su nivel. También se colocará un medidor de niveles.

➤ **Especificaciones del Equipo**

El equipo de perforación para el pozo de agua que se podrá emplear, consistirá en un equipo tipo de rotación de diferentes velocidades, con opciones de torsión. Puede estar asociada a un camión plataforma o tener un sistema de orugas para su desplazamiento. El equipo contará con su bomba de agua/lodo, el soporte para tubería de perforación, torre retráctil con malacate y sistema estándar de prensa de tubería, tanque de combustible, tanque de aceite hidráulico y con potencia para alcanzar profundidades entre 150 y 250 metros. (Ver **Figura 7-17**).



**Figura 7-17 Equipos tipo que se podrán utilizar para la perforación del pozo de agua subterránea**

Guía RAS 007 Perforación de Pozos Profundos de pequeño Diámetro, 2003  
Fuente: TMG Drilling Supplies, 2019

#### 7.2.4 Análisis de los Posibles Conflictos por la Disponibilidad y Usos del Recurso

Como se presentó en el numeral 5.1.6.5 de la línea base del componente Hidrogeológico, el inventario de puntos de agua dio como resultado 288 puntos, clasificados así: 10 pozos (3.5 %), 21 aljibes (7.3 %) y 257 manantiales (89.2 %). De allí se nota que casi un 90 % de los puntos de agua son manifestaciones naturales, mientras que poco más del 10 % son obras realizadas por el hombre en busca del agua subterránea.

Los pozos se reportaron únicamente en el municipio de Busbanzá, con un total de 10. En este municipio es donde más existen obras para el aprovechamiento de agua (aljibes y pozos), incluso hay tres pozos propiedad del municipio, de los que se abastece el casco urbano.

Las veredas con mayor presencia de manifestaciones de agua subterránea son: Soiquía de Betétiva con 49 manantiales, Quebradas de Busbanzá con 3 pozos, 4 aljibes y 37 manantiales para un total de 44 puntos, y Didamón de Corrales con 3 aljibes y 32 manantiales.

Los puntos hidrogeológicos se encontraron en 16 de las 23 unidades geológicas presentes en el área de influencia, estos se presentan en la **Tabla 7-18** por unidad geológica captada. Las formaciones con mayor presencia de manifestaciones de agua subterránea son: Filitas y Esquistos de Busbanzá con 1 pozo, 5 aljibes y 83 manantiales, para un total de 89 puntos, Depósito Cuaternario Aluvial con 9 pozos, 13 aljibes y 8 manantiales, para un total de 30 puntos, Tibasosa con 33 manantiales, Girón con 1 aljibe y 31 manantiales, para 32 puntos.

Se encontró que los pozos están en un 90 % en Depósito Cuaternario Aluvial y un 10 % en el espesor meteorizado de las Filitas y Esquistos de Busbanzá. Los aljibes se presentan principalmente en el Depósito Cuaternario Aluvial con un 62 %, seguido por Filitas y Esquistos de Busbanzá con 24 %, Concentración con 9 %, y por último, Girón con 5 %. Los manantiales se encontraron en mayor proporción en las Filitas y Esquistos de Busbanzá con 32 %, Tibasosa con 13%, Girón con 12 %, Concentración con 9 %, Depósito Cuaternario Aluvial con 3 % y Depósito Cuaternario Coluvial 2 %.

**Tabla 7-18 Puntos de agua subterránea por unidad geológica**

UNIDAD GEOLÓGICA	POZO	ALJIBE	MANANTIAL	TOTAL
Depósito Cuaternario Aluvial	9	13	8	30
Depósito Cuaternario Coluvial			6	6
Formación Arcillas de Socha			1	1
Formación Areniscas de Socha			1	1
Formación Chipaque			15	15
Formación Concentración		2	22	24
Formación Cucho			1	1
Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1	5	83	89
Formación Girón		1	31	32
Formación Guaduas			9	9
Formación Labor y Tierna			8	8
Formación Los Pinos			3	3
Formación Picacho			5	5
Formación Plaeners			5	5
Formación Tibasosa			33	33
Formación Une			8	8
Stock de Otengá			18	18

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

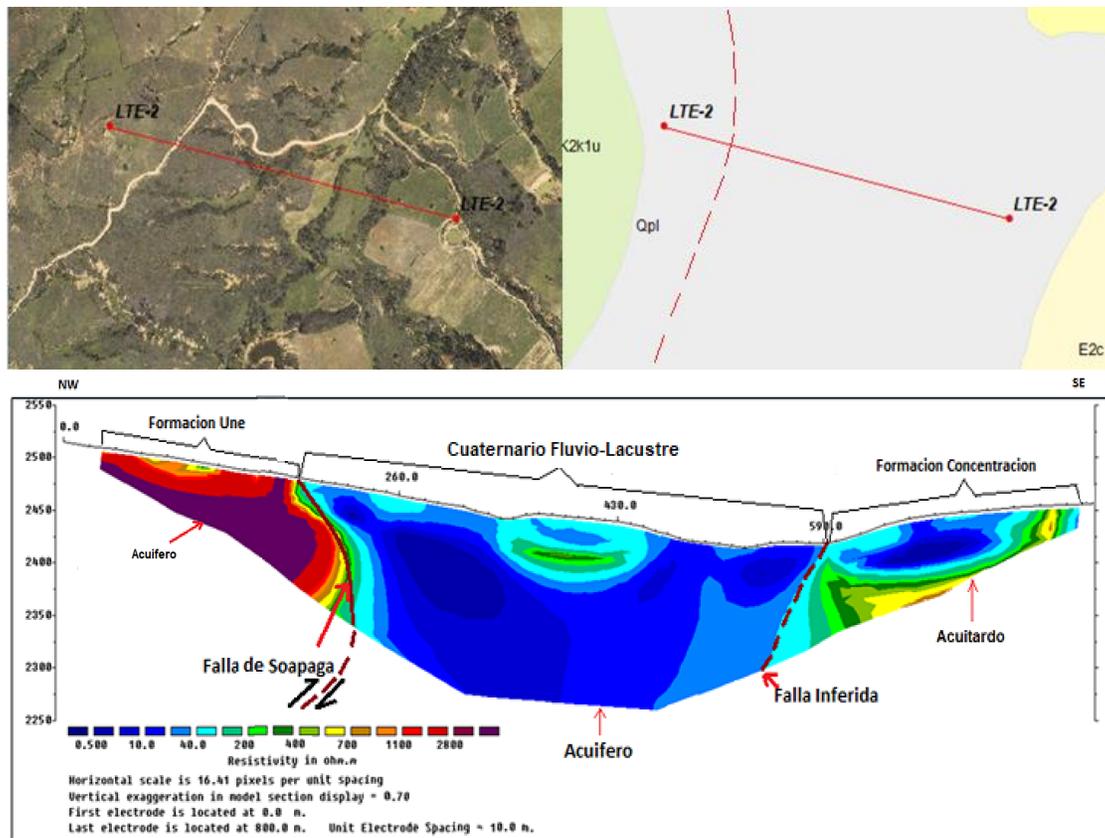
La profundidad al nivel freático Depósito Cuaternario Aluvial oscila entre 1.7 m y 2.3 m. El nivel freático estaba entre 2407 msnm y 2397 msnm. El nivel disminuye en dirección al río Chicamocha, por lo que se estima que el flujo de agua subterránea va hacia el río.

Para definir cuáles sitios son más propicios se utilizó la caracterización de las tomografías eléctricas, seleccionando aquellas con mayor potencial de saturación de los materiales (ver **Figura 7-18, Figura 7-19, Figura 7-20, Figura 7-21, Figura 7-22, Figura 7-23 y Figura 7-24**)

### ➤ Tomografía geoelectrica LTE-2

La tomografía se ubica al suroeste del municipio de Corrales, con una longitud de 800 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

De izquierda a derecha se tiene el conjunto de areniscas secas (alta resistividad) de la formación Une de alta resistividad en contacto neto fallado con el Cuaternario Fluvio-lacustre de baja resistividad saturado (acuífero). La secuencia termina con resistividades bajas correspondientes a niveles arcillosos de la formación Concentración.



**Figura 7-18 Perfil Geoelectrico LTE-2**

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-2, se presentan en la **Tabla 7-19**.

**Tabla 7-19 Interpretación de la tomografía LTE-2**

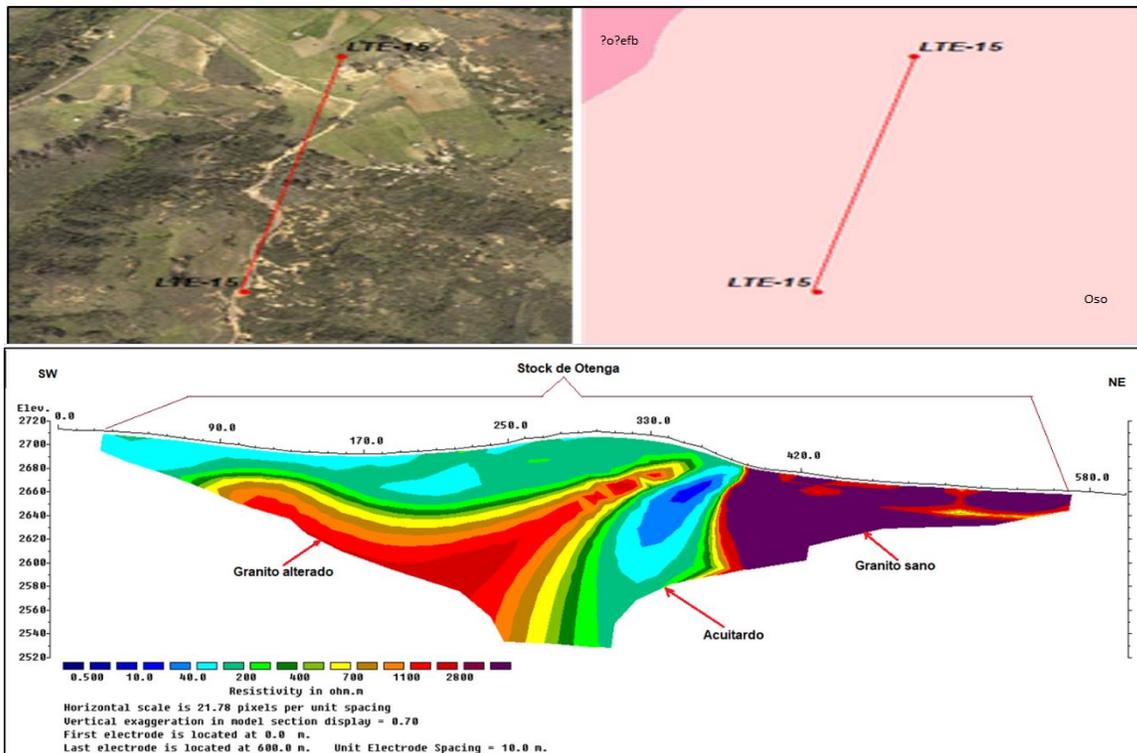
Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad ( $\Omega.m$ )	Clasificación Hidrogeológica
Une (K2k1u)	Areniscas cuarzosas intercaladas con capas gruesas de lodolitas.	>1000	Acuífero Alta resistividad, terreno seco.
Cuaternario Fluvio-Lacustre (Qpl)	Material heterogéneo compuesto por guijos, cantos y gravas.	0-100	Acuífero Baja resistividad, media saturación.
Concentración (E2c)	Arcillolitas grises oscuras y negras, intercalaciones de cuarzo arenitas de grano fino a medio y localmente grueso.	5-700	Acuitardo Baja resistividad.

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

➤ **Tomografía geoelectrica LTE-15**

La tomografía se ubica al noreste del municipio de Busbanzá, con una longitud de 600 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

La tomografía se realizó sobre el Stock de Otengá (Oso). Se describe de izquierda a derecha: granitos alterados de baja resistividad que suprayace a un cuerpo intrusivo compuesto por cuarzo sienita, granito a granodiorita (UPTC, 2019) de alta resistividad en contacto con una zona de baja resistividad levemente saturada y termina con granitos aplíticos de alta resistividad (>2500  $\Omega.m$ ).



**Figura 7-19 Perfil Geoelectrico LTE-15**

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-15, se presentan en la **Tabla 7-20**.

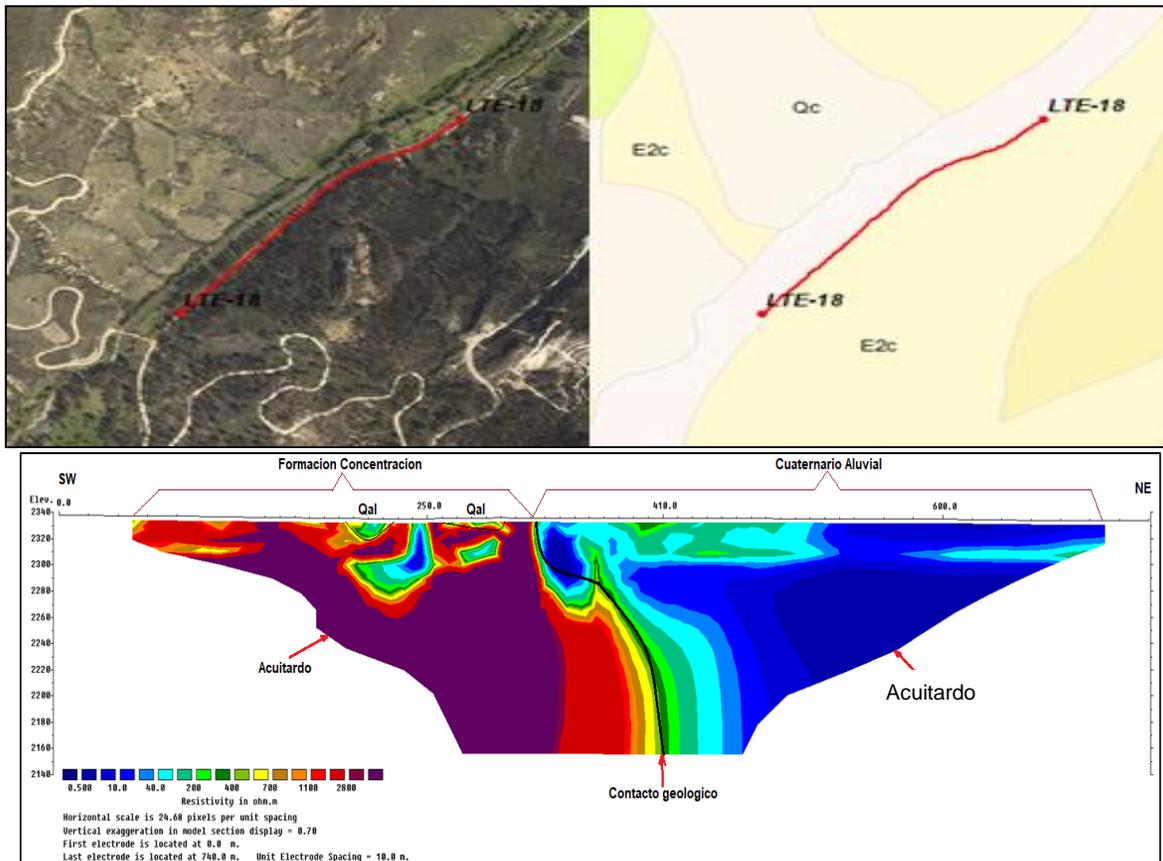
**Tabla 7-20 Interpretación de la tomografía LTE-15**

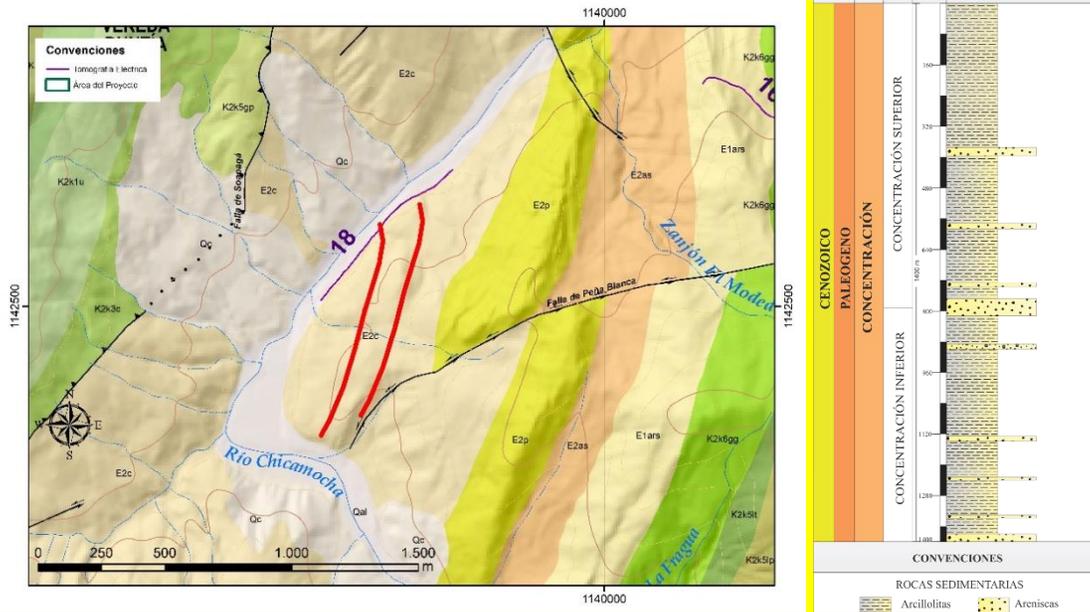
Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad ( $\Omega.m$ )	Clasificación Hidrogeológica
<b>Stock de Otengá (Oso)</b>	Rocas graníticas, el intrusivo en roca está compuesto por varios elementos desde cuarzo sienita, granito a granodiorita.	<b>100 – 3200</b>  *Granitos aplíticos sanos: >2500	Acuífero Baja resistividad.

➤ **Tomografía geoelectrica LTE-18**

La línea geoelectrica se ubica al noreste del municipio de Corrales paralela a la vía férrea cercana a cruce de la vía a Otengá, con una longitud de 740 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

La tomografía eléctrica de izquierda a derecha denota niveles de arenisca secas de la formación Concentración (E2c) de alta resistividad con intercalaciones de arcillolitas de baja resistividad en contacto con el depósito cuaternario aluvial (Qal) constituido por conglomerados que presentan bajas resistencia relacionada con alta saturación. Ocasionalmente remanentes de depósitos aluviales de baja resistividad a lo largo de la línea.





**Figura 7-20 Perfil Geoeléctrico LTE-18**

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-18, se presentan en la **Tabla 7-21**.

**Tabla 7-21 Interpretación de la tomografía LTE-18**

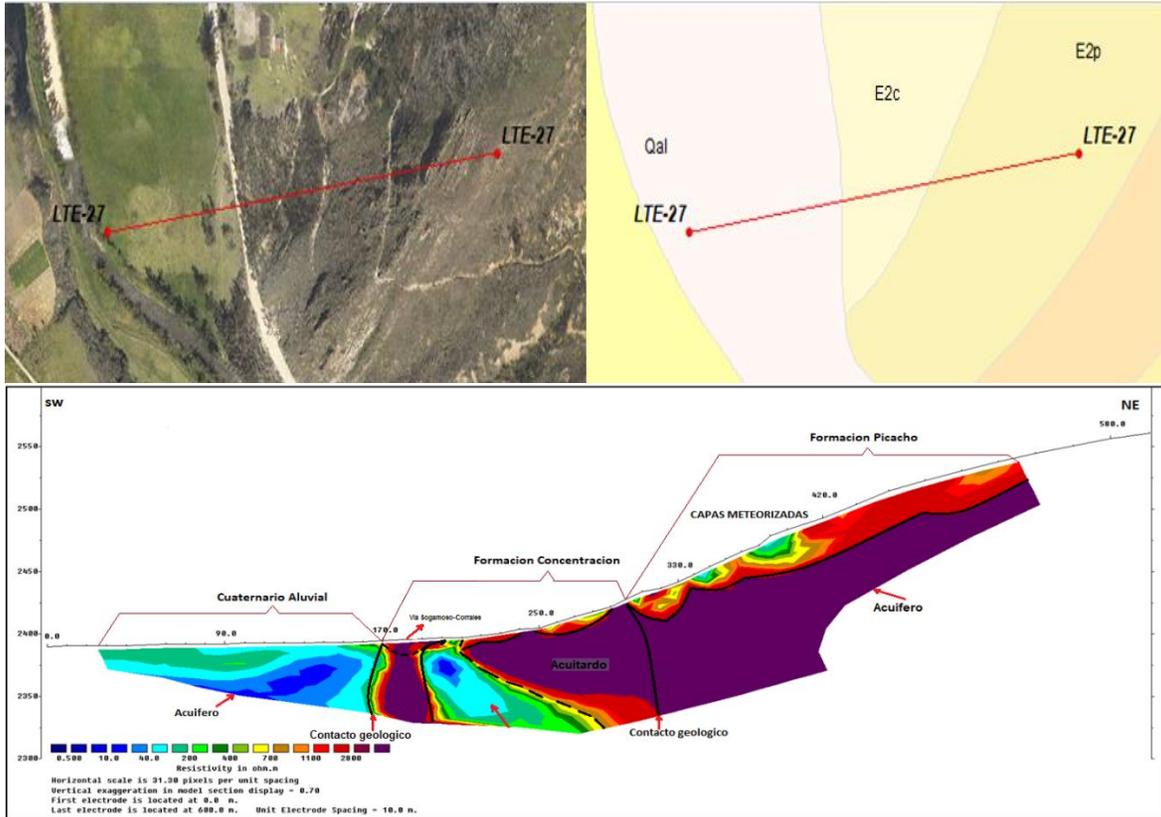
Formación Geológica	Litología	Rango de Resistividad ( $\Omega.m$ )	Clasificación Hidrogeológica
<b>Formación Concentración (E2c)</b>	Arcillolitas y frecuentes intercalaciones de cuarzo arenitas de grano fino a medio y localmente grueso. Localmente saturadas.	<b>700 - 3200</b>	<b>Acuitardo Alta resistividad.</b>
<b>Cuaternario Aluvial (Qal)</b>	Acumulaciones de material heterogéneos, que han sido transportados depositados por la acción del agua consisten principalmente en guijos, cantos gravas.	<b>2 - 100</b>	<b>Acuífero de baja resistividad Alta saturación.</b>

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

#### ➤ **Tomografía geoeléctrica LTE-27**

La tomografía se ubica al sureste del municipio de Corrales en cercanías al casco urbano, con una longitud de 600 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

De izquierda a derecha se tienen conglomerados de baja resistividad (10 a 100  $\Omega.m$ ) con alta saturación pertenecientes al cuaternario aluvial (Qal), continuo a este depósito es evidente las resistividades altas generadas por la carretera Sogamoso-Corrales. El pie de talud marca el inicio de un acuitardo constituido por arcillolitas intercaladas con bancos de arenisca secas de alta resistividad de la formación concentración (E2c), al final del perfil bancos de arenisca conglomeráticas secas de alta resistividad de la formación Picacho (E2p).



**Figura 7-21 Perfil Geoelectrico LTE-27**  
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-27, se presentan en la **Tabla 7-22**.

**Tabla 7-22 Interpretación de la tomografía LTE-27**

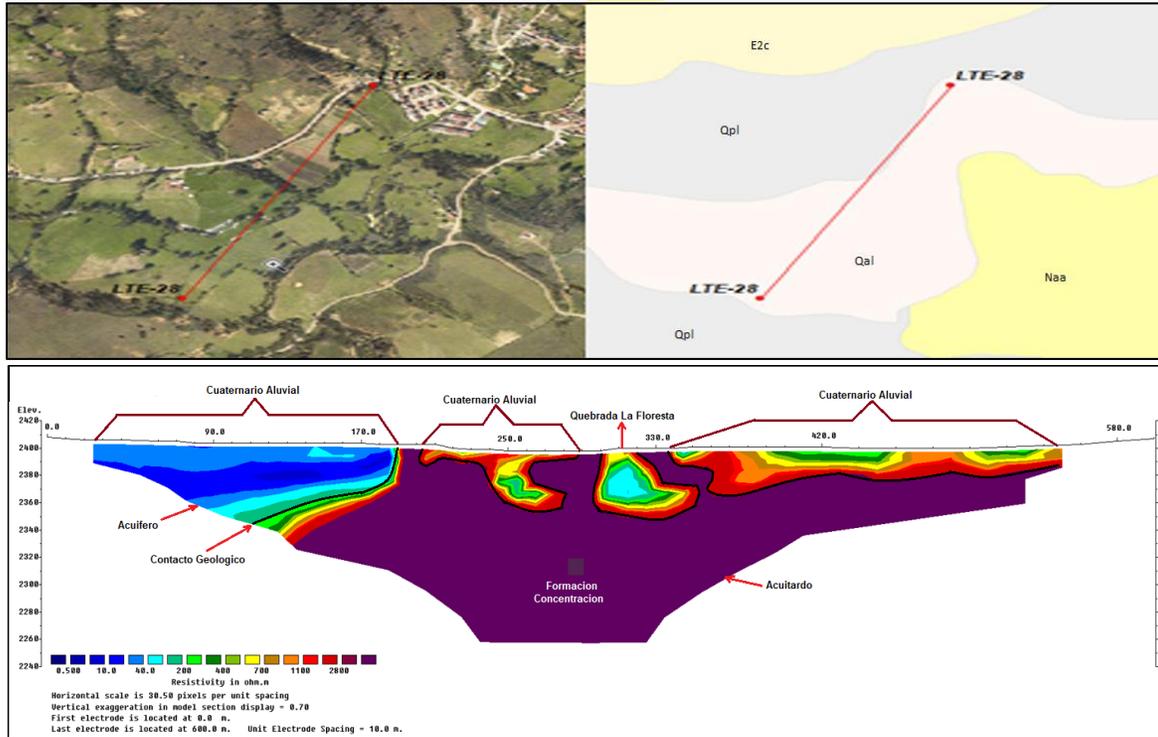
Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad ( $\Omega.m$ )	Clasificación Hidrogeológica
<b>Cuaternario aluvial (Qal)</b>	Materiales heterogéneos, consisten principalmente en guijos, cantos y gravas.	<b>2 - 100</b>	Acuífero Resistividad baja.
<b>Concentración (E2c)</b>	Arcillolitas y frecuentes intercalaciones de cuarzo arenitas.	<b>2 - 3000</b>	Acuitardo *Arcillas-baja resistividad *Arenas secas-alta resistividad
<b>Picacho (E2p)</b>	Cuarzoarenitas de grano medio a conglomerático e intercalaciones de arcillolitas.	<b>&gt;2500</b>	Acuífero Alta resistividad.

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

### ➤ Tomografía geoelectrica LTE-28

La tomografía se ubica al suroeste del municipio de Corrales, en inmediaciones de la cabecera municipal, con una longitud de 600 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

De izquierda a derecha se tiene un depósito de guijos, cantos y gravas de la formación Cuaternario Aluvial de baja resistividad levemente saturados en contacto con areniscas secas de alta resistividad de la formación Concentración (E2c). Se presentan depósitos aluviales secos de alta resistividad sobre los paquetes arenosos de la formación Concentración que infrayace a los depósitos.



**Figura 7-22 Perfil Geoelectrico LTE-28**  
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-28, se presentan en la **Tabla 7-23**.

**Tabla 7-23 Interpretación de la tomografía LTE-28**

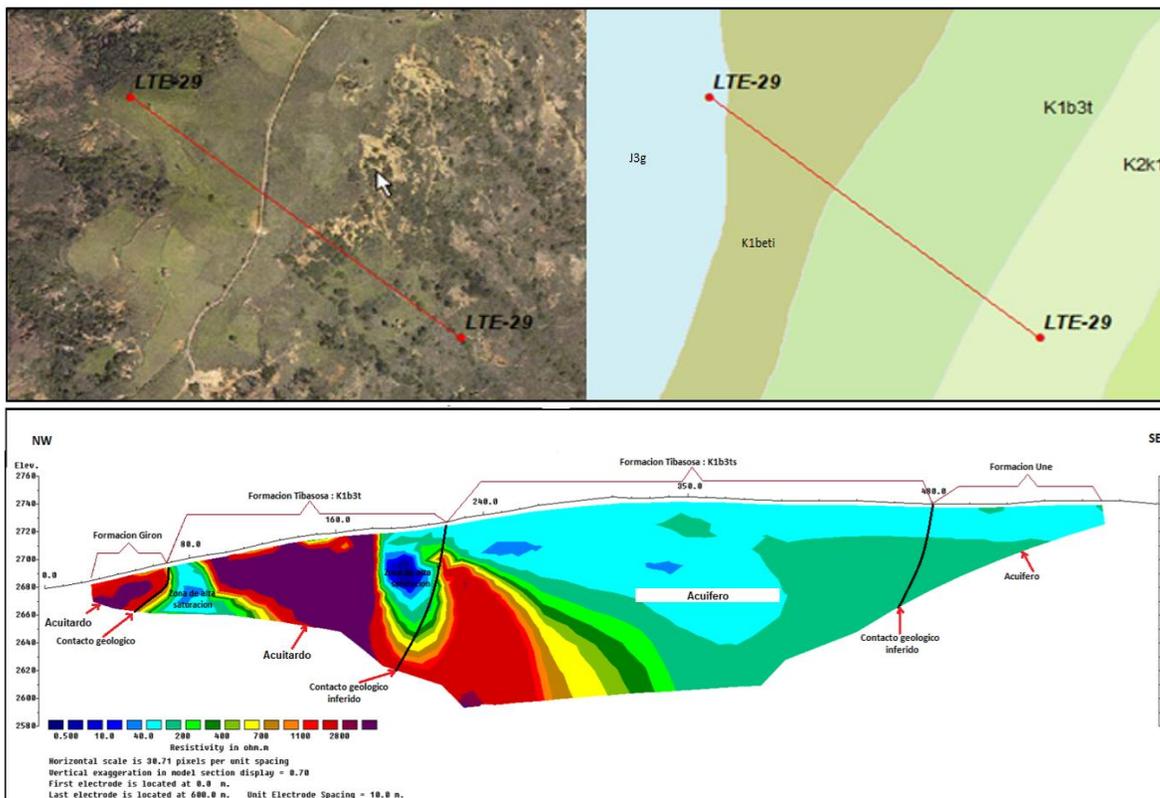
Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad ( $\Omega.m$ )	Clasificación Hidrogeológica
<b>Cuaternario aluvial (Qal)</b>	Materiales heterogéneos, que han sido transportados y depositados por la acción del agua, consisten principalmente en guijos, cantos y gravas.	<b>2 – 100</b>	<b>Acuífero Resistividad baja</b> <b>Terreno Saturado.</b>
<b>Concentración (E2c)</b>	Arcillolitas y frecuentes intercalaciones cuarzo arenitas de grano fino a medio localmente grueso.	<b>&gt;3000</b>	<b>Acuitardo</b> <b>Alta resistividad</b>

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

➤ **Tomografía geoelectrica LTE-29**

La tomografía se ubica al norte del municipio de Corrales, con una longitud de 600 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

De izquierda a derecha se tienen areniscas conglomeráticas secas de la formación Girón (J3g) de alta resistividad junto a capas de conglomerados y areniscas de baja resistividad pobremente saturadas del miembro inferior de la Formación Tibasosa (K1b3t), seguido por intercalaciones de capas delgadas de caliza arenosa secas de alta resistividad luego el contacto neto con las areniscas y los bancos de caliza del miembro superior de la formación Tibasosa (K1b3ts) de baja resistividad moderadamente saturados debido a porosidad secundaria por disolución, la secuencia termina con la base arenosa de la formación Une (K2k1u) de baja resistividad saturada.



**Figura 7-23 Perfil Geoelectrico LTE-29**

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-29, se presentan en la **Tabla 7-24**.

**Tabla 7-24 Interpretación de la tomografía LTE-29**

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad ( $\Omega.m$ )	Clasificación Hidrogeológica
Une (K2k1U)	Areniscas cuarzosas intercaladas con capas gruesas de lodolitas	40 - 100	Acuífero Resistividad baja, Terreno saturado.
Tibasosa	Miembro superior: Niveles	40 - 500	Acuífero

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad ( $\Omega.m$ )	Clasificación Hidrogeológica
(K1b3t)	calcareos con intercalaciones de arenisca y arcillolitas. <b>Miembro inferior:</b> Arcillolitas y lodolitas con niveles calcareos.	400 - 3200	*Arenas secas-alta resistividad <b>Acuitardo</b> *arcillolitas y lodolitas de baja resistividad *Arenas secas-alta resistividad
Girón (J3g)	Arenisca de grano grueso, areniscas conglomeráticas.	>1000	Acuitardo Alta resistividad

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

### ➤ Tomografía geoelectrica LTE-33

La tomografía se ubica al este del municipio de Corrales, en inmediaciones del casco urbano y en cercanías al Río Chicamocha con una longitud de 740 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

De izquierda a derecha se tienen arena, gravas y cantos secos de alta resistividad del Cuaternario Aluvial (Qal), hacia el centro de la tomografía conjuntos de arcillolitas de baja resistividad en contacto con areniscas masivas de alta resistividad del segmento medio de la formación Concentración (E2c), al final un depósito aluvial de baja resistividad saturado.

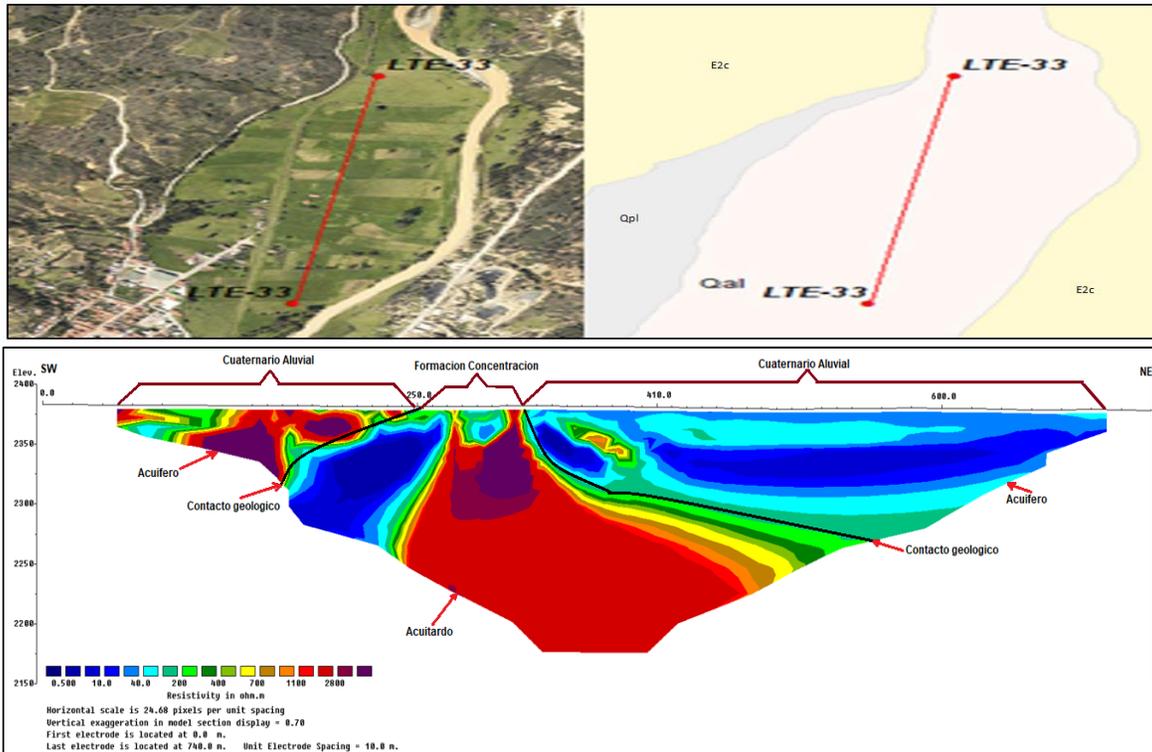


Figura 7-24 Perfil Geoelectrico LTE-33

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-33, se presentan en **Tabla 7-25**.

**Tabla 7-25 Interpretación de la tomografía LTE-33**

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
<b>Cuaternario aluvial (Qal)</b>	Materiales heterogéneos, guijos, cantos y gravas.	2 – 150 400 - 3200	Acuífero Baja resistividad, Terreno saturado. Contacto discordante.
<b>Concentración (E2c)</b>	Arcillolitas y frecuentes intercalación de cuarzo arenitas de grano fino a mediano y localmente grueso.	150 – 3200 2 – 150	Acuitardo Alta resistividad  *Arcillas-baja resistividad

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Además, se utilizaron los siguientes criterios para evitar conflicto por el uso del recurso hídrico con otros actores del territorio:

- Ubicación de zonas saturadas en profundidad en acuíferos.
- Zonas con pocos o ningún punto de agua subterránea.
- Zonas más de 100 m de cualquier punto de agua subterránea y 30 m de cuerpos de agua superficial.
- Rejillas a profundidades por debajo de manantiales y drenajes cercanos para tomar agua de flujos con poca o nula conexión al agua en superficie.

En este sentido y teniendo en cuenta que la captación no sería continua, se establece que los sitios señalados para hacer el pozo no generarían conflicto, ni entrarían a disminuir la capacidad productiva de las formaciones que alimentan los sitios aprovechados por la comunidad y que se presentaron en el inventario.

### 7.2.5 Cronograma de Obras y Presupuesto

Para la perforación del pozo se realizarán las actividades relacionadas en la **Tabla 7-26**, siendo el presupuesto para la construcción de un pozo de \$365.000.000 de pesos.

**Tabla 7-26 Cronograma de Actividades de Perforación de Pozo**

ACTIVIDADES	MES 1			
	1	2	3	4
Contratación de personal	■			
Movilización de Maquinaria, Equipo y Personal y armado de equipo	■			
Perforación		■	■	
Pruebas			■	■
Señalización de áreas		■	■	
Desmovilización				■
Restauración ambiental				■

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

### 7.2.6 Caudal Requerido

MAUREL & PROM COLOMBIA B.V., solicita permiso de exploración de aguas subterráneas, mediante la perforación de un (1) pozo profundo asociado a cada plataforma de perforación exploratoria a construir dentro del Área de Perforación Exploratoria COR 15, siguiendo las

recomendaciones del estudio de prospección de recursos hídricos subterráneos a partir de tomografías realizado, con una profundidad máxima de 180 m y con un caudal de aprovechamiento de 2LPS.

TOMOGRAFÍA	ESTE [m]	NORTE [m]	UNIDAD GEOLÓGICA	PROFUNDIDAD REJILLAS [m]	ELEVACIÓN [msnm]	COMENTARIOS
1.LTE-2	1135395	1135429	Qpl	Entre 80 m y 120 m	2460	Las rejillas iniciarían a 2380 msnm, es el mismo nivel al que está la confluencia de la Q. La Floresta con el río Chicamocha y muy por debajo de las corrientes de agua cercanas al punto.
2. LTE-15	1133203	1137784	Oso	Entre 30 m y 70 m	2700	Zona de granito fracturado
3. LTE-18	1139281	1142963	Qal	Entre 30 m y 70 m	2334	En depósitos del río Chicamocha.
4. LTE_27	1136878	1135806	Qal	Entre 20 m y 50 m	2393	En depósitos del río Chicamocha.
5. LTE-28	1135831	1135948	Qal	Entre 20 m y 40 m	2404	Es un depósito aluvial.
6. LTE-29	1136430	1140342	K1b3t	Entre 40 m y 80 m	2745	La rejilla empezaría a 2705 msnm, por debajo de los cuerpos de agua cercanos y un manantial al nororiente
7.LTE-33	1136950	1137166	Qal	Entre 50 m y 120 m	2380	Está ubicado sobre una zona de depósitos aluviales.

En el Plan de Manejo Ambiental específico para el cual se vaya a perforar el pozo de agua subterránea asociado, se presentarán las coordenadas de acuerdo con lo definido en el Estudio de Prospección de Recursos Hídricos realizado y del cual se proyecta la captación en caso que las pruebas de bombeo realizadas lo permitan. Los resultados de las pruebas de bombeo se presentarán en los Informes de Cumplimiento Ambiental.

### 7.3 VERTIMIENTOS

El desarrollo de las actividades industriales y domésticas que se dan en desarrollo del Proyecto de Perforación Exploratoria COR 15 tiene como resultado la generación de residuos líquidos. Estos residuos requieren de tratamiento y alternativas de disposición, las cuales están condicionadas a las características del agua residual, factores climáticos y características del terreno. El tratamiento químico y/o biológico necesario se realizará de acuerdo con los factores mencionados con el fin de adecuar la calidad del agua a las condiciones establecidas en los Artículos 72 y 74 del Decreto 1594/84.

Se realizará vertimiento de aguas residuales tratadas provenientes del desarrollo del Área de Perforación Exploratoria COR-15 en:

- Vertimientos mediante riego en vías sin pavimentar
- Sistema de Aspersión o campos de infiltración: en las unidades MMc, MMe y MMh y cumpliendo con la zonificación ambiental de manejo de la actividad.
- Reutilización en actividades del proyecto
- Entrega a Terceros autorizados.

Los vertimientos se realizarán en todas las épocas del año.

### 7.3.1 Caracterización de Actividades Generadoras

Los vertimientos se generarán durante las diferentes actividades que se desarrollarán en el APE COR 15, para cada etapa se prevé un manejo de acuerdo al tipo de vertimiento generado, por lo que en la **Tabla 7-27** se presenta la relación de las actividades que generan residuos líquidos y el tipo de residuo generado.

**Tabla 7-27 Actividades Generadoras**

TIPO DE RESIDUO GENERADO	MANEJO AMBIENTAL Y DISPOSICIÓN FINAL
<b>Residuos Líquidos:</b> Aguas residuales domésticas de origen sanitario (negras).	Durante la etapa de <b>construcción de vías de acceso</b> , los residuos líquidos que se van a generar en mayor volumen corresponden a las Aguas Residuales domésticas, es posible que se generen aguas industriales, pero en un porcentaje mínimo.
<b>Residuos Líquidos:</b> Aguas residuales domésticas de origen sanitario (negras) y las de casino y lavandería (grises)	Durante la etapa de construcción Serán manejados mediante baterías sanitarias instaladas en los frentes de obra. Su manejo y disposición final se realizará a través de un tercero especializado y autorizado ambientalmente para ello y/o mediante la conformación de un sistema de tanques sépticos disposición final a campos de infiltración, áreas de aspersión o vertimiento por aspersión en vías para el control del material particulado.
<b>Residuos Líquidos:</b> Aguas residuales domésticas de origen sanitario (negras) y las de casino y lavandería (grises)	Durante la <b>perforación</b> Servicios sanitarios, duchas, lavamanos, cocina. Aguas industriales: Aguas de escorrentía, Aguas provenientes de plataforma de perforación, aguas residuales de la perforación y eventualmente de la formación, actividades de lavado y mantenimiento de equipos.
<b>Residuos Líquidos</b>	Durante las <b>pruebas de producción</b> , agua resultante de los procedimientos empleados en los tratamientos realizados al pozo.

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

### 7.3.2 Caracterización del Vertimiento

La caracterización del efluente hace referencia a las condiciones físicas, químicas y biológicas que presenta el agua residual que se va a disponer, esta caracterización permite definir la alternativa de disposición final del vertimiento, garantizando su mayor eficacia y eficiencia. El desarrollo de la exploración petrolera implica el vertimiento de tipo doméstico e industrial, para la realización de sus actividades.

La **Tabla 7-28** presenta las características típicas de aguas residuales en la industria de hidrocarburos y es el resultado de experiencias de proyectos similares ejecutados anteriormente.

**Tabla 7-28 Composición Teórica de las Aguas Residuales Industriales**

PARÁMETRO	UNIDAD	VALORES REPORTADOS
DBO5	mg/L O <sub>2</sub>	1050
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	1570
SST	mg/L	145
Temperatura	C	22,9
pH	Unidades	8,08
Conductividad	us/cm	3470
Oxígeno disuelto	mg/L O <sub>2</sub>	0,17
Cloruros	mg/L Cl	223

PARÁMETRO	UNIDAD	VALORES REPORTADOS
Sulfatos	mg/L SO4-2	52,9
Fosfatos	mg/L P-PO4-3	0,137
Alcalinidad Total	mg/L CaCO3	304
Nitratos	mg/L N-NO3	5,59
Fenoles Totales	mg/L	0,04
Arsénico	mg/L	0,00045
Bario	mg/L	0,24
Cadmio	mg/L	0,005
Plomo	mg/L	0,049
Mercurio	mg/L	0,001
Selenio	mg/L	0,00026
Grasas y Aceites	mg/L	1,76
Turbiedad	NTU	77

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

### ➤ Caudal máximo de descarga

Durante el desarrollo de actividades en el Área de Perforación Exploratoria COR-15 se establecerá un programa de descarga de vertimientos mínima, de manera que estas las aguas tratadas puedan ser reutilizadas en diferentes tareas. La **Tabla 7-29** relaciona los caudales a verter.

**Tabla 7-29 Caudales a Verter en el Área de Perforación Exploratoria COR-15**

ETAPA	CAUDAL A VERTER	CLASE DE AGUA RESIDUAL
Construcción de obras civiles	1.2 LPS	ARI* ARD**
Perforación	1.5 LPS	ARI* ARD**
Pruebas de Producción	1.5 LPS	ARI* ARD**
Pruebas Hidrostáticas	1.8 LPS	ARI* ARD**
Operación del EPF	1 LPS ARI 0.5 LPS ARD	ARI*

\*Agua Residual Industrial \*\*Agua residual Domestica

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

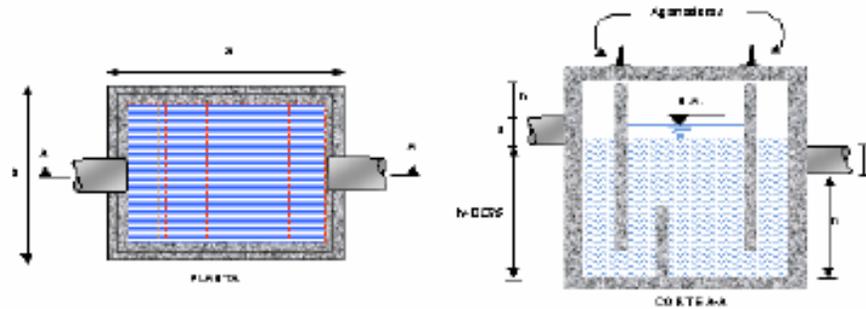
### 7.3.3 Operación y Sistema de Tratamiento de las Aguas Residuales Domésticas e Industriales

#### ➤ AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

##### ○ Aguas Grises

Las aguas grises procedentes de la cocina, lavandería, duchas y casino, serán conducidas por una línea que las llevará a la trampa de grasas y de jabones (Ver **Tabla 7-30**), donde se segrega parte de la carga presente, posteriormente serán conducidas a un tanque para control de la calidad de vertimiento, para luego ser dispuestas junto con las aguas residuales industriales tratadas.

Las grasas de las aguas grises retenidas en las trampas serán recogidas y transportadas para su tratamiento y disposición.



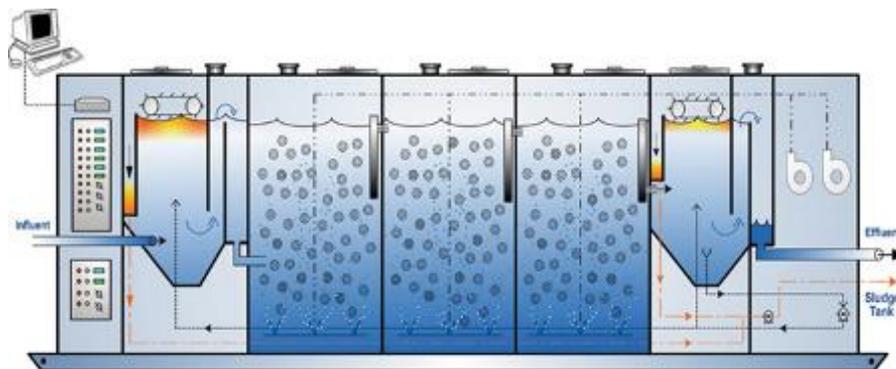
**Tabla 7-30 Esquemas de Trampa de Grasas**

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

- Aguas Negras

Durante la etapa constructiva las aguas residuales domésticas se conducirán a un sistema séptico compacto prefabricado (tipo Imhoff o Séptico). El efluente de este sistema se trasladará hacia un sistema de aspersión o campo de infiltración, ubicado en áreas aledañas a las plataformas o dispuesto a través de terceros autorizado. Otra alternativa de tratamiento es la utilización de plantas redfox (lodos activados). (Ver **Tabla 7-31** ).

Las aguas residuales domésticas sanitarias originadas durante las etapas de construcción de obras y vías, perforación y pruebas de producción, se conducirán directamente desde su sitio de producción a las plantas de tratamiento de lodos activados. Las plantas de tratamiento de lodos activados constan de dos compartimientos. En el primero las aguas residuales reciben aireación y en el segundo se produce la sedimentación de sólidos pesados y partículas finas. Al final de este proceso las aguas reciben un tratamiento de desinfección mediante contacto con cloro.



**Tabla 7-31 Esquema de Operación Planta de Lodos Activados**

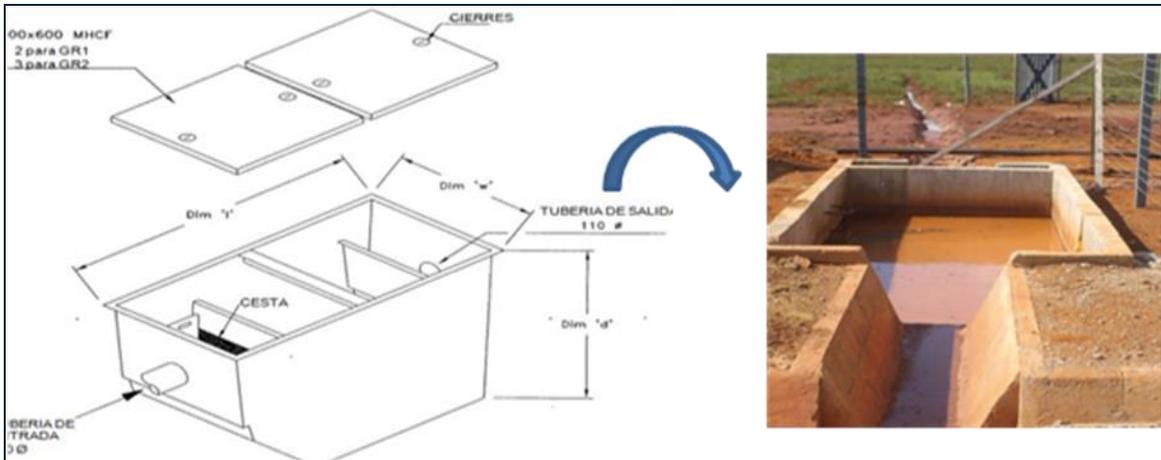
Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

➤ **AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES**

- Agua de Escorrentía

En primera instancia, se tiene el agua generada durante las todas las actividades como son el lavado de tuberías, equipos, motores y herramientas por contacto con las aguas lluvias con

equipos aceitados y enlodados. Estas aguas serán conducidas a través de un sistema de cunetas perimetrales en concreto construidas para recolectar las aguas lluvias y aguas de lavado contaminadas por fugas puntuales de aceites o químicos hacia un desarenador-skimmer, también en concreto, ubicado en la plataforma de cada pozo, donde se realizará la retención de grasas y aceites. Este desarenador – skimmer (**Figura 7-25**) contará con una compuerta (first flush) donde se podrán desviar las aguas hacia la piscina de tratamiento o hacia las cunetas de manejo de aguas lluvias de la plataforma, solamente en caso de presentarse lluvias intensas en el área.



**Figura 7-25 Esquema de Skimmer Convencional**

Fuente: MAUREL & PROM COLOMBIA B. V., 2011

- *Aguas Residuales Industriales*

El tratamiento de esta agua se hará en piscinas o Frack Tanks donde se estabilizarán los parámetros fisicoquímicos, asegurando su calidad para verterlas al medio. El líquido separado mediante el sistema DEWATERING es conducido a una piscina o frack tanks en la cual se realiza el tratamiento de las aguas residuales industriales empleando procesos de Floculación, Coagulación, Sedimentación, Aireación, Ajuste de pH, y Desinfección, dependiendo del tipo de lodo utilizado en la perforación. Previo a la disposición se igualará el caudal del efluente tratado de las aguas residuales domésticas (grises y sanitarias) y residuales industriales y se realizarán los ajustes previos a la disposición final del efluente.

Se efectuarán pruebas in situ de parámetros físico-químicos tales como sólidos disueltos y totales, pH, oxígeno disuelto, temperatura, conductividad, color y cloruros. Para el vertimiento de aguas residuales industriales y domésticas tratadas, se llevará a cabo caracterización físico-química, que demuestre el cumplimiento de los artículos 40, 41 y 72 del Decreto 1594 de 1984. Una vez verificado el cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos del agua de vertimiento y elaborada el acta respectiva, se efectuará la disposición.



**Figura 7-26 Distribución de las Piscinas en Sistema Dewatering**

*Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019*

Como alternativa de ahorro para reducir el consumo en la captación y generación de aguas residuales industriales, se contempla la recirculación del lodo de perforación, hasta que sea necesario descartarlo del sistema, así como las aguas tratadas para estos procesos.

- *Aceites lubricantes residuales*

En esta categoría se catalogan los residuos de aceites lubricantes o aceites usados, los cuales son generados en las operaciones de mantenimiento de los motores y generadores. Estos fluidos no entrarán en los sistemas de tratamiento de agua, pero se han considerado como una categoría específica de manejo de fluidos residuales. De acuerdo con los programas de mantenimiento preventivo estos cambios de aceite se realizan cada 250 horas de operación continua de los motores (aprox. cada 11 días), serán recogidos dentro de canecas herméticamente selladas, estos residuos serán manejados por los contratistas por medio de subcontratistas que cuenten con licencia para usar y tratar este tipo de residuos. Por otro lado, es importante tener en cuenta que las áreas donde se almacenarán los insumos (lubricantes limpios) y residuos de este tipo estarán confinadas con diques perimetrales y se protegerán con geomembrana para manejar pequeñas fugas y regueros.

- *Sistema de ultrafiltración*

La planta para el tratamiento de aguas industriales consta de un equipo que realiza filtración por membranas, en la cual la presión hidrostática fuerza un líquido contra una membrana semipermeable. La planta de tratamiento por ósmosis inversa (ultrafiltración), la cual es un sistema que comprende de una bomba de alimentación, sistema de filtración de auto enjuague y sus respectivos controles. Este sistema cuenta con un sistema de membranas cerámicas de carburo de silicio, material altamente resistente a altas temperaturas, químicos y pH en espacios reducidos.

El agua a tratar se filtra bajo presión a través de varias fibras de membranas, eliminando todos los contaminantes, virus, bacterias y parásitos por debajo de 0.01 micras manteniendo los minerales naturales en el agua.

Este proceso se llevará a cabo para el tratamiento de aguas de formación e industriales, para una capacidad de 12000 l/h, proceso ampliamente confiable debido a la confiabilidad de la planta y poseer procesos de eliminación completa de las partículas en suspensión, bacterias y pirógenos; en la **Fotografía 7-5** se observa la planta de ultrafiltración.



**Fotografía 7-5 Equipo de Ultrafiltración**

El tratamiento del agua bajo este sistema permite el reúso del recurso hídrico para otras operaciones dentro de la plataforma Multipozo, dejando el agua con buenas condiciones y calidad requerida.

Dependiendo de la disposición que se dará a esta agua será necesario reducir su contenido de aceites y grasas, su contenido de sólidos en suspensión, su contenido de Fenoles, su DBO5, su temperatura o su contenido de oxígeno. Para el tratamiento de estas aguas se dispondrá de un sistema por ultrafiltración con las siguientes características:

- Reducción del contenido de aceite: la reducción del contenido de aceite se puede realizar en los tanques skimmer mediante el uso de agentes rompedores inversos. Se considera el uso de tanques, los cuales deben adecuarse para favorecer la flotación del aceite y evitar que el agua que entra al tanque fluya directamente hacia la boquilla de salida (corto circuito).
- Reducción del contenido de sólidos en suspensión: Los sólidos en suspensión pueden ser retirados por filtración o separados por sedimentación. La filtración se lleva a cabo haciendo pasar el agua a tratar través de una membrana de alta resistencia de carburo de sílice.
- Las membranas de carburo de sílice aguantan una temperatura de trabajo de hasta 800°C y resisten todo rango de pH de 0 a 14 haciéndolo más robusto. Cuenta con un sistema de remoción de sólidos, aceites, entre otros agentes agresivos.
- Reducción del contenido de Fenoles: Los procesos convencionales para remoción de fenoles y aminas aromáticas de aguas residuales incluyen extracción, adsorción sobre carbón activado, técnicas electroquímicas, irradiación, oxidación química y bacteriana, etc. Todos estos métodos tienen serias desventajas como altos costos, purificación incompleta, formación de subproductos peligrosos, baja eficiencia y aplicabilidad a rangos de concentración limitados. Para remover fenoles, la mejor solución es usar un tratamiento con Peróxido de Hidrógeno. El peróxido de hidrógeno es un oxidante poderoso, seguro,

efectivo y versátil. Durante las horas del día, la luz ultravioleta del sol favorece la oxidación de los Fenoles en las piscinas de aspersión. Para el tratamiento de las aguas producidas en la deshidratación del crudo se plantean dos alternativas de proceso, las cuales dependen de la disposición final que se dará a estas aguas.

- Reducción del contenido de DBO5: La reducción del DBO5 se logra por oxidación o separación de la materia orgánica presente en las aguas residuales. Gran parte de los sólidos en suspensión pueden estar constituidos por materia orgánica que es separada con los lodos producidos.
- Reducción del contenido de Oxígeno: Para reducir el oxígeno disuelto en el agua producida se utilizan normalmente torres de despojo con gas natural o torres que operan al vacío en los campos que no producen gas natural. En la desoxigenación (o desaireado) al vacío se utilizan normalmente torres empacadas que operan al vacío, para reducir la presión parcial del oxígeno y así reducir el contenido de oxígeno en el agua. Un sistema de vacío extrae todos los gases de la fase vapor, reduciendo la presión parcial del oxígeno en ésta, forzando a las moléculas de oxígeno disueltas en el agua a migrar a la fase vapor, reduciendo así la concentración de oxígeno en el agua. Las torres desoxigenadoras al vacío proveen una reducción confiable del contenido de oxígeno en el agua producida.

#### ➤ Alternativas de Disposición Final

- *Vertimiento mediante riego en vías de acceso*

Esta alternativa de disposición de residuos líquidos industriales y domésticos se realizará mediante carrotanque que cuente con un sistema de bombeo para la carga del agua residual tratada. Deberá tener una flauta adosada a su válvula de salida que permita una distribución uniforme y ocupe la mayor área posible de la vía para evitar encharcamientos (**Fotografía 7-6**). Esta alternativa contribuye a disminuir la emisión de material particulado a la atmósfera, efecto que se ve incrementado durante la época de verano.

El riego se efectuará durante los períodos de estiaje, o en caso de presentarse lluvias esporádicas, se esperará un tiempo aproximado de tres horas para realizar la aspersión. El riego se realizará en vías de acceso sin pavimentar que conduzcan a las plataformas empleando carrotanque adecuados con tubería de ½" debidamente perforada para realizar el riego (tipo flauta). Para la aplicación de este sistema de disposición se requiere verificación previa de los límites permisibles establecidos por la Autoridad Ambiental, garantizando de esta manera el cumplimiento de los parámetros y disminuyendo el riesgo de contaminación del medio abiótico y biótico, tanto de la salud humana.



**Fotografía 7-6 Vertimiento sobre Vías Internas**

Con el fin de establecer el caudal máximo permitido para vertimiento por riego de vías en época de verano, a continuación, se presenta el cálculo del mismo: Teniendo en cuenta un área de 6000 m<sup>2</sup> (un kilómetro de vía con un ancho de 6 metros) y la tasa de infiltración promedio calculada de 46.44 L/m<sup>2</sup>-día.

$$\text{Volumen diario} = \text{Infiltración} \times \text{Área}$$

$$\text{Volumen diario} = 46.44 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} \times 6.000 \text{m}^2 = 278.640 \text{L}$$

$$\frac{\text{Volumen diario}}{\text{Tiempo estimado al día}} = \frac{278.640 \text{L}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{día}}{8 \text{horas}} = 34.830 \text{L / hora} \approx 9,7 \text{ L / s}$$

Ahora, si bien el caudal máximo que puede recibir la vía de acceso al interior del proyecto es de hasta 9.7 l/s, la solicitud de vertimiento es de 1.8 l/s y por tanto se considera una solicitud técnica y ambientalmente viable.

- **Vertimiento por aspersión en Zonas de Disposición de Aguas Residuales**

Se plantea la aspersión como alternativa de disposición para las aguas residuales domésticas e industriales generadas durante las etapas de perforación exploratoria, así como durante las pruebas de producción, previamente tratadas hasta su cumplimiento con valores permisibles. Esta disposición se realizará sobre áreas conexas a partir de aspersión en los sitios donde se ubicaría la infraestructura dentro del Área de Perforación Exploratoria COR-15. El vertimiento se realizará empleando un sistema de aspersores sobre campo de infiltración (ver **Fotografía 7-7**), controlando el flujo de agua a disponer. El monitoreo de estas aguas permitirá garantizar la calidad del vertimiento y la no afectación a la salud humana.

Esta alternativa de disposición de residuos líquidos se plantea previo conocimiento de las características de los suelos y agua. La disposición se realizaría a un caudal de 1.8 l/s por 4 h diarias en cada una de las áreas de vertimiento que se adecúen en el desarrollo del proyecto.



**Fotografía 7-7 Sistema de Aspersión**

Las áreas posibles para la disposición del efluente tratado por el método de infiltración por aspersión corresponden a áreas en inmediaciones a las plataformas multipozo, fuera de las áreas de protección y conservación ambiental, siguiendo lo establecido en la Zonificación de Manejo Ambiental. Además, en cada plataforma las áreas destinadas para aspersión o infiltración serán de hasta 0,85 hectáreas las cuales se ubicarán dentro de las mismas.

El sistema de riego por aspersión está constituido por las siguientes partes esenciales:

- **Motobomba de Impulsión:** Dependiendo del caudal y de la presión que se necesite se emplearán electrobombas movidas por las plantas de energía de 35 KVA, que se instalan en los campamentos.
- **Succión:** Se utiliza una manguera de succión la que va dotada en su extremo inferior con una válvula de pie del mismo diámetro y en el extremo superior acoplada a la bomba con un juego Bauer de acople del diámetro de succión de la bomba, con sus respectivos flanches, empaques y tornillos.
- **Tubería de conducción y distribución:** Será de PVC la cual se colocará a una profundidad mayor a 50 cm con el fin de evitar daños a la misma. Además, el sistema está provisto de un hidrante o válvulas de salida con el fin de acoplar la tubería de distribución.
- **Accesorios de Descarga:** Se utilizarán aspersores de tipo rotativo, de golpe con dos boquillas de descarga, una de largo alcance y otra de corto alcance. Estos accesorios van ensamblados en un tubo vertical de 1 a 1.5 m de altura, el cual va roscado en una unión especial de los tubos de distribución perpendicular al tubo en la unión.

También se emplearían aspersión por nebulizadores, los cuales consisten en ramales, cada uno de los cuales cuenta con un número de nebulizadores o fogger, instalados a una distancia de 30 cm de acuerdo con el diseño específico. Al inicio de cada ramal se instala un filtro, con el fin que sean retenidas fracciones de sólidos remanentes y de esta forma evitar que se produzca obstrucción. Cada nebulizador puede tener capacidad para un caudal 0,4L/S.

La efectividad del sistema del riego por nebulización (ver **Figura 7-27** y **Fotografía 7-8 a Fotografía 7-15**) está dada en que el tamaño de la gota de agua que sale para ser dispuesta es menor que 90 micrones, reduciendo el impacto en superficie, y así reduciendo la saturación en suelo y mejorando la tasa de infiltración. De otro lado se reduce la formación de microcanales y por ende la dispersión de suelo.

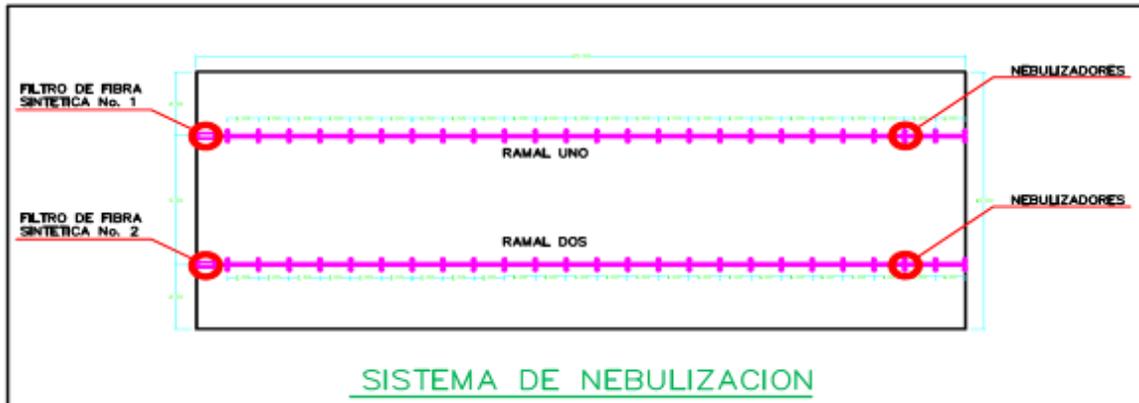


Figura 7-27 Distribución de un Sistema de Aspersión con Nebulizador para Disposición de las Aguas Residuales Industriales Tratadas



Fotografía 7-8 Vista de la línea 1 de Nebulizadores



Fotografía 7-9 Vista de la línea 2 de Nebulizadores



Fotografía 7-10 Nebulizador



Fotografía 7-11 Válvulas del sistema de nebulización junto con los filtros



Fotografía 7-12 Revisión de elementos y empaques de los filtros



Fotografía 7-13 Ajuste y revisión de componentes del nebulizador



Fotografía 7-14 Válvulas de los Nebulizadores



Fotografía 7-15 Nebulización de las aguas residuales industriales tratadas

Otras variaciones tienen que ver con nebulizadores consistentes en un sistema de cañones, que al impulsar el aire y el agua a alta presión logran prácticamente la evaporación del agua, generando micropartículas de agua que logran mantenerse suspendidas en el aire produciendo una evaporación natural sin necesidad de suministrar energía (calor) al fluido que se verterá (ver **Fotografía 7-15**).

Una de las alternativas contempladas para el manejo de aguas residuales tratadas en el APE COR-15 es la reutilización en las operaciones propias de la plataforma, para lo anterior se observará el cumplimiento de los requerimientos de calidad de cada proceso en particular, así como lo dispuesto por el Decreto 3930 de 2010, decreto 1594 de 1984, Resolución 1207 del 25 de junio de 2014 y demás normatividad ambiental vigente.

Se presenta un balance de masa de agua global de un pozo, basado en las proporciones de agua captada, consumida, reusada y vertida de un pozo exploratorio desarrollado en Colombia por la empresa Maurel & Prom Colombia B.V. (ver **Tabla 7-32**) – para mayor detalle del balance ver documento PUEAA APE COR-15. La reutilización propuesta es del 55 % de los 2 l/s a captar por el proyecto, es decir una solicitud de reúso de agua de 1.1 l/s durante 24 horas al día por parte del proyecto APE COR-15.

**Tabla 7-32 Balance de masa del sistema de agua**

AGUA	VOLUMEN*		CAUDAL		%
	Litros	Barriles	l/s	Bpd	
Total Agua Captada (TC)	62208000	391275.878	2	27473052	100
Total Perdidas (TP)	1866240	11738.2764	0.06	824192	3
Total Reutilizada (TR)	34214400	215201.733	1.1	15110178	55
Total Vertida (TV)	21772800	136946.557	0.7	9615568	35
Consumo Taladro	4354560	27389.3115	0.14	1923114	7

\*Los volúmenes fueron calculados con una duración estimada de 1 año para un pozo exploratorio incluyendo pruebas de producción

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2020

Las actividades para el reúso que se contemplan en el proyecto están enmarcadas en lo dispuesto en la Resolución 1207 del 25 de julio de 2014 Artículo 6° numeral 2 Uso industrial. Dentro de los usos propuestos se tienen principalmente las actividades de perforación como la preparación de fluidos de perforación base agua y limpieza de equipos, y el riego en vías para el control de material particulado.

Las distancias mínimas de retiro para el desarrollo del reúso son las dispuestas en la Resolución 1207 del 25 de julio de 2014 Artículo 8° para uso industrial así:

15 metros medidos desde la línea de mareas máximas o la del cauce permanente de todo cuerpo de agua superficial hasta el perímetro de las áreas de reúso.

15 metros de radio medidos desde los pozos y aljibes de agua subterránea hasta el perímetro de las áreas de reúso.

90 metros de radio medidos desde cada punto de reúso en torres de enfriamiento durante el lapso que dure esta actividad para aquellas áreas con acceso al público.

30 metros de radio medidos desde cada punto de aplicación cuando se presente la operación de los sistemas de redes contra incendios.

Los criterios de calidad que deberá cumplir el agua para su reúso están en línea con lo dispuesto en la Resolución 1207 del 25 de julio de 2014 en el artículo 7° numeral 2 Uso industrial (ver **Tabla 7-33**).

**Tabla 7-33 Criterios de calidad del agua residual tratada para el reúso**

VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE			
		INTERCAMBIO DE CALOR EN TORRES DE ENFRIAMIENTO Y EN CALDERAS	DESCARGA DE APARATOS SANITARIOS	LIMPIEZA MECÁNICA DE VÍAS Y RIEGO DE VÍAS PARA EL CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO	SISTEMAS DE REDES CONTRA INCENDIO
<b>Fisicoquímicos</b>					
pH	Unidades de pH	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0
<b>Microbiológicos</b>					
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1,0*E(+3)	1,0*E(+4)	1,0*E(+3)	1,0*E(+1)
Helminintos Parásitos Humanos	Huevos y larvas/L	0,1	1,0	1,0	0,1
Protozoos Parásitos Humanos	Quistes/L	0,0	1,0	1,0	1,0
Salmonella sp.	NMP/100 ml	1,0	1,0	1,0	1,0
<b>Químicos</b>					
Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno (BTEX)	mg/L	0,001		0,001	
Ésteres Ftalatos	mg/L	0,005		0,005	
Fenoles	mg/L	0,002		0,002	
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L	0,01		0,01	
<b>Biocidas</b>					
2,4 D ácido	mg/L	0,0001		0,0001	
Diurón	mg/L	0,0001		0,0001	
Glifosato	mg/L	0,0001		0,0001	
Mancozeb	mg/L	0,0001		0,0001	
Propineb	mg/L	0,0001		0,0001	
<b>Iones</b>					
Cianuro Libre	mg CN-/L	0,05			
Cloruros	mg Cl-/L	300,0		300,0	300,0
Fluoruros	mg F-/L	1,0			
Sulfatos	mg SO42-/L	500,0		500,0	500,0
<b>Metales</b>					
Aluminio	mg Al/L	5,0		5,0	
Berilio	mg Be/L	0,1		0,1	
Cadmio	mg Cd/L	0,01		0,01	
Cinc	mg Zn/L	3,0		3,0	

VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE			
		INTERCAMBIO DE CALOR EN TORRES DE ENFRIAMIENTO Y EN CALDERAS	DESCARGA DE APARATOS SANITARIOS	LIMPIEZA MECÁNICA DE VÍAS Y RIEGO DE VÍAS PARA EL CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO	SISTEMAS DE REDES CONTRA INCENDIO
Cobalto	mg Co/L	0,05		0,05	
Cobre	mg Cu/L	1,0		1,0	
Cromo	mg Cr/L	0,1		0,1	
Plomo	mg Pb/L	5,0		5,0	
Hierro	mg Fe/L	5,0		5,0	
Litio	mg Li/L	2,5		2,5	
Manganeso	mg Mn/L	0,2		0,2	
Mercurio	mg Hg/L	0,001		0,001	
Molibdeno	mg Mo/L	0,07		0,07	
Níquel	mg Ni/L	0,2		0,2	
Vanadio	mg V/L	0,1		0,1	
<b>Metaloides</b>					
Arsénico	mg As/L	0,1		0,1	
<b>No Metales</b>					
Selenio	mg Se/L	0,01		0,02	
<b>Otros</b>					
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días (DBO5)	mg O2/L			30,0	

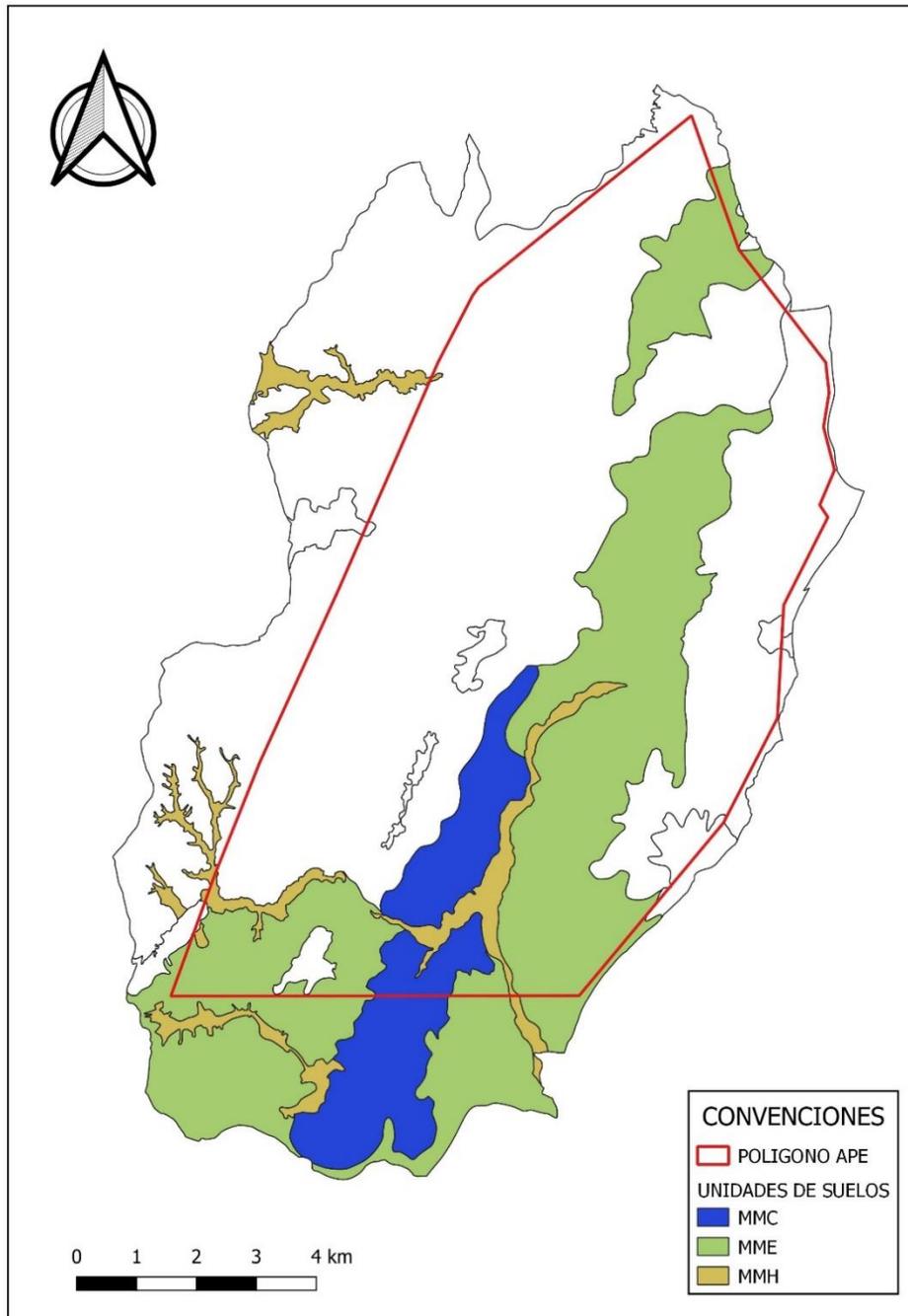
Fuente: Resolución 1207 del 25 de julio de 2014

### Disposición con Terceros Autorizados

Se contempla la disposición de los vertimientos a través de terceros autorizados. Para esto, el agua de los vertimientos será transportada mediante carrotanques desde las instalaciones del proyecto a las compañías de los terceros que estén debidamente autorizados por una autoridad ambiental para realizar la disposición final de residuos líquidos domésticos e industriales.

- **Modelo matemático de flujo de humedad y transporte de solutos para el vertimiento a suelo**

Se propone el vertimiento a suelos sobre tres unidades de suelo identificadas en el EIA del APE COR-15: MMc, MMe y MMh (ver **Figura 7-28**). Por lo tanto, en este estadio del proceso de licenciamiento, el objetivo de vertimiento está centrado a unidades de suelos en aquellos sitios que confluyan todas las condiciones de zonificación de manejo de la actividad y características físicas que permitan realizar un vertimiento de una manera técnica y ambientalmente adecuada.



**Figura 7-28 Localización de las unidades de suelo para vertimiento**

**Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019**

El software utilizado para el modelo matemático fue Hydrus 1D. Este software se encarga de resolver de manera numérica la ecuación de Richards de flujo de humedad en medios porosos con condiciones variables de grado de saturación. Es un paquete interactivo que permite incluir, de manera amigable, la información requerida de las condiciones de suelo, el clima y características de la vegetación, con el fin de evaluar el comportamiento del suelo ante un flujo de humedad, en este caso generado por un vertimiento a suelo. Este software permite reconocer el transporte de

solutos y el flujo de fluidos. Para ampliar y profundizar las bases del modelo Hydrus 1D por favor consultar el documento The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media (Šimůnek, et al, 2013). En las modelaciones realizadas se calculó el avance del frente húmedo que se generaría en el suelo ante el vertimiento, dicho flujo de humedad es en últimas el que transportaría los solutos presentes en el vertimiento.

Los insumos del modelo son de tres tipos: climáticos, propiedades del suelo y del vertimiento. En primer lugar, las condiciones climáticas que incluye el modelo son la precipitación y la evapotranspiración potencial. Estos flujos de humedad se tomaron del balance hídrico de suelos desarrollado en el numeral 5.1.6.9 Balance hídrico de suelos como el promedio sobre el área de cada unidad de suelos. En la **Tabla 7-34**, **Tabla 7-35** y **Tabla 7-36** se reporta la precipitación y la evapotranspiración potencial mensual para cada unidad de suelo, además se incluyó el cálculo en las unidades dimensionales sobre las que se desarrollaron los modelos matemáticos.

**Tabla 7-34 Precipitación y evapotranspiración potencial sobre la unidad de suelo MMC**

MES	P [mm/mes]	ETP [mm/mes]	DÍAS	P [cm/día]	ETP [cm/día]
Abril	115.4	62.6	30	0.38	0.21
Mayo	101.3	63.9	31	0.33	0.21
Junio	63.8	60.4	30	0.21	0.20
Julio	67.1	59.5	31	0.22	0.19
Agosto	60.7	59.1	31	0.20	0.19
Septiembre	63.9	57.2	30	0.21	0.19
Octubre	101.2	59.9	31	0.33	0.19
Noviembre	87.7	59.2	30	0.29	0.20
Diciembre	38.3	60.0	31	0.12	0.19
Enero	25.7	61.8	31	0.08	0.20
Febrero	38.8	57.9	28.25	0.14	0.20
Marzo	70.7	65.3	31	0.23	0.21

Fuente: INCITEMA – UPTC, 2020

**Tabla 7-35 Precipitación y evapotranspiración potencial sobre la unidad de suelo MME**

MES	P [mm/mes]	ETP [mm/mes]	DÍAS	P [cm/día]	ETP [cm/día]
Abril	117.2	62.4	30	0.39	0.21
Mayo	99.5	63.8	31	0.32	0.21
Junio	62.0	60.2	30	0.21	0.20
Julio	64.7	59.4	31	0.21	0.19
Agosto	59.1	59.0	31	0.19	0.19
Septiembre	63.7	57.2	30	0.21	0.19
Octubre	100.0	59.8	31	0.32	0.19
Noviembre	87.3	58.9	30	0.29	0.20
Diciembre	38.4	59.8	31	0.12	0.19
Enero	25.5	61.5	31	0.08	0.20
Febrero	39.4	57.6	28.25	0.14	0.20
Marzo	71.9	65.0	31	0.23	0.21

Fuente: INCITEMA – UPTC, 2020

**Tabla 7-36 Precipitación y evapotranspiración potencial sobre la unidad de suelo MMh**

MES	P [mm/mes]	ETP [mm/mes]	DÍAS	P [cm/día]	ETP [cm/día]
Abril	117.5	62.5	30	0.39	0.21
Mayo	102.3	63.8	31	0.33	0.21
Junio	62.1	60.2	30	0.21	0.20
Julio	64.5	59.4	31	0.21	0.19
Agosto	59.2	59.0	31	0.19	0.19
Septiembre	64.6	57.1	30	0.22	0.19
Octubre	103.6	59.8	31	0.33	0.19
Noviembre	88.8	59.0	30	0.30	0.20
Diciembre	39.3	59.8	31	0.13	0.19
Enero	26.1	61.6	31	0.08	0.20
Febrero	39.7	57.7	28.25	0.14	0.20
Marzo	71.9	65.1	31	0.23	0.21

Fuente: INCITEMA – UPTC, 2020

Las propiedades del suelo incluidas en el modelo se tomaron de los resultados de laboratorio de suelos. Según la unidad de suelo, se incluyeron las proporciones de arena, limo y arcilla, y la humedad del suelo a capacidad de campo. En la **Tabla 7-37** se tienen los resultados disponibles para las texturas y las capacidades de campo se presentan en la **Tabla 7-38**.

**Tabla 7-37 Texturas de suelos propuestos para vertimiento**

PARÁMETROS	UNIDADES	PUNTO 1 - BUSBANZA QUEBRADAS	PUNTO 14 - BUENA VISTA CORRALES	PUNTO N. 16 CORRALES	PUNTO 5 FINCA LA COPA	PUNTO NO 8 CORRALES - REYES PATRIA
		MCS 10605	MCS 10603	MCS 11099	MCS 10602	MCS 11236
T-ARENA	%	27	32	35	27	32
T-ARCILLA	%	38	36	35	32	39
T-LIMO	%	35	32	30	41	29
TEXTURA	%	F-Ar	F-Ar	F-Ar	F-Ar	F-Ar
Unidades de suelo		MMH		MMC		MME

Fuente: INCITEMA – UPTC, 2020

**Tabla 7-38 Capacidad de campo de suelos propuestos para vertimiento**

UNIDAD DE SUELO	CAPACIDAD DE CAMPO [%]
MMc	17.99
MMe	22.67
MMh	14.04

Fuente: INCITEMA – UPTC, 2020

Se calculó la lámina diaria que generaría el vertimiento a suelo. Hay dos estrategias para este vertimiento: en un área de 1 ha fuera de las plataformas, o dentro de las plataformas en un área de 0.85 ha. Se tomó la estrategia de vertimiento dentro de la plataforma para hacer el cálculo de

lámina de vertimiento, debido a que esta es la más restrictiva en términos de área. En la **Tabla 7-39** se presenta el cálculo correspondiente.

**Tabla 7-39 Cálculo de la lámina de vertimiento**

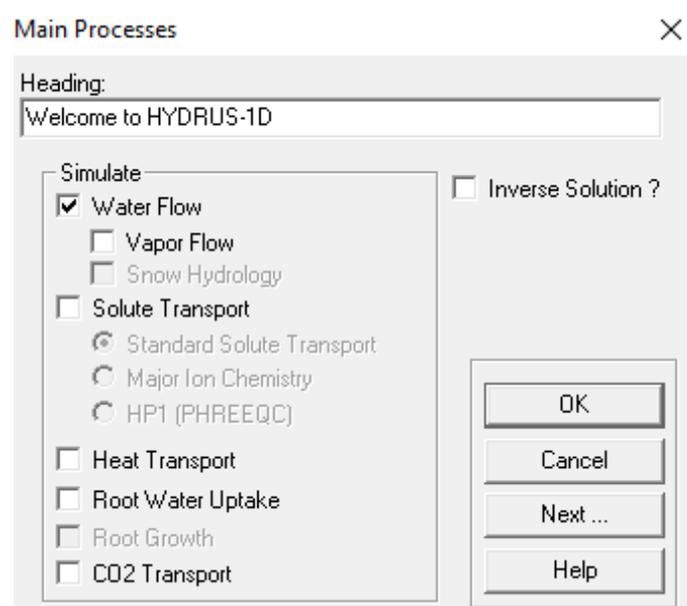
PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Caudal vertimiento	1.8	l/s
Caudal vertimiento	0.0018	m <sup>3</sup> /s
Tiempo vertimiento diario	4	horas
Área campo de aspersión	8500	m <sup>2</sup>
Volumen vertimiento diario	25.92	m <sup>3</sup>
Lámina real vertimiento	0.30	cm/día

Fuente: INCITEMA – UPTC, 2020

Con estos insumos, se procede a construir cada modelo de vertimiento. El software tiene una serie de pasos para la modelación, en adelante se explicará cada uno por cada modelo realizado y se mostrarán las condiciones seleccionadas para esta aplicación.

#### Modelo matemático MMc, MMe y MMh

El primer paso es seleccionar el proceso que será modelado (ver **Figura 7-29**), en este caso es flujo de agua.



**Figura 7-29 Selección de procesos a modelar en HYDRUS 1D**

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

Luego se seleccionan las unidades en profundidad sobre las que se realizará el modelo (ver **Figura 7-30**). Se propuso una capa única y se evaluó la profundidad de estudio de 5 m con el fin de verificar el alcance del frente húmedo de vertimiento. En este punto es importante reconocer

que el campo de vertimiento será localizado en cumplimiento de la zonificación ambiental, es decir alejado de puntos de agua subterránea y cuerpos de agua superficial, por lo que se considera que la profundidad del nivel freático (en el caso que exista) será mayor que 5 m; esto guarda concordancia conceptual con lo propuesto en la evaluación de vulnerabilidad realizada en el numeral 5.1.6.12 Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea y con los hallazgos de los análisis de suelo, donde no se encontró nivel freático en ningún punto de investigación hasta la profundidad excavada de 1.2 m.

**Figura 7-30 Selección de las capas de suelo en HYDRUS 1D**

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

Luego, se seleccionan los ajustes de tiempo para la modelación (ver **Figura 7-31**). Se tomó la unidad de días y se definieron 365 días de modelación para un total de 1 año.

**Figura 7-31 Selección de las opciones de tiempo en HYDRUS 1D**

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

En la ventana siguiente se seleccionan cuantos reportes se van a generar, es decir en cuáles instantes de tiempo se generará la salida de los resultados del modelo. Se seleccionaron 12 para tener un avance mensual (ver **Figura 7-32**).

**Figura 7-32 Selección de los reportes de modelación en HYDRUS 1D**

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

Las condiciones de iteración y convergencia del modelo se definieron en máximo 100 iteraciones, tolerancia de 0.001 en contenido de agua y 1 cm de tolerancia de la cabeza total de presión (ver **Figura 7-33**).

**Iteration Criteria** [X]

Iteration Criteria

100 Maximum Number of Iterations

0.001 Water Content Tolerance

1 Pressure Head Tolerance [cm]

Time Step Control

3 Lower Optimal Iteration Range

7 Upper Optimal Iteration Range

1.3 Lower Time Step Multiplication Factor

0.7 Upper Time Step Multiplication Factor

Internal Interpolation Tables

1e-006 Lower Limit of the Tension Interval [cm]

10000 Upper Limit of the Tension Interval [cm]

OK

Cancel

Previous ...

Next ...

Help

**Figura 7-33 Selección de condiciones de iteración y convergencia en HYDRUS 1D**

*Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019*

En cuanto al modelo hidráulico del suelo se seleccionó la opción de porosidad única, asumiendo un medio poroso con porosidad primaria. En este caso se tomó el modelo van Genuchten – Maulem por ser un modelo sencillo que se ajusta a las condiciones del suelo y que tiene amplio uso en el medio académico. En cuanto a la histéresis, se seleccionó sin histéresis debido a que no se cuenta con información de ciclos de humedecimiento y secado del suelo para hacer mayores ajustes en el modelo (ver **Figura 7-34**).

Soil Hydraulic Model X

Hydraulic Model

Single Porosity Models

van Genuchten - Mualem

With Air-Entry Value of -2 cm

Modified van Genuchten

Brooks-Corey

Kosugi (log-normal)

Dual-Porosity/Dual-Permeability Models

Dual-porosity (Durner, dual van Genuchten - Mualem)

Dual-porosity (mobile-immobile, water c. mass transfer)

Dual-porosity (mobile-immobile, head mass transfer)

== Models below are recommended only for experienced users ==

Dual-permeability (Kinematic wave equation)

Dual-permeability (Gerke and van Genuchten, 1993)

Look-up Tables

Hysteresis

No hysteresis

Hysteresis in retention curve

Hysteresis in retention curve and conductivity

Hysteresis in retention curve (no pumping, Bob Lenhard)

Initially drying curve

Initially wetting curve

OK

Cancel

Previous ...

Next ...

Help

**Figura 7-34 Selección del modelo de suelo en HYDRUS 1D**

*Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019*

Luego, el modelo tiene diversos parámetros de flujo para el suelo, con el fin de poder resolver las ecuaciones de flujo de humedad. Los parámetros son los siguientes:

Qr: humedad residual.

Qs: humedad de saturación.

Alpha: parámetro de ajuste de la curva característica del suelo.

n: parámetro de ajuste de la curva característica del suelo.

Ks: Conductividad hidráulica saturada.

l: conectividad de poros.

Estos parámetros se calcularon en el modelo HYDRUS-1D con una herramienta de predicción a través de redes neuronales; el insumo de esta red neuronal puede ser de diversos tipos y el seleccionado fue la proporción de arena, limo y arcilla. En la **Figura 7-35**, **Figura 7-36** y **Figura 7-37** se presenta la predicción de parámetros realizada para cada unidad de suelo de interés. Para la unidad MMc y MMh se tienen dos muestras de suelo analizadas, por tanto, se usaron los resultados como mayor proporción de arena en vista que es el grano más grueso y podría llegar a tener mejores capacidades de transporte de agua y también de solutos por tener una superficie específica menor que las fracciones más finas.

Water Flow Parameters

Mat	Qr [-]	Qs [-]	Alpha [1/cm]	n [-]	Ks [cm/day]	l [-]
1	0.0824	0.4332	0.0156	1.3548	5.42	0.5

Soil Catalog  Neural Network Prediction  Temperature Dependence

OK Cancel Previous ... Next ... Help

Rosetta Lite v. 1.1 (June 2003)

Select Model

Textural classes  SSCBD+ water content at 33 kPa (TH33)

% Sand, Silt and Clay (SSC)  Same + water content at 1500 kPa (TH1500)

%Sand, Silt, Clay and Bulk Density (BD)

Input

Textural Class

Sand [%]

Silt [%]

Clay [%]

BD [gr/cm3]

TH33 [cm3/cm3]

TH1500 [cm3/cm3]

Output

Theta r [cm3/cm3]

Theta s [cm3/cm3]

Alpha [1/cm]

n [-]

Ks [cm/day]

Help! Predict Accept Cancel

**Figura 7-35 Predicción con redes neuronales de los parámetros hidráulicos del suelo MMc en HYDRUS 1D**

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

Water Flow Parameters

Mat	Qr [-]	Qs [-]	Alpha [1/cm]	n [-]	Ks [cm/days]	l [-]
1	0.086	0.4427	0.0163	1.3268	6.28	0.5

Soil Catalog  Neural Network Prediction  Temperature Dependence

OK

Cancel

Previous ...

Next ...

Help

Rosetta Lite v. 1.1 (June 2003)

Select Model

- Textural classes  
 % Sand, Silt and Clay (SSC)  
 %Sand, Silt, Clay and Bulk Density (BD)  
 SSCBD+ water content at 33 kPa (TH33)  
 Same + water content at 1500 kPa (TH1500)

Input

Textural Class

Sand [%]

Silt [%]

Clay [%]

BD [gr/cm3]

TH33 [cm3/cm3]

TH1500 [cm3/cm3]

Output

Theta r [cm3/cm3]

Theta s [cm3/cm3]

Alpha [1/cm]

n [-]

Ks [cm/day]

Help!

Predict

Accept

Cancel

**Figura 7-36 Predicción con redes neuronales de los parámetros hidráulicos del suelo MMe en HYDRUS 1D**

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

Water Flow Parameters

Mat	Qr [-]	Qs [-]	Alpha [1/cm]	n [-]	Ks [cm/days]	l [-]
1	0.084	0.4402	0.0145	1.3628	6.43	0.5

Soil Catalog  Neural Network Prediction  Temperature Dependence

OK Cancel Previous ... Next ... Help

Rosetta Lite v. 1.1 (June 2003)

Select Model

Textural classes  SSCBD+ water content at 33 kPa (TH33)

% Sand, Silt and Clay (SSC)  Same + water content at 1500 kPa (TH1500)

%Sand, Silt, Clay and Bulk Density (BD)

Input

Textural Class

Sand [%]

Silt [%]

Clay [%]

BD [gr/cm3]

TH33 [cm3/cm3]

TH1500 [cm3/cm3]

Output

Theta r [cm3/cm3]

Theta s [cm3/cm3]

Alpha [1/cm]

n [-]

Ks [cm/day]

Help! Predict Accept Cancel

**Figura 7-37 Predicción con redes neuronales de los parámetros hidráulicos del suelo MMh en HYDRUS 1D**

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

Para poder implementar un modelo matemático es necesario definir condiciones de frontera e iniciales, estos son el punto de partida para la solución de las ecuaciones diferenciales parciales que describen el comportamiento del flujo de humedad en el medio poroso. Estas condiciones se incluyen en la siguiente ventana del software (ver **Figura 7-38**). Se seleccionó la opción de presión atmosférica con posibilidad de escorrentía en la parte superior junto con una irrigación que hace las veces del vertimiento. En cuanto a las condiciones de fondo se tomó drenaje libre hacia estratos más profundos, con el fin de evaluar el alcance que tendría en profundidad el vertimiento. La condición inicial del suelo es de humedad a la capacidad de campo; esto se definió así porque

el inicio del periodo de modelación es el mes de abril cuando se tiene el mayor pico de precipitación del año, y se estima que antes de esto los suelos tienden a estar drenados a la capacidad de campo.

**Water Flow Boundary Conditions**

Upper Boundary Condition

- Constant Water Content
- Constant Flux
- Atmospheric BC with Surface Layer
- Atmospheric BC with Surface Run Off
- Variable Pressure Head
- Variable Pressure Head/Flux
- Triggered Irrigation

Lower Boundary Condition

- Constant Water Content
- Constant Flux
- Variable Pressure Head
- Variable Flux
- Free Drainage
- Deep Drainage
- Seepage Face; h =
- Horizontal Drains

Initial Condition

- In Pressure Heads
- In Water Contents

OK  
Cancel  
Previous  
Next  
Help

**Figura 7-38 Selección de las condiciones iniciales y de frontera del modelo de suelo en HYDRUS 1D**

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

La irrigación hace las veces del vertimiento a suelo que se pretende modelar. En la **Figura 7-39** se presenta la ventana donde se ingresa esta información. Se incluye la tasa de irrigación de 1.8 l/s convertido a cm/día teniendo en cuenta el área de aspersion de 0.85 ha. La duración del vertimiento cada día será de 4h, es decir 1/6 del día o 0.167 días. El tiempo de receso (Lag Time) es el tiempo restante del día durante el cual no se está vertiendo, es decir 5/6 del día o 0.833 días.

**Triggered Irrigation**

Observation Node (Triggering Irrigation)

Observation Node Triggering Irrigation: 1

Pressure Head Triggering Irrigation [cm]: 0.1

Triggered Irrigation

Irrigation Rate [cm/days]: 1.83

Irrigation Duration [days]: 0.167

Lag Time [days]: 0.833

OK  
Cancel  
Previous  
Next  
Help

**Figura 7-39 Definición de la irrigación (vertimiento) en HYDRUS 1D**

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

En la siguiente ventana se incluyen los datos de precipitación y evapotranspiración potencial mensuales para cada unidad de suelos. En la **Figura 7-40**, **Figura 7-41** y **Figura 7-42** se presentan los datos ingresados.

Time Variable Boundary Conditions



	Time [day]	Precip. [cm/day]	Evap. [cm/day]	hCritA [cm]
1	30	0.38	0.21	100000
2	61	0.33	0.21	100000
3	91	0.21	0.2	100000
4	122	0.22	0.19	100000
5	153	0.2	0.19	100000
6	183	0.21	0.19	100000
7	214	0.33	0.19	100000
8	244	0.29	0.2	100000
9	275	0.12	0.19	100000
10	306	0.08	0.2	100000
11	334.25	0.14	0.2	100000
12	365	0.23	0.21	100000

**Figura 7-40** Inclusión de la precipitación y evapotranspiración media sobre la unidad MMc en HYDRUS 1D

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

Time Variable Boundary Conditions



	Time [days]	Precip. [cm/days]	Evap. [cm/days]	hCritA [cm]
1	30	0.39	0.21	100000
2	61	0.32	0.21	100000
3	91	0.21	0.2	100000
4	122	0.21	0.19	100000
5	153	0.19	0.19	100000
6	183	0.21	0.19	100000
7	214	0.32	0.19	100000
8	244	0.29	0.2	100000
9	275	0.12	0.19	100000
10	306	0.08	0.2	100000
11	334.25	0.14	0.2	100000
12	365	0.23	0.21	100000

**Figura 7-41** Inclusión de la precipitación y evapotranspiración media sobre la unidad MMe en HYDRUS 1D

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

Time Variable Boundary Conditions

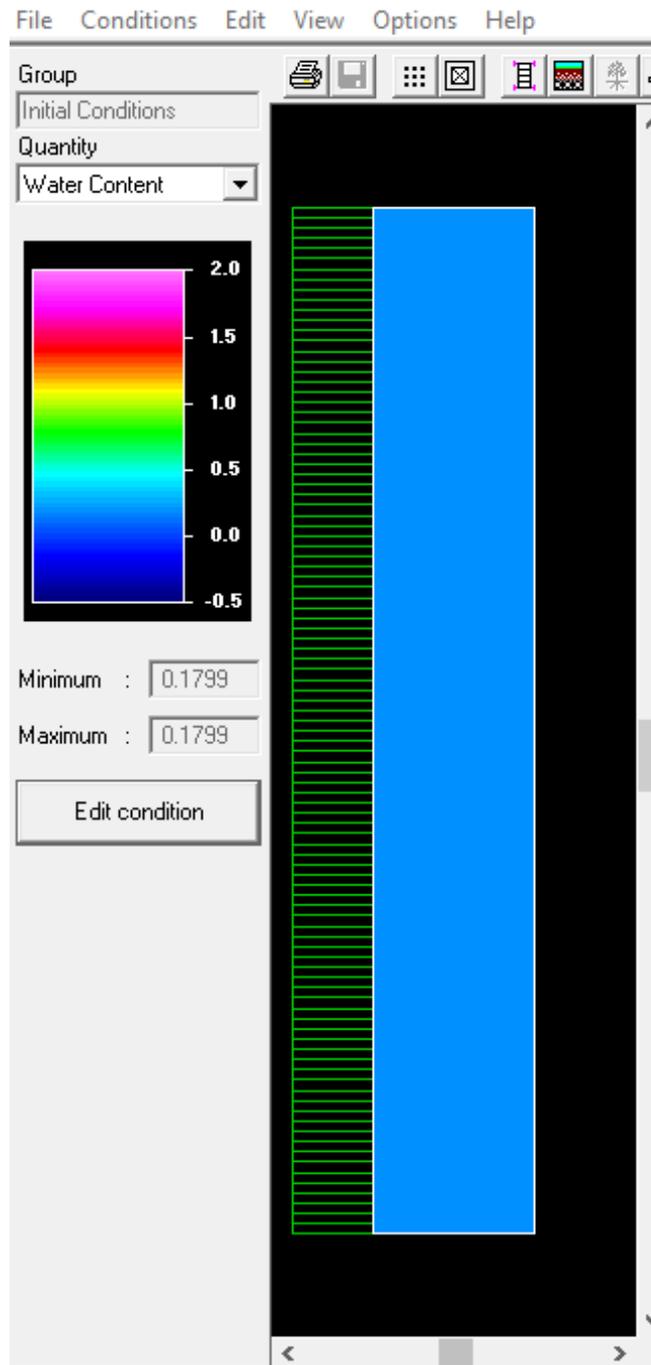


	Time [days]	Precip. [cm/days]	Evap. [cm/days]	hCritA [cm]
1	30	0.39	0.21	100000
2	61	0.33	0.21	100000
3	91	0.21	0.2	100000
4	122	0.21	0.19	100000
5	153	0.19	0.19	100000
6	183	0.22	0.19	100000
7	214	0.33	0.19	100000
8	244	0.3	0.2	100000
9	275	0.13	0.19	100000
10	306	0.08	0.2	100000
11	334.25	0.14	0.2	100000
12	365	0.23	0.21	100000

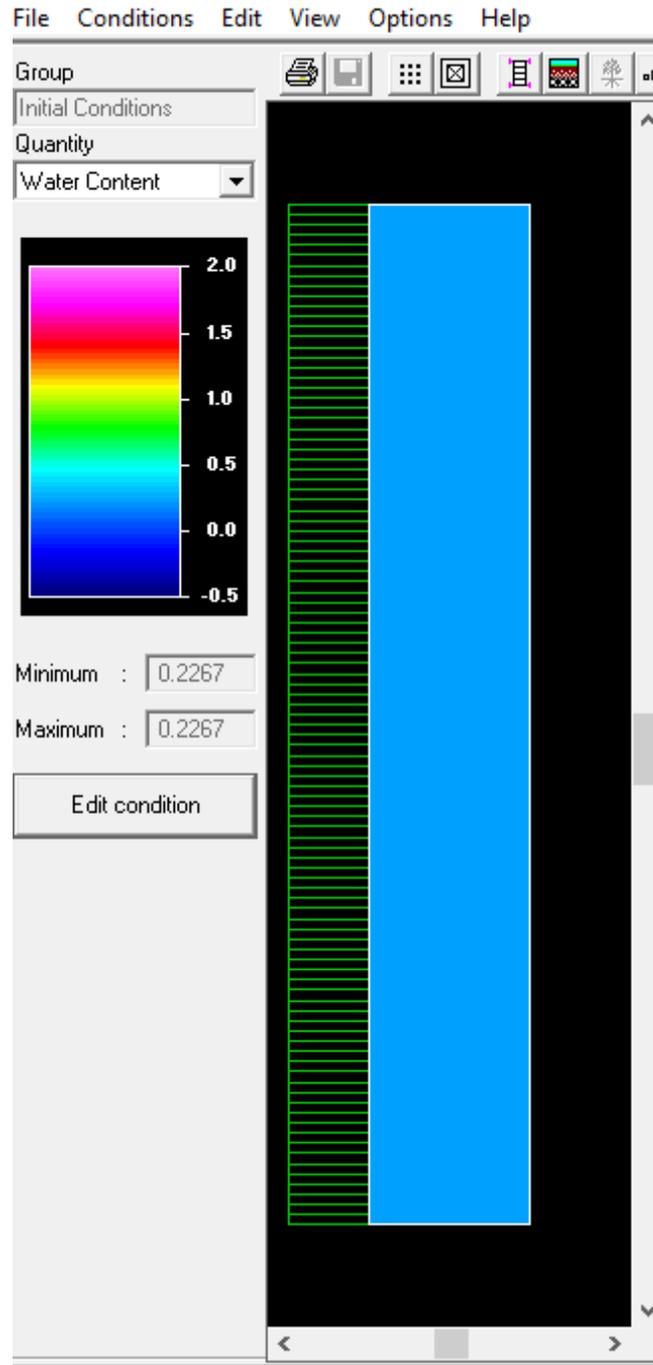
**Figura 7-42 Inclusión de la precipitación y evapotranspiración media sobre la unidad MMh en HYDRUS 1D**

*Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019*

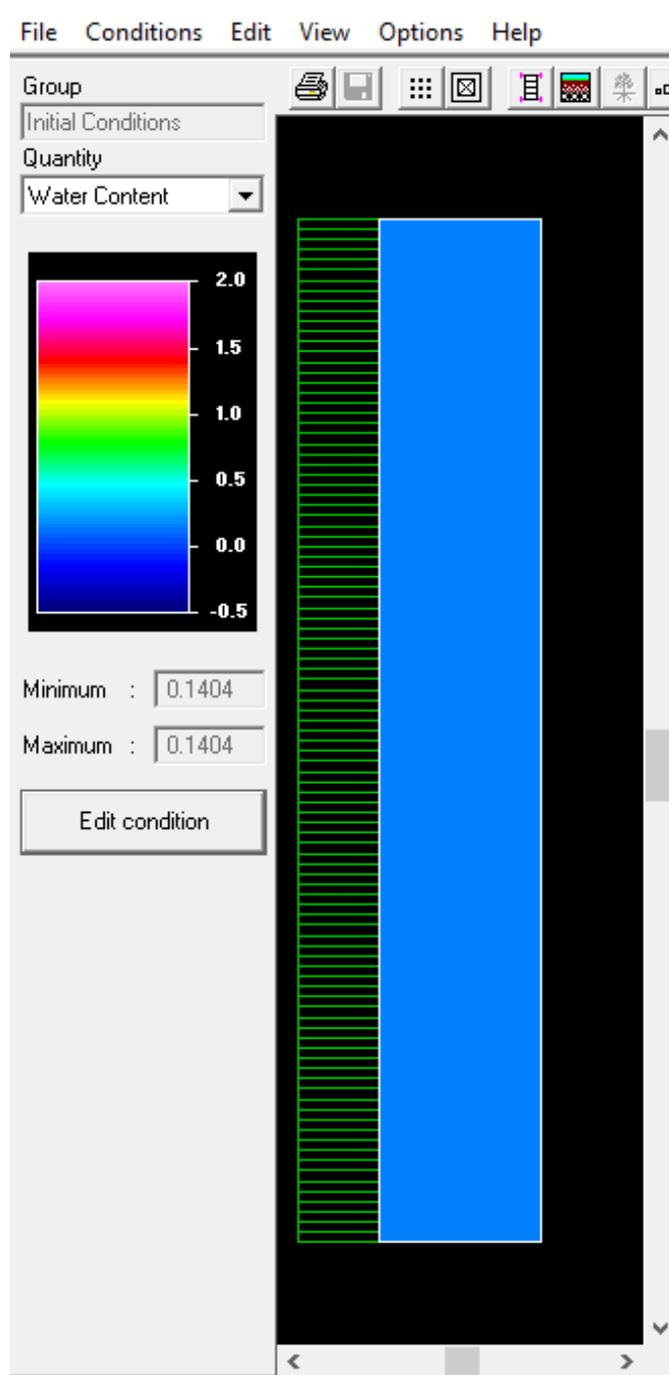
En el editor del perfil de suelo se incluye el valor de humedad inicial. Se definió para cada uno como la capacidad de campo. En la **Figura 7-43**, **Figura 7-44** y **Figura 7-45** se presentan las tomas de pantalla del ingreso de la información al software.



**Figura 7-43** Inclusión de la condición inicial de humedad en la unidad MMc en HYDRUS 1D  
*Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019*



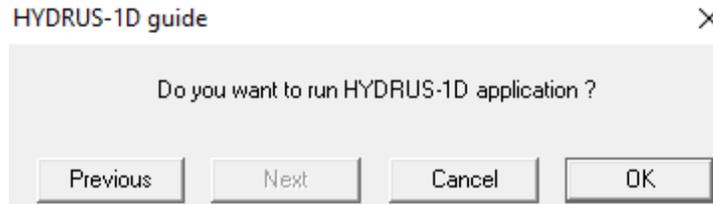
**Figura 7-44** Inclusión de la condición inicial de humedad en la unidad MMe en HYDRUS 1D  
*Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019*



**Figura 7-45** Inclusión de la condición inicial de humedad en la unidad MMh en HYDRUS 1D

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

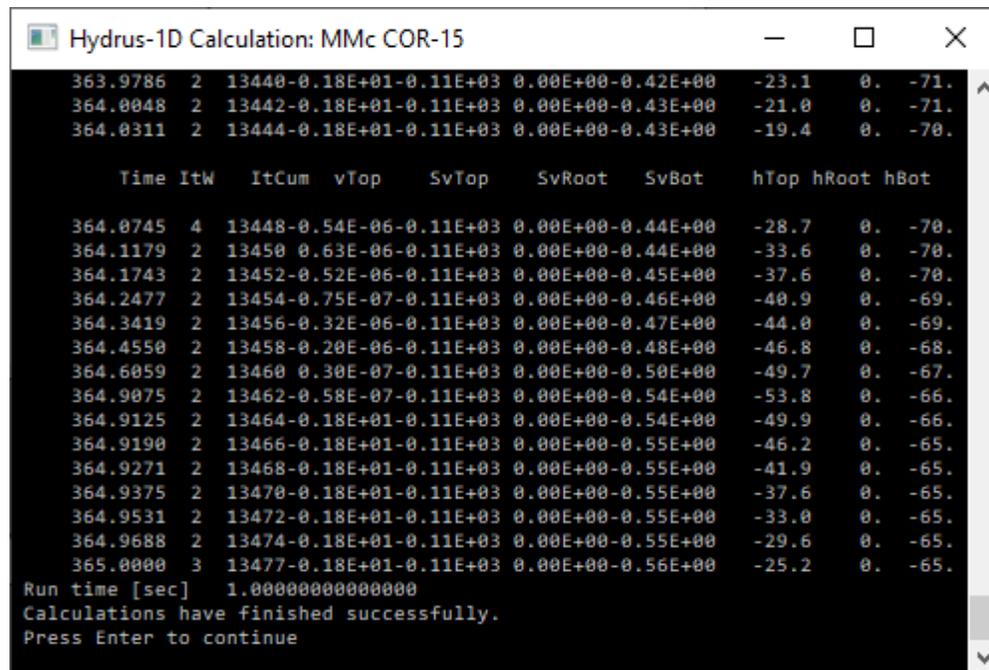
Una vez ingresada la totalidad de la información el software solicita permiso para proceder a realizar la simulación (ver **Figura 7-46**).



**Figura 7-46 Inicio de simulación en HYDRUS 1D**

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

Los modelos tenían la información completa y no se encontraron errores. Al terminar el proceso el software desplegó la siguiente ventana que informó que la modelación fue satisfactoria (ver **Figura 7-47**).



**Figura 7-47 Modelación satisfactoria en HYDRUS 1D**

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

Al presionar Enter para continuar se encuentran los resultados de la modelación para cada suelo. Es importante anotar que cada unidad de suelo contó con su propio modelo por separado. Se revisó el balance de masas de cada modelo con el fin de verificar la idoneidad del modelo y así tener mayor certidumbre a la hora de analizar los resultados y tomar decisiones técnica y ambientalmente acertadas. En la **Tabla 7-40** se presentan los resultados de error del balance de masa calculado en cada modelo, estos resultados se pueden verificar en cada modelo en la pestaña de post-processing elemento Mass Balance Information. Los errores encontrados son muy bajos, no alcanzan a ser 1 en 10.000 en ningún caso. Se considera que los modelos han sido verificados y se pueden analizar los resultados.

**Tabla 7-40 Verificación del error del balance de masa para los modelos de vertimiento en suelo**

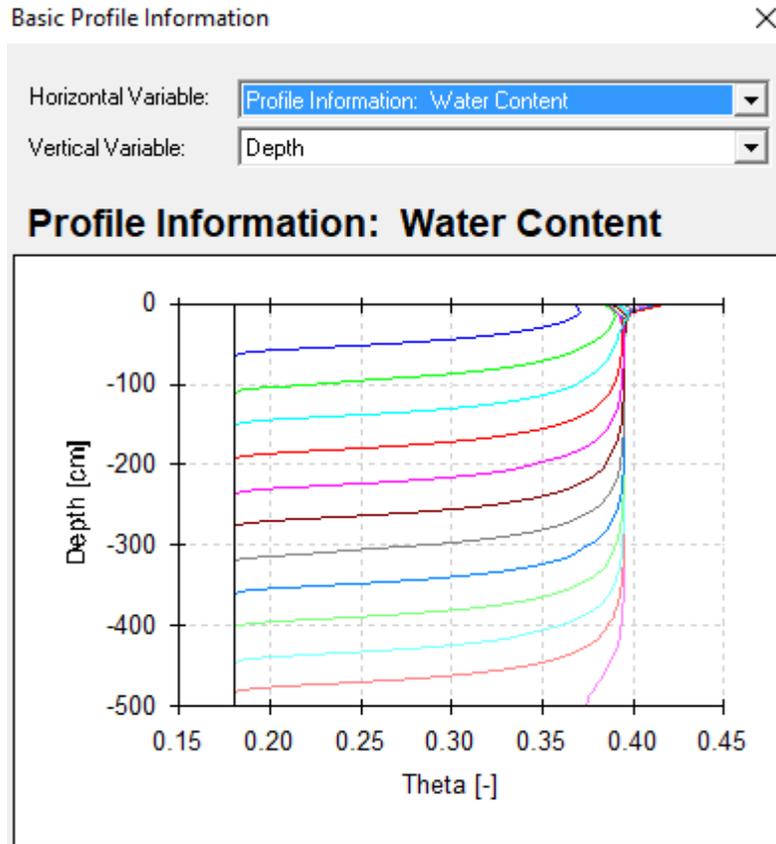
MES	UNIDAD DE SUELO		
	MMc	MMe	MMh
1	0.000%	0.000%	0.000%

MES	UNIDAD DE SUELO		
	MMc	MMe	MMh
2	0.000%	0.000%	0.000%
3	0.000%	0.000%	0.001%
4	0.000%	0.000%	0.001%
5	0.001%	0.001%	0.001%
6	0.001%	0.001%	0.001%
7	0.002%	0.002%	0.001%
8	0.002%	0.002%	0.000%
9	0.003%	0.002%	0.000%
10	0.003%	0.002%	0.001%
11	0.003%	0.002%	0.001%
12	0.003%	0.001%	0.001%

Fuente: INCITEMA – UPTC, 2020

A continuación, se verificó el avance del frente húmedo de los vertimientos la capacidad del medio de recibir el vertimiento.

La unidad de suelo MMc ante un año de vertimiento diario con un caudal de 1.8 l/s durante 4 horas al día presentó el avance del frente húmedo como se ve en la **Figura 7-48**. El avance del frente húmedo del vertimiento viaja de tal manera que al finalizar el primer mes de vertimiento el frente húmedo no ha llegado a 1 m de profundidad. Al revisar los tres primeros meses el avance es aproximado a 1.5 m, mientras que a los seis meses llegaría hasta cerca de 2.7 m de profundidad. Duraciones mayores que seis meses están previstas únicamente para las pruebas extensas de producción, en este caso se ve para nueve meses un avance a 4 m de profundidad y a 12 meses se superan los 5 m de profundidad. Con estos resultados se tiene un escenario favorable en términos de flujo de agua y transporte de solutos para el vertimiento a suelo en la unidad MMc.



**Figura 7-48 Avance del frente húmedo del vertimiento en la unidad MMc calculado en HYDRUS 1D**

*Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019*

La unidad de suelo MMe ante un año de vertimiento diario con un caudal de 1.8 l/s durante 4 horas al día presentó el avance del frente húmedo como se ve en la Figura 7-49. El avance del frente húmedo del vertimiento viaja de tal manera que al finalizar el primer mes de vertimiento el frente húmedo no ha llegado a 1 m de profundidad. Al revisar los tres primeros meses el avance es aproximado a 1.9 m, mientras que a los seis meses llegaría hasta cerca de 3.4 m de profundidad. Duraciones mayores que seis meses están previstas únicamente para las pruebas extensas de producción, en este caso se ve para nueve meses un avance a 4.8 m de profundidad y a 12 meses se superan los 5 m de profundidad. Con estos resultados se tiene un escenario favorable en términos de flujo de agua y transporte de solutos para el vertimiento a suelo en la unidad MMe.

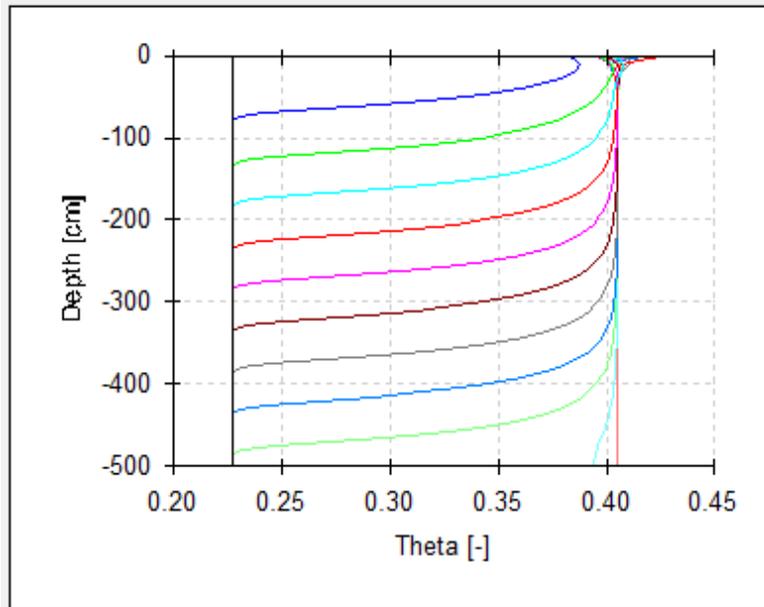
Basic Profile Information



Horizontal Variable:

Vertical Variable:

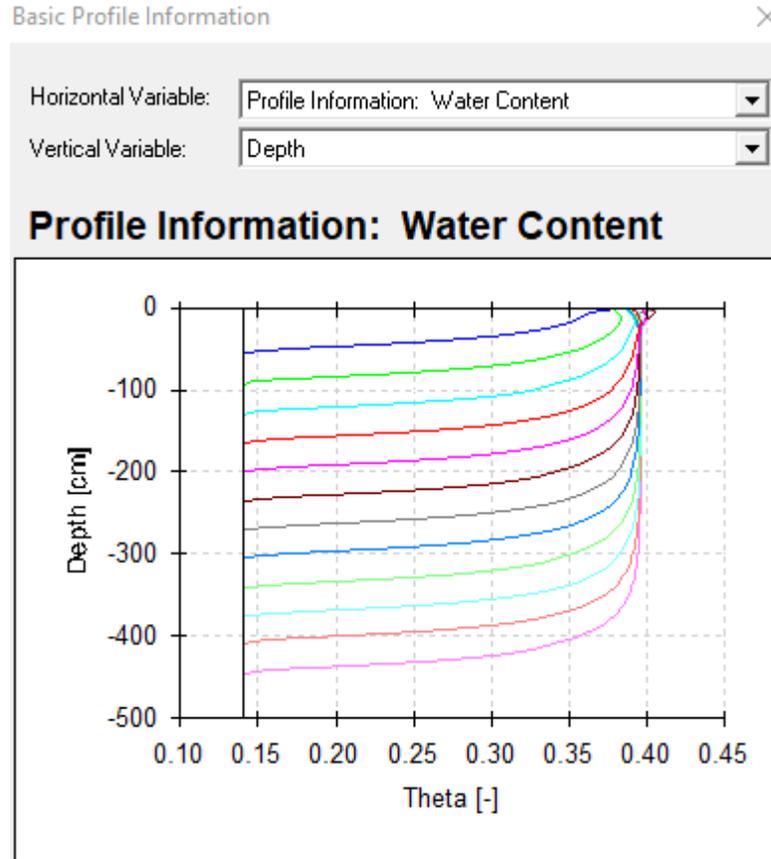
**Profile Information: Water Content**



**Figura 7-49 Avance del frente húmedo del vertimiento en la unidad MMe calculado en HYDRUS 1D**

*Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019*

La unidad de suelo MMh ante un año de vertimiento diario con un caudal de 1.8 l/s durante 4 horas al día presentó el avance del frente húmedo como se ve en la **Figura 7-50**. El avance del frente húmedo del vertimiento viaja de tal manera que al finalizar el primer mes de vertimiento el frente húmedo no ha llegado a 1 m de profundidad. Al revisar los tres primeros meses el avance es aproximado a 1.3 m, mientras que a los seis meses llegaría hasta cerca de 2.4 m de profundidad. Duraciones mayores que seis meses están previstas únicamente para las pruebas extensas de producción, en este caso se ve para nueve meses un avance a 3.5 m de profundidad y a 12 meses se tendrían 4.5 m de profundidad. Con estos resultados se tiene un escenario favorable en términos de flujo de agua y transporte de solutos para el vertimiento a suelo en la unidad MMh.



**Figura 7-50 Avance del frente húmedo del vertimiento en la unidad MMh calculado en HYDRUS 1D**

*Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019*

Los modelos matemáticos fuente se presentan en el [Anexo Modelos HYDRUS 1 D. del Capítulo 7](#)

#### 7.3.4 Plan De Gestión De Manejo Del Riesgo De Vertimientos

El Plan de Gestión de Riesgos para Manejo de Vertimientos (PGRMV), se realizó siguiendo los lineamientos establecidos en el artículo 44 del decreto 3930 de 2010. Este tiene como objetivo la ejecución de las medidas de intervención orientadas a evitar, reducir y/o manejar la descarga de vertimientos a cuerpos de agua o suelos asociados a acuíferos en situaciones que limiten o impidan el tratamiento del vertimiento.

Este Plan también se enmarca en los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres de acuerdo con lo establecido en la Ley 1523 de 2012.

##### 7.3.4.1 Generalidades

De acuerdo con las actividades que se realizan en el Área de Perforación Exploratoria COR 15, se pueden generar situaciones de emergencia de tipo antrópicas provocadas por el hombre como incendios, explosiones y/o llamaradas, derrames de crudo, contaminación de acuíferos, contaminación de suelos y cuerpos de agua, atentado terrorista, fallas estructurales y de acuerdo con su ubicación geográfica se suman también fenómenos naturales como movimientos sísmicos, inundaciones, deslizamientos, que en algún momento dado, además de causar en la mayoría

casos traumáticos de orden económico y afectar la actividad que MAUREL & PROM COLOMBIA B.V., adelanta, pueden afectar en una forma súbita y significativa el estado y condiciones de salud de las personas expuestas, traumatismos en el proceso normal de la actividad y generar pérdidas en la producción.

Si se agrega la falta de recursos organizativos, técnicos y operativos para enfrentar adecuadamente las emergencias, es recomendable elaborar, implementar y practicar un plan de prevención y control de emergencias.

La prevención de las mismas, es una de las acciones importantes de soporte al programa de Salud y Seguridad en el Trabajo de la empresa. Ello requiere la cooperación, el compromiso y el apoyo decidido de todos los niveles de la Entidad.

Para ello se ha desarrollado este plan de respuesta a emergencias, que busca proveer los procedimientos para actuar rápida y efectivamente ante estos eventos, minimizando sus efectos. Dado que se requiere actuar con prontitud, estos planes se han diseñado lo más resumidos y directos posibles, para facilitar su manejo y comprensión.

#### 7.3.4.2 Plan Estratégico

##### ➤ **Objetivo General**

Disponer de una estructura de respuesta a cualquier emergencia, que se pueda presentar en el Área de Perforación Exploratoria COR 15, que permita propender por la seguridad técnica y operacional del Sistema de Gestión del Vertimiento para evitar a la afectación de las condiciones ambientales y sociales del área de influencia, ante la ocurrencia de una descarga en condiciones que impidan o limiten el cumplimiento de la norma de vertimientos.

##### ➤ **Objetivos Específicos**

- Identificar, evaluar y priorizar los riesgos del Sistema de Gestión del Vertimiento hacia el medio y del medio hacia el sistema, que generen situaciones que limiten o impidan el tratamiento del vertimiento y las condiciones técnicas de descarga, ocasionadas por fallas del funcionamiento del sistema o por condiciones del medio.
- Definir e implementar acciones de prevención y reducción de los riesgos identificados en los procesos desarrollados en el APE COR 15 que pueden afectar las condiciones ambientales y socioeconómicas del área de influencia del sistema de Gestión de vertimiento.
- Definir acciones y procedimientos en el proceso de Manejo del Desastre para las posibles contingencias identificadas y evaluadas, con base en la priorización de riesgos.
- Definir lineamientos de recuperación de las zonas afectadas por contingencias, generadas por la ocurrencia de una situación que limite o impida el tratamiento del vertimiento en condiciones técnicas de descarga, ocasionadas por fallas en el funcionamiento del sistema o por condiciones del medio.

##### ➤ **Alcances**

El presente Plan comprende la descripción del Sistema de Gestión de Vertimiento en el Área de Perforación Exploratoria COR 15, dando cobertura a todos los lugares donde se realizará el vertimiento de aguas residuales, así como a todo el personal que labora en el proyecto. Este también contiene el análisis y la priorización de los riesgos que puede generar proceso de

vertimientos o disposición de las aguas residuales domésticas e industriales del proceso de perforación exploratoria y de pruebas de producción, así como los riesgos originados en el medio que pueden afectar la operación y el funcionamiento del sistema, y las acciones de reducción del riesgo y manejo del desastre para los riesgos identificados y priorizados, con el fin de evitar posibles potenciales afectaciones a la salud de la comunidad y controlar las posibles afectaciones en la calidad del medio receptor.

El esquema de este plan aplica para toda la operación y para cualquier eventualidad que genere riesgo de acuerdo a la identificación de amenazas o cualquier otro de la misma índole que no se halla contemplado, a las condiciones ambientales y sociales generadas por la ocurrencia de un vertimiento sin tratamiento o en condiciones limitadas de tratamiento. Se aplicará puntualmente, en el área de influencia única definida de acuerdo con la valoración posible afectación ante la ocurrencia de una contingencia que impida la correcta operación del sistema.

#### ➤ **Localización del Sistema de Gestión del Vertimiento**

El área de influencia directa del sistema de Gestión del vertimiento corresponde la extensión de terreno sobre el cual se generan los efectos directos del vertimiento directo de aguas residuales tratadas, así como el medio donde se pueden generar riesgos que puedan afectar la operación y funcionamiento del sistema.

Esta localización será precisada en cada plan de manejo ambiental específico para cada pozo a perforar, para las facilidades tempranas de producción y para las estaciones de recibo.

#### 7.3.4.3 Conocimiento del Riesgo

#### ➤ **Actividades que implican riesgo**

Para efecto del procedimiento a seguir para el Sistema de Gestión de Vertimientos se identificaron las siguientes actividades que poseen un riesgo potencial durante las actividades de captación, operaciones del tratamiento de aguas residuales, y las labores propias del vertimiento sobre cuerpos de agua superficial, aspersión sobre suelo, riego sobre vías sin pavimentar y entrega a terceros.

- *Actividades durante la etapa de Captación*

Las actividades que implican riesgo dentro de los procesos de captación de aguas superficiales son las siguientes:

- Movilización de carrotanque y entrega del agua de captación a tanques de almacenamiento.
- Actividades durante el tratamiento de aguas residuales.

Las actividades que implican riesgo dentro de los procesos de operación del tratamiento de aguas residuales son las siguientes:

- Recepción y tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAR
- Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas
- Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.
- Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.
- Tratamiento de aguas de formación

- *Actividades durante el almacenamiento de aguas residuales*

Las actividades que implican riesgo dentro de los procesos de almacenamiento de aguas residuales tratadas a los tanques para dicho fin son los siguientes:

- Conducción de las aguas grises y negras previamente tratadas mediante tubería PVC hacia las piscinas de tratamiento o frack tanks para disposición de agua para vertimiento en riego en vías, campo de infiltración o aspersión.
  - Conducción de aguas de las pruebas hidrostáticas previamente tratadas para la reutilización en piscina de cortes.
  - Almacenamiento de aguas de formación previamente tratadas en tanques de almacenamiento para infiltración o disposición con terceros.
  - Almacenamiento de aguas negras para disposición a terceros autorizados.
- *Actividades durante el vertimiento*

Las actividades que implican riesgo dentro de los procesos de vertimiento son las siguientes:

- Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento.
- Conducción y vertimiento de aguas tratadas a cuerpos de agua por medio de carro tanques.
- Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.
- Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.
- Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en las zonas de aspersión.

#### ➤ **Amenazas identificadas**

Durante las actividades mencionadas anteriormente, se pueden presentar eventos de diversa índole que afectan su normal desempeño y en especial el medio ambiente del área de influencia del proyecto, los cuales se clasifican en amenazas exógenas, endógenas y socioculturales y de orden público.

- *Amenazas Exógenas*

Una amenaza natural está asociada a aspectos geológicos (amenaza sísmica), aspectos geomorfológicos (remoción en masa), hidrológicos (inundaciones, avalanchas), climáticos (tormentas eléctricas), geotécnicos (soliflucción y reptaciones). Las amenazas naturales presentes en el área de influencia del proyecto en el el APE COR 15 son:

- **Sismos:** La amenaza sísmica se define como la probabilidad de que un parámetro como la aceleración, la velocidad o el desplazamiento del terreno producido por un sismo, supere o iguale un nivel de referencia. Un sismo se presenta por el movimiento o desplazamiento de la corteza terrestre causada por fallas geológicas activas, la acomodación de placas tectónicas, y la acumulación de energía por el movimiento relativo de las mismas. Los rangos de aceleraciones mostradas por el mapa de Amenaza sísmica para Colombia, los valores de Aa para el área de estudio oscilan entre 0,2 – 0,35 g, que corresponde a una Zona de Amenaza Sísmica Alta.
- **Deslizamientos:** A efectos de este análisis se consideran riesgos por deslizamientos al movimiento de masas de tierra o roca por una pendiente, en forma súbita o lenta y debido a factores exógenos tales como altas precipitaciones, por actividad sísmica de la tierra, por

presencia de fracturas, grietas o fallas. Los deslizamientos se clasifican según las características de la masa deslizada, la geometría de la superficie de la falla, el contenido de humedad y la velocidad del movimiento, en:

- Procesos erosivos (laminar, surcos o cárcavas).
  - Caídas: o movimientos de materiales (suelo y rocas) a través del aire y en forma rápida sin dar tiempo a eludirlas.
  - Volcamiento: que consiste en el giro hacia delante de una o varias rocas ya sea por acción de la gravedad o presión ejercida por el agua.
  - Deslizamientos: movimiento de suelos generalmente por acción de una falla o debilidad del terreno que se puede presentar en forma Rotacional (hundimientos o desplazamientos de suelos o rocas blandas a lo largo de una depresión del terreno); Traslacional (movimientos de capas delgadas de suelo o rocas fracturadas a lo largo de superficies con poca inclinación).
  - Flujos de tierra: o movimientos lentos de materiales blandos, que frecuentemente arrastran parte de la capa vegetal.
  - Flujos de lodo: se forman en momentos en que la tierra y la vegetación son debilitados considerablemente por el agua, alcanzando gran fuerza cuando la intensidad de las lluvias es alta y su duración larga.
  - Reptación: deformación que sufre la masa de suelo o roca como consecuencia de movimientos muy lentos por acción de la gravedad. Se suelen presentar colateralmente al evento, la inclinación de árboles y postes, el tensionamiento de las raíces de los árboles, la aparición de grietas, el corrimiento de carreteras, etc.
- **Amenaza por inundación:** La amenaza por inundación está determinada por la dinámica natural de procesos hidrometeorológicos los cuales generan cambios en las condiciones hidrodinámicas de las corrientes superficiales y subterráneas. De acuerdo con el IDEAM, el Área de Perforación Exploratoria COR 15 se encuentra dentro de categoría de amenaza baja por inundación. Las unidades identificadas como susceptibles a inundación se encuentran localizadas en relieve de terrazas, vegas, planos de inundación e inundables en paisajes de valle aluvial, es decir prácticamente en inmediaciones del río Chicamocha.
  - **Amenaza por tormentas eléctricas:** Se presentan por la formación de las cargas eléctricas en una nube cuando se encuentran zonas de cargas positivas y negativas dentro de ésta. Las condiciones indispensables para el desarrollo de una tormenta son la existencia de aire cálido y húmedo en las capas inferiores de la atmósfera, combinado con aire frío y denso en los niveles superiores.
  - **Atentados a la Infraestructura y personal:** La presencia de grupos armados al margen de la ley constituye un riesgo para el desarrollo de la industria petrolera. La infraestructura petrolera se ha convertido en objetivo de las acciones subversivas que ocasionan atentados contra las actividades desarrolladas por las compañías petroleras, ocasionando grave deterioro de aguas, suelos y ecosistemas, contaminación ambiental y pérdidas económicas. No obstante, para la zona en particular del APE COR-15 esta amenaza es mínima.
  - **Procesos de remoción en masa y erosión hídrica:** El área de influencia del APE COR 15 presenta fenómenos de remoción en masa puntuales que causan problemas de inestabilidad del terreno. Se presentan fenómenos de remoción en masa, en especial deslizamientos, caída de bloques, reptación y erosión hídrica, asociado a las vías de acceso particularmente en la época invernal. Se presenta erosión diferencial y socavamiento causado por corrientes de agua, que afectan algunos niveles rocosos de las formaciones causando desprendimientos eventuales de tierra.

### ➤ Amenazas Endógenas

Son amenazas generadas por el uso de diferentes equipos, energías e insumos, así como los procesos que pueden generar condiciones de riesgo, partiendo de la información técnica, registros de mantenimiento, tiempo de operación e información sobre incidentes ocurridos. Las amenazas operativas identificadas son:

- Incendios: Un incendio se define como un fuego sobre el cual se ha perdido el control. Los incendios se clasifican en:
  - Conato o amago: para incendios incipientes.
  - Declarado: para fuegos en pleno desarrollo.

Dentro del APE COR 15, se pueden presentar en el área de almacenamiento de combustibles o boca de pozo; las actividades del proyecto asociadas al transporte por carrotaque y líneas de flujo de crudo o combustibles, también se encuentran expuestas a la ocurrencia de incendios, debido a la presencia de materiales inflamables y chispas. Las posibles causas de estos incendios incluyen: derrames de hidrocarburos en contacto con fuentes de ignición, incendio en equipos de funcionamiento e incendios ordinarios por fallas eléctricas, chispas durante trabajos en caliente, golpe o fricción entre metales, incendios forestales y sabotajes.

- Incendios forestales: Son un escenario remoto pero probable y factor de riesgo para el proyecto. Se pueden presentar en las épocas de verano, deben considerarse y manejarse en el evento que se presenten según sean: Superficiales (fuego en tierra, donde el fuego por lo general consume hojarasca y vegetación de los estratos bajos al ser arrastrados por el área a merced de los vientos); o si son Incendios de copa o dosel (donde los fuegos se propagan a través de las copas de los árboles, consumiendo gran parte de la porción aérea de las plantas leñosas, pero dejando frecuentemente intactos muchos de los troncos y la parte baja del bosque).
- Explosión y/o Llamada: La explosión es una combustión súbita y violenta, con altos niveles de presión. La principal causa de explosión está dada por: Presión de vapores con fuentes de ignición; Vaporización instantánea de líquidos.
- Derrame de Crudo: Un derrame de petróleo es un vertido que se produce debido a un accidente o práctica inadecuada que contamina el medio ambiente y especialmente los cuerpos de agua con productos petroleros. Estos derrames afectan la vegetación y la fauna de la zona contaminada. Puede controlarse por medio de la dispersión química, la combustión, contención mecánica y adsorción.
- Incidentes y accidentes con equipo, maquinaria o herramienta: Son aquellos siniestros que se producen durante las actividades de manipulación de objetos, de materiales contaminantes, nocivos o peligrosos, manipulación y almacenamiento de químicos, combustibles, maquinaria y equipos, durante el manejo y mantenimiento de equipos como taladros, durante desplazamiento del personal, entre otros. Los incidentes y accidentes están relacionados principalmente con los trabajos en altura (más de 1.80 metros), la manipulación de cargas, equipos y material nocivo para la salud. Su principal causa son los errores humanos, incluida la falta de cuidado del operador y la deficiencia en la aplicación de las medidas de seguridad industrial dentro y fuera de las áreas de perforación.
- Escapes o fugas de Gas: las causas para incidentes o accidentes en operación de gasoductos o tuberías de gas natural serían: corrosión (externa o interna), daños por

excavación en zonas de paso del ducto (operador o por terceros), falla de materiales (rotura de una línea afectada anteriormente, vandalismo, falla en el cuerpo de la tubería, falla en los componentes de la tubería tales como juntas, roscas, soldaduras, uniones, etc., y/o fallas en sellos o empaquetaduras de bombas), daños por acción de fuerzas naturales (movimientos intensos de tierra como sismos o terremotos, impacto por descarga eléctrica de rayos, lluvias intensas o inundaciones, cambios intensos de temperatura), errores humanos (fuego o explosiones, daños causados por otros equipos ajenos a excavaciones como impactos por carros o camiones u operación incorrecta de los sistemas de control).

- Fugas y filtraciones: Una fuga puede presentarse en cualquiera de las etapas de operación de las plantas de tratamiento a utilizar para aguas residuales y en las líneas de flujo a instalar para la conducción de agua y crudo, a causa de rotura en la soldadura entre partes, desgaste de materiales, entre otras.
- Fallas en los sistemas de medición de flujo, presión y temperatura: Una vez montados todos los equipos para el tratamiento de aguas residuales y el montaje de las líneas de flujo para cada fin, se deben identificar, controlar y calibrar los equipos utilizados para inspeccionar, probar o examinar material o equipo a los intervalos especificados en las instrucciones del fabricante, con el fin de monitorear los dispositivos de medición de presión como manómetros, transductores de presión y válvulas, evitar fluctuaciones de temperatura, entre otras, los cuales pueden generar fallas en el sistema operativo y por consiguiente la interrupción del sistema.
- Contaminación de zonas de recarga: Los acuíferos se contaminan desde la superficie. El agua que se infiltra lixivia las sustancias depositadas en superficie, o de las lluvias llevándolos hasta alcanzar el nivel freático. También por la filtración de sustancias almacenadas bajo tierra, o disolución de ellas por el agua subterránea. Por la mayoría de estas vías, los contaminantes alcanzan la superficie freática, y posteriormente se difunden en el acuífero, siendo transportado por el flujo subterráneo.
- Contaminación de suelos y cuerpos de agua: La contaminación del suelo ocurre por la presencia de residuos sólidos o líquidos introducidos por el hombre u otra alteración al ambiente natural del suelo. El riesgo de la contaminación es sobre la salud y los ecosistemas contaminados, de forma directa y al entrar en contacto con fuentes de agua potable.

Se entiende por contaminación del medio hídrico la alteración y/o condiciones naturales de un cuerpo de agua que impliquen una afectación perjudicial de su calidad en relación a los usos posteriores o sus servicios ambientales.

#### ➤ **Amenazas por condiciones socio-culturales y de orden público**

Este tipo de amenazas pueden darse por problemas de orden público, representadas por la presencia de grupos al margen de la ley y por la manifestación de acciones tales como secuestro de personal, amenazas, bloqueos y atentados, afectando el funcionamiento del sistema y generar impactos ambientales y sociales.

- *Atentados a la Infraestructura y personal: La presencia de grupos armados al margen de la ley constituye un riesgo para el desarrollo de la industria petrolera. La infraestructura petrolera se ha convertido en objetivo de las acciones subversivas que ocasionan atentados contra las actividades desarrolladas por las compañías petroleras, ocasionando grave deterioro de aguas, suelos y ecosistemas, contaminación ambiental y pérdidas económicas.*

- *Bloqueos por parte de las comunidades: Los bloqueos o marchas que impidan el desarrollo del proyecto, impedirían el paso de carro tanques a sus lugares de destino, o a los contratistas para el manejo y disposición de aguas residuales. Con esto, también se limitaría los mecanismos de control en líneas de flujo.*

En la **Tabla 7-41** se relacionan las posibles causas de la generación de diferentes tipos de eventos amenazantes, cuya identificación resulta fundamental para proponer acciones de gestión preventiva y de planificación-acción frente al riesgo.

**Tabla 7-41 Posibles Causas de los Eventos Amenazantes**

TIPO RIESGO	ORIGEN	EVENTO AMENAZANTE	POSIBLES CAUSAS		
NATURAL	Exógeno	Inundación	- Deficiencias en el mantenimiento de obras hidráulicas - Precipitaciones muy fuertes - Anegamiento, obras insuficientes para manejo de agua superficiales		
		Sismo	- Causas naturales		
		Tormenta eléctrica	- Causas naturales		
		Deslizamientos	- Causas naturales		
		Incendio	- Causas naturales		
		Ataque de animales, virus, bacterias	- Encuentro accidental con animales peligrosos - Propagación de enfermedades virósicas y de bacterias en el área		
		Atentados a infraestructura y personal	- Situación de orden público		
ANTRÓPICO	Endógeno	Accidente de tránsito	- Exceso de velocidad en vehículos. - Falta de mantenimiento en vehículos. - Procedimientos inadecuados - Utilización de vehículos inadecuados, defectuosos o en mal estado.		
		Accidente con equipo, maquinaria o herramienta	- Distribución incorrecta de cargas en equipos de transporte. - Falta de capacitación del personal - Falta de mantenimiento en equipos, maquinaria o herramienta - Personal no apto para manipulación de equipos y realización de tareas específicas. - Procedimientos inadecuados - Sobreesfuerzo en equipos, maquinaria o herramienta - Utilización de equipos, herramientas o maquinarias inadecuadas, defectuosas o en mal estado.		
		Accidentes en cuerpos de agua	- Desatención o ausencias de medidas preventivas - Procedimientos inadecuados - Falta de mantenimiento de los equipos - Mal estado físico o mental del personal (por enfermedad, alcohólicismo, alucinamiento). - Competencias deficientes del personal - Condiciones inseguras en puentes y en sitios de cruce de drenajes		
		Descargas Eléctricas	- Conexiones deficientes - Conexiones sin aislar en equipos - Corte de líneas eléctricas y contacto accidental. - Falta de polo a tierra en los equipos - Mal aislamiento de herramientas o equipos (pulidoras, moto-soldadores, etc.). - Presencia de cargas estáticas - Procedimientos inadecuados - Sobrecarga del sistema eléctrico		
		ANTRÓPICO	Endógeno	Derrame o escape de sustancias (líquidas o de gases)	- Accidentes, daños, deterioro, que provoquen la rotura total o parcial de los equipos. - Daños a los accesorios o equipos, propiciados por terceros - Deterioro de equipos, instrumentos o accesorios. - Diseños deficientes

TIPO RIESGO	ORIGEN	EVENTO AMENAZANTE	POSIBLES CAUSAS
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Errores en la medición y en el registro de presiones durante la operación de los equipos.</li> <li>- Fallas en el sistema y accesorios de medición, seguridad o respaldo.</li> <li>- Fallas en los sistemas de seguridad y de contingencia</li> <li>- Fuga en válvulas y accesorios.</li> </ul>
		Incendio instalaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- atentados terroristas</li> <li>- Chispas u otras fuentes de ignición, en contacto con sustancias combustibles</li> <li>- Cortocircuito en las instalaciones y conexiones eléctricas</li> <li>- Fuente de ignición dentro de equipos con sustancias combustibles en su interior</li> <li>- Procedimientos inadecuados</li> <li>- Reacción química de productos insumos</li> <li>- Temperaturas elevadas dentro de equipos con sustancias combustibles en su interior</li> </ul>
		Explosión o llamarada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- atentados terroristas</li> <li>- Chispa, fuente de calor o de ignición en presencia de atmósferas explosivas</li> <li>- Formación de atmósferas explosivas y contacto con una fuente de ignición</li> <li>- Fuente de ignición en el interior de equipos con sustancias inflamables</li> <li>- Procedimientos inadecuados</li> <li>- Reacción química de productos insumos</li> <li>- Sobrepresión de equipos</li> <li>- Temperaturas elevadas en el interior de equipos con sustancias inflamables</li> </ul>
		Contaminación de acuíferos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Filtración de sustancias almacenadas bajo tierra, o disolución de ellas por el agua subterránea</li> <li>- Actividades de perforación</li> </ul>
		Contaminación de suelos y cuerpos de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ocurre por la presencia de residuos sólidos o líquidos introducidos por el hombre u otra alteración al ambiente natural del suelo.</li> </ul>

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

#### 7.3.4.3.1 Consolidación de los Escenarios de Riesgo

Un escenario de riesgo corresponde a un análisis, utilizando técnicas cuantitativas y cualitativas, de las dimensiones de riesgo que afecte o pueda afectar al sistema de Gestión del Vertimiento. Ver **Tabla 7-42**.

**Tabla 7-42 Consolidación de los Escenarios de Riesgo**

ORIGEN DEL EVENTO	AMENAZAS												
	EXÓGENAS				ENDÓGENAS						SOCIOCULTURAL / ORDEN PÚBLICO		
LOCALIZACIÓN/ETAPAS DEL PROYECTO	SISMOS	INUNDACIONES	TORMENTAS ELÉCTRICAS	SOCAVACIÓN EN MARGENES DE RIOS	INCENDIO	EXPLOSIÓN Y/O LLAMARADA	DERRAME DE CRUDO	FUGAS Y FILTRACIONES	FALLAS EN SISTEMAS DE MEDICIÓN DE FLUJO, PRESIÓN Y TEMPERATURA	CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS	CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y CUERPOS DE AGUA	ATENTADOS A LA INFRAESTRUCTURA Y PERSONAL	BLOQUEOS POR PARTE DE LAS COMUNIDADES
	<b>DURANTE LA CAPTACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL</b>												
Movilización de carrotaque y entrega	SI S-1	IN -1	TE-1		IN C-1	EXP -1		FL-1	FPT-1		CSA-1	AIP-1	B-1

ORIGEN DEL EVENTO	AMENAZAS												
	EXÓGENAS				ENDÓGENAS						SOCIOCULTURAL / ORDEN PÚBLICO		
LOCALIZACIÓN/ETAPAS DEL PROYECTO	SISMOS	INUNDACIONES	TORMENTAS ELÉCTRICAS	SOCAVACIÓN EN MARGENES DE RÍOS	INCENDIO	EXPLOSIÓN Y/O LLAMARADA	DERRAME DE CRUDO	FUGAS Y FILTRACIONES	FALLAS EN SISTEMAS DE MEDICIÓN DE FLUJO, PRESIÓN Y TEMPERATURA	CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS	CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y CUERPOS DE AGUA	ATENIDOS A LA INFRAESTRUCTURA Y PERSONAL	BLOQUEOS POR PARTE DE LAS COMUNIDADES
de agua de captación a tanques de almacenamiento													
<b>DURANTE EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</b>													
Recepción y tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP		IN - 2	TE-2		IN C-2	EXP -2		FL-2	FPT-2			AIP-2	B-2
Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas	SIS -2	IN - 3	TE-3			EXP -3		FL-3	FPT-3		CSA-2	AIP-3	
Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.	SIS -3	IN - 4	TE-4		IN C-3	EXP -4		FL-4	FPT-4	AC-1		AIP-4	
Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	SIS -4	IN - 5	TE-5		IN C-4	EXP -5	DC -1	FL-5	FPT-5		CSA-3	AIP-5	
Tratamiento de aguas de formación	SIS -5	IN - 6	TE-6		IN C-5	EXP -6	DC -2	FL-6	FPT-6		CSA-4	AIP-6	
<b>DURANTE EL ALMACENAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</b>													
Conducción de las aguas grises y negras previamente tratadas mediante tubería PVC a piscina de tratamiento.	SIS -6	IN - 7			IN C-6			FL-7	FPT-7			AIP-7	
Almacenamiento de aguas de formación previamente tratadas en tanques de almacenamiento.	SIS -7	IN - 8	TE-7		IN C-7	EXP -7		FL-8	FPT-8			AIP-8	
Almacenamiento de aguas negras para disposición a terceros autorizados.	SIS -8	IN - 9				EXP -8		FL-9	FPT-9			AIP-9	
<b>DURANTE EL VERTIMIENTO</b>													
Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	SIS -9	IN - 10	TE-8	SO C-1	IN C-8	EXP -9		FL-10	FPT-10	AC-2	CSA-5	AIP-10	B-3
Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	SIS -11	IN - 12	TE-10	SO C-3	IN C-10	EXP -11		FL-12	FPT-12		CSA-7	AIP-12	
Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	SIS -13	IN - 14	TE-12		IN C-12	EXP -13		FL-14	FPT-14		CSA-9	AIP-14	B-5

ORIGEN DEL EVENTO	AMENAZAS												
	EXÓGENAS				ENDÓGENAS							SOCIOCULTURAL / ORDEN PÚBLICO	
LOCALIZACIÓN/ETA PAS DEL PROYECTO	SISMOS	INUNDACIONES	TORMENTAS ELÉCTRICAS	SOCAVACIÓN EN MARGENES DE RÍOS	INCENDIO	EXPLOSIÓN Y/O LLAMARADA	DERRAME DE CRUDO	FUGAS Y FILTRACIONES	FALLAS EN SISTEMAS DE MEDICIÓN DE FLUJO, PRESIÓN Y TEMPERATURA	CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS	CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y CUERPOS DE AGUA	ATENIDOS A LA INFRAESTRUCTURA Y PERSONAL	BLOQUEOS POR PARTE DE LAS COMUNIDADES
Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en las zonas de aspersión.	SIS-14	IN-15	TE-13		INC-13	EXP-14		FL-15	FPT-15	AC-4	CSA-10	AIP-15	

### ➤ Probabilidad de riesgo

Dentro del análisis se debe cuantificar la probabilidad de la ocurrencia de los eventos de acuerdo con el riesgo de cada uno de estos. Por lo tanto, la probabilidad de ocurrencia se define asignando a cada clase un puntaje numérico. Ver **Tabla 7-43**.

**Tabla 7-43 Probabilidad del Riesgo**

PROBABILIDAD	DEFINICIÓN	OCURRENCIA CASOS	PUNTOS
Frecuente	Posibilidad de ocurrencia alta. Sucede en forma reiterada.	1 al mes	6
Moderado	Posibilidad de ocurrencia media. Sucede algunas veces.	1 entre 6 y 12 meses	5
Ocasional	Posibilidad de ocurrencia limitada. Sucede pocas veces.	1 entre 1 a 5 años	4
Remoto	Posibilidad de ocurrencia baja. Sucede en forma esporádica.	1 entre 6 a 10 años	3
Improbable	Posibilidad de ocurrencia muy baja. Sucede en forma excepcional.	1 entre 11 a 19 años	2
Imposible	De difícil posibilidad de ocurrencia. No ha sucedido hasta ahora.	1 en 20 años o más	1

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

Con base en los anteriores criterios en la **Tabla 7-44**, se presentan los cálculos de frecuencia de ocurrencia de eventos amenazantes de acuerdo con los escenarios definidos para el APE COR 15, los cuales están asociados a las actividades principales del proyecto.

**Tabla 7-44 Probabilidad (Frecuencia Ocurrencia) de Riesgos para Escenarios Definidos**

AMENAZA	ESCENARIO	CÓDIGO	FRECUENCIA	
			CARACTER	VALOR
SISMO	Movilización de carrotanque y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	SIS-1	Imposible	1
	Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas	SIS-2	Imposible	1
	Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y	SIS-3	Imposible	1

AMENAZA	ESCENARIO	CÓDIGO	FRECUENCIA		
			CARACTER	VALOR	
	tanques sépticos.				
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	SIS-4	Imposible	1	
	Tratamiento de aguas de formación	SIS-5	Imposible	1	
	Conducción de las aguas grises y negras previamente tratadas mediante tubería PVC a piscina de tratamiento	SIS-6	Imposible	1	
	Almacenamiento de aguas de formación previamente tratadas en tanques de almacenamiento en pozos.	SIS-7	Imposible	1	
	Almacenamiento de aguas negras para disposición a terceros autorizados.	SIS-8	Imposible	1	
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	SIS-9	Imposible	1	
	Vertimiento de aguas tratadas en pozos inyectoros.	SIS-10	Imposible	1	
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	SIS-11	Imposible	1	
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en los ZODAR.	SIS-12	Imposible	1	
	INUNDACIÓN	Movilización de carrotanque y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	IN-1	Remoto	3
		Recepción y tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP	IN -2	Remoto	3
Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas		IN -3	Remoto	3	
Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.		IN -4	Remoto	3	
Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.		IN -5	Remoto	3	
Tratamiento de aguas de formación		IN -6	Remoto	3	
Conducción de las aguas grises y negras previamente tratadas mediante tubería PVC a piscina de tratamiento.		IN -7	Remoto	3	
Almacenamiento de aguas negras para disposición a terceros autorizados.		IN -8 9	Remoto	3	
Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento		IN - 9	Remoto	3	
Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.		IN -10	Remoto	3	
Inundación durante el riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.		IN -12	Remoto	3	
Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en las zonas de aspersión.		IN -13	Remoto	3	
TORMENTAS ELÉCTRICAS		Movilización de carrotanque y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	TE-1	Ocasional	4
	Recepción y tratamiento de aguas	TE-2	Ocasional	4	

AMENAZA	ESCENARIO	CÓDIGO	FRECUENCIA	
			CARACTER	VALOR
	provenientes de captación en PTAP			
	Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas	TE-3	Ocasional	4
	Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.	TE-4	Ocasional	4
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	TE-5	Ocasional	4
	Tratamiento de aguas de formación	TE-6	Ocasional	4
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	TE-7	Ocasional	4
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	TE-8	Ocasional	4
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de	TE-9	Ocasional	4
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	SOC-2	Improbable	2
INCENDIO	Movilización de carro tanque y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	INC-1	Remoto	3
	Recepción y tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP	INC-2	Improbable	2
	Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.	INC-3	Remoto	3
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	INC-4	Moderado	5
	Tratamiento de aguas de formación	INC-5	Moderado	5
	Conducción de las aguas grises y negras previamente tratadas mediante tubería PVC a piscina de tratamiento.	INC-6	Remoto	3
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	INC-7	Improbable	2
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	INC-8	Remoto	3
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en las zonas de aspersión.	INC-9	Improbable	3
EXPLOSIÓN	Movilización de carro tanque y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	EXP-1	Remoto	3
	Recepción y tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP	EXP-2	Remoto	3
	Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas	EXP-3	Imposible	1
	Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.	EXP-4	Improbable	2
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	EXP-5	Moderado	5
	Tratamiento de aguas de formación	EXP-6	Moderado	5

AMENAZA	ESCENARIO	CÓDIGO	FRECUENCIA	
			CARACTER	VALOR
	Almacenamiento de aguas negras para disposición a terceros autorizados.	EXP-8	Improbable	2
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	EXP-9	Remoto	3
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	EXP-10	Imposible	1
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión	EXP-11	Imposible	1
DERRAME DE CRUDO	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	DC-1	Improbable	2
	Tratamiento de aguas de formación.	DC-2	Improbable	2
FUGAS Y FILTRACIONES	Movilización de carro tanque y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	FL-1	Frecuente	6
FUGAS Y FILTRACIONES	Recepción y tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP	FL-2	Remoto	3
	Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas	FL-3	Remoto	3
	Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.	FL-4	Remoto	3
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	FL-5	Ocasional	4
	Tratamiento de aguas de formación	FL-6	Moderado	5
	Conducción de las aguas grises y negras previamente tratadas mediante tubería PVC a piscina de tratamiento.	FL-7	Improbable	2
	Almacenamiento de aguas negras para disposición a terceros autorizados.	FL-8	Remoto	
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	FL-9	Ocasional	4
	Vertimiento de aguas tratadas en pozos inyectores.	FL-10	Remoto	3
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	FL-11	Moderado	5
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en las zonas de aspersión.	FL-12	Moderado	5
	FALLAS EN SISTEMAS DE MEDICIÓN DE FLUJO, PRESIÓN Y TEMPERATURA	Movilización de carro tanque y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	FPT-1	Improbable
Recepción y tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP		FPT-2	Improbable	2
Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas.		FPT-3	Remoto	3
Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.		FPT-4	Remoto	3
Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.		FPT-5	Remoto	3
Tratamiento de aguas de formación.		FPT-6	Remoto	3

AMENAZA	ESCENARIO	CÓDIGO	FRECUENCIA	
			CARACTER	VALOR
	Conducción de las aguas grises y negras previamente tratadas mediante tubería PVC a piscina de tratamiento.	FPT-7	Improbable	2
	Almacenamiento de aguas negras para disposición a terceros autorizados.	FPT-9	Improbable	2
	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	FPT-10	Imposible	1
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	FPT-12	Ocasional	4
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	FPT-13	Remoto	3
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en las zonas de aspersión.	FPT-14	Remoto	3
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	AC-2	Improbable	2
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en las zonas de aspersión.	AC-3	Improbable	2
CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y CUERPOS DE AGUA	Movilización de carro tanque y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	CSA-1	Imposible	1
	Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas.	CSA-2	Improbable	2
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	CSA-3	Ocasional	4
	Tratamiento de aguas de formación	CSA-4	Remoto	3
	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	CSA-5	Remoto	3
	Conducción y vertimiento de aguas tratadas a cuerpos de agua por medio de carro tanques	CSA-6	Imposible	1
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	CSA-7	Remoto	3
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	CSA-8	Ocasional	4
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en las zonas de aspersión.	CSA-9	Ocasional	4
ATENTADOS A LA INFRAESTRUCTURA Y PERSONAL	Movilización de carro tanque y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	AIP-1	Remoto	3
	Recepción y tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP	AIP-2	Remoto	3
	Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas.	AIP-3	Remoto	3
	Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.	AIP-4	Remoto	3
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	AIP-5	Remoto	3
	Tratamiento de aguas de formación.	AIP-6	Remoto	3

AMENAZA	ESCENARIO	CÓDIGO	FRECUENCIA	
			CARACTER	VALOR
	Conducción de las aguas grises y negras previamente tratadas mediante tubería PVC a piscina de tratamiento.	AIP-7	Remoto	3
	Almacenamiento de aguas negras para disposición a terceros autorizados.	AIP-8	Remoto	3
	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	AIP-9	Remoto	3
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	AIP-10	Remoto	3
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	AIP-11	Remoto	3
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en las zonas de aspersión.	AIP-12	Remoto	3
BLOQUEOS POR PARTE DE LAS COMUNIDADES	Movilización de carrotanque y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	B-1	Ocasional	4
	Tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP	B-2	Imposible	1
	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	B-3	Ocasional	4
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	B-5	Ocasional	4

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

#### ➤ Factores de vulnerabilidad

Los factores de vulnerabilidad dentro de un análisis de riesgos permiten determinar los efectos negativos que sobre el escenario y zonas de posible impacto puedan tener los eventos que se llegaran a presentar.

Para efectos del análisis de riesgo durante las actividades asociadas al Proyecto, se consideran los siguientes factores de vulnerabilidad:

- **Víctimas:** Se refiere al número y clase de afectados (empleados directos, contratistas, auxiliares, mano de obra no calificada, visitantes. Aquí se considera también el tipo y gravedad de las lesiones (vida y salud humana)).
- **Daño Ambiental:** Evalúa los impactos sobre el aire, flora, fauna, drenajes naturales y suelos, como consecuencia de una emergencia, considerando sus implicaciones en el desarrollo de las actividades socioeconómicas derivadas del recurso (uso pecuario y agrícola, usos del agua o del suelo, y demás).
- **Pérdidas materiales:** Las pérdidas están representadas en equipos, productos, costo de las operaciones de control de la emergencia, multas, indemnizaciones, y atención médica, entre otros.
- **Imagen de la empresa:** Califica el nivel de deterioro de la imagen de MAUREL & PROM COLOMBIA B.V. como consecuencia de la emergencia.
- **Continuidad de la operación:** Determina los efectos de la emergencia sobre el desarrollo normal de las actividades asociadas al Proyecto y otras actividades asociadas.

En la **Tabla 7-45** , se muestran los valores de gravedad para los diferentes factores de vulnerabilidad de los elementos expuestos en la actividad de conducción de las aguas residuales desde el sitio de generación hasta la entrada al sitio de tratamiento, principalmente en los cuerpos de agua, zonas de recarga de acuíferos y zonas de concentración de población.

**Tabla 7-45 Estimación de la Gravedad para el Plan de Gestión del Riesgo para Vertimientos del Proyecto APE COR-15**

AMENAZA	ESCENARIO	CÓDIGO	FACTORES DE VULNERABILIDAD				
			VICTIMAS	DAÑO AMBIENTAL	PERDIDAS MATERIALES	IMAGEN	SUSPENSIONES
SISMO	Movilización de carrotanque y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	SIS-1	1	2	2	2	1
	Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas	SIS-2	1	3	1	1	1
	Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.	SIS-3	1	3	2	1	1
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	SIS-4	1	3	2	1	1
	Tratamiento de aguas de formación	SIS-5	2	3	3	1	3
	Conducción de las aguas grises y negras previamente tratadas mediante tubería PVC a piscina de tratamiento	SIS-6	1	1	1	1	1
	Almacenamiento de aguas negras para disposición a terceros autorizados.	SIS-7	1	2	2	1	1
	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	SIS-8	1	4	3	2	3
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	SIS-9	1	4	3	2	3
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	SIS-10	2	1	4	2	2
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en las zonas de aspersión	SIS-11	1	2	2	1	2
INUNDACIÓN	Movilización de carrotanque y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	IN-1	1	1	1	2	2
	Recepción y tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP	IN-2	1	1	1	1	2
	Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas	IN-3	1	2	2	1	2
	Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.	IN-4	1	2	2	1	2
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	IN-5	1	2	2	1	2
	Tratamiento de aguas de formación	IN-6	1	2	2	1	2
	Conducción de las aguas grises y negras previamente tratadas mediante tubería PVC a piscina de tratamiento.	IN-7	1	2	1	1	2
	Almacenamiento de aguas negras para disposición a terceros autorizados.	IN-8	1	2	1	1	1
	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	IN-9	1	4	1	1	2
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	IN-10	1	2	1	1	1
	Inundación durante el riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	IN-11	1	1	1	2	1
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en las zonas de aspersión	IN-12	1	1	1	1	1
TORMENTAS ELÉCTRICAS	Movilización de carrotanques y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	TE-1	4	1	2	1	4

AMENAZA	ESCENARIO	FACTORES DE VULNERABILIDAD					
		CÓDIGO	VICTIMAS	DAÑO AMBIENTAL	PERDIDAS MATERIALES	IMAGEN	SUSPENSIONES
	Recepción y tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP	TE-2	3	1	2	1	1
	Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas	TE-3	2	1	2	1	2
	Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.	TE-4	1	1	2	1	2
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	TE-5	3	1	3	1	2
	Tratamiento de aguas de formación	TE-6	4	1	3	1	4
	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	TE-7	1	1	2	1	2
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	TE-8	1	1	3	1	2
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	TE-9	3	1	1	1	2
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en las zonas de aspersión.	TE-10	1	1	1	1	1
	SOCAVACIÓN EN MÁRGENES DE RÍOS	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	SOC-1	1	2	2	2
Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.		SOC-2	1	2	2	2	3
INCENDIO	Movilización de carrotanques y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	INC-1	4	4	2	2	2
	Recepción y tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP	INC-2	3	2	2	1	2
	Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.	INC-3	3	2	2	1	3
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	INC-4	4	1	3	1	4
	Tratamiento de aguas de formación	INC-5	4	1	3	1	4
	Conducción de las aguas grises y negras previamente tratadas mediante tubería PVC a piscina de tratamiento.	INC-6	2	1	1	1	2
	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	INC-7	4	2	2	2	3
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	INC-8	1	2	2	2	3
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	INC-9	4	4	2	2	2
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en las zonas de aspersión.	INC-10	1	2	1	1	2
EXPLOSIÓN	Movilización de carrotanque y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	EXP-1	4	2	2	2	2
	Recepción y tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP	EXP-2	3	2	2	1	2
	Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas	EXP-3	2	2	2	1	3
	Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.	EXP-4	2	2	2	1	3
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en	EXP-5	4	2	3	1	4

AMENAZA	ESCENARIO	FACTORES DE VULNERABILIDAD					
		CÓDIGO	VICTIMAS	DAÑO AMBIENTAL	PERDIDAS MATERIALES	IMAGEN	SUSPENSIONES
	piscinas.						
	Tratamiento de aguas de formación	EXP-6	3	2	3	1	4
	Almacenamiento de aguas negras para disposición a terceros autorizados.	EXP-7	3	2	2	1	3
	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	EXP-8	3	4	2	2	3
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	EXP-9	1	4	2	2	3
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	EXP-10	4	2	2	2	2
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en las zonas de aspersión	EXP-11	1	1	2	1	4
DERRAME DE CRUDO	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	DC-1	1	4	4	2	4
	Tratamiento de aguas de formación.	DC-2	1	4	4	1	4
FUGAS Y FILTRACIONES	Movilización de carro tanque y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	FL-1	1	1	1	2	2
FUGAS Y FILTRACIONES	Recepción y tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP	FL-2	1	1	1	1	2
	Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas	FL-3	1	2	2	1	2
	Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.	FL-4	1	2	2	1	2
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	FL-5	1	2	2	1	4
	Tratamiento de aguas de formación	FL-6	1	2	2	1	2
	Conducción de las aguas grises y negras previamente tratadas mediante tubería PVC a piscina de tratamiento.	FL-7	1	2	1	1	2
	Almacenamiento de aguas negras para disposición a terceros autorizados.	FL-8	2	2	2	2	2
	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	FL-9	2	2	2	2	3
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	FL-10	1	2	3	1	3
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	FL-11	1	2	1	1	1
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en las zonas de aspersión	FL-12	1	2	1	1	1
	FALLAS EN SISTEMAS DE MEDICIÓN DE FLUJO, PRESIÓN Y TEMPERATURA	Movilización de carro tanques y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	FPT-1	1	2	1	2
Recepción y tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP		FPT-2	1	2	1	1	1
Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas.		FPT-3	1	2	2	1	2
Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.		FPT-4	3	2	2	1	2
Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.		FPT-5	3	2	2	1	4
Tratamiento de aguas de formación.		FPT-6	3	2	3	1	4

AMENAZA	ESCENARIO	CÓDIGO	FACTORES DE VULNERABILIDAD				
			VICTIMAS	DAÑO AMBIENTAL	PERDIDAS MATERIALES	IMAGEN	SUSPENSIONES
	Conducción de las aguas grises y negras previamente tratadas mediante tubería PVC a piscina de tratamiento.	FPT-7	1	2	1	1	1
	Almacenamiento de aguas negras para disposición a terceros autorizados.	FPT-8	1	2	2	1	1
	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	FPT-9	1	2	2	2	2
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	FPT-10	1	2	3	1	4
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	FPT-11	1	2	1	1	2
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en las zonas de aspersión.	FPT-12	1	2	1	1	1
CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	AC-1	1	4	1	4	4
	Vertimiento de aguas tratadas en pozos inyectoros.	AC-2	1	4	1	2	4
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	AC-3	1	4	1	2	4
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en las zonas de aspersión.	AC-4	1	4	1	1	4
CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y CUERPOS DE AGUA	Movilización de carro tanque y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	CSA-1	1	2	1	2	3
	Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas.	CSA-2	1	2	1	1	3
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	CSA-3	1	2	1	1	4
	Tratamiento de aguas de formación	CSA-4	1	2	1	1	2
	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	CSA-5	3	4	1	1	2
	Conducción y vertimiento de aguas tratadas a cuerpos de agua por medio de carro tanques	CSA-6	1	2	1	2	2
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	CSA-7	1	2	1	2	4
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	CSA-8	1	2	1	2	3
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en las zonas de aspersión.	CSA-9	1	2	1	1	3
ATENTADOS A LA INFRAESTRUCTURA Y PERSONAL	Movilización de carro tanque y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	AIP-1	1	2	1	2	4
	Recepción y tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP	AIP-2	1	2	1	4	4
	Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas.	AIP-3	1	2	2	4	4
	Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.	AIP-4	1	2	2	4	4
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	AIP-5	1	2	2	4	4
	Tratamiento de aguas de formación.	AIP-6	1	2	2	4	4

AMENAZA	ESCENARIO	CÓDIGO	FACTORES DE VULNERABILIDAD				
			VICTIMAS	DAÑO AMBIENTAL	PERDIDAS MATERIALES	IMAGEN	SUSPENSIONES
	Conducción de las aguas grises y negras previamente tratadas mediante tubería PVC a piscina de tratamiento.	AIP-7	1	2	2	4	4
	Almacenamiento de aguas negras para disposición a terceros autorizados.	AIP-9	1	2	2	4	4
	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	AIP-8	1	2	2	4	4
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	AIP-9	1	2	2	4	4
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	AIP-10	1	2	2	4	4
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en las zonas de aspersión.	AIP-11	1	2	2	4	4
BLOQUEOS POR PARTE DE LAS COMUNIDADES	Movilización de carrotanque y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	B-1	1	2	2	4	4
	Tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP	B-2	1	2	2	4	4
	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	B-3	1	2	2	4	4
	Conducción y vertimiento de aguas tratadas a cuerpos de agua por medio de carro tanques	B-4	1	2	2	4	4
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	B-5	1	2	2	4	4

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

#### ➤ Gravedad estimada

La gravedad de la emergencia estará determinada por su magnitud, las características del área afectada, y las condiciones físicas existentes que faciliten o dificulten la realización de actividades de manejo y control.

La gravedad de las consecuencias de un evento se evalúa sobre los factores de vulnerabilidad, y se califica dentro de una escala que establece cuatro niveles. Los niveles corresponden a: Gravedad Nivel-1 o Insignificante, Gravedad Nivel-2 o Marginal, Gravedad Nivel-3 o Crítica y Gravedad Nivel-4 o Catastrófica. Los criterios de calificación para los factores de vulnerabilidad se presentan a continuación en la **Tabla 7-46**.

**Tabla 7-46 Calificación de la Gravedad**

FACTOR DE VULNERABILIDAD		GRAVEDAD	
		CALIFICACIÓN	DENOMINACION
Victimas	No hay lesiones, o no se requiere atención hospitalaria	1	Insignificante
	Lesiones leves que requieren primeros auxilios	2	Marginal
	Lesiones con necesidad de hospitalización	3	Crítica
	Muertos	4	Catastrófica
Daño Ambiental	No hay daños ambientales	1	Insignificante
	Daños ambientales dentro del APE COR 15	2	Marginal
	Daños ambientales en las áreas aledañas	3	Crítica
	Daños ambientales con consecuencias sobre la comunidad del área de influencia	4	Catastrófica
Pérdidas materiales	Menos de 1 SMLVM	1	Insignificante
	Entre 1 y 20 SMLVM	2	Marginal
	Entre 20 y 500 SMLVM	3	Crítica
	Más de 500 SMLVM	4	Catastrófica

FACTOR DE VULNERABILIDAD		GRAVEDAD	
		CALIFICACIÓN	DENOMINACION
Imagen Empresarial	Conocimiento interno de M&P	1	Insignificante
	Conocimiento municipal	2	Marginal
	Conocimiento regional	3	Crítica
	Conocimiento nacional	4	Catastrófica
Continuidad de la Operación	Suspensión menor a 2 horas	1	Insignificante
	Suspensión de 2 a 6 horas	2	Marginal
	Suspensión de 6 a 48 horas	3	Crítica
	Suspensión indefinida	4	Catastrófica

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

### ➤ Valoración del riesgo

El riesgo de una actividad es una función de la frecuencia de ocurrencia de un evento amenazante (en un escenario particular) y la probabilidad de sus consecuencias sobre unos elementos vulnerables. Así, la valoración del riesgo en cada escenario identificado corresponde al producto de la frecuencia de ocurrencia del evento amenazante (número matricial de amenaza) por la probabilidad de sus consecuencias (número matricial de consecuencias); a este procedimiento se le denomina análisis matricial del riesgo y al resultado así obtenido se le da el nombre de “número matricial de riesgo”. De acuerdo con la anterior, se asigna un valor de riesgo a cada escenario para cada factor de vulnerabilidad. Este valor o rango de riesgo depende de la probabilidad de ocurrencia del evento y de la gravedad relativa, como se expresa en la siguiente fórmula:

$$R = P \times C$$

Dónde:

*R* = Valor del riesgo

*P* = Probabilidad de ocurrencia del evento

*C* = Consecuencia del evento (Gravedad)

Para una fácil comprensión, estos valores numéricos se transforman en grupos que representan escalas con diferentes niveles de aceptabilidad. La construcción de la matriz permite visualizar los riesgos para determinar la aceptabilidad de cada uno, y establecer el nivel de planeación requerido para su prevención y atención (**Tabla 7-47**). En cuanto a la aceptabilidad de los riesgos, los escenarios se clasifican como:

**Tabla 7-47 Matriz de Niveles de Aceptabilidad del Riesgo y Niveles de Planeación**

PROBABILIDAD	VALOR	NIVEL DE ACEPTABILIDAD			
Frecuente	6	6	12	18	24
Moderado	5	5	10	15	20
Ocasional	4	4	8	12	16
Remoto	3	3	6	9	12
Improbable	2	2	4	6	8
Imposible	1	1	2	3	4
Gravedad		1 Insignificante	2 Marginal	3 Crítico	4 Catastrófico
ACEPTABILIDAD DEL RIESGO		INACEPTABLE		TOLERABLE	ACEPTABLE
NIVELES DE PLANEACIÓN DE LAS CONTINGENCIAS		PLAN DETALLADO		PLAN GENERAL	NO PLAN

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

- **Aceptable:** Un escenario situado en esta región de la matriz significa que la combinación de probabilidad-gravedad no representa una amenaza significativa, por lo que no amerita la inversión inmediata de recursos y no requiere una acción específica para gestionar el factor de vulnerabilidad considerado en el escenario. Cuantitativamente representa riesgos con valores menores o iguales a tres puntos.
- **Tolerable:** Un escenario situado en esta región de la matriz significa que, aunque deben desarrollarse actividades para la gestión sobre el riesgo, éstas tienen una prioridad de segundo nivel. Cuantitativamente representa riesgos con valores entre cuatro y siete puntos.
- **Inaceptable:** Un escenario situado en esta región de la matriz significa que se requiere siempre desarrollar acciones prioritarias e inmediatas para su gestión, debido al alto impacto que tendrían sobre el sistema. Cuantitativamente representa valores de riesgo entre ocho y veinticuatro puntos.

De otra parte, la aceptabilidad del riesgo está directamente relacionada con los niveles de planeación para contingencias requeridos, así:

- **No Plan:** Un escenario situado en esta región de la matriz significa que la combinación de probabilidad-gravedad no representa una amenaza significativa, por lo que no amerita la inversión de recursos especiales de preparación.
- **Plan General:** Un escenario situado en esta región de la matriz significa que, aunque debe diseñarse una respuesta para dichos casos, ésta debe ser sólo de carácter general.
- **Plan Detallado:** Un escenario situado en esta región de la matriz significa que se requiere siempre diseñar una respuesta detallada a las contingencias y que amerita realizar inversiones particulares para cada uno de estos escenarios.

En la **Tabla 7-47**, se presenta la matriz de niveles de aceptabilidad del riesgo con los niveles de planeación requeridos para cada escenario.

AMENAZA	ESCENARIO	CÓDIGO	F	VICTIMAS			DAÑO AMBIENTAL			PERDIDAS MATERIALES			IMAGEN			SUSPENSIONES		
				G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP
SISMO	Movilización de carrotanque y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	SIS-1	1	1	1	NP	2	2	NP	2	2	NP	2	2	NP	1	1	NP
	Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas	SIS-2	1	1	1	NP	3	3	NP	1	1	NP	1	1	NP	1	1	NP
	Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques	SIS-3	1	1	1	NP	3	3	NP	2	2	NP	1	1	NP	1	1	NP

AMENAZA	ESCENARIO	CÓDIGO	F	VICTIMAS			DAÑO AMBIENTAL			PERDIDAS MATERIALES			IMAGEN			SUSPENSIONES		
				G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP
	sépticos.																	
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	SIS-4	1	1	1	NP	3	3	NP	2	2	NP	1	1	NP	1	1	NP
	Tratamiento de aguas de formación	SIS-5	1	2	2	NP	3	3	NP	3	3	NP	1	1	NP	3	3	NP
	Conducción de las aguas grises y negras previamente tratadas mediante tubería PVC a piscina de tratamiento	SIS-6	1	1	1	NP	1	1	NP	1	1	NP	1	1	NP	1	1	NP
	Almacenamiento de aguas de formación previamente tratadas en tanques de almacenamiento.	SIS-7	1	1	1	NP	2	2	NP	2	2	NP	1	1	NP	1	1	NP
	Almacenamiento de aguas negras para disposición a terceros autorizados.	SIS-8	1	1	1	NP	2	2	NP	2	2	NP	1	1	NP	1	1	NP
	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	SIS-9	1	1	1	NP	4	4	PG	3	3	NP	2	2	NP	3	3	NP
	Conducción y vertimiento de aguas tratadas a cuerpos de agua por medio de carro tanques	SIS-10	1	1	1	NP	2	2	NP	2	2	NP	2	2	NP	3	3	NP
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	SIS-11	1	1	1	NP	4	4	PG	3	3	NP	2	2	NP	3	3	NP
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	SIS-12	1	2	2	NP	1	1	NP	4	4	PG	2	2	NP	2	2	NP
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en zona de aspersión	SIS-13	1	1	1	NP	2	2	NP	2	2	NP	1	1	NP	2	2	NP
INUNDACIÓN	Movilización de carro tanque y entrega de agua	IN-1	3	1	3	NP	1	3	NP	1	3	NP	2	6	PG	2	6	PG

AMENAZA	ESCENARIO	CÓDIGO	F	VICTIMAS			DAÑO AMBIENTAL			PERDIDAS MATERIALES			IMAGEN			SUSPENSIONES		
				G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP
	de captación a tanques de almacenamiento																	
	Recepción y tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP	IN -2	3	1	3	NP	1	3	NP	1	3	NP	1	3	NP	2	6	PG
	Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales y derivados en trampa de grasas	IN -3	3	1	3	NP	2	6	PG	2	6	PG	1	3	NP	2	6	PG
	Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.	IN -4	3	1	3	NP	2	6	PG	2	6	PG	1	3	NP	2	6	PG
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	IN -5	3	1	3	NP	2	6	PG	2	6	PG	1	3	NP	2	6	PG
	Tratamiento de aguas de formación	IN -6	3	1	3	NP	2	6	PG	2	6	PG	1	3	NP	2	6	PG
	Conducción de las aguas grises y negras previamente tratadas mediante tubería PVC a piscina de tratamiento.	IN -7	3	1	3	NP	2	6	PG	1	3	NP	1	3	NP	2	6	PG
	Almacenamiento de aguas de formación previamente tratadas en tanques de almacenamiento.	IN -8	3	1	3	NP	2	6	PG	1	3	NP	1	3	NP	1	3	NP
	Almacenamiento de aguas negras para disposición a terceros autorizados.	IN -9	3	1	3	NP	2	6	PG	1	3	NP	1	3	NP	1	3	NP
	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	IN -10	3	1	3	NP	4	12	PD	1	3	NP	1	3	NP	2	6	PG
	Conducción y vertimiento de aguas tratadas a	IN -11	3	1	3	NP	1	3	NP	1	3	NP	2	6	PG	2	6	PG

AMENAZA	ESCENARIO	CÓDIGO	F	VICTIMAS			DAÑO AMBIENTAL			PERDIDAS MATERIALES			IMAGEN			SUSPENSIONES		
				G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP
	cuerpos de agua por medio de carro tanques																	
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	IN -12	3	1	3	NP	2	6	PG	1	3	NP	1	3	NP	1	3	NP
	Inundación durante el riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	IN -13	3	1	3	NP	1	3	NP	1	3	NP	2	6	PG	1	3	NP
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en zona de aspersión	IN -14	3	1	3	NP	1	3	NP	1	3	NP	1	3	NP	1	3	NP
TORMENTAS ELÉCTRICAS	Movilización de carrotanques y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	TE-1	4	4	16	PD	1	4	PG	2	8	PD	1	4	PG	4	16	PD
	Recepción y tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP	TE-2	4	3	12	PD	1	4	PG	2	8	PD	1	4	PG	1	4	PG
	Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas	TE-3	4	2	8	PD	1	4	PG	2	8	PD	1	4	PG	2	8	PD
	Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.	TE-4	4	1	4	PG	1	4	PG	2	8	PD	1	4	PG	2	8	PD
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	TE-5	4	3	12	PD	1	4	PG	3	12	PD	1	4	PG	2	8	PD
	Tratamiento de aguas de formación	TE-6	4	4	16	PD	1	4	PG	3	12	PD	1	4	PG	4	16	PD

AMENAZA	ESCENARIO	CÓDIGO	F	VICTIMAS			DAÑO AMBIENTAL			PERDIDAS MATERIALES			IMAGEN			SUSPENSIONES		
				G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP
	Almacenamiento de aguas de formación previamente tratadas en tanques de almacenamiento.	TE-7	4	1	4	PG	1	4	PG	1	4	PG	1	4	PG	2	8	PD
	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	TE-8	4	1	4	PG	1	4	PG	2	8	PD	1	4	PG	2	8	PD
	Conducción y vertimiento de aguas tratadas a cuerpos de agua por medio de carro tanques	TE-9	4	3	12	PD	1	4	PG	2	8	PD	1	4	PG	2	8	PD
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	TE-10	4	1	4	PG	1	4	PG	3	12	PD	1	4	PG	2	8	PD
	Vertimiento de aguas tratadas en pozos inyectoros.	TE-11	4	3	12	PD	1	4	PG	3	12	PD	1	4	PG	2	8	PD
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	TE-12	4	3	12	PD	1	4	PG	1	4	PG	1	4	PG	2	8	PD
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en zona de aspersión	TE-13	4	1	4	PG	1	4	PG	1	4	PG	1	4	PG	1	4	PG
SOCAVACIÓN EN MÁRGENES DE RÍOS	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	SOC-1	2	1	2	NP	2	4	PG	2	4	PG	2	4	PG	3	6	PG
	Conducción y vertimiento de aguas tratadas a cuerpos de agua por medio de carro tanques	SOC-2	2	1	2	NP	2	4	PG	2	4	PG	2	4	PG	3	6	PG
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	SOC-3	2	1	2	NP	2	4	PG	2	4	PG	2	4	PG	3	6	PG
INCENDIO	Movilización de carrotanques y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	INC-1	3	4	12	PD	4	12	PD	2	6	PG	2	6	PG	2	6	PG
	Recepción y tratamiento de aguas provenientes de captación en	INC-2	2	3	6	PG	2	4	PG	2	4	PG	1	2	NP	2	4	PG

AMENAZA	ESCENARIO	CÓDIGO	F	VICTIMAS			DAÑO AMBIENTAL			PERDIDAS MATERIALES			IMAGEN			SUSPENSIONES		
				G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP
	PTAP																	
	Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.	INC-3	3	3	9	PD	2	6	PG	2	6	PG	1	3	NP	3	9	PD
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	INC-4	5	4	20	PD	1	5	PG	3	15	PD	1	5	PG	4	20	PD
	Tratamiento de aguas de formación	INC-5	5	4	20	PD	1	5	PG	3	15	PD	1	5	PG	4	20	PD
	Conducción de las aguas grises y negras previamente tratadas mediante tubería PVC a piscina de tratamiento.	INC-6	3	2	6	PG	1	3	NP	1	3	NP	1	3	NP	2	6	PG
	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	INC-7	2	4	8	PD	2	4	PG	2	4	PG	2	4	PG	3	6	PG
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	INC-8	2	1	2	NP	2	4	PG	2	4	PG	2	4	PG	3	6	PG
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	INC-9	3	4	12	PD	4	12	PD	2	6	PG	2	6	PG	2	6	PG
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en zona de aspersión	INC-10	3	1	3	NP	2	6	PG	1	3	NP	1	3	NP	2	6	PG
EXPLOSIÓN	Movilización de carrotanques y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	EXP-1	3	4	12	PD	2	6	PG	2	6	PG	2	6	PG	2	6	PG
	Recepción y tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP	EXP-2	3	3	9	PD	2	6	PG	2	6	PG	1	3	NP	2	6	PG

AMENAZA	ESCENARIO	CÓDIGO	F	VICTIMAS			DAÑO AMBIENTAL			PERDIDAS MATERIALES			IMAGEN			SUSPENSIONES			
				G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	
	Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas	EXP-3	1	2	2	NP	2	2	NP	2	2	NP	1	1	NP	3	3	NP	
	Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.	EXP-4	2	2	4	PG	2	4	PG	2	4	PG	1	2	NP	3	6	PG	
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	EXP-5	5	4	20	PD	2	10	PD	3	15	PD	1	5	PG	4	20	PD	
	Tratamiento de aguas de formación	EXP-6	5	3	15	PD	2	10	PD	3	15	PD	1	5	PG	4	20	PD	
	Almacenamiento de aguas negras para disposición a terceros autorizados.	EXP-7	2	3	6	PG	2	4	PG	2	4	PG	1	2	NP	3	6	PG	
	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	EXP-8	2	3	6	PG	4	8	PD	2	4	PG	2	4	PG	3	6	PG	
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	EXP-9	3	1	3	NP	4	12	PD	2	6	PG	2	6	PG	3	9	PD	
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	EXP-10	1	4	4	PG	2	2	NP	2	2	NP	2	2	NP	2	2	NP	
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en zona de aspersión	EXP-11	1	1	1	NP	1	1	NP	2	2	NP	1	1	NP	4	4	PG	
	DERRAME DE CRUDO	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	DC-1	2	1	2	NP	4	8	PD	4	8	PD	2	4	PG	4	8	PD
		Tratamiento de aguas de formación.	DC-2	2	1	2	NP	4	8	PD	4	8	PD	1	2	2	4	8	PD

AMENAZA	ESCENARIO	CÓDIGO	F	VICTIMAS			DAÑO AMBIENTAL			PERDIDAS MATERIALES			IMAGEN			SUSPENSIONES		
				G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP
FUGAS Y FILTRACIONES	Movilización de carrotanques y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	FL-1	6	1	6	PG	1	6	PG	1	6	PG	2	12	PD	2	12	PD
FUGAS Y FILTRACIONES	Recepción y tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP	FL-2	3	1	3	NP	1	3	NP	1	3	NP	1	3	NP	2	6	PG
	Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas	FL-3	3	1	3	NP	2	6	PG	2	6	PG	1	3	NP	2	6	PG
	Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.	FL-4	3	1	3	NP	2	6	PG	2	6	PG	1	3	NP	2	6	PG
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	FL-5	4	1	4	PG	2	8	PD	2	8	PD	1	4	PG	4	16	PD
	Tratamiento de aguas de formación	FL-6	5	1	5	PG	2	10	PD	2	10	PD	1	5	PG	2	10	PD
	Conducción de las aguas grises y negras previamente tratadas mediante tubería PVC a piscina de tratamiento.	FL-7	2	1	2	NP	2	4	PG	1	2	NP	1	2	NP	2	4	PG
	Almacenamiento de aguas negras para disposición a terceros autorizados.	FL-8		2	6	PG	2	6	PG	2	6	PG	2	6	PG	2	6	PG
	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	FL-9	3	2	6	PG	2	6	PG	2	6	PG	2	6	PG	3	9	PD
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	FL-10	4	1	4	PG	2	8	PD	3	12	PD	1	4	PG	3	12	PD
	Riego de vías sin pavimentar por medio de	FL-11	5	1	5	PG	2	10	PD	1	5	PG	1	5	PG	1	5	PG

AMENAZA	ESCENARIO	CÓDIGO	F	VICTIMAS			DAÑO AMBIENTAL			PERDIDAS MATERIALES			IMAGEN			SUSPENSIONES		
				G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP
	carro tanques acondicionados.																	
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en zona de aspersión	FL-12	5	1	5	PG	2	10	PD	1	5	PG	1	5	PG	1	5	PG
FALLAS EN SISTEMAS DE MEDICIÓN DE FLUJO, PRESIÓN Y TEMPERATURA	Movilización de carro tanques y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	FPT-1	3	1	3	NP	2	6	PG	1	3	NP	2	6	PG	1	3	NP
	Recepción y tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP	FPT-2	2	1	2	NP	2	4	PG	1	2	NP	1	2	NP	1	2	NP
	Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas.	FPT-3	3	1	3	NP	2	6	PG	2	6	PG	1	3	3	2	6	PG
	Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos y tanques sépticos.	FPT-4	3	3	9	PD	2	6	PG	2	6	PG	1	3	NP	2	6	PG
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de lodos de perforación en piscinas.	FPT-5	3	3	9	PD	2	6	PG	2	6	PG	1	3	NP	4	12	PD
	Tratamiento de aguas de formación.	FPT-6	3	3	9	PD	2	6	PG	3	9	PD	1	3	NP	4	12	PD
	Conducción de las aguas grises y negras previamente tratadas mediante tubería PVC a piscina de tratamiento.	FPT-7	2	1	2	NP	2	4	PG	1	2	NP	1	2	NP	1	2	NP
	Almacenamiento de aguas negras para disposición a terceros autorizados.	FPT-8	2	1	2	NP	2	4	PG	2	4	PG	1	2	NP	1	2	NP

AMENAZA	ESCENARIO	CÓDIGO	F	VICTIMAS			DAÑO AMBIENTAL			PERDIDAS MATERIALES			IMAGEN			SUSPENSIONES		
				G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP
	Conducción y vertimiento de aguas tratadas a cuerpos de agua por medio de carro tanques	FPT-9	1	1	1	NP	2	2	NP	2	2	NP	2	2	NP	2	2	NP
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	FPT-10	4	1	4	PG	2	8	PD	3	12	PD	1	4	PG	4	16	PD
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	FPT-11	3	1	3	NP	2	6	PG	1	3	NP	1	3	NP	2	6	PG
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión	FPT-12	3	1	3	NP	2	6	PG	1	3	NP	1	3	NP	1	3	NP
CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	AC-1	2	1	2	NP	4	8	PD	1	2	NP	4	8	PD	4	8	PD
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	AC-2	2	1	2	NP	4	8	PD	1	2	NP	2	4	PG	4	8	PD
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en zona de aspersión	AC-3	2	1	2	NP	4	8	PD	1	2	NP	1	2	NP	4	8	PD
CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y CUERPOS DE AGUA	Movilización de carro tanques y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	CSA-1	1	1	1	NP	2	2	NP	1	1	NP	2	2	NP	3	3	NP
	Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas.	CSA-2	2	1	2	NP	2	4	PG	1	2	NP	1	2	NP	3	6	PG
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de perforación en piscinas.	CSA-3	4	1	4	PG	2	8	PD	1	4	PG	1	4	PG	4	16	PD
	Tratamiento de aguas de formación	CSA-4	3	1	3	NP	2	6	PG	1	3	NP	1	3	NP	2	6	PG

AMENAZA	ESCENARIO	CÓDIGO	F	VICTIMAS			DAÑO AMBIENTAL			PERDIDAS MATERIALES			IMAGEN			SUSPENSIONES		
				G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP
	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	CSA-5	3	3	9	9	4	12	12	1	3	NP	1	3	NP	2	6	PG
	Conducción y vertimiento de aguas tratadas a cuerpos de agua por medio de carro tanques	CSA-6	1	1	1	NP	2	2	NP	1	1	NP	2	2	NP	2	2	NP
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	CSA-7	3	1	3	NP	2	6	PG	1	3	NP	2	6	PG	4	12	PD
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	CSA-9	4	1	4	PG	2	8	8	1	4	PG	2	8	PD	3	12	PD
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en zona de aspersión	CSA-10	4	1	4	PG	2	8	8	1	4	PG	1	4	PG	3	12	PD
ATENTADOS A LA INFRAESTRUCTURA Y PERSONAL	Movilización de carrotanques y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	AIP-1	3	1	3	NP	2	6	PG	1	3	NP	2	6	PG	4	12	PD
	Recepción y tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP	AIP-2	3	1	3	NP	2	6	PG	1	3	NP	4	12	PD	4	12	PD
	Tratamiento de aguas residuales domésticas grises e industriales aceitosas y derivados en trampa de grasas.	AIP-3	3	1	3	NP	2	6	PG	2	6	PG	4	12	PD	4	12	PD
	Tratamiento de aguas residuales domésticas negras en Planta de lodos activados y tanques sépticos.	AIP-4	3	1	3	NP	2	6	PG	2	6	PG	4	12	PD	4	12	PD
	Tratamiento de Aguas industriales provenientes de perforación en piscinas.	AIP-5	3	1	3	NP	2	6	PG	2	6	PG	4	12	PD	4	12	PD

AMENAZA	ESCENARIO	CÓDIGO	F	VICTIMAS			DAÑO AMBIENTAL			PERDIDAS MATERIALES			IMAGEN			SUSPENSIONES		
				G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP	G	R	A/NP
	Tratamiento de aguas de formación.	AIP-6	3	1	3	NP	2	6	PG	2	6	PG	4	12	PD	4	12	PD
	Conducción de las aguas grises y negras previamente tratadas mediante tubería PVC a piscina de tratamiento.	AIP-7	3	1	3	NP	2	6	PG	2	6	PG	4	12	PD	4	12	PD
	Almacenamiento de aguas negras para disposición a terceros autorizados.	AIP-8	3	1	3	NP	2	6	PG	2	6	PG	4	12	PD	4	12	PD
	Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento	AIP-9	3	1	3	NP	2	6	PG	2	6	PG	4	12	PD	4	12	PD
	Conducción de aguas tratadas por medio de Líneas de flujo.	AIP-10	3	1	3	NP	2	6	PG	2	6	PG	4	12	PD	4	12	PD
	Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.	AIP-11	3	1	3	NP	2	6	PG	2	6	PG	4	12	PD	4	12	PD
	Conducción y vertimiento de agua a través de tubería PVC a equipos de aspersión en zona de aspersión	AIP-12	3	1	3	NP	2	6	PG	2	6	PG	4	12	PD	4	12	PD
	BLOQUEOS POR PARTE DE LAS COMUNIDADES	Movilización de carrotanques y entrega de agua de captación a tanques de almacenamiento	B-1	4	1	4	PG	2	8	PD	2	8	PD	4	16	PD	4	16
Tratamiento de aguas provenientes de captación en PTAP		B-2	1	1	1	NP	2	2	NP	2	2	NP	4	4	PG	4	4	PG
Vertimiento directo de aguas residuales sin tratamiento		B-3	4	1	4	PG	2	8	PD	2	8	PD	4	16	PD	4	16	PD
Riego de vías sin pavimentar por medio de carro tanques acondicionados.		B-5	4	1	4	PG	2	8	PD	2	8	PD	4	16	PD	4	16	PD

F: Frecuencia No Plan

G: Gravedad

R: Riesgo

A: Aceptabilidad

NP: Niveles de Planeación

Plan General

Plan Detallado

#### 7.3.4.3.2 Riesgo por Escenario

En complemento con los riesgos identificados y descritos anteriormente dentro del plan de contingencia para el desarrollo de las actividades de exploración y de acuerdo con el sistema de gestión de riesgo por vertimientos se tiene:

El riesgo de contaminación de los recursos suelo y agua durante por las actividades de operación de tratamiento de aguas residuales desde su captación hasta el vertimiento previamente tratado, tiene como contingencia la ejecución de las medidas de manejo para cada componente afectado.

Las medidas de manejo y contingencia serán divulgadas a todo el personal vinculado al proyecto mediante charlas y capacitaciones para crear el compromiso de la no afectación de los recursos a utilizar e intervenir.

Las operaciones en las que es necesario realizar un plan detallado para la contención de contaminación durante la gestión del tratamiento de aguas residuales es:

- Tratamiento y Vertimiento de aguas residuales
- Contaminación de acuíferos
- Contaminación de suelos y cuerpos de agua

#### 7.3.4.4 Plan Operativo

El Plan Operativo lo constituyen el conjunto de acciones y decisiones reactivas, para afrontar adecuada y eficazmente una emergencia, según sean las características de la misma y los recursos disponibles para su manejo y control. Así, en el Plan Operativo define la secuencia en que se deben desarrollar las acciones de activación, notificación, evaluación y proyección de la emergencia, determinación de los recursos requeridos para su atención y las líneas de acción a seguir en la aplicación de las estrategias de respuesta diseñadas dentro del Plan Estratégico.

En el anterior sentido, el Plan define además los lineamientos a aplicar para el seguimiento y evaluación de la efectividad de las operaciones en ejecución, con el propósito de lograr mayor eficacia y eficiencia en la respuesta, y los criterios a aplicar para dar por terminadas las operaciones de mitigación y pasar a la fase de remediación.

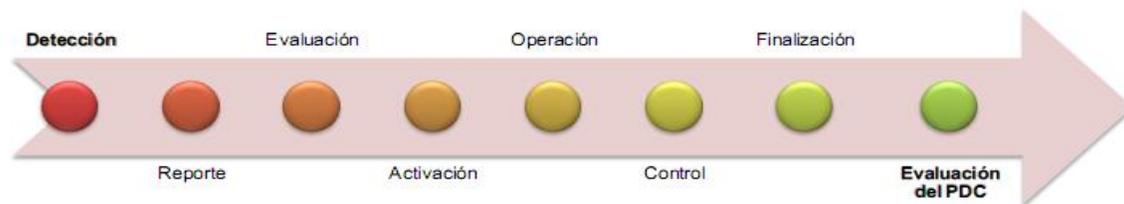
En la **Tabla 7-48** se presentan las fases de atención de una emergencia y la relación entre el Plan Estratégico, el Plan Operativo y las acciones post-emergencia, y en la **Figura 7-51** se ilustra el procedimiento general de respuesta a aplicar al presentarse una contingencia durante la construcción y operación del APE COR 15. Este procedimiento general puede ser seccionado en planes concretos de acción para situaciones específicas.

**Tabla 7-48 Fases Ilustrativas de Atención a Emergencias**

ANTES DEL EVENTO	DURANTE LA EMERGENCIA		POSTERIOR A LA EMERGENCIA
PREPARACIÓN	RESPUESTA INICIAL	RESPUESTA CONTINUA	RECUPERACIÓN
Análisis de riesgos.	Detección, reporte, notificación y evaluación de la emergencia.	Actuar según la magnitud de la emergencia.	Investigación del accidente.

ANTES DEL EVENTO	DURANTE LA EMERGENCIA		POSTERIOR A LA EMERGENCIA
PREPARACIÓN	RESPUESTA INICIAL	RESPUESTA CONTINUA	RECUPERACIÓN
Definir estructura organizacional para la respuesta a emergencias y establecer funciones y responsabilidades (planeación).	Identificación del sitio de la emergencia y activación de PDC.	Seguimiento al comportamiento de la emergencia y activación de recursos adicionales.	Organización para la recuperación.
Definición de estrategias de respuesta.	Procedimientos operativos iniciales (acción defensiva).	Aplicación de estrategias de manejo y control (acción ofensiva).	Desmovilización.
Capacitación, entrenamiento, ejercicios y simulacros.	Comunicación/ Activación del PDC.	Actuación según roles y responsabilidades asignados.	Atención de reclamaciones.
Cumplimiento de regulaciones.	Notificación.	Comunicación.	Documentación.

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019



**Figura 7-51 Procedimiento General de Respuesta del PDC**

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

### ➤ Proceso de Manejo del Desastre

De acuerdo con lo establecido en la ley 1523 de 2012, el manejo de desastres está conformado por la preparación para la respuesta a emergencias, a la preparación para la recuperación post-desastre, a la ejecución de la respuesta y su respectiva recuperación.

El Plan de contingencia se establece la organización, los recursos, las estrategias y los procedimientos operativos a seguir para el control de las emergencias que se puedan presentar y constituye una herramienta preventiva y correctiva a emplear, que permite a la vez dar cumplimiento a las normas ambientales y políticas de las autoridades ambientales encargadas y de **MAUREL & PROM COLOMBIA B.V.**, y de sus contratistas.

### ➤ Reducción del riesgo asociado al sistema de gestión del vertimiento

De acuerdo al análisis de los factores de vulnerabilidad de las actividades en el sistema de Gestión de vertimiento se tienen en cuenta las actividades que generan mayor riesgo de afectación a los recursos agua y suelo. Para ello, en la evaluación se analizarán los diferentes escenarios de las actividades y amenazas más representativas como lo pueden ser una suspensión temporal, falla o mantenimiento rutinario en los sistemas de tratamiento de aguas residuales y que contingencias se realizarán en caso de presentarse afloramientos.

Vale aclarar que el escenario del vertimiento de aguas residuales sin previo tratamiento se evaluó como requerimiento al Plan de Gestión del Riesgo para el Manejo de Vertimientos, sin embargo, este no se contempla entre las actividades propias del proyecto ya que MAUREL & PROM

COLOMBIA B.V., se compromete a proteger el ambiente con la adopción de políticas y prácticas de prevención y control que protejan el entorno de cualquier posible alteración. Por tanto, se adoptarán las medidas de contingencia que se requieran para implementar sistemas alternos que cumplan con los requerimientos exigidos por el MADS, y con las características de calidad para cualquiera de las modalidades de vertimiento.

➤ **Plan operativo para los sistemas del tratamiento de aguas residuales**

Las contingencias a cubrir serán para los eventos que produzcan un daño operativo o mecánico de los equipos y/o unidades de tratamiento de aguas residuales localizadas en las plataformas de perforación, facilidades tempranas de producción y/o estaciones de recibo. Dentro de las diferentes actividades del proyecto se tienen:

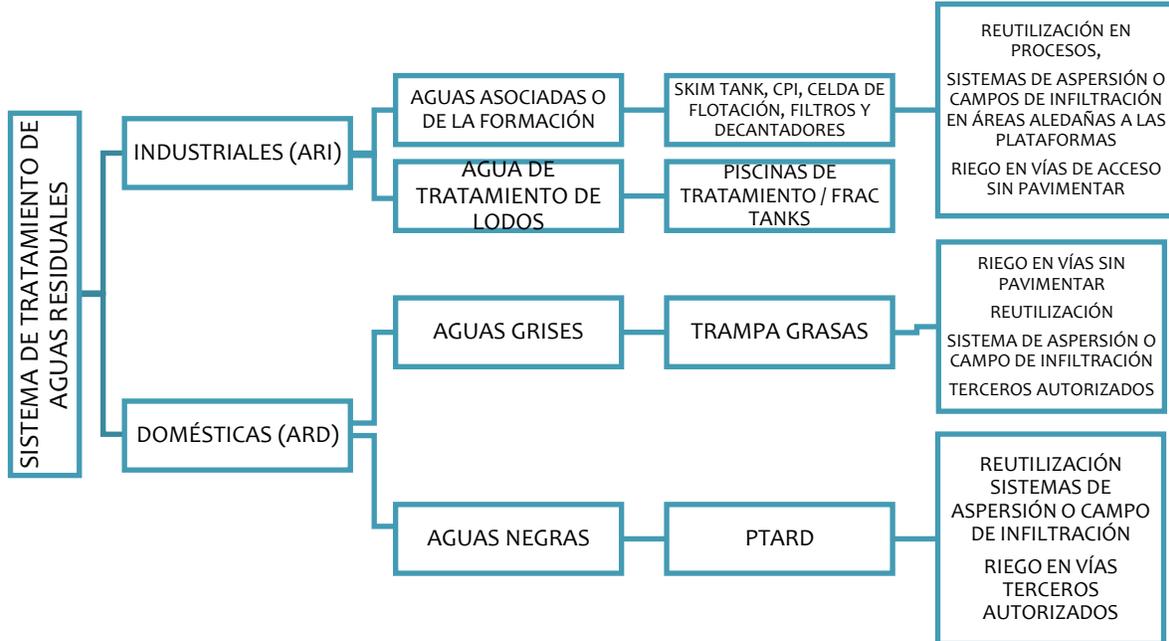
**Tabla 7-49 Tipo de Aguas Residuales Generadas en el Proyecto**

TIPO DE AGUAS RESIDUALES	TIPO DE RESIDUO GENERADO	MANEJO AMBIENTAL Y DISPOSICIÓN FINAL
<b>DOMÉSTICAS</b>	Origen sanitario (negras)	<p>Baterías sanitarias instaladas en los frentes de obra. Su manejo y disposición final podrá realizarse a través de un tercero especializado y autorizado ambientalmente para ello.</p> <p>Conformación de un sistema tipo Imhoff o Séptico los cuales tratan dicha agua con un desinfectante de alta concentración capaz de degradar la materia orgánica.</p> <p>Instalación de una planta de tratamiento compacto tipo Red Fox.</p> <p>Instalación de plantas de lodos activados. Este emplea un sistema de enzimas catalizadoras capaces de generar un lodo activado que biodegrada la materia orgánica y permite su tratamiento en presencia de oxígeno (sistema aeróbico). Las plantas de tratamiento de lodos activados constan de dos compartimientos. En el primero las aguas residuales reciben aireación y en el segundo se produce la sedimentación de sólidos pesados y partículas finas. Al final de este proceso las aguas reciben un tratamiento de desinfección mediante contacto con cloro.</p>
	Aguas Grises (Cocina, lavandería, duchas, casino)	Conducidas por una línea que las lleva a la trampa de grasas y jabones donde se segrega parte de esta y se llevan a muestreo de calidad, para su disposición.
<b>INDUSTRIALES</b>	Aguas de escorrentía	Colocación de canales perimetrales hacia desarenador – Skimmer. Estos detienen los sedimentos y se conducen al terreno natural.
	Aguas provenientes de lavado de tuberías, equipos, motores, aguas aceitosas y enlodadas.	Colocación de cunetas recolectoras con destino a trampa de grasas, para la retención de aceites y grasas. Se llevan al sistema de tratamiento de aguas industriales.
	Lodo de perforación	<p>Agua residual destinada a un shearing tank o en piscinas donde se almacenan el agua y recibe tratamiento para su vertimiento.</p> <p>Estas Aguas podrán ser centrifugadas o filtradas a través de una Unidad de Tratamiento de Lodo (UTL) ubicada en la plataforma del pozo.</p> <p>En el caso de emplear una Unidad de Desorción Térmica</p>

TIPO DE AGUAS RESIDUALES	TIPO DE RESIDUO GENERADO	MANEJO AMBIENTAL Y DISPOSICIÓN FINAL
		<p>(UDT), esta será instalada en la plataforma del pozo como se mencionó anteriormente, por cuanto no requiere mayor espacio para su instalación. Su funcionamiento consiste en la aplicación de calor a los cortes de perforación hasta un nivel en el que todos los fluidos (Agua) son evaporados. Los fluidos son liberados como vapor de los cortes y recuperados en una unidad de condensación.</p> <p>El nivel de los hidrocarburos remanentes en los sólidos es menor que la regulación ambiental y pueden ser dispuestos como material inerte. El agua recuperada en la unidad de condensación es usada para re-hidratar los sólidos tratados. El aceite recuperado es utilizado para alimentar los quemadores y el excedente reciclado para preparar nuevo fluido de perforación.</p> <p>Para el sistema de tratamiento, se dispondrá de un sistema de dewatering (deshidratación).</p>
	Aguas de Formación	Estas son tratadas dentro de las facilidades de producción, en la cual se encuentran los procesos químicos y físicos necesarios para la separación de la mezcla agua-crudo-gas y posterior tratamiento del agua en skim tank, celdas de flotación, filtros y decantadores.
	Residuos provenientes de aceites lubricantes o aceites usados.	Manejado por terceros que cuenten con licencia expedida por una autoridad ambiental para usar y disponer finalmente.
	Aguas residuales de las pruebas hidrostáticas	Se pasarán por un sedimentador con el fin de retirar residuos sólidos de soldadura y sarro; y serán reutilizadas en los procesos industriales.

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

La **Figura 7-52** presenta el diagrama de operación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales generadas en las etapas del proyecto de exploración APE COR 15.



**Figura 7-52 Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales**

*Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019*

### ➤ Activación del Plan

En primera medida, cualquier persona que presencie o identifique alguna falla o error en la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales - PTAR deberá notificar de manera inmediata al Supervisor Ambiental encargado del lugar donde se presenta la situación; seguidamente y luego de una inspección visual preliminar del equipo se procede a:

#### Escenario 1.

- Detener la operación del equipo o unidad de tratamiento por medio del apagado manual o corte del fluido eléctrico si es preciso.
- Arreglar o solucionar el daño presentado si se está dentro de las competencias del personal que reciba la notificación.
- En caso de que el daño no pueda ser reparado de forma inmediata, se debe comunicar con el operador del equipo o el encargo de su funcionamiento para valorar el daño y/o el arreglo inmediato.
- Solucionado el inconveniente y poniendo en marcha el sistema de tratamiento, se procede a realizar el reporte respectivo en conformidad con el sistema de calidad de la empresa.

#### Escenario 2.

- Si dada la situación y el encargo de la operación de la PTAR considera que requiere un arreglo técnico de mayor complejidad y no es posible continuar el tratamiento de aguas residuales, el supervisor Ambiental deberá realizar el respectivo reporte y registro de la situación.
- Inmediatamente, y de acuerdo con las instrucciones recibidas con las directivas de la empresa, el supervisor Ambiental deberá comunicarse con las demás locaciones y definir

en cuál de ellas es posible el traslado de las aguas residuales generadas y que requieren de tratamiento para su disposición.

- Habiéndose establecido la locación de traslado se procede a contratar el medio de transporte para el desplazamiento del líquido (carrotanque).
- El encargado de la operación de la PTAR de la locación que recibirá el residuo líquido, deberá realizar el respectivo ajuste para la dosificación de sustancias químicas que permiten el tratamiento y depuración de contaminantes.
- El monitoreo de calidad de las aguas residuales deberá cumplir las concentraciones establecidas en la normatividad ambiental para vertimiento.
- La locación en donde se presentó la falla en el funcionamiento de la PTAR deberá iniciar de inmediato la reparación del equipo y establecer el periodo de mantenimiento.
- Entre tanto se soluciona los problemas técnicos de la PTAR, está servirá como tanque de almacenamiento de las aguas residuales generadas para su posterior traslado en carrotanque.

### Escenario 3.

Si habiéndose puesto en marcha el plan de contingencia, el volumen de aguas residuales generadas es mayor a la capacidad de almacenamiento de la PTAR y llegase a ocurrir un derrame dentro del área de la locación, se procederá a realizar las siguientes actividades de contención:

- Bloquear el flujo de aguas residuales con bolsas de arena o barreras absorbentes para cercar y contener el derrame.
- Si es posible, conducir el flujo de agua residual hacia las canaletas y/o alcantarillas sanitarias cercanas de manera que se conduzcan nuevamente el sistema de tratamiento.
- En caso de que el derrame se hubiera ocasionado sobre suelo, se procederá al retiro del suelo afectado para su respectiva disposición.
- Una vez controlado el derrame se debe barrer el material absorbente y disponerlo como desecho especial.
- Se debe levantar un reporte y registro de situación presentada y diligenciar los formatos establecidos por el sistema de calidad de la empresa.
- Se debe solicitar el certificado de tratamiento y disposición final del suelo afectado por el derrame.

### Escenario 4.

En caso de que el derrame amenace una corriente de agua se procederá a desarrollar las actividades de contención y represamiento total del flujo de manera que sea controlada la dispersión.

Como complemento de las actividades tendientes al control del vertimiento se solicitará la interrupción de las actividades que generen aguas residuales y que son conducidas a las unidades de tratamiento de la locación o EPF's (PTAR o piscinas de tratamiento).

- La medida de contención comprende la rápida y eficiente construcción de diques transversales y/o colocación de barreras que represen el área del derrame de aguas residuales y esparcimiento del mismo.
- Seguidamente, y si el volumen de vertimiento es considerable se instalarán bombas con el fin de direccionar las aguas residuales hacia tanques portátiles (Frac Tank).
- Como última opción se solicitará el servicio de terceros autorizados para la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales.
- Por último, se deben iniciar las labores de recolección y limpieza.

Una vez controlada la contingencia, el supervisor Ambiental de la locación o EPF's efectúa la evaluación, tanto del Plan como de los daños ocasionados y se estudia la necesidad de efectuar un monitoreo en las áreas afectadas; igualmente, se deben revisar los puntos y áreas de riesgos para implementar las medidas correctivas de operación.

Todo material resultante del procedimiento de limpieza, se almacenará en un tanque de almacenamiento debidamente etiquetado, para luego, enviarse a una empresa especializada en el tratamiento y disposición final de residuos líquidos. En el caso de que el derrame ocurra directamente en suelo, se confinará y delimitará el área de derrame. Dentro de las 24 horas siguientes de ocurrido el evento, se realizará la extracción del mismo a baja profundidad (50 cm como máximo). A continuación, el suelo contaminado será enviado a empresas especializadas para su remediación.

- *Puntos críticos*

Los puntos críticos son aquellos que por alguna contingencia puedan contaminar de forma inmediata algún cuerpo de agua o afectar hábitats o suelos. En las contingencias para el sistema de tratamiento de aguas residuales, los puntos críticos se refieren al sistema de tratamiento (PTAR), área de piscinas de tratamiento, las locaciones de perforación, facilidades tempranas de producción, los cuerpos de agua que se encuentren cercanos y las vías de acceso utilizadas para el traslado de aguas residuales.

El sistema de tratamiento de aguas residuales industriales procedentes de las actividades de perforación y el cual se realiza en el área de las piscinas de tratamiento o frac tanks, se tiene previsto que para el caso de presentarse una contingencia por derrame o falla en la operación del sistema, se procederá inmediatamente con la activación del plan de contingencia de la misma manera que en los escenarios presentados anteriormente.

Conforme lo establecido en el plan de gestión del riesgo para el manejo de vertimientos y como resultados de las medidas de reducción y manejo de la descarga de vertimientos a cuerpos de agua y suelos asociados a acuíferos en situaciones que limiten el tratamiento, se desarrollan estos procedimientos de acuerdo con el evento presentado.

#### Procedimiento de manejo del evento

Elaboración de un informe dirigido a la autoridad ambiental informando la situación presentada y que contenga:

- La descripción del evento y la causa
- Los efectos directos e indirectos generados en los diferentes medios
- Las acciones de control adelantadas

Este informe deberá ser presentado máximo 48 horas después de ocurrido el evento. Una vez se tengan los resultados del monitoreo a los medios afectados, se deberá elaborar un informe más detallado en el que se describa:

- El impacto del evento.
- Los resultados de las acciones adelantadas.
- Las acciones propuestas y para mitigar los efectos.
- Tiempo durante el cual se ejecutarán las medidas.
- Mecanismos de seguimiento adoptados.
- Este informe se entregará en un periodo máximo de un mes después de la fecha inicial de ocurrido el evento.

NOTA: cualquier volumen de descarga que se presente que afecte el agua o el suelo (asociado al acuífero) dentro o fuera de las instalaciones del APE COR 15, generado por fallas en la operación debe ser reportado a la autoridad ambiental.

#### Preparación para la recuperación post-evento

La empresa operadora realizará una Evaluación de Daños de manera que se defina la magnitud de evento en relación con la contaminación del acuífero, el suelo y los recursos hidrobiológicos. Lo anterior, para estimar las acciones que se deben implementar para controlar y atender la emergencia en relación con la afectación socioeconómica y ambiental del área de influencia y las actividades a seguir en términos de remediación, recuperación y/o compensación de los perjuicios ocasionados.

Como resultado de la evaluación de daños se deberá presentar un informe final dirigido a la autoridad ambiental que incluya:

- La descripción del evento.
- La causa
- Los efectos directos e indirectos generados en los diferentes medios
- Las acciones de control adelantadas
- Los resultados de los monitoreos realizados al medio receptor inmediatamente después de ocurrido el evento.
- El Plan de monitoreos en el corto plazo (Semanas u hasta dos meses después) y mediano plazo (seis meses) que permitan garantizar la correcta evaluación y verificación de la afectación.
- Las medidas necesarias a ser implementadas para recuperar las zonas afectadas
- Los costos
- Las acciones a implementar para evitar la ocurrencia de situaciones similares.

Los monitoreos a los medios afectados se deberán realizar en el menor tiempo posible (días) para poder evaluar los daños reales.

Se debe realizar el seguimiento por parte de la interventoría ambiental de las medidas propuestas para el manejo del evento establecidas dentro del plan de contingencia. De igual manera la autoridad ambiental podrá solicitar información y soportes sobre el avance de las medidas proyectadas y ejecutadas.

#### Reducción del riesgo asociado al sistema de gestión del vertimiento

Las medidas de reducción del riesgo que están definidas a partir de las políticas, acciones de información, capacitación, conformación y entrenamiento de equipos para la respuesta a emergencias y que deben ser aplicadas por parte de los contratistas que hacen parte del proyecto deben ser presentadas ante la eventualidad de generarse riesgos que involucren el sistema de tratamiento de aguas residuales y que contemplan la siguiente información.

- Tipo de medida
- Descripción de la medida
- Estrategias de implementación
- Recursos
- Responsable
- Costos
- Cronograma

- Indicadores de seguimiento
- Mecanismos de seguimiento

#### 7.3.4.5 Plan de Contingencia para la Contaminación de Acuíferos

Es importante hacer la aclaración que cuando se presenta una emergencia por contaminación de acuíferos, la afectación no es solamente en el agua, sino todo el medio, ya que este fluido no existe en fase libre, sino que ocupa los espacios intersticiales entre las partículas de suelo.

La capacidad de depuración y filtración natural de los suelos está dada en función del tiempo y por contaminantes específicos, por lo tanto, esta no es una alternativa viable de remediación de suelos y/o acuíferos contaminados.

Durante las actividades de perforación exploratoria y de pruebas de producción, existe la posibilidad de presentarse accidentes por la fracturación o reventón de las tuberías de perforación o producción, por lo que se inicia la incorporación de contaminantes al flujo subterráneo en las formaciones del subsuelo y por consiguiente a los acuíferos.

#### ➤ **Activación del plan**

Para establecer la contingencia a seguir para el control y recuperación del acuífero afectado, en primer lugar, se deben realizar los estudios específicos (hidrogeológico) tendientes a determinar el modelo que defina la forma y dirección de la pluma de contaminación subterránea (flujo subterráneo), tomando como base el estudio de prospección desarrollado en este estudio para el Área de Perforación Exploratoria COR 15.

Como medidas de contingencias para el manejo de la contaminación de acuíferos o afloramientos por influjo de aguas inyectadas a nivel de superficie o corrientes de aguas se presentan métodos y medidas de remediación. Cuando la contaminación se ha producido y alcanzado gran extensión las medidas que pueden ser de utilidad son:

- *Actuaciones en el origen de la contaminación*
  - Remoción de tierras o residuos en superficie.
  - Aislamiento de los residuos, con impermeabilizaciones verticales o bato ellos.
  - Si la superficie freática alcanza los residuos, hacerlas descender, con barreras o bombeos.
  - Controlar o desviar la escorrentía superficial
- *Actuaciones en el acuífero*
  - Bombeo de la superficie del acuífero en el caso de productos petrolíferos, no miscibles, que por su menor densidad flotan sobre la superficie freática.
  - Bombeo intenso del acuífero contaminado, a veces con caudal intermitente o variables para un mejor rendimiento. Eventualmente, inyección simultánea de agua limpia.
  - Flujo forzado de aire o de vapor para volatilizar los contaminantes, normalmente en la zona no saturada.
  - Construcción de barreras impermeables o filtrantes (con alguna sustancia que retenga o actúe sobre el contaminante) en acuíferos profundos.

Aunque es importante tener en cuenta que la contaminación del agua subterránea es en muchos casos, un proceso muy difícilmente reversible debido a la dificultad de regeneración del acuífero, los procesos de remediación impulsados por la ciencia pueden ser aplicables, aún más, si se

realizan de forma oportuna permiten evidenciar resultados exitosos en la recuperación de acuíferos contaminados, pero durante largos períodos de tiempo.

Conforme lo establecido en el Plan de Gestión de Riesgos para Manejo de Vertimientos y como resultados de las medidas de reducción y manejo de la descarga de vertimientos a cuerpos de agua y suelos asociados a acuíferos en situaciones que limiten el tratamiento, se mencionan nuevamente los procedimientos de acuerdo con el evento presentado.

- *Procedimiento de manejo del evento*

Elaboración de un informe dirigido a la autoridad ambiental informando la situación presentada y que contenga:

- La descripción del evento y la causa
- Los efectos directos e indirectos generados en los diferentes medios
- Las acciones de control adelantadas

Este informe deberá ser presentado máximo 48 horas después de ocurrido el evento. Una vez se tengan los resultados del monitoreo a los medios afectados, se deberá elaborar un informe más detallado en el que se describa:

- El impacto del evento.
- Los resultados de las acciones adelantadas.
- Las acciones propuestas y para mitigar los efectos.
- Tiempo durante el cual se ejecutarán las medidas.
- Mecanismos de seguimiento adoptados.
- Este informe se entregará en un periodo máximo de un mes después de la fecha inicial de ocurrido el evento.

NOTA: Cualquier volumen de descarga que se presente que afecte el agua o el suelo (asociado al acuífero) dentro o fuera de las instalaciones del APE COR 15, generado por fallas en la operación deberá ser reportado a la autoridad ambiental.

- *Preparación para la recuperación post-evento*

La empresa operadora en concordancia con la política de responsabilidad social empresarial y partiendo de las acciones de recuperación post-desastre realizará una Evaluación de Daños de manera que se defina la magnitud de evento en relación con la contaminación del acuífero, el suelo y los recursos hidrobiológicos. Lo anterior, estimará las acciones que se deben implementar para controlar y atender la emergencia en relación con la afectación socioeconómica y ambiental del área de influencia y las actividades a seguir en términos de remediación, recuperación y/o compensación de los perjuicios ocasionados.

Como resultado de la evaluación de daños se deberá presentar un informe final dirigido a la autoridad ambiental que incluya:

- La descripción del evento.
- La causa
- Los efectos directos e indirectos generados en los diferentes medios
- Las acciones de control adelantadas
- Los resultados de los monitoreos realizados al medio receptor inmediatamente después de ocurrido el evento.

- El Plan de monitoreo en el corto plazo (Semanas u hasta dos meses después) y mediano plazo (seis meses) que permitan garantizar la correcta evaluación y verificación de la afectación.
- Las medidas necesarias a ser implementadas para recuperar las zonas afectadas
- Los costos
- Las acciones a implementar para evitar la ocurrencia de situaciones similares.

Los monitoreos a los medios afectados se deberán realizar en el menor tiempo posible (días) para poder evaluar los daños reales.

Se debe realizar el seguimiento por parte de la interventoría ambiental de las medidas propuestas para el manejo del evento establecidas dentro del plan de contingencia. De igual manera la autoridad ambiental podrá solicitar información y soportes sobre el avance de las medidas proyectadas y ejecutadas.

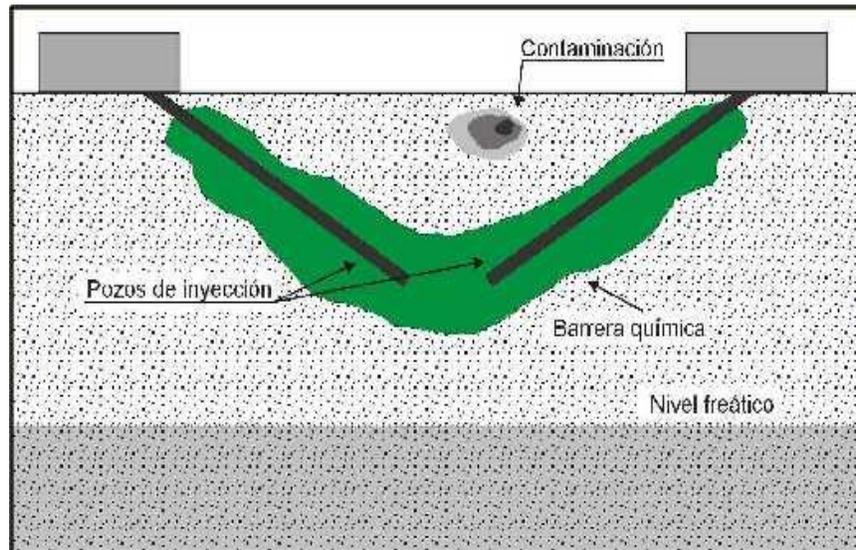
A continuación, se describen algunas de las medias de contingencia de acuerdo con la amenaza de contaminación del acuífero y dependiendo de los resultados de los estudios técnicos realizados previamente se determinan la(s) alternativa(s) de mayor viabilidad a aplicar.

- *Técnicas de confinamiento*

Se basan en el aislamiento de las aguas o suelos contaminados, de forma que su objetivo básico es evitar que esa contaminación se transfiera lateralmente. Por lo general son de aplicación cuando la contaminación está muy localizada y no resulta viable ninguna de las demás alternativas.

El aislamiento o confinamiento se basa, en cualquier caso, en la construcción de barreras, que pueden ser de muy diversos tipos:

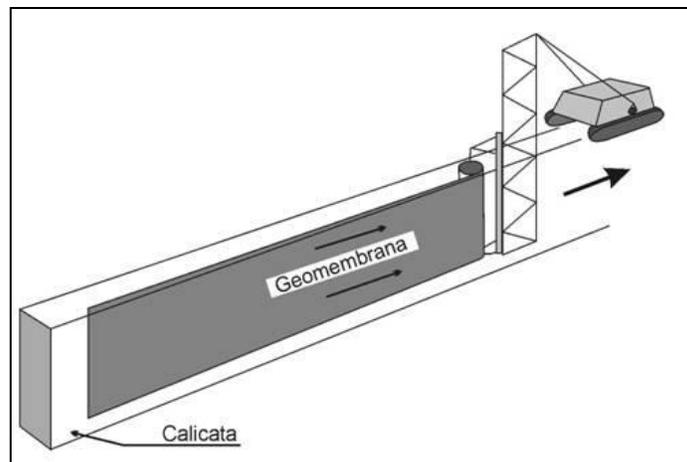
**Barreras químicas:** Como en el caso anterior, se inyecta bajo el área afectada un producto que impida la dispersión del contaminante, en este caso un agente químico, que en unos casos se emplea para reducir la permeabilidad del sustrato, y en otros para producir algún efecto sobre el contaminante: reducir su toxicidad o movilidad, en la **Figura 7-53** se observa el esquema de una barrera química, consistente en un producto que se inyecta bajo la zona contaminada, con color verde en la **Figura 7-53**.



**Figura 7-53 Esquema de una Barrera Química**

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

**Membranas sintéticas:** Formadas por las llamadas geomembranas, elementos textiles de diseño con permeabilidades diferenciadas, que pueden instalarse mediante la correspondiente excavación en el entorno del área afectada, tal como se muestra en la **Figura 7-54** .



**Figura 7-54 Extensión de Geomembrana en Zanja Perimétrica Respecto al Área A Aislar**

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

- *Técnicas de tratamiento in situ*

Las técnicas de tratamiento in situ son las que se aplican sin necesidad de trasladar el suelo o el agua subterránea afectados por el problema. Suelen ser de utilidad cuando el problema afecta a un volumen muy importante del suelo, que haga inviable su aislamiento y su tratamiento ex situ. La técnica de remediación in situ de carácter biológico aplicable es la biorremediación.

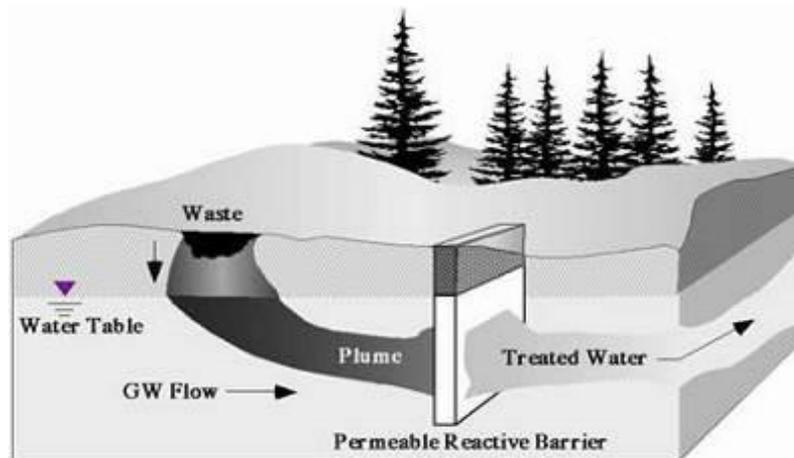
La  **biorremediación**  consiste en utilizar microorganismos (bacterias) para resolver o mitigar el problema, y es especialmente efectiva en el tratamiento de contaminantes orgánicos, incluido el

petróleo. Para que las bacterias puedan eliminar las sustancias químicas dañinas, el suelo y las aguas subterráneas deben tener la temperatura, los nutrientes y la cantidad de oxígeno apropiados. Esas condiciones permiten que las bacterias crezcan y se multipliquen, y asimilen más sustancias químicas. Cuando las condiciones no son las adecuadas, las bacterias crecen muy despacio o mueren, o incluso pueden crear sustancias químicas más dañinas.

Los microorganismos pueden ayudar a eliminar la contaminación de las aguas subterráneas, al igual que del suelo. También pueden bombearse nutrientes y aire por los pozos, de forma que la mezcla se produzca directamente en profundidad. Los nutrientes y el aire añadidos ayudan a las bacterias a biorremediar las aguas subterráneas. Una vez que se han eliminado las sustancias químicas dañinas, las bacterias ya no tienen “comida” disponible y mueren.

Las técnicas de remediación in situ de carácter físico-químico que podrían llegar aplicarse en el evento de presentar contaminación de acuíferos son:

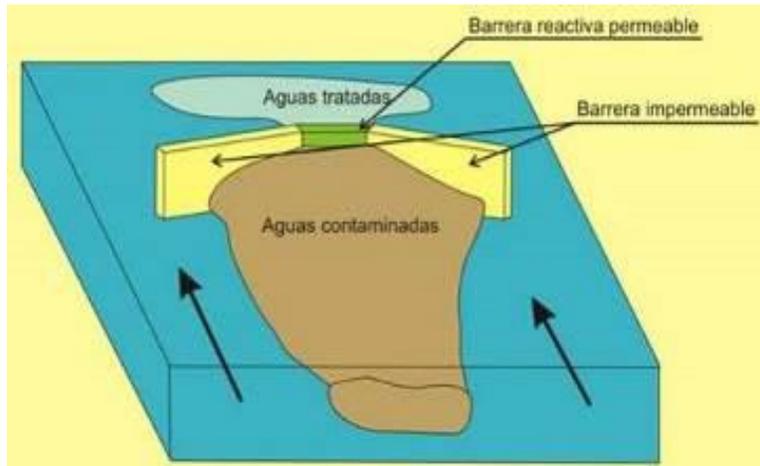
**Las Barreras Reactivas Permeables (BRP)** son similares a algunas de las utilizadas para el aislamiento que ya hemos visto con anterioridad, solo que, a diferencia de éstas, las BRP se instalan donde se ha identificado un flujo de aguas subterráneas contaminadas, para su depuración. Las PRB se construyen cavando una zanja larga y estrecha en el camino de las aguas subterráneas contaminadas. La zanja se llena de material reactivo capaz de eliminar las sustancias químicas dañinas. (Figura 7-55 ).



**Figura 7-55 Representación Esquemática de una Barrera Reactiva Permeable**

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

Entre los materiales reactivos más corrientes que pueden emplearse están el hierro, la caliza y el carbono, activado o no. Los materiales reactivos se mezclan con arena para facilitar que el agua fluya a través de la barrera, en lugar de alrededor de ella. En algunos sitios, la barrera es parte de un embudo que dirige las aguas subterráneas contaminadas hacia la parte reactiva de la pared, disposición que recibe en inglés el nombre de “FUNNEL and GATE” (Figura 7-56 ). La zanja o el embudo relleno se cubren con tierra, por lo que no resulta visible en la superficie.



**Figura 7-56 Sistema de "Funnel And Gate" en una Barrera Reactiva Permeable**

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

Las flechas mayores indican el sentido general de flujo del acuífero en el que se localiza la pluma de aguas contaminadas (en marrón).

El material que se emplea para construir la barrera depende del tipo de contaminante que se encuentre en las aguas subterráneas. Diferentes materiales eliminan la contaminación empleando distintos métodos:

- Atrapando o sorbiendo las sustancias químicas en su superficie. Por ejemplo, el carbono tiene una superficie a la que se sorben las sustancias químicas cuando las aguas subterráneas lo atraviesan.
- Precipitando las sustancias químicas disueltas en el agua. Por ejemplo, la caliza hace que los metales disueltos precipiten.
- Transformando las sustancias químicas dañinas en inofensivas. Por ejemplo, el hierro puede transformar algunos tipos de solventes en sustancias químicas inofensivas.
- Estimulando a los microorganismos del suelo a que se alimenten de las sustancias químicas. Por ejemplo, los nutrientes y el oxígeno en las PRB contribuyen a que los microorganismos crezcan y asimilen más sustancias químicas. Cuando las bacterias metabolizan totalmente las sustancias químicas, las pueden transformar en agua y en gases inofensivos como el dióxido de carbono o anhídrido carbónico.

La **Tabla 7-50** muestra los agentes que pueden emplearse en este tipo de barreras, y los contaminantes sobre los que se aplican.

**Tabla 7-50 Agentes Tratantes y Contaminantes Tratables**

AGENTES TRATANTES	CONTAMINANTES A TRATAR	ESTATUS
Hierro metálico	Halocarbonos(*), metales reducibles	En práctica
Metales Reducidos	Halocarbonos, metales reducibles	Demostración en campo
Pares de Metales	Halocarbonos	Demostración en campo
Calizas	Metales, aguas ácidas	En práctica
Agentes sorcitivos	Metales, compuestos orgánicos	Demostración en campo, en práctica
Agentes reductores	Metales reducibles, compuestos	Demostración en campo, en

AGENTES TRATANTES	CONTAMINANTES A TRATAR	ESTATUS
	orgánicos	práctica
Aceptadores biológicos de electrones	Hidrocarburos del petróleo	Demostración en campo, en práctica

\* Por ejemplo: CFC's

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

Las PRB eliminan muchos tipos de contaminación subterránea, y funcionan mejor en sitios de suelos arenosos poco compactos con flujo sostenido de aguas subterráneas. La contaminación no debe encontrarse por debajo de unos 15 metros de profundidad. Dado que no hay que bombear las aguas subterráneas contaminadas a la superficie, las PRB pueden resultar más económicas que otros métodos. Hay que eliminar pocos residuos soterrándolos en vertederos, con lo que también se ahorra dinero. No hay piezas que se rompan ni equipamiento sobre la superficie, de modo que los terrenos pueden utilizarse mientras se está llevando a cabo la descontaminación. No se incurre en costos energéticos con las PRB, ya que funcionan con el flujo natural de las aguas subterráneas.

La **oxidación química** emplea compuestos oxidantes para destruir la contaminación de suelos y aguas subterráneas, transformando ésta en compuestos inocuos, como agua y CO<sub>2</sub>. Esta técnica permite destruir muchos combustibles, solventes, y plaguicidas.

La técnica de base simplemente es la introducción en el terreno de los oxidantes, a través de pozos a diversas alturas, sin que sea necesario bombear los productos de la oxidación. No obstante, se observa que se obtiene una mayor efectividad de la técnica si establece un sistema cerrado, reinyectando lo obtenido por el pozo de extracción: con ello se ayuda a que se mezcle mejor el oxidante con los productos que constituyen la contaminación. (Figura 7-57).

Los productos oxidantes más utilizados son el agua oxigenada y el permanganato de potasio (de menor coste). También puede emplearse el ozono, aunque su carácter de gas hace más problemático su manejo. En algunos casos junto con el oxidante se emplea un catalizador, que aumenta el rendimiento del proceso de oxidación.

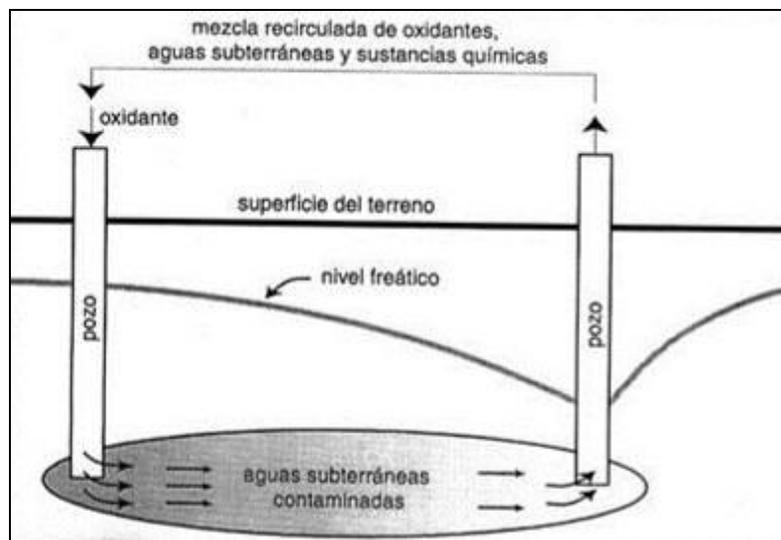


Figura 7-57 Esquema de un Dispositivo para Oxidación Química

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

Por otra parte, la oxidación puede crear el suficiente calor como para hacer hervir el agua subterránea, lo que favorece la movilidad de los contaminantes que no resulten oxidados. En resumen, se trata de una técnica muy adecuada para actuar frente a determinados contaminantes, sobre todo cuando se encuentran a profundidades considerables, a las que otros métodos no pueden llegar.

#### 7.3.4.6 Plan Informativo

El Plan Informativo para el Plan de Gestión de Riegos para el Vertimiento contiene la información cuya consulta posibilita, facilita o aumenta la eficiencia de las operaciones de respuesta. También es útil para que el Coordinador del PDC pueda verificar criterios de selección de puntos de control, fuentes de elaboración de cartografía, chequear listados e inventarios de equipos y disponer de manuales básicos para entrenamiento o práctica de mecanismos de respuesta

#### ➤ Directorio de entidades de apoyo a la atención de emergencias en área de Influencia del APE COR 15

El Plan informativo incluye los directorios telefónicos de autoridades, entidades y servicios a nivel municipal, departamental y nacional, relacionados con la respuesta a una emergencia. Los directorios contienen los datos de comunicación con entidades locales y regionales, comunicación con entidades médicas. En la **Tabla 7-51** se presenta el directorio de entidades de interés para el departamento de Boyacá y los municipios que son influenciados por el APE COR 15, dentro de los cuales se encuentran: Tasco, Betétiva, Busbanzá y Corrales.

**Tabla 7-51 Directorio Entidades Apoyo para Atención de Emergencias en Boyacá**

ORGANISMO	CONTACTO	CARGO	TELEFONO
Unidad Nacional de Gestión del Riesgo	Eduardo José González	Director General	(1) 3751078 Ext. 9735-36
	Juan Carlos Urrego	Subdirección General	
	Amelia Escobar	Oficina Asesora de Comunicaciones	
	Guillermo Escobar Castro	Subdirección de Manejo de Desastres	
Gobernación de Boyacá	Carlos Andrés Amaya	Palacio de la Gobernación (Tunja) <a href="mailto:despacho.gobernador@boyaca.gov.co">despacho.gobernador@boyaca.gov.co</a>	7420150 - 7420222 Ext. 2241
CDGRD de Boyacá	Germán Rafael Bermúdez Arenas	Director <a href="mailto:cdgrd.boyaca@gestiondelriesgo.gov.co">cdgrd.boyaca@gestiondelriesgo.gov.co</a>	320 2407303 – 320 2407303 - 7420220 EXT: 2333
CMGRD de Tunja	Yenny Lucía López Vanegas	Director <a href="mailto:cmgrd.tunja@gestiondelriesgo.gov.co">cmgrd.tunja@gestiondelriesgo.gov.co</a>	3202406919 - 3124823018
Dirección Nacional de Bomberos	CT. Misael Cadavid Jaramillo	Sistema Nacional de Bomberos	(1) 3771073 - 3751078 EXT. 111
Policía Nacional	CR. Carlos Fernando Triana Beltrán	Comandante Departamento de policía Boyacá Carrera 4 No. 29 - 62 Tunja Boyacá	098-7405510 Ext. 21437
	TC. Virgilio Armando Forero PONALSAR - Unidad de Operaciones Especiales en Emergencias y Desastres de la Policía Nacional	Comandante PONALSAR <a href="mailto:disec.ponalsar@policia.gov.co">disec.ponalsar@policia.gov.co</a>	312 4337644
Ejército Nacional	TC Antonio María Beltrán Díaz	Comandante Batallón de Prevención y Atención de Desastres	(57) 320 239 84 54

ORGANISMO	CONTACTO	CARGO	TELEFONO
Defensa Civil de Colombia	TC (r) Luis Felipe Pérez Torrado	Director Defensa Civil Seccional Boyacá Transversal 11 # 28A - 64 Barrio Belalcazar – Tunja <a href="mailto:sec.boyaca@defensacivil.gov.co">sec.boyaca@defensacivil.gov.co</a>	(57-8) 7430523 144
Cruz Roja Colombiana	Víctor Manuel Fonseca	Director Ejecutivo Cruz Roja Colombiana Seccional Boyacá <a href="mailto:boyaca@cruzrojacolombiana.org">boyaca@cruzrojacolombiana.org</a> Calle 17 N° 9-56 Tunja	7423198 - 7425208
Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Boyacá	CT. Bayardo Roa Cubaque	<b>Coordinador Ejecutivo Bomberos de Boyacá</b>	Atención al Usuario Tunja 038 7426070
CISPROQUIM-Centro De Información De Seguridad De Productos Químicos	Diana Marcela Gil	<b>Coordinadora General</b>	091-2886012 018000916012
Responsabilidad Integral® Colombia	Ana María Ocampo	<b>Directora R.I.</b> <a href="mailto:rintegral@andi.com.co">rintegral@andi.com.co</a> Calle 73 No. 8 – 13 Piso 8 Torre A	(+57 1) 3268500 (+57 1) 3473198
Entidad ambiental CORPOBOYACA	Ricardo López Dulcey	Director CORPOBOYACA	3124820088 3183128630

MUNICIPIO	ORGANISMO	CONTACTO	TELEFONO
Betétiva (Boyaca)	Alcaldía Municipal	Luís Enrique Gil <a href="mailto:alcaldia@beteitiva-boyaca.gov.co">alcaldia@beteitiva-boyaca.gov.co</a>	311 443 5192
	CMGRD	Andrea Paola Díaz <a href="mailto:planeacion@beteitiva-boyaca.gov.co">planeacion@beteitiva-boyaca.gov.co</a>	3112131131
	Secretario de Gobierno	Ana Himelda Angarita Albarracín <a href="mailto:gobierno@beteitiva-boyaca.gov.co">gobierno@beteitiva-boyaca.gov.co</a>	3112132098
	Estación Policía	IT Carlos Javier Bonilla <a href="mailto:deboy.ebeteitiva@policia.gov.co">deboy.ebeteitiva@policia.gov.co</a>	322 9430633
	Ejercito	Roger Iván Chávez	3142254905
	E.S.E. Centro de Salud Betétiva	María Carolina Salcedo	3212063515
	USPDB	William Edison Pérez <a href="mailto:serviciospublicos@beteitiva-boyaca.gov.co">serviciospublicos@beteitiva-boyaca.gov.co</a>	3202141064
Bomberos Voluntarios	Comandante Wilson de Jesus Perico Vargas	3163950919	

MUNICIPIO	ORGANISMO	CONTACTO	TELEFONO
Busbanzá (Boyacá)	Alcaldía Municipal	Arq. Gerardo Rincón Camacho <a href="mailto:alcaldia@busbanza-boyaca.gov.co">alcaldia@busbanza-boyaca.gov.co</a>	310 560 9765
	CMGRD	Ing. Armando Siachoque <a href="mailto:si.armando@gmail.com">si.armando@gmail.com</a>	3223479243
	Secretario de Gobierno	Tatiana Lorena Bustacara Silva <a href="mailto:tatianabustacara@hotmail.com">tatianabustacara@hotmail.com</a>	320 842 9952
	Estación Policía	IJ Nury Geovanna Londoño Flechas	3203257456

MUNICIPIO	ORGANISMO	CONTACTO	TELEFONO
		<a href="mailto:deboy.ebusbanza@policia.gov.co">deboy.ebusbanza@policia.gov.co</a>	
	Ejercito	N.A.	N/A
	E.S.E. Centro de Salud	Julio Cesar Piñeros <a href="mailto:ubabusbanza@hospitalssogamoso.gov.co">ubabusbanza@hospitalssogamoso.gov.co</a>	
	USPDB	Yudi Maide Mondragón <a href="mailto:yudimondragon@gmail.com">yudimondragon@gmail.com</a>	3112786875
	Bomberos Voluntarios	Henry Javier Rodríguez Rodríguez <a href="mailto:bomberosbusbanzaboy@gmail.com">bomberosbusbanzaboy@gmail.com</a>	3219132050

MUNICIPIO	ORGANISMO	CONTACTO	TELEFONO
Tasco (Boyacá)	Alcaldía Municipal	Javier Ricardo Bustacara Hernández <a href="mailto:alcaldia@tasco-boyaca.gov.co">alcaldia@tasco-boyaca.gov.co</a>	3208823382
	CMGRD	Manuel Forero	322 4338263
	Secretario de Gobierno	Bibiana Camacho <a href="mailto:gobierno@tasco-boyaca.gov.co">gobierno@tasco-boyaca.gov.co</a>	038-7879090
	Estación Policía	IT Edgar Rincon Tapias <a href="mailto:deboy.etasco@policia.gov.co">deboy.etasco@policia.gov.co</a>	3138255767
	Ejercito	N/A	N/A
	E.S.E. Centro de Salud Nuestra Señora del Rosario	Claudia Marcela Perea Eslava <a href="mailto:esetasco@gmail.com">esetasco@gmail.com</a>	3103218960
	USPDB	N/A	N/A
	Bomberos Voluntarios	N/A	N/A

MUNICIPIO	ORGANISMO	CONTACTO	TELEFONO
Corrales (Boyacá)	Alcaldía Municipal	Ing. Oscar Iban Cardenas Caro <a href="mailto:alcaldia@corrales-boyaca.gov.co">alcaldia@corrales-boyaca.gov.co</a>	3209652001
	CMGRD	Gerardo Norberto Tarazona Serrano <a href="mailto:juridica@corrales-boyaca.gov.co">juridica@corrales-boyaca.gov.co</a>	311 502 5222
	Secretario de Gobierno	Gerardo Norberto Tarazona Serrano <a href="mailto:juridica@corrales-boyaca.gov.co">juridica@corrales-boyaca.gov.co</a>	3115025222
	Estación Policía	IT Edwin Reyes Yepes <a href="mailto:deboy.ecorrales@policia.gov.co">deboy.ecorrales@policia.gov.co</a>	3123703151
	Ejercito	N/A	N/A
	E.S.E. Centro de Salud	Lady Liset Salamanca Castañeda <a href="mailto:esecorrales@gmail.com">esecorrales@gmail.com</a>	3134959411
	USPDB	Lucia Yaneth Parra <a href="mailto:serviciospublicos@corrales-boyaca.gov.co">serviciospublicos@corrales-boyaca.gov.co</a>	3107720238
	Bomberos Voluntarios	Contrato Bomberos Nobsa Com. Claudia Mosquera	3143555664

MUNICIPIO	ORGANISMO	CONTACTO	TELEFONO
Sogamoso (Boyacá)	Alcaldía Municipal	(E) Olga Lucia Benavides Vásquez <a href="mailto:alcaldia@sogamoso-boyaca.gov.co">alcaldia@sogamoso-boyaca.gov.co</a>	038 7706668

MUNICIPIO	ORGANISMO	CONTACTO	TELEFONO
	CMGRD	Carlos Espitia Cárdenas <a href="mailto:gestiondelriesgo@sogamoso-boyaca.gov.co">gestiondelriesgo@sogamoso-boyaca.gov.co</a>	3187533492
	Secretario de Gobierno	Luis David González Núñez <a href="mailto:gobierno@sogamoso-boyaca.gov.co">gobierno@sogamoso-boyaca.gov.co</a>	038 7710513
	Policía Nacional Distrito de Policía Sogamoso	TC. Yaneth Álvarez	321 3943622
	Ejercito Batallón de Artillería N.1 Tarqui	TC. Pedro Pablo León Silva	321 2169127
	Hospital Regional Sogamoso	Urgencias	038 7702201 038 7702202 038 7700573 (U)
	Coservicios S.A. ESP	Central de emergencias Gerencia	3176470857 038 7702110
	Bomberos Voluntarios	CT. Shdlosky Alfonso	3132959347 - 119

MUNICIPIO	ORGANISMO	CONTACTO	TELEFONO
Tunja (Boyaca)	Alcaldía Municipal	Pablo Emilio Cepeda Novoa <a href="mailto:alcaldia@tunja-boyaca.gov.co">alcaldia@tunja-boyaca.gov.co</a>	038 7405770 Ext 1202 1205
	CMGRD	Yenny Lucia López Vanegas <a href="mailto:cmgrd.tunja@gestiondelriesgo.gov.co">cmgrd.tunja@gestiondelriesgo.gov.co</a>	3202406919 3124823018
	Secretario de Gobierno	Fabio Armando Martínez Villamil <a href="mailto:gobierno@tunja-boyaca.gov.co">gobierno@tunja-boyaca.gov.co</a>	038 7456117
	Policía Nacional Dpto. de Policía Boyaca	CR. Carlos Fernando Triana Beltrán	098-7405510 Ext. 21437
	Ejercito Batallón de Inf. N. 1 Simón Bolívar	TC. Alex Alberto Álvarez Humañez	
	E.S.E Hospital San Rafael	Atención al usuario	038 7405050
	Proactiva Aguas de Tunja S.A E.S.P	Atención al usuario	038 7440088
	Bomberos Voluntarios	Atención al usuario	038 7426070

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

En la **Tabla 7-52** se presenta el directorio requerido para las comunicaciones operativas, las cuales corresponden a los miembros del plan de contingencia.

**Tabla 7-52 Miembros del Plan de Contingencia**

PERSONAL	CARGO	
Director de la emergencia	Perforación	Jefe de Pozo, Company Man
	Civil	Director de Obra
	Producción	Supervisor de Producción
Jefe de la emergencia	Perforación	Ingeniero Supervisor
	Civil	Ingeniero residente
	Producción	Ingeniero de Operaciones
Brigadistas	Perforación	Ingeniero de lodos

PERSONAL	CARGO	
		Ingeniero de aguas
		Técnico 1
		Técnico 2
	Civil	Supervisor de obra civil
		Almacenista
		Inspector de obra
		Maestro de obra
Producción	Recorredor	
Primeros Auxilios	Enfermería	
Asesoría Ambiental	Interventor Ambiental	
Asesoría en Seguridad Industrial	HSEQ	

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

### 7.3.5 Disposición Final De Aguas Residuales En Suelo

#### 7.3.5.1 Descripción de cada unidad de suelo

Las diferentes unidades de suelo presentes en el APE COR-15 se presentan a continuación en la **Tabla 7-53**.

**Tabla 7-53 Unidades de Suelo**

UNIDAD DE SUELO	CARACTERÍSTICAS
Asociación: Typic Haplustepts; Lithic Haplustolls; Lithic Dystrustepts <b>MMc</b>	Typic Haplustepts 40% Entic Haplustolls 30% Lithic Dystrustepts 20% inclusiones de Pachic Haplustands y Fluventic Dystrustepts en 10%
Complejo: Lithic Ustorthents; Humic Dystrustepts; Afloramientos rocosos <b>MMe</b>	Lithic Ustorthents 40% Humic Dystrustepts 30% Afloramientos Rocosos 20% inclusiones de Dystric Haplustands, Inceptic Haplustalfs y Fluvaquentic Haplustolls 10%.
Complejo: Typic Ustifluvents; Fluventic Haplustepts; Aquic Haplustepts <b>MMh</b>	Typic Ustifluvents 40% Fluventic Haplustepts 30% Aquic Haplustepts 20% Inclusiones de Fluventic Dystrustepts 10%

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

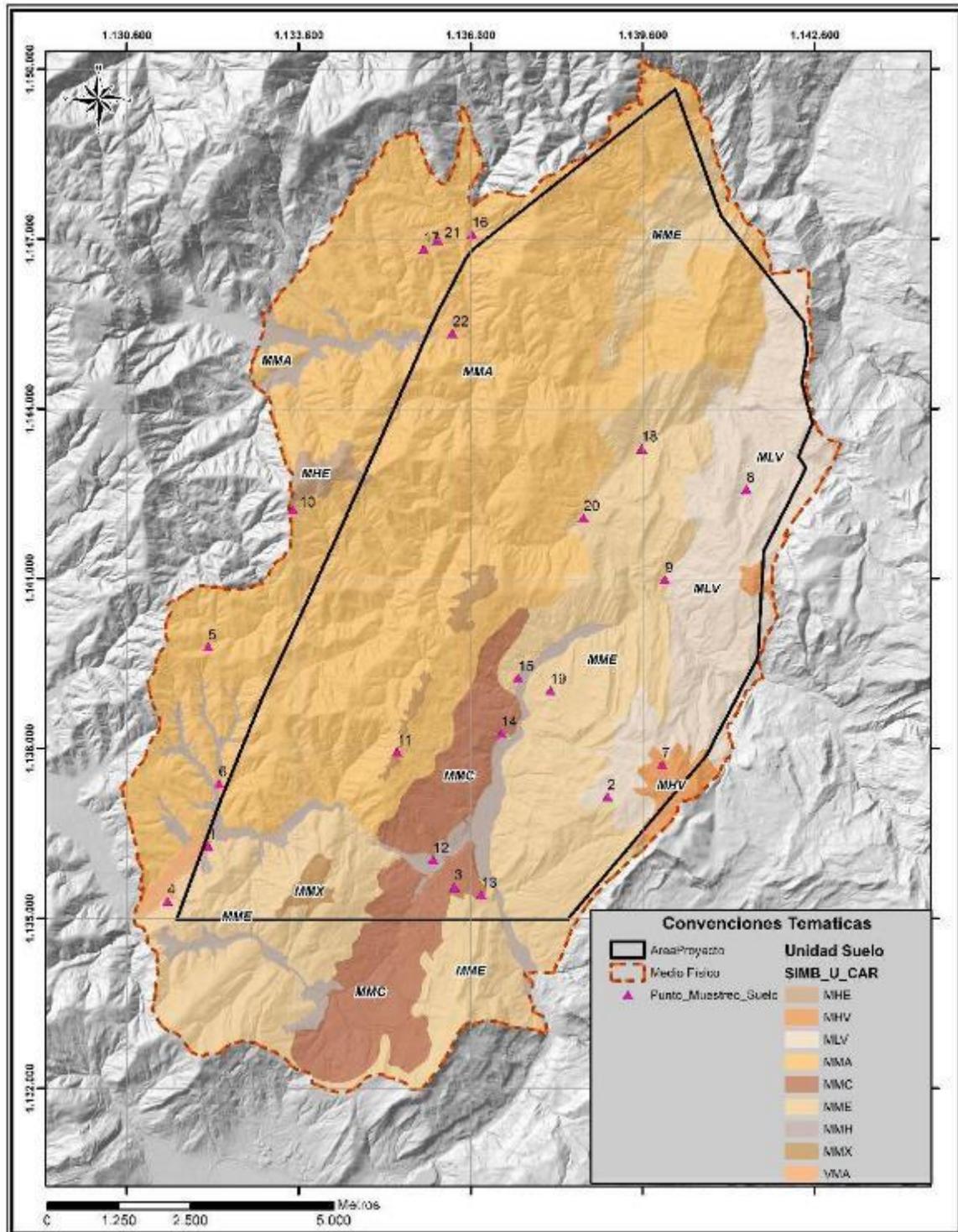
### 7.3.5.2 Caracterización físico-química del área de disposición

El trabajo de colecta de las muestras de suelo en campo se efectuó entre el 30 de abril y el 11 de mayo de 2019. En la **Tabla 7-54** y **Figura 7-58** se presenta la ubicación de los sitios donde se llevó a cabo la toma de muestra de suelo (Ver *Anexo Resultados de Laboratorio Suelos*):

El análisis de suelo se realizó teniendo en cuenta lo establecido en los términos de referencia y a la normativa existente y que corresponde al Decreto 050 de 2018.

**Tabla 7-54 Ubicación de los Puntos de Muestreo de Suelo para el APE COR-15**

UNIDAD DE SUELO	NOMBRE	ESTE	NORTE
MMC	Punto 5. Finca La Copa	1136315,296	1135567,974
MMC	Punto 15. Corrales - Modeca	1136784	1135432
MMC	Punto 21. Didamon Corrales	1137130	1138273
MME	Punto 3. Busbanzá El Tobo	1131312	1135312
MME	Punto 9. Tasco Canales	1139988	1140995
MME	Punto 11. Tasco - Peña Blanca	1139579	1143307
MME	Punto 8. Corrales - Reyes Patria	1137987	1139031
MME	Punto 13. Tasco- Buntia	1138568	1142086
MMH	Punto 1. Busbanzá Quebradas	1132210	1137388
MMH	Punto 16. Corrales	1135943	1136046
MMH	Punto 14. Buenavista Corrales	1137425	1139251



**Figura 7-58 Localización de los puntos de muestreo de Suelo para el APE COR-15**  
Fuente: Google Earth Pro, 2019

Los parámetros considerados corresponden a los detallados en la **Tabla 7-55** y **Tabla 7-56**.

**Tabla 7-55 Descripción de los Métodos Empleados para el Análisis de Parámetros Físicoquímicos del Suelo – Análisis A**

PARÁMETROS	UNIDADES	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO
HORA	h.		
pH	UNIDADES	POTENCIOMÉTRICO	EPA 9045 D
CONDUCTIVIDAD	mmhos/cm	ELECTROMÉTRICO	NOM 021 SEMARNAT 200 AS18
HUMEDAD	%	GRAVIMETRÍA A 105 °C	NOM 021 SEMARNAT 200 AS 05
DENSIDAD APARENTE	g/cm3	GRAVIMÉTRICO	LBC 365
DENSIDAD REAL	g/cm3	GRAVIMÉTRICO	
SALINIDAD	0/00	ELECTROMÉTRICO	SM 2520 B
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	%	DIGESTIÓN, TITULOMETRIA	NTC 5403 METODO B - WALKLEY BLACK
ACIDEZ INTERCAMBIABLE	meq/100g	VOLUMÉTRICO	IGAC 6ed 2006
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO	meq/100g	VOLUMÉTRICO	NTC 5268
FOSFORO TOTAL	mg P/kg	FUSIÓN CON NaNO / KNO3 - CUANTIFICACIÓN COLORIMÉTRICA CON AS	PROTOCOLO IGAC, 6ª EDICION, 2006
BARIO	mg/kg (ppm)	E.A.A.	EPA 3050 B, SM 3111 D
CADMIO	mg/kg (ppm)	E.A.A.	EPA 3050 B, SM 3111 B
CROMO TOTAL	mg/kg (ppm)	E.A.A.	EPA 3050 B, SM 3111 B
HIERRO TOTAL	mg/kg (ppm)	E.A.A.	EPA 3050 B, SM 3111 B
PLOMO	mg/kg (ppm)	E.A.A.	EPA 3050 B, SM 3111 B
MERCURIO	mg/kg (ppm)	E.A.A. - GENERADOR DE HIDRUROS	EPA 7471 B, SM 3114 C
ARSÉNICO	mg/kg (ppm)	E.A.A.	EPA 3050 B, SM 3113 B
SELENIO TOTAL	mg/kg (ppm)	DIGESTIÓN-AA - GENERACIÓN DE HIDRUROS	EPA 7062 - SM 3114 C
GRASAS Y ACEITES	%	EXTRACCIÓN CON N-HEXANO	EPA 9071 B
HIDROCARBUROS TOTALES	%	EXTRACCIÓN CON N-HEXANO	EPA 9071B, SM 5520F MODIFICADO
MATERIA ORGÁNICA	%	CÁLCULO	NTC 5403
T-ARENA	%	AGENTE DISPERSANTE	NOM 021 SEMARNAT 200 AS 09
T-ARCILLA	%	AGENTE DISPERSANTE	NOM 021 SEMARNAT 200 AS 09
T-LIMO	%	AGENTE DISPERSANTE	NOM 021 SEMARNAT 200 AS 09
TEXTURA	%	AGENTE DISPERSANTE	NOM 021 SEMARNAT 200 AS 09
POTENCIAL REDOX	mV	ELECTROMÉTRICO	SM 2580 B

E.A.A.: Espectrometría de Absorción Atómica

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2019

**Tabla 7-56 Descripción de los métodos empleados para el análisis de parámetros físicoquímicos del suelo – Análisis B (Decreto 050 de 2018)**

PARÁMETROS	UNIDADES	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO
HORA	h.		
TEMPERATURA MUESTRA	°C	TERMOMÉTRICO	SM 2550 B
PH	UNIDADES	POTENCIOMÉTRICO	EPA 9045 D
CONDUCTIVIDAD	mmhos/cm	ELECTROMÉTRICO	NOM 021 SEMARNAT 200 AS18
CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA	cm/hr		
PERMEABILIDAD	cm/hr		
DETERMINACIÓN DE	mm/h		

PARÁMETROS	UNIDADES	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO
INFILTRACION EN CAMPO			
PROFUNDIDAD	m	MÉTRICA	
NIVEL FREÁTICO	m		
HUMEDAD	%	GRAVIMETRÍA A 105 °C	NOM 021 SEMARNAT 200 AS 05
RETENCIÓN DE HUMEDAD A TENSIONES: 0 kPA (SATURACIÓN)	%		EXTRACTOR DE PRESION CON PLATOS DE CERAMICA Y/O MEMBRANA DE CELULOSA
RETENCIÓN DE HUMEDAD A TENSIONES: -33 kPA (CAPACIDAD DE CAMPO)	%		EXTRACTOR DE PRESION CON PLATOS DE CERAMICA Y/O MEMBRANA DE CELULOSA
RETENCIÓN DE HUMEDAD A TENSIONES: -1500 kPA(PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE)	%		EXTRACTOR DE PRESION CON PLATOS DE CERAMICA Y/O MEMBRANA DE CELULOSA
CONSISTENCIA EN HUMEDO			
PLASTICIDAD			
DENSIDAD REAL	g/cm3	GRAVIMÉTRICO	
DENSIDAD APARENTE	g/cm3	GRAVIMÉTRICO	LBC 365
SALINIDAD	0/00	ELECTROMÉTRICO	SM 2520 B
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	%	DIGESTIÓN, TITULOMETRÍA	NTC 5403 METODO B - WALKLEY BLACK
ACIDEZ INTERCAMBIABLE	meq/100g	VOLUMÉTRICO	IGAC 6ed 2006
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO	meq/100g	VOLUMÉTRICO	NTC 5268
POTASIO INTERCAMBIABLE	meq/100g		NTC 5349 ACETATO DE AMONIO 1M
CALCIO INTERCAMBIABLE	meq/100g		NTC 5349 ACETATO DE AMONIO 1M
MAGNESIO INTERCAMBIABLE	meq/100g		NTC 5349 ACETATO DE AMONIO 1M
SODIO INTERCAMBIABLE	meq/100g		NTC 5349 ACETATO DE AMONIO 1M
ALUMINIO INTERCAMBIABLE	meq/100g		NTC 5349 ACETATO DE AMONIO 1M
SATURACIÓN DE ALUMINIO %	%	CÁLCULO	
SATURACIÓN DE BASES	%	CÁLCULO	
NITROGENO POTENCIALMENTE MINERALIZADO (NNO3)	ppm	COLORIMÉTRICO	LBC 109
NITROGENO POTENCIALMENTE MINERALIZADO (NNH4)	ppm	COLORIMÉTRICO	LBC 109
FRACCIÓN LIGERA DE LA MATERIA ORGANICA		VOLUMÉTRICO	IGAC WALKLEY BLACK
COLOR			CARTA MUNSELL
NITROGENO TOTAL KJELDAHL	mg NTK/kg	VOLUMÉTRICO	PROTOCOLO IGAC, 6ª EDICION, 2006
FÓSFORO TOTAL	mg P/kg	FUSIÓN CON NaNO / KNO3 - CUANTIFICACIÓN COLORIMÉTRICA CON AS	PROTOCOLO IGAC, 6ª EDICION, 2006
BARIO	mg/kg (ppm)	E.A.A.	EPA 3050 B, SM 3111 D
CADMIO	mg/kg (ppm)	E.A.A.	EPA 3050 B, SM 3111 B
CROMO TOTAL	mg/kg (ppm)	E.A.A.	EPA 3050 B, SM 3111 B
HIERRO TOTAL	mg/kg (ppm)	E.A.A.	EPA 3050 B, SM 3111 B
PLOMO	mg/kg (ppm)	E.A.A.	EPA 3050 B, SM 3111 B
MERCURIO	mg/kg (ppm)	E.A.A. - GENERADOR DE HIDRUROS	EPA 7471 B, SM 3114 C
ARSÉNICO	mg/kg (ppm)	E.A.A.	EPA 3050 B, SM 3113 B
SELENIO TOTAL	mg/kg (ppm)	DIGESTIÓN-AA - GENERACIÓN DE HIDRUROS	EPA 7062 - SM 3114 C
POTASIO DISPONIBLE	cmol/kg		
RAS (RELACIÓN DE ADSORCIÓN DE SODIO)		SOLUBLES EN PASTA DE SATURACION (Ca2+, Mg2+ y Na+)	NORM- 021 RECNAT - 2000

PARÁMETROS	UNIDADES	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO
GRASAS Y ACEITES	%	EXTRACCIÓN CON N-HEXANO	EPA 9071 B
HIDROCARBUROS TOTALES	%	EXTRACCIÓN CON N-HEXANO	EPA 9071B, SM 5520F MODIFICADO
MATERIA ORGANICA	%	CÁLCULO	NTC 5403
T-ARENA	%	AGENTE DISPERSANTE	NOM 021 SEMARNAT 200 AS 09
T-ARCILLA	%	AGENTE DISPERSANTE	NOM 021 SEMARNAT 200 AS 09
T-LIMO	%	AGENTE DISPERSANTE	NOM 021 SEMARNAT 200 AS 09
TEXTURA	%	AGENTE DISPERSANTE	NOM 021 SEMARNAT 200 AS 09
POTENCIAL REDOX	mV	ELECTROMÉTRICO	SM 2580 B
MACROPOROSIDAD	%	CÁLCULO	
MICROPOROSIDAD	%	CÁLCULO	
COLIFORMES TOTALES	NMP/g	FERMENTACIÓN TUBOS MULTIPLES	EPA 1680
COLIFORMES FECALES	NMP/g	FERMENTACIÓN TUBOS MULTIPLES	EPA 1680
SALMONELLA SP			ISO 6579 MODF - NTC 4574 MODF
HONGOS	UFC/g	CONTEO EN PLACA POR SIEMBRA EN SUPERFICIE	IGAC
BACTERIAS HETEROTROFAS	UFC/g	CONTEO EN PLACA POR SIEMBRA EN SUPERFICIE	IGAC
BACTERIAS TIPO ACTINOMICETO	UFC/g	CONTEO EN PLACA POR SIEMBRA EN SUPERFICIE	IGAC
FIJADORES DE NITROGENO LIBRE	UFC/g	CONTEO EN PLACA POR SIEMBRA EN SUPERFICIE	IGAC
SOLUBIZADORES DE FOSFATOS	UFC/g	CONTEO EN PLACA POR SIEMBRA EN SUPERFICIE	IGAC
CELULOLITICOS	UFC/g	CONTEO EN PLACA POR SIEMBRA EN SUPERFICIE	IGAC
OXIDANTES DE AMONIO (NITRIFICANTES)	NMP/g	FERMENTACIÓN TUBOS MULTIPLES	IGAC
OXIDANTES DE NITRITO (NITRIFICANTES)	NMP/g	FERMENTACIÓN TUBOS MULTIPLES	IGAC
AMONIFICANTES	NMP/g	FERMENTACIÓN TUBOS MULTIPLES	IGAC
DENITRIFICANTES	NMP/g	FERMENTACIÓN TUBOS MULTIPLES	IGAC
RESPIRACIÓN BACIAL (PRODUCCIÓN DE CO <sub>2</sub> )	mg CO <sub>2</sub> /g/48h	TITULACIÓN ÁCIDO / BASE	IGAC

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2019

### 7.3.6 Resultados del Monitoreo

#### ➤ Parámetros Físicoquímicos

- Análisis A

El análisis de los parámetros físicoquímicos, comprende la presentación de los resultados con sus respectivas caracterizaciones.

En el **Anexo 1** se presentan los resultados obtenidos para las variables fisicoquímicas evaluadas en algunos de los puntos de suelo monitoreados en la zona de influencia del Área de Perforación Exploratoria COR-15, ubicados en el departamento de Boyacá.

En la **Tabla 7-57** se presentan los datos obtenidos para las variables fisicoquímicas analizadas.

**Tabla 7-57 Resultados fisicoquímicos reportados para las muestras de suelo – Análisis A**

UNIDADES DE SUELO		MMH	MME	MME
PARÁMETROS	UNIDADES	PUNTO 1 - BUSBANZA QUEBRADAS	PUNTO 3 BUSBANZA EL TOBO	PUNTO 11 TASCO - PEÑA BLANCA
		MCS 10605	MCS 10603	MCS 11488
HORA	h.	15:00	14:00	16:00
pH	UNIDADES	6,18	6,64	5,33
CONDUCTIVIDAD	mmhos/cm	0,024	0,016	0,026
HUMEDAD	%	9,3	10,9	5
DENSIDAD APARENTE	g/cm <sup>3</sup>	2,53	2,46	2,36
DENSIDAD REAL	g/cm <sup>3</sup>	2,56	2,49	2,68
SALINIDAD	0/00	<0,1	<0,1	<0,1
CARBONO ORGANICO TOTAL	%	0,24	0,11	0,12
ACIDEZ INTERCAMBIABLE	meq/100g	<50	<50	<50
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO	meq/100g	9,19	9,2	13,9
FOSFORO TOTAL	mg P/kg	<2,5	<2,5	<2,5
BARIO	mg/kg (ppm)	<100	<100	<100
CADMIO	mg/kg (ppm)	<10	<10	<10
CROMO TOTAL	mg/kg (ppm)	<40	<40	<40
HIERRO TOTAL	mg/kg (ppm)	24376	20483	9068
PLOMO	mg/kg (ppm)	<60	<60	<60
MERCURIO	mg/kg (ppm)	<0,200	<0,200	<0,200
ARSENICO	mg/kg (ppm)	<0,500	<0,500	<0,500
SELENIO TOTAL	mg/kg (ppm)	<0,500	<0,500	<0,500
RAS (RELACION DE ADSORCION DE SODIO)	I	0,33	0,32	0,71
GRASAS Y ACEITES	%	<0,02	0,035	<0,02
HIDROCARBUROS TOTALES	%	<0,02	<0,02	<0,02
MATERIA ORGANICA	%	0,41	0,2	0,21
T-ARENA	%	27	33	32
T-ARCILLA	%	38	37	38
T-LIMO	%	35	30	30
TEXTURA	%	F-Ar	F-Ar	F-Ar
POTENCIAL REDOX	mV	67	53	27

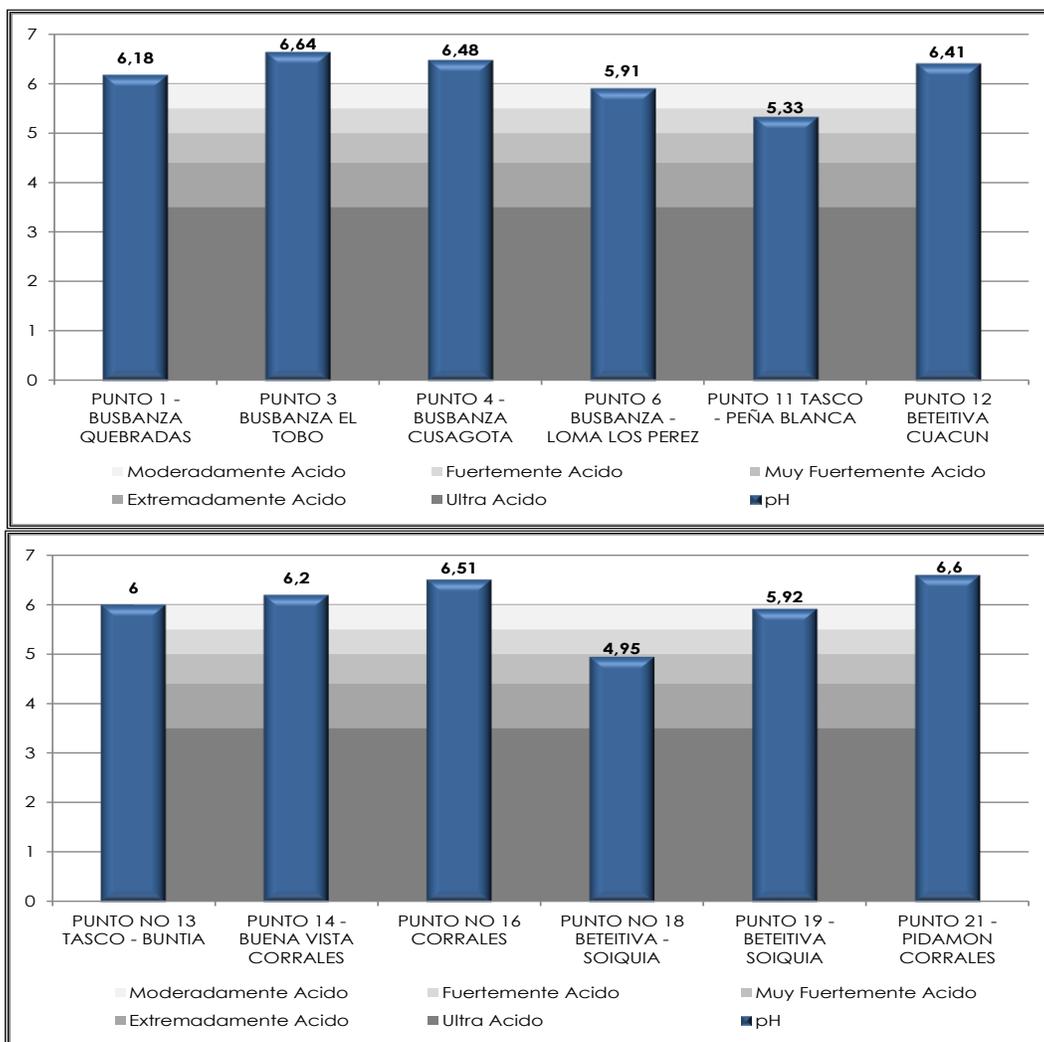
UNIDADES DE SUELO		MME	MMH	MMH	MMC
PARÁMETROS	UNIDADES	PUNTO N. 13 TASCO - BUNTIA	PUNTO 14 - BUENA VISTA CORRALES	PUNTO N. 16 CORRALES	PUNTO 21 - PIDAMON CORRALES
		MCS 11237	MCS 11003	MCS 11099	MCS 11002
HORA	h.	16:00	15:30	10:00	10:00
pH	UNIDADES	6	6,2	6,51	6,6
CONDUCTIVIDAD	mmhos/cm	0,062	0,435	0,099	0,06
HUMEDAD	%	14	9,45	4,2	9,44
DENSIDAD APARENTE	g/cm <sup>3</sup>	2,51	2,48	2,17	2,42
DENSIDAD REAL	g/cm <sup>3</sup>	2,55	2,51	2,57	2,46
SALINIDAD	0/00	<0,1	0,17	<0,1	<0,1
CARBONO ORGANICO TOTAL	%	0,53	0,34	0,09	0,60
ACIDEZ INTERCAMBIABLE	meq/100g	<50	<50	<50	<50
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO	meq/100g	10,23	15,8	9,1	16,2
FOSFORO TOTAL	mg P/kg	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5
BARIO	mg/kg (ppm)	<100	<100	<100	<100
CADMIO	mg/kg (ppm)	<10	<10	<10	<10
CROMO TOTAL	mg/kg (ppm)	<40	<40	<40	<40
HIERRO TOTAL	mg/kg (ppm)	15257	20670	20150	20733
PLOMO	mg/kg (ppm)	<60	<60	<60	<60
MERCURIO	mg/kg (ppm)	<0,200	<0,200	<0,200	<0,200
ARSENICO	mg/kg (ppm)	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500
SELENIO TOTAL	mg/kg (ppm)	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500
RAS (RELACION DE ADSORCION DE SODIO)	I	0,19	0,5	0,33	1,09
GRASAS Y ACEITES	%	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
HIDROCARBUROS TOTALES	%	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
MATERIA ORGANICA	%	0,94	0,63	0,16	1,12
T-ARENA	%	28	32	35	38
T-ARCILLA	%	34	36	35	32
T-LIMO	%	38	32	30	30
TEXTURA	%	F-Ar	F-Ar	F-Ar	F-Ar
POTENCIAL REDOX	mV	42	48	51	42

Nota 1: Las unidades de mg/Kg son equivalentes a ppm. Nota 2: Resultados expresados en base seca. Nota 3: MCS Consultoría se hace responsable por los análisis subcontratados  
Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S, 2019

Las propiedades físicas de los suelos son resultado de la acción de diferentes procesos y factores en un medio ecológico definido, de las condiciones climáticas del área donde se encuentran y de los usos que ha tenido a través del tiempo. Cabe mencionar que estas propiedades se pueden ver deterioradas por un uso inadecuado del suelo, y su recuperación requiere de mucho tiempo. La discusión de estas propiedades se hace con base en las características morfológicas observadas en el campo y en las determinaciones de laboratorio para el suelo.

Las siguientes descripciones son de varios muestreos dentro de las diferentes unidades de suelo y vamos a ver las variaciones en los valores y su comportamiento. Y así poder tomar decisiones con respecto al vertimiento de aguas.

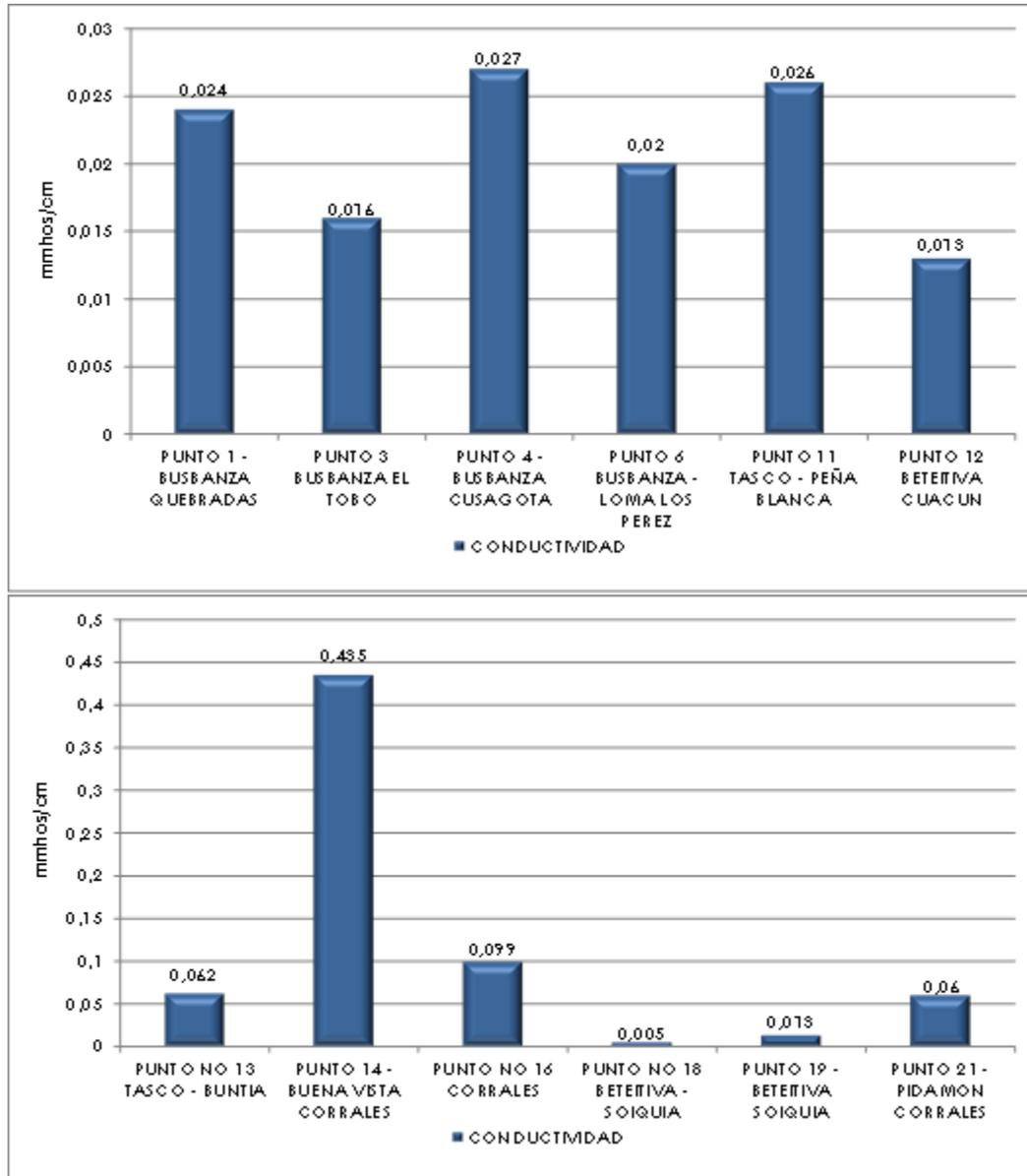
La reacción del suelo o pH es la cantidad de iones hidronio (H+) presentes en la solución del suelo, indica la acidez o alcalinidad del medio edáfico. El pH del suelo es un factor importante para el desarrollo y crecimiento de las plantas; controla la disponibilidad de nutrientes, la actividad de micro y meso-organismos del suelo, la mineralización de la materia orgánica, la concentración de iones, sustancias tóxicas y otras propiedades. Los suelos evaluados presentaron un pH entre 4,95 Unidades (Punto 18. Betéitiva - Soiquía) y 6,64 Unidades (Punto 3. Busbanzá el Tobo), presentando suelos con características Muy fuertemente ácidos y Neutros respectivamente, según la clasificación del Soil Survey Division Staff (USDA, 2017) (ver **Figura 7-59**). Los resultados pueden estar relacionados con el contenido de materia orgánica presente en el suelo y las características litológicas propias de la zona de estudio.



**Figura 7-59 Registros de pH obtenidos en los puntos de muestreo**

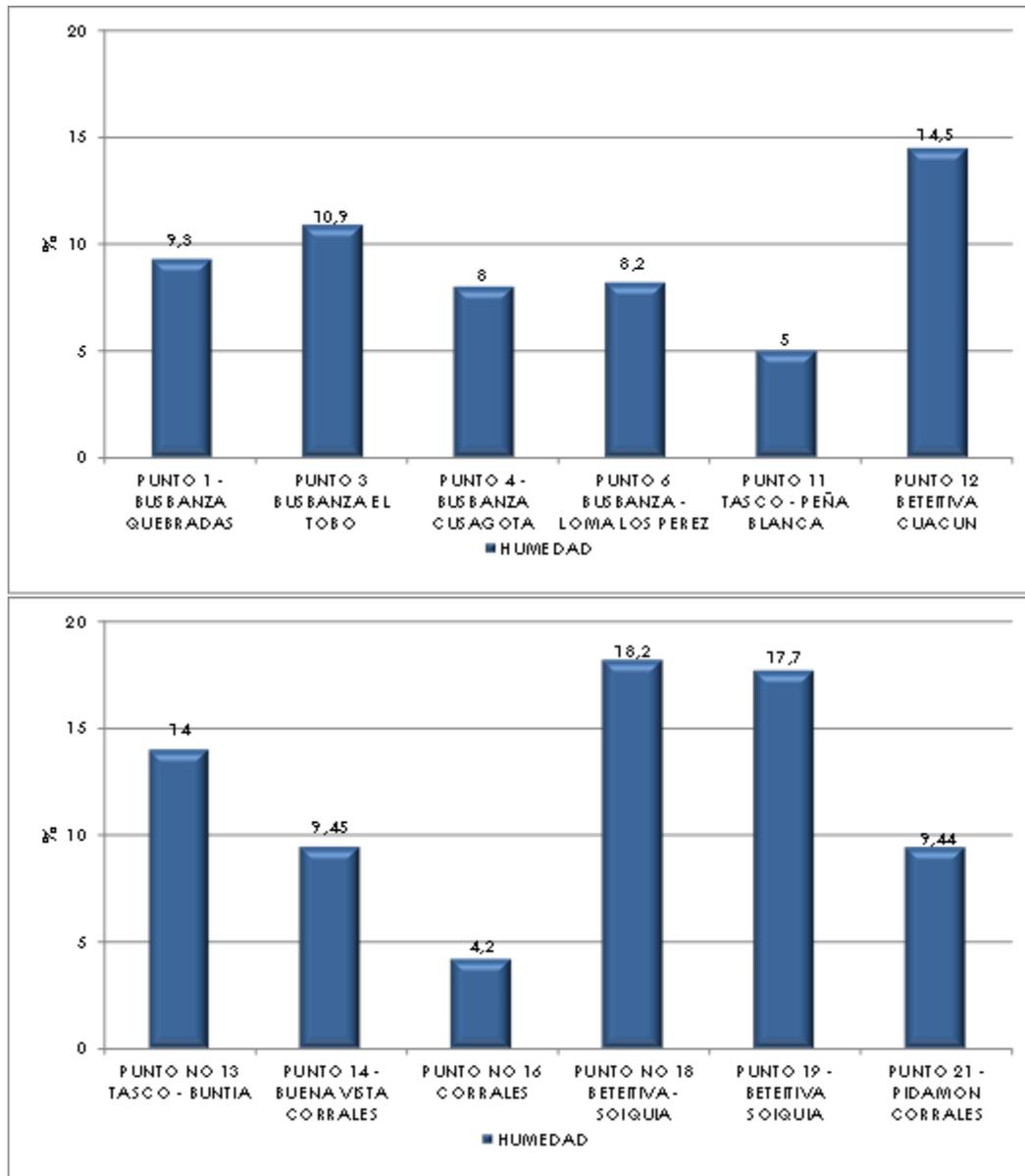
Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019

La Conductividad eléctrica es la capacidad de una disolución para transmitir corriente eléctrica. Esta aptitud depende principalmente del contenido, movilidad e interacción (fuerzas interiónicas) entre los iones (cationes y aniones) presentes en la disolución. Dicho de otro modo, el valor de la CE depende de la concentración de sales disueltas (AgriNova, 2017). Para el presente monitoreo se encontraron conductividades muy bajas entre 0,005 mmhos/cm (Punto 18. Betétiva- Soiquía) y 0,435 mmhos/cm (Punto 14. Buenavista Corrales) (**Figura 7-60**). Esta baja conductividad indica buenas condiciones del suelo para este parámetro, ya que según Soriano (2018) los suelos con elevadas conductividades eléctricas impiden el buen desarrollo de las plantas, ya que contienen así mismo una elevada cantidad de sales.



**Figura 7-60 Registros de conductividad obtenidos en los puntos de muestreo**  
Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019

La cantidad de agua que posea el suelo es una de sus características más específicas y está determinada, fundamentalmente, por su textura, su contenido de materia orgánica, la composición de sus fracciones mineral y orgánica y el arreglo que presente el medio físico edáfico, por el aporte que se le haga natural (lluvia) o artificialmente (riego) de ella, así como por el consumo causado por la evapotranspiración (Jaramillo, 2002). Para los puntos analizados, el porcentaje de humedad del suelo se encontró entre 4,2% (Punto 16 – Corrales) y 18,2 (Punto 18. Betéitiva - Soiquía) (Figura 7-61) Observando así, suelos con un contenido moderado de humedad, que puede relacionarse con las características de estructura y textura de cada punto.



**Figura 7-61 Registros de Humedad obtenidos en los puntos de muestreo**  
Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019

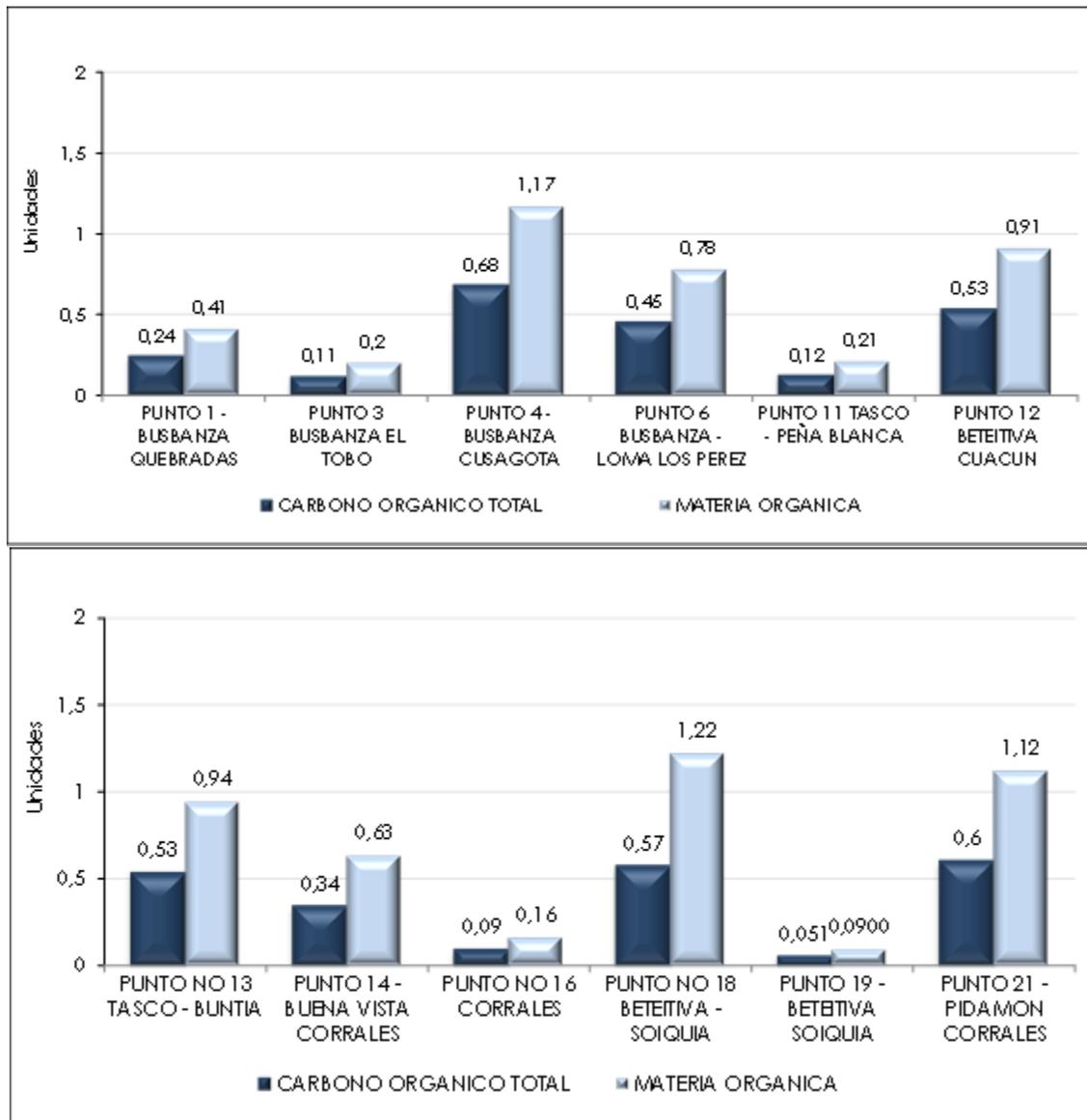
La **densidad** aparente se define como la masa de suelo por unidad de volumen ( $\text{g. cm}^{-3}$  o  $\text{t. m}^3$ ). Describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso (Keller & Håkansson, 2010). Es una forma de evaluar la resistencia del suelo a la elongación de las raíces. La densidad aparente varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica; puede variar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expandentes (Taboada & Alvarez, 2008). Este parámetro reportó valores entre  $2,03 \text{ g/cm}^3$  (Punto 19. Betétiva - Soiquía) y  $2,53 \text{ g/cm}^3$  (Punto 1. Busbanzá Quebradas) (**Tabla 7-57**). Los valores están estrechamente relacionados con los contenidos de materia orgánica, la textura del suelo y el contenido de humedad; suelos que presenten menor contenido de Materia Orgánica (MO) retienen menos humedad por lo tanto aumenta la densidad aparente. A medida que se incrementan los valores de materia orgánica, disminuye la densidad aparente y aumenta la retención de agua disponible (Salamanca & Sadeghian, 2005).

El Peso Específico o **Densidad Real** del suelo, es la relación entre la unidad de peso y la unidad de volumen de la fase sólida del suelo, sin incluir el volumen de poros, siendo más o menos constante, ya que está determinado por la composición química y mineralógica de la fase sólida. Las muestras evaluadas, reportaron valores que fluctuaron entre  $2,43 \text{ g/cm}^3$  (Punto 19. Betétiva – Soiquía) y  $2,68 \text{ g/cm}^3$  (Punto 11. Tasco – Peña Blanca), siendo registros coherentes con los obtenidos para el parámetro densidad aparente.

La **Salinidad** se relaciona con la cantidad de sales presentes en el suelo y por ende con la conductividad eléctrica del medio. Altas concentraciones afectan la asimilación de nutrientes por las plantas y la actividad microbiana (Zhang, et al, 2019), por lo que es uno de los factores típicos de degradación del suelo. Para el presente monitoreo, se obtuvieron registros entre el límite de cuantificación de la técnica analítica empleada en laboratorio para su determinación ( $<0,1 \text{ ppm}$ ) en la mayoría de puntos analizados y  $0,17 \text{ ppm}$  en el punto 14. Buenavista – Corrales. Los resultados sugieren bajas concentraciones de este parámetro en las muestras analizadas, acordes con los valores de conductividad eléctrica obtenidos.

El **Carbono Orgánico Total (COT)** es un parámetro que se utiliza para valorar la calidad de un determinado lugar, esta sustancia puede ser descompuesta por microorganismos durante el proceso de consumo de oxígeno (PRTTR, 2007). El suelo puede actuar como fuente o reservorio de Carbono dependiendo de su uso y manejo, pueden contener más C que la suma existente en la vegetación y en la atmósfera (Swift, 2001). El Carbono Orgánico Total registró valores bajos, entre  $0,09\%$  (Punto 16. Corrales) y  $0,68\%$  (Punto 4. Busbanzá- Cusagota) (**Tabla 7-57**). El carbono en los suelos puede encontrarse en forma orgánica e inorgánica, en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al C elemental (Jackson, 1964).

Con relación a la **Materia Orgánica** hace parte de los componentes del suelo, como consecuencia del proceso de degradación del material vegetal y animal por el microbiota presente en el mismo. Para el presente monitoreo, se obtuvieron porcentajes que oscilaron entre  $0,09\%$  (Punto 19. Betétiva- Soiquía) y  $1,22\%$  (Punto 18. Betétiva - Soiquía), como se puede observar en la **Figura 7-62**.



**Figura 7-62 Concentraciones de Carbono Orgánico Total y Materia Orgánica**

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019

Se ha comprobado que en algunos suelos el Aluminio intercambiable (Al<sup>3+</sup>) es el catión dominante asociado con la acidez del suelo. La **Acidez Intercambiable** en los suelos es el resultado de la presencia de hidrógeno (H<sup>+</sup>) y Aluminio (Al<sup>3+</sup>) que causan una disminución en el pH. La alta concentración de Al<sup>3+</sup> genera toxicidad para las plantas, además de tener un efecto negativo sobre las propiedades químicas del suelo como solubilización, disponibilidad y absorción de nutrientes, físicas como estructura y estabilidad de agregados y biológicas como tipo de organismos presentes en el suelo, ocasionando así una reducción en el crecimiento de las raíces lo cual afecta en forma negativa el crecimiento de los cultivos (Escobar, 2009). Para el presente monitoreo, se obtuvieron valores inferiores al límite cuantificación de la técnica analítica utilizada para su determinación en laboratorio (<50 meq/100 g) en la totalidad de puntos, por lo que se descartan afectaciones causadas por este parámetro en los suelos evaluados.

La **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)** expresa la cantidad de cargas negativas que están disponibles en el suelo, principalmente en las arcillas y materia orgánica. Es un indicador de la capacidad del suelo para retener e intercambiar nutrientes (calcio, magnesio, sodio y potasio principalmente). Por lo tanto, el análisis de la CIC en suelos es el valor total de cationes que pueden ser retenidos (Moro, 2015). De acuerdo con esto, los suelos analizados registraron valores entre 8,78 meq/100g (Punto 4. Busbanzá - Cusagota) y 16,9 meq/100g (Punto 12. Betétiva-Cuacun) (**Tabla 7-57**). A mayor contenido de materia orgánica, mayor capacidad de intercambio catiónico, estos resultados indican una adecuada capacidad de intercambio, además de una buena capacidad de retención de nutrientes lo cual puede favorecer el crecimiento de vegetación en el suelo (Sadeghian y Zapata, 2012), sin embargo suelos con  $CIC < 5$  meq/100g son suelos pobres poco aptos para la vida de las plantas y suelos con  $CIC > 30$  meq/100g son suelos excesivamente arcillosos, con problemas de permeabilidad y estructura.

El fósforo es un elemento fundamental para la nutrición de las plantas. Es absorbido por éstas en forma de fosfatos mono y diácidos. Es un elemento que da calidad y precocidad a las plantas, ya que adelanta la maduración, a diferencia del nitrógeno, que tiende a prolongar el crecimiento vegetativo (Sanzano, 2016). Los resultados de **Fósforo Total**, permitieron evidenciar concentraciones bajas inferiores al límite de cuantificación de la técnica analítica empleada en laboratorio para su determinación ( $< 2,5$  mg/P Kg) en la totalidad de puntos monitoreados.

Dentro de los metales hay dos (2) grupos: los oligoelementos o micronutrientes y los metales propiamente dichos. Los oligoelementos o micronutrientes son los requeridos en pequeñas cantidades traza por plantas y animales, necesarios para que los organismos completen su ciclo vital, sin embargo, pasado cierto umbral se comportan como tóxicos. De otro lado, los metales pesados propiamente dichos no tienen función biológica conocida y su presencia en determinadas cantidades en seres vivos puede llegar a afectar su funcionamiento, además presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos (White, 2000). Para metales como el **Arsénico, Bario, Cadmio, Mercurio, Plomo, y Cromo Total y el no metal Selenio**, se reportaron concentraciones inferiores al límite mínimo de detección establecido por las técnicas de análisis empleadas en laboratorio en todos los puntos evaluados (**Tabla 7-57**).

Respecto al **Hierro total** se registraron para los puntos de monitoreo concentraciones entre 9068 mg/kg (ppm) (Punto 11. Tasco- PeñaBlanca) y 26624 mg/kg (ppm) (Punto 4. Busbanzá- Cusagota) (**Tabla 7-57**). Los resultados obtenidos pueden ser producto de la solubilidad del hierro en el suelo, la cual depende de la materia orgánica y otras variables físicas. La asociación del hierro con los agentes quelantes de la materia orgánica da lugar a la formación de complejos que incrementan considerablemente la concentración y la movilidad de este nutriente en la disolución del suelo (Cesco et al., 2000).

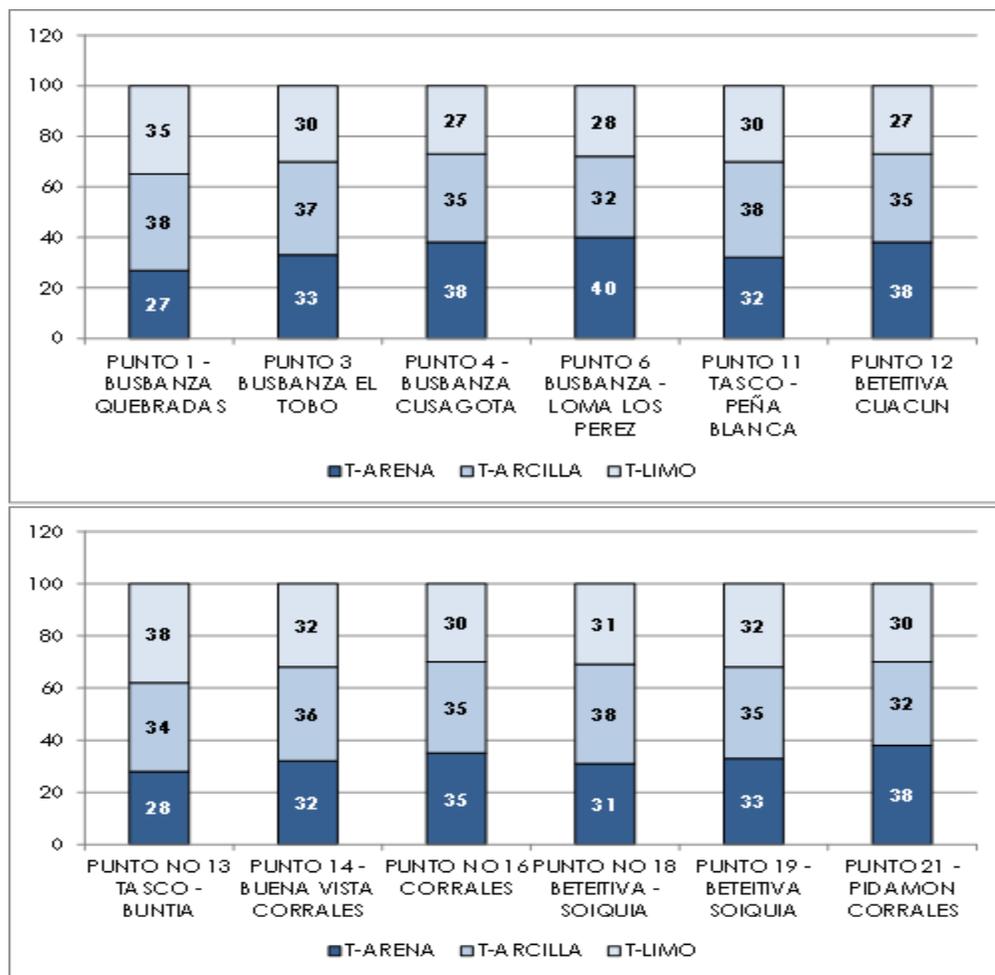
En cuanto a la relación de Adsorción de Sodio (RAS), el cual es un parámetro que permite determinar la influencia del ion sodio sobre las características del suelo, debido a que tiene efectos sobre los coloides presentes e incide en la permeabilidad del mismo; de igual manera relaciona el contenido de demás cationes como el Calcio y el Magnesio, ya que este parámetro expresa la proporción relativa del sodio en el intercambio catiónico respecto a los dos elementos mencionados anteriormente. Se obtuvieron valores bajos para este parámetro entre 0,0 y 1,09 (**Tabla 7-57**).

Los **compuestos orgánicos**, son aportados naturalmente como productos de desecho y descomposición de los seres vivos. Sin embargo, pueden llegar a los ecosistemas a través de vertimientos de aguas industriales y en altas concentraciones pueden ser altamente tóxicos. En la determinación de **Grasas y Aceites**, se incluyen no sólo los **Hidrocarburos Totales** (HTP) sino también los compuestos orgánicos de otras fuentes (vegetales, animales), por tal razón los suelos en si contienen un sin fin de componentes que a su vez estabilizan las propiedades del mismo, donde por ejemplo la firmeza del suelo es una concentración de emulsiones de agua y de fracciones particularmente descritas como una mezcla de hidrocarburos insaturados y derivados de

hidrocarburos (Pacífic, 2015). Las muestras de suelo analizadas presentaron concentraciones inferiores al límite de detección por las técnicas analíticas empleadas (<0,02%) (**Tabla 7-57**). Estas concentraciones permiten inferir la ausencia de afectaciones al medio por efectos de estos compuestos orgánicos, descartando la influencia de las actividades antrópicas sobre el suelo en el área de influencia.

La **Textura** del suelo corresponde a la composición granulométrica, específicamente, las cantidades relativas, en porcentaje, de las diferentes fracciones o separados (arenas, limos y arcillas) constituyentes del suelo. El conocimiento de la granulometría es básico en estudios de suelos (elementos formadores de suelos, procesos de formación de suelos, grado de evolución, clasificación de suelos, evaluación de suelos, erosión, contaminación). La mayoría de las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas (porosidad, estructura, aireación, permeabilidad, retención de agua, color, consistencia, capacidad de intercambio, reserva de nutrientes, entre otras) están influenciadas por la granulometría (Muñoz, 2005).

El análisis de textura para los suelos estudiados, presentado en la **Tabla 7-57** y **Figura 7-63** para los puntos de monitoreo, arrojó porcentajes de Arena, Arcilla y Limo proporcionales, que permitió clasificarlos como suelos Franco-Arcillosos (F-Ar).



**Figura 7-63 Textura en los suelos evaluados**  
Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019

El **Potencial Redox** es una medida de la actividad de electrones y está ampliamente relacionado con el pH y el contenido de oxígeno. Expresa la tendencia de un ambiente a dar o recibir electrones, en ambientes oxidantes se presenta un alto potencial redox. La presencia de materia orgánica, un bajo contenido de nitratos y óxidos de manganeso y una temperatura entre 25 y 30 °C favorecen el decrecimiento del potencial redox del suelo. A bajos valores de potencial redox se incrementa la disponibilidad de fósforo, hierro, manganeso y molibdeno y decrece la disponibilidad de azufre y zinc (Zapata, 2002). Para el presente monitoreo se reportaron valores de potencial redox entre 27 mV (Punto 11. Tasco - PeñaBlanca) y 67 mV (Punto1. Busbanzá- Quebradas), estos valores podrían presentarse debido a la presencia de material orgánico en los puntos de muestreo.

- **Análisis B (Decreto 050 de 2018)**

En el Anexo 1 se presentan los resultados obtenidos para las variables fisicoquímicas evaluadas en los puntos de suelo monitoreados en la zona de influencia del Área de Perforación Exploratoria COR-15, ubicado en el departamento de Boyacá.

En la **Tabla 7-58** se presentan los datos obtenidos para las variables fisicoquímicas analizadas, según el Decreto 050 de 2018, el cual especifica la línea base para vertimientos al suelo.

**Tabla 7-58 Resultados fisicoquímicos reportados para las muestras de suelo – Análisis B (Decreto 050 de 2018)**

UNIDADES DE SUELO		MMC	MMH	MME
PARAMETROS	UNIDADES	PUNTO 5 FINCA LA COPA	PUNTO NO 16 CORRALES - MODECA	PUNTO NO 8 CORRALES - REYES PATRIA
		MCS 10602	MCS 11100	MCS 11236
HORA	h.	08:30	15:00	11:00
TEMPERATURA MUESTRA	°C	17,2	17	17
pH	UNIDADES	5,89	6,4	8
CONDUCTIVIDAD	mmhos/cm	0,103	0,028	0,009
CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA	cm/hr	7,76	1,79	5,59
PERMEABILIDAD	cm/hr	10,04	8,47	9,55
DETERMINACION DE INFILTRACION EN CAMPO		85	15	60
PROFUNDIDAD	m	0,2	0,35	0,25
NIVEL FREATICO	m	*	*	*
HUMEDAD	%	13,5	4,1	11,3
RETENCION DE HUMEDAD A TENSIONES: 0 kPA (SATURACION)	%	41,46	28,54	39,85
RETENCION DE HUMEDAD A TENSIONES: -33 kPA (CAPACIDAD DECAMPO)	%	17,99	14,04	22,67
RETENCION DE HUMEDAD A TENSIONES: -1500 kPA(PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE)	%	10,57	7,42	14,11
CONSISTENCIA EN HUMEDO		FRIABLE	FRIABLE	FRIABLE
PLASTICIDAD		MODERADAMEN TE PLÁSTICO	NO PLÁSTICO	NO PLÁSTICO
DENSIDAD REAL	g/cm3	2,45	2,52	2,51
DENSIDAD APARENTE	g/cm3	2,42	2,14	2,48
SALINIDAD	0/00	<0,1	<0,1	<0,1
CARBONO ORGANICO TOTAL	%	0,48	0,63	0,76
ACIDEZ INTERCAMBIABLE	meq/100g	<50	<50	<50
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO	meq/100g	14,68	9,52	19,17
POTASIO INTERCAMBIABLE	meq/100g	0,28	0,38	0,07

CALCIO INTERCAMBIABLE	meq/100g	3,02	4,81	20,63
MAGNESIO INTERCAMBIABLE	meq/100g	4,99	1,37	0,94
SODIO INTERCAMBIABLE	meq/100g	0,47	0,16	0,28
ALUMINIO INTERCAMBIABLE	meq/100g	0,65	<0,10	<0,10
SATURACION DE ALUMINIO %	%	4,43	N.A	N.A
SATURACION DE BASES	%	56,65	68,98	112,97
NITROGENO POTENCIALMENTE MINERALIZADO (NNO3)	ppm	20	30	20
NITROGENO POTENCIALMENTE MINERALIZADO (NNH4)	ppm	2	2	2
FRACCION LIGERA DE LA MATERIA ORGANICA		0,08	0,09	0,11
COLOR		MARRON AMARILLENTO CLARO	MARRON ROJIZO OSCURO	MARRON GRISACEO OSCURO
NITROGENO TOTAL KJELDAHL	mg NTK/kg	0,08	0,09	0,2
FOSFORO TOTAL	mg P/kg	<2,5	<2,5	<2,5
BARIO	mg/kg (ppm)	<100	<100	<100
CADMIO	mg/kg (ppm)	<10	<10	<10
CROMO TOTAL	mg/kg (ppm)	<40	<40	<40
HIERRO TOTAL	mg/kg (ppm)	20550	21 355	13 209
PLOMO	mg/kg (ppm)	<60	<60	<60
MERCURIO	mg/kg (ppm)	<0,200	<0,200	<0,200
ARSENICO	mg/kg (ppm)	<0,500	<0,500	<0,500
SELENIO TOTAL	mg/kg (ppm)	<0,500	<0,500	<0,500
POTASIO DISPONIBLE		0,34	0,47	0,11
RAS (RELACION DE ADSORCION DE SODIO)		0,34	0,33	0,46
GRASAS Y ACEITES	%	0,029	<0,02	<0,02
HIDROCARBUROS TOTALES	%	<0,02	<0,02	<0,02
MATERIA ORGANICA	%	0,82	1,09	1,31
T-ARENA	%	27	31	32
T-ARCILLA	%	32	50	39
T-LIMO	%	41	19	29
TEXTURA	%	F-Ar	Ar	F-Ar
POTENCIAL REDOX	mV	80	60	46
MACROPOROSIDAD	%	0,68	8,43	0,91
MICROPOROSIDAD	%	0,55	6,65	0,28
COLIFORMES TOTALES	NMP/g	294,1	2	2
COLIFORMES FECALES	NMP/g	<1,8	2	2
SALMONELLA SP		N.D.	N.D.	N.D.
HONGOS	UFC/g	72 000	18 000	<1 000
BACTERIAS HETEROTROFAS	UFC/g	14000000	<100000	25000000
BACTERIAS TIPO ACTINOMICETO	UFC/g	4900000	800000	1700000
FIJADORES DE NITROGENO LIBRE	UFC/g	490000	360000	610000
SOLUBIZADORES DE FOSFATOS	UFC/g	440000	630000	470000
CELULOLITICOS	UFC/g	100000	180000	270000
OXIDANTES DE AMONIO (NITRIFICANTES)	NMP/g	19000	1200	>59000
OXIDANTES DE NITRITO (NITRIFICANTES)	NMP/g	>59000	1100	912,5
AMONIFICANTES	NMP/g	>590000	100000	590000
DENITRIFICANTES	NMP/g	483,5	>5900	2900
RESPIRACION BACIAL (PRODUCCION DE CO2)	(mg CO2/g)/48h	0,029	0,058	0,098

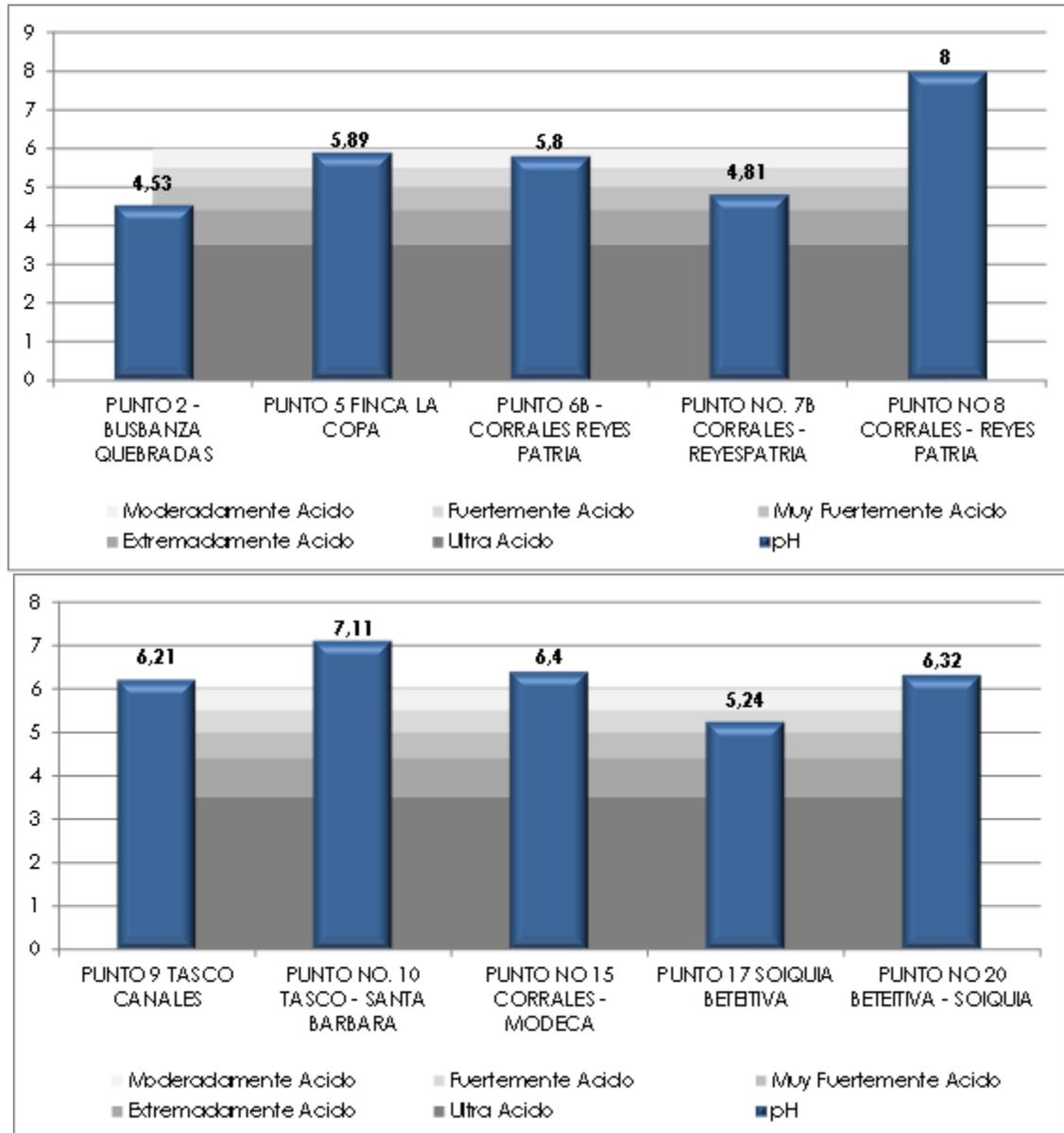
F-Ar: Franco- Arcilla. Nota 1. Las unidades de mg/Kg son equivalentes a ppm. Nota 2. Resultados expresados en base seca. Nota 3. MCS Consultoría se hace responsable por los análisis subcontratados.

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019

La discusión de los resultados se hace en varias muestras de suelos del APE, pero se muestran los resultados de las unidades de suelos que se proyectan en el vertimiento.

Las muestras de suelo registraron temperaturas entre 17°C y 18,2°C, siendo coherentes con la temperatura en la zona de estudio, así como las condiciones de humedad de las mismas, este factor es importante ya que influye en el desarrollo de los microorganismos que habitan el ecosistema e interactúan, con la dinámica química del mismo.

La reacción del suelo o **pH** es la cantidad de iones hidronio (H<sup>+</sup>) presentes en la solución del suelo, indica la acidez o alcalinidad del medio edáfico. El **pH** del suelo es un factor importante para el desarrollo y crecimiento de las plantas; controla la disponibilidad de nutrientes, la actividad de micro y meso-organismos del suelo, la mineralización de la materia orgánica, la concentración de iones, sustancias tóxicas y otras propiedades. Los suelos evaluados presentaron un pH entre 4,53 Unidades (Punto 2. Busbanzá- Quebradas) y 8,0 Unidades (Punto 8. Corrales- Reyes Patria), presentando suelos con características Muy fuertemente ácidas y Moderadamente Alcalinas respectivamente, según la clasificación del Soil Survey Division Staff (USDA, 2017)

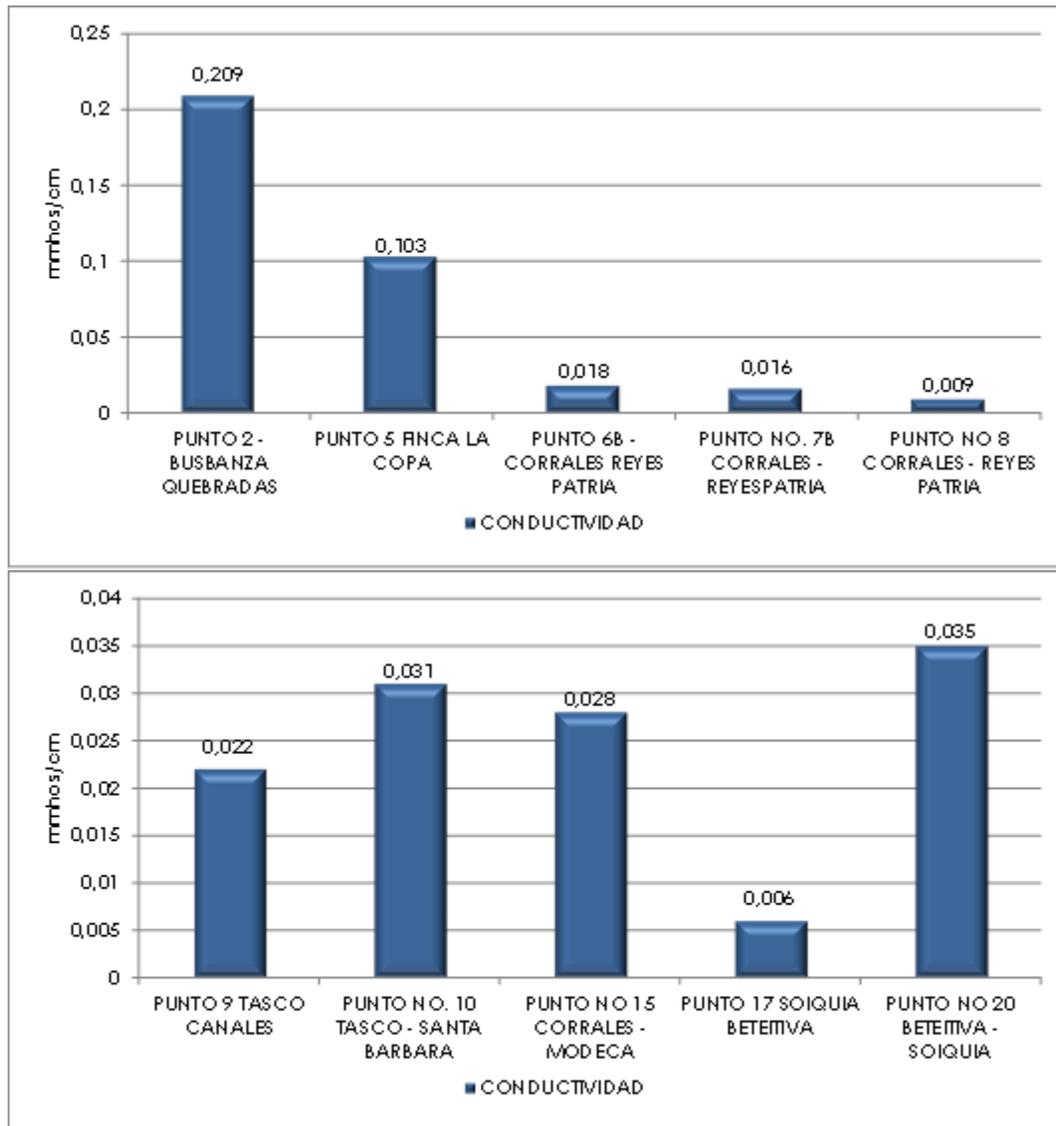


**Figura 7-64 Registros de pH obtenidos en los puntos de muestreo**

*Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019*

La Conductividad eléctrica es la capacidad de una disolución para transmitir corriente eléctrica. Esta aptitud depende principalmente del contenido, movilidad e interacción (fuerzas interiónicas) entre los iones (cationes y aniones) presentes en la disolución. Dicho de otro modo, el valor de la CE depende de la concentración de sales disueltas (AgriNova, 2017). Para estos puntos se encontraron conductividades bajas entre 0,006 mmhos/cm (Punto 17- Soiquia Beteitiva) y 0,209 mmhos/cm (Punto 2 – Busbanzá Quebradas) (**Figura 7-65**). Esta baja conductividad indica buenas condiciones del suelo para este parámetro, ya que según Soriano (2018) los suelos con elevadas conductividades eléctricas impiden el buen desarrollo de las plantas, ya que contienen así mismo una elevada cantidad de sales.

Con respecto a la salinidad, para el presente monitoreo, se obtuvieron registros entre el límite de cuantificación de la técnica analítica empleada en laboratorio para su determinación (<0,1 ppm) en la mayoría de puntos analizados y 0,11 ppm en el punto 2. Busbanzá- Quebradas. Los resultados sugieren bajas concentraciones de este parámetro en las muestras analizadas, acordes con los valores de conductividad eléctrica obtenidos.



**Figura 7-65 Registros de conductividad obtenidos en los puntos de muestreo**

*Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019*

Por su parte la **Conductividad Hidráulica** es la que define las posibilidades que tiene el agua de moverse dentro del suelo, es una cualidad que se relaciona estrechamente con el drenaje del suelo. La conductividad hidráulica del suelo es fuertemente dependiente de su contenido de humedad y puede disminuir varios órdenes de magnitud al pasar del estado de saturación a punto de marchitez permanente (Hanks y Ashcroft, 1980). La conductividad hidráulica del suelo es máxima cuando está saturado, pues todos los poros están llenos con agua y actúan como conductores; además, a mayor tamaño de poros, mayor es la conductividad, por lo cual es una propiedad que depende fuertemente de la estructura, la textura y la composición mineralógica de

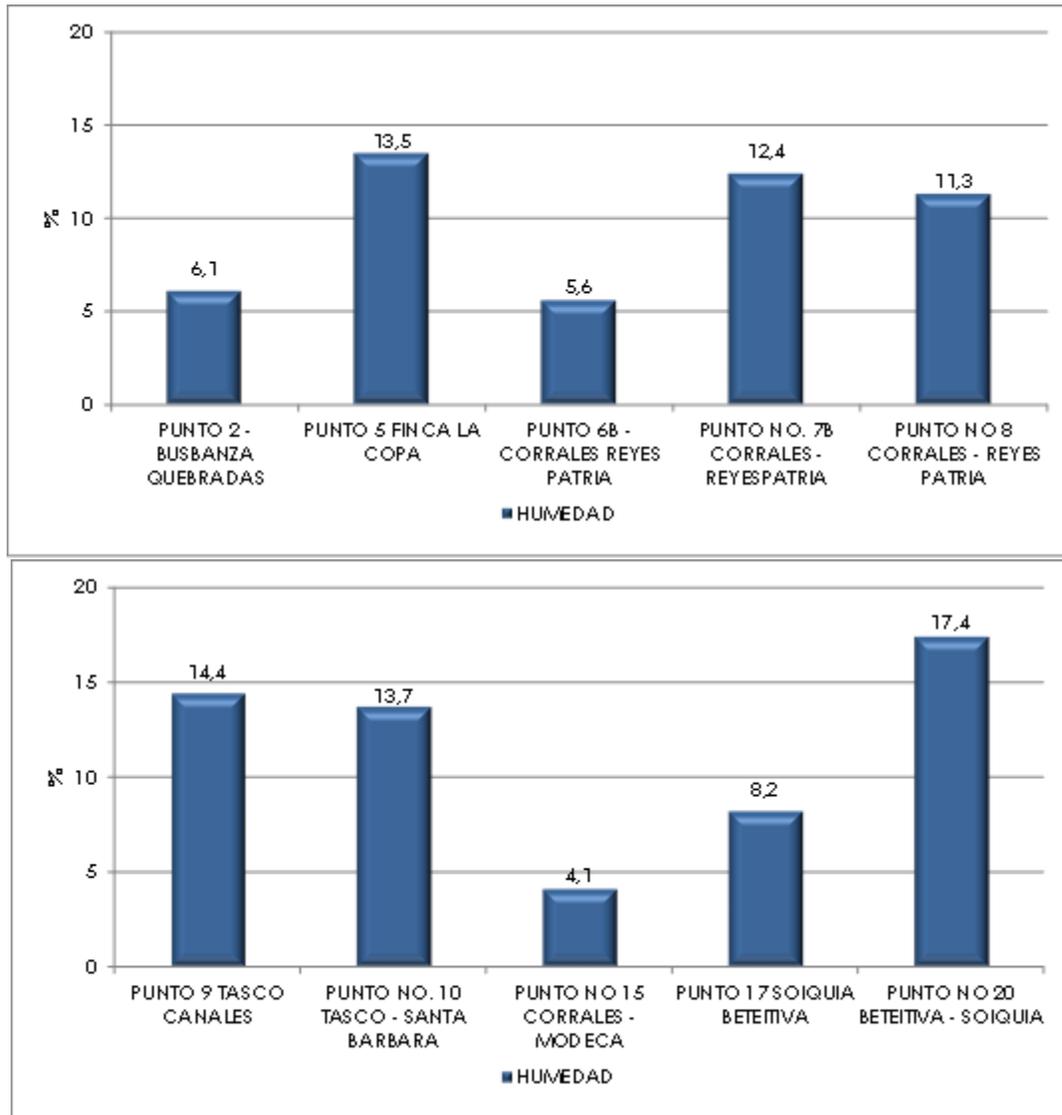
las arcillas. En ese sentido, los suelos analizados presentaron valores de conductividad hidráulica que fluctuaron entre 0,88 cm/h (Punto 10. Tasco –Santa Bárbara) y 41,68 cm/h (Punto 9. Tasco Canales), demostrando los valores más altos en los suelos con los porcentajes de arena más altos en su composición textural.

Se dice que un material es permeable cuando contiene vacíos continuos, estos vacíos existen en todos los suelos, incluyendo las arcillas más compactas. La **Permeabilidad** de los suelos, es decir, la facultad con la que el agua pasa a través de los poros, es un factor de suma importancia para la toma de decisiones sobre construcciones y vertimientos en suelos (Angelone et al, 2006). Este parámetro mostró su menor valor en el punto 10. Tasco – Santa Bárbara con una ponderación de 1,3 cm/h y su mayor valor en el punto 9. Tasco Canales con un registro de 44,84 cm/h, resultados acordes con los obtenidos para el parámetro de conductividad hidráulica y que se pueden vincular con las características estructurales y texturales de los suelos evaluados en cada zona.

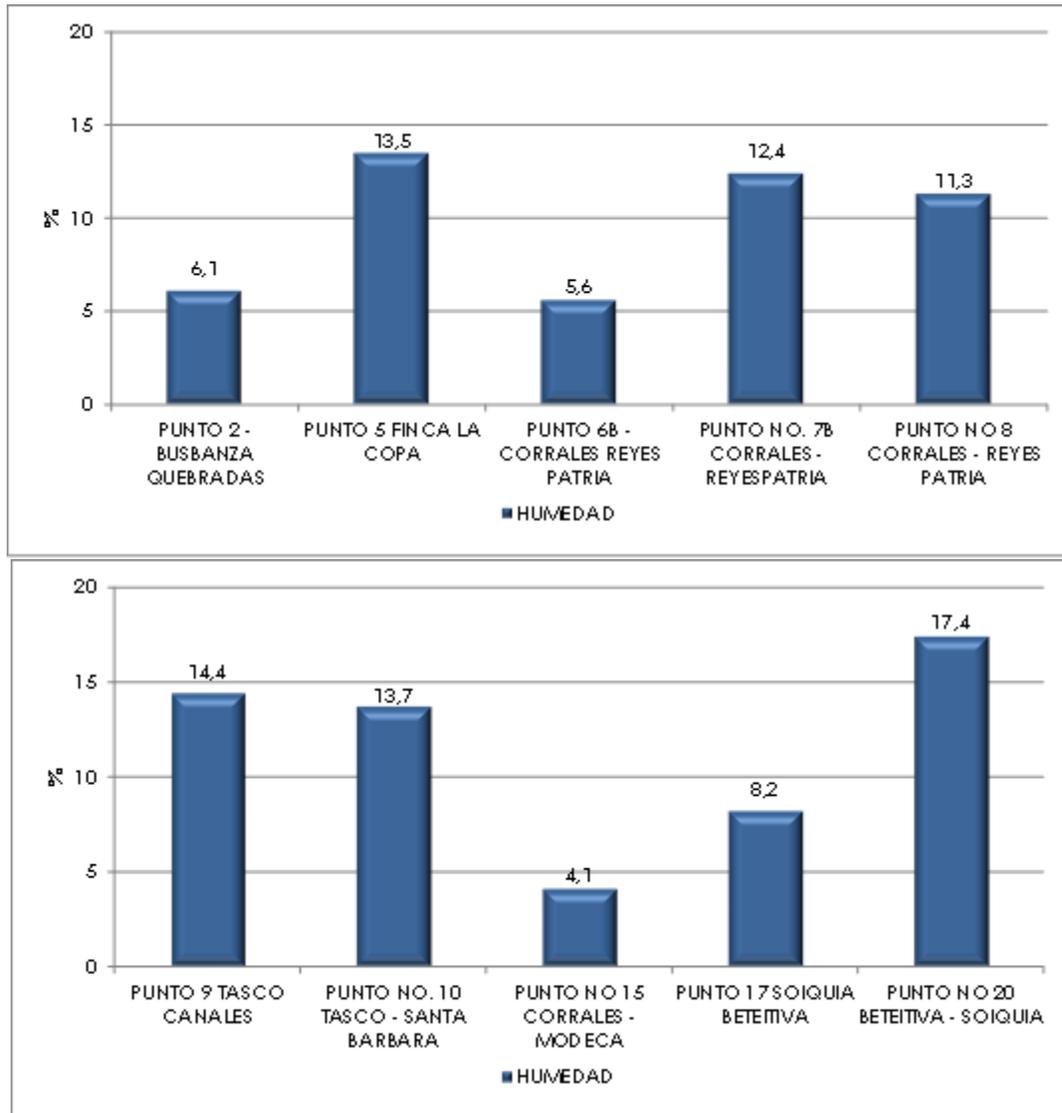
La profundidad efectiva de un suelo es el espacio en el que las raíces de las plantas comunes pueden penetrar sin mayores obstáculos, con vistas a conseguir el agua y los nutrientes indispensables (Jaramillo, 2002). En el presente monitoreo se observaron profundidades que variaron en un rango entre los 0,1 m (Punto 2. Busbanzá – Quebradas) y 0,9 m (Punto 9. Tasco – Canales); (**Tabla 7-58**) lo que clasifica los suelos evaluados como “Muy Superficiales” y “Moderadamente Profundos”, respectivamente. Dichos resultados están vinculados con las características estructurales y de permeabilidad, que confieren al suelo la capacidad de retención de humedad y por ende condicionan el desarrollo de las plantas y los cultivos.

La distribución del espacio poroso depende de la composición y arreglo de la fracción sólida, es decir, de la textura, del contenido de materia orgánica y de la estructura, definiéndose dos tipos de espacios porosos: **Microporosidad** o Porosidad textural, está compuesta por el volumen de los poros más finos que tiene el suelo y que, en su mayor cantidad se encuentran en el interior de los pedos y **Macroporosidad** o Porosidad estructural, es el volumen de poros grandes del suelo, los cuales se encuentran, en mayor proporción, ubicados entre los pedos. La diferenciación anterior tiene su máxima importancia, cuando se considera la función específica de cada tipo de porosidad, ya que los macroporos son los responsables de la circulación del agua, sobre todo cuando está en exceso, y del aire en el suelo, en tanto que los microporos son los encargados de almacenar agua dentro del mismo (Jaramillo, 2002). Para el presente monitoreo se reportaron valores para la macroporosidad entre 0,47% (Punto 7B- Corrales Reyes Patria) y 8,43% (Punto 15. Corrales - Modeca) y para la microporosidad se reportaron valores entre 0,28 % (Punto 8. Corrales – Reyes Patria) y 8,13 % (Punto 20. Betétiva- Soiquía).

La cantidad de agua que posea el suelo es una de sus características más específicas y está determinada, fundamentalmente, por su textura, su contenido de materia orgánica, la composición de sus fracciones mineral y orgánica y el arreglo que presente el medio físico edáfico, por el aporte que se le haga natural (lluvia) o artificialmente (riego) de ella, así como por el consumo causado por la evapotranspiración (Jaramillo, 2002). Para los puntos analizados, el porcentaje de **humedad** del suelo se encontró entre 4,1% (Punto 15. Corrales - Modeca) y 17,4% (Punto 20. Betétiva-Soiquía) (**Figura 7-66**) Observando así variaciones entre puntos, vinculadas con las condiciones estructurales y de textura específicas en cada zona, que condicionan el aumento y/o disminución de la humedad en los suelos, además de las condiciones climáticas de la zona de estudio. Los resultados indican contenidos de humedad bajos y moderados; adicionalmente, durante la extracción de las muestras no se observó nivel freático.



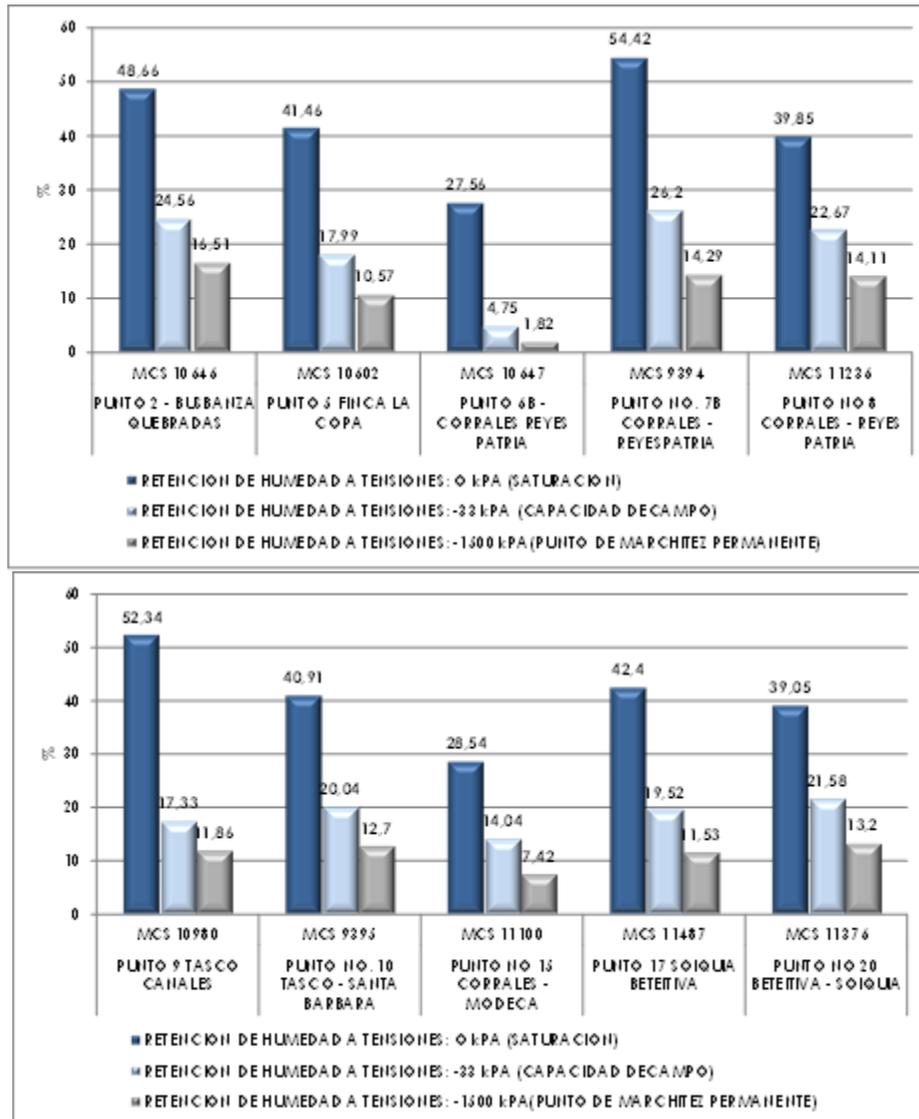
**Figura 7-66 Registros de Humedad obtenidos en los puntos de muestreo**  
Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019



**Figura 7-66 Registros de Humedad obtenidos en los puntos de muestreo**

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019

Para el presente monitoreo se calcularon diferentes retenciones de humedad a **0 kPa** (Saturación), a **-33 kPa** (Capacidad de Campo) y a **-1500 kPa** (Punto de Marchitez Permanente), reportando valores entre 27,56 % (Punto 6B Corrales-Reyes Patria) y 54,42% (Punto 7B. Corrales- Reyes Patria) para retención de humedad a **0 kPa**, entre 4,75% (Punto 6B Corrales- Reyes Patria) y 26,2% (Punto 7B. Corrales –Reyes Patria) para retención de humedad a -33 kPa y entre 1,82 % (Punto 6B. Corrales- Reyes Patria) y 16,51 % (Punto 2. Busbanzá- Quebradas) para retención de humedad a -1500 kPa (**Figura 7-67**), por lo que se puede observar una mayor capacidad de campo y punto de marchitez permanente en los Horizonte A de los puntos de monitoreo disminuyendo a medida que se aumenta la profundidad de la toma de muestra, además se pudo determinar una mayor humedad aprovechable para el Horizonte A de todos los puntos con respecto a los demás puntos de monitoreo.



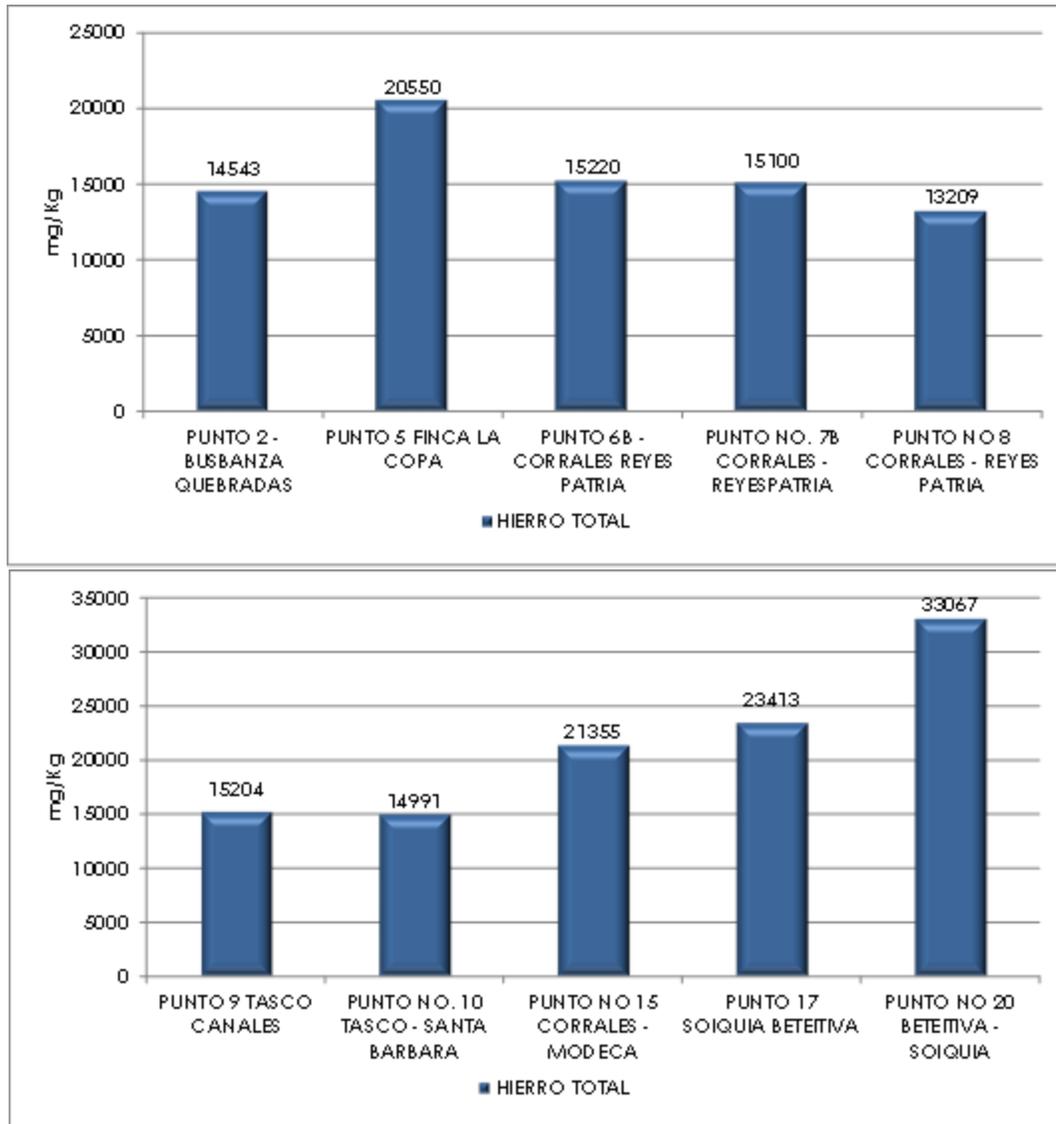
**Figura 7-67 Registros de Retención de Humedad obtenidos en los puntos de muestreo**

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019

Dentro de los metales hay dos (2) grupos: los oligoelementos o micronutrientes y los metales propiamente dichos. Los oligoelementos o micronutrientes son los requeridos en pequeñas cantidades traza por plantas y animales, necesarios para que los organismos completen su ciclo vital, sin embargo, pasado cierto umbral se comportan como tóxicos. De otro lado, los metales pesados propiamente dichos no tienen función biológica conocida y su presencia en determinadas cantidades en seres vivos puede llegar a afectar su funcionamiento, además presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos (White, 2000). Para metales como el **Bario, Cadmio, Mercurio, Plomo, y Cromo Total, el metaloide Arsénico y el no metal Selenio**, se reportaron concentraciones inferiores al límite mínimo de detección establecido por las técnicas de análisis empleadas en laboratorio en todos los puntos evaluados (**Tabla 7-58**).

Respecto al **Hierro total** se registraron para los puntos de monitoreo concentraciones entre 13209 mg/kg (ppm) (Punto 8. Corrales – Reyes Patria) y 33067 mg/kg (ppm) (Punto 20. Betéitiva- Soiquia) (**Figura 7-68**). Los resultados obtenidos pueden ser producto de la solubilidad del hierro en el

suelo, la cual depende de la materia orgánica y otras variables físicas. La asociación del hierro con los agentes quelantes de la materia orgánica da lugar a la formación de complejos que incrementan considerablemente la concentración y la movilidad de este nutriente en la disolución del suelo (Cesco et al., 2000).



**Figura 7-68 Registros de Hierro Total obtenidos en los puntos de muestreo**

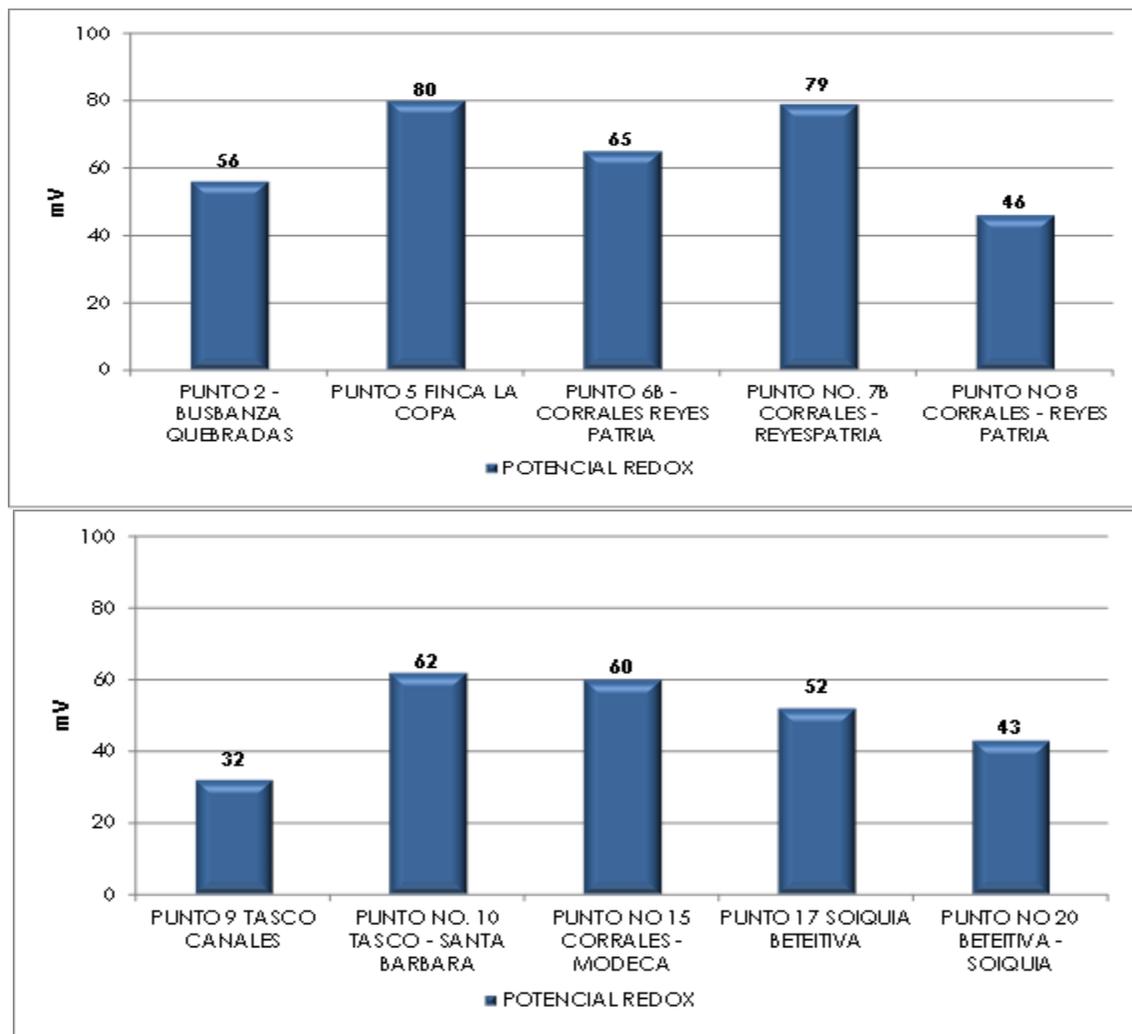
*Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019*

Los **compuestos orgánicos** cuyas sustancias químicas hacen parte de la familia de los compuestos orgánicos, son aportados naturalmente como productos de desecho y descomposición de los seres vivos. Sin embargo, pueden llegar a los ecosistemas a través de vertimientos de aguas industriales y en altas concentraciones pueden ser altamente tóxicos.

En la determinación de **Grasas** y Aceites, se incluyen no sólo los **Hidrocarburos del petróleo** (HTP) sino también los compuestos orgánicos de otras fuentes (vegetales, animales), por tal razón los suelos en si contienen un sin fin de componentes que a su vez estabilizan las propiedades del mismo, donde por ejemplo la firmeza del suelo es una concentración de emulsiones de agua y de

fracciones particularmente descritas como una mezcla de hidrocarburos insaturados y derivados de hidrocarburos (Pacific, 2015). Las muestras de suelo analizadas presentaron concentraciones inferiores al límite de detección por las técnicas analíticas empleadas (<0,02%) (Tabla 7-58). Estas concentraciones permiten inferir la ausencia de afectaciones al medio por efectos de estos compuestos orgánicos, descartando la influencia de las actividades antrópicas sobre el suelo en el área de influencia.

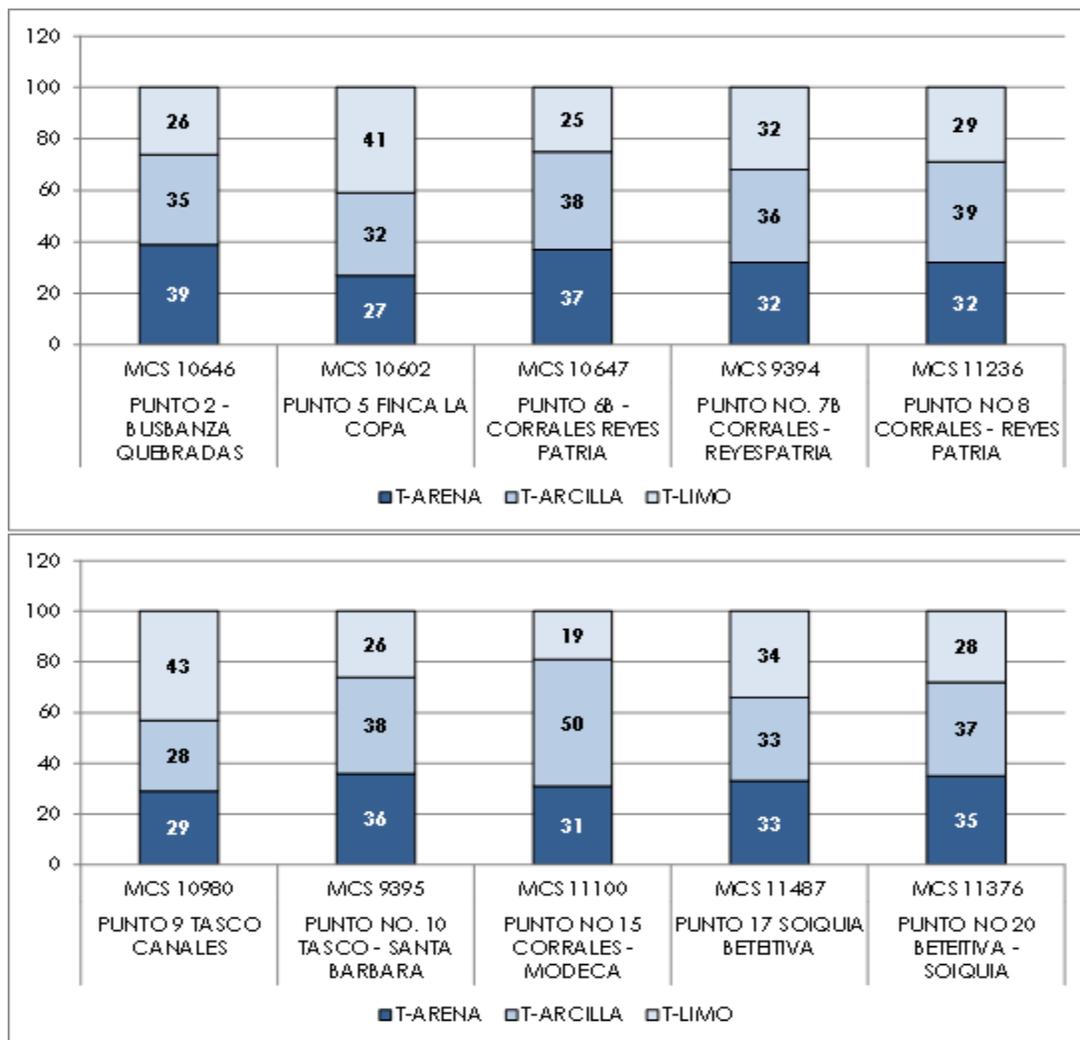
El **Potencial Redox** es una medida de la actividad de electrones y está ampliamente relacionado con el pH y el contenido de oxígeno. Expresa la tendencia de un ambiente a dar o recibir electrones, en ambientes oxidantes se presenta un alto potencial redox. La presencia de materia orgánica, un bajo contenido de nitratos y óxidos de manganeso y una temperatura entre 25 Y 30 °C favorecen el decrecimiento del potencial redox del suelo. A bajos valores de potencial redox se incrementa la disponibilidad de fósforo, hierro, manganeso y molibdeno y decrece la disponibilidad de azufre y zinc (Zapata, 2002). Para el presente monitoreo se reportaron valores bajos de potencial redox entre 32 mV (Punto 9. Tasco Canales) y 80 mV (Punto 5. Finca La Copa). (Ver Figura 7-69).



**Figura 7-69 Registros de Potencial Redox obtenidos en los puntos de muestreo**  
Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019

La **Textura** del suelo corresponde a la composición granulométrica, específicamente, las cantidades relativas, en porcentaje, de las diferentes fracciones o separados (arenas, limos y arcillas) constituyentes del suelo. El conocimiento de la granulometría es básico en estudios de suelos (elementos formadores de suelos, procesos de formación de suelos, grado de evolución, clasificación de suelos, evaluación de suelos, erosión, contaminación). La mayoría de las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas (porosidad, estructura, aireación, permeabilidad, retención de agua, color, consistencia, capacidad de intercambio, reserva de nutrientes, entre otras) están influenciadas por la granulometría (Muñoz, 2005).

El análisis de textura para los suelos estudiados, presentado en la **Tabla 7-58** y **Figura 7-70** para los puntos de monitoreo mostró fracciones de arena, arcilla y limo proporcionales en sus cantidades, arrojando texturas en la mayoría de muestras correspondientes a F-Ar: Franco-Arcillosa, con excepción del Punto 15. Corrales-Modeca, en donde prevaleció la fracción de arcilla, indicando una textura Ar: Arcillosa. Estos resultados son coherentes con los registros bajos y moderados de permeabilidad, conductividad hidráulica y retención de humedad.



**Figura 7-70 Composición granulométrica del suelo**

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019

La **densidad aparente** se define como la masa de suelo por unidad de volumen ( $\text{g. cm}^{-3}$  o  $\text{t. m}^3$ ). Describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso (Keller & Håkansson, 2010). Este parámetro reportó valores entre  $2,02 \text{ g/cm}^3$  (Punto 17. Soiquía - Betéitva) y  $2,54 \text{ g/cm}^3$  (Punto 10. Tasco- Santa Bárbara) (**Tabla 7-58**). Los valores están estrechamente relacionados con los contenidos de materia orgánica, la textura del suelo y el contenido de humedad; suelos que presenten menor contenido de Materia Orgánica (MO) retienen menos humedad por lo tanto aumenta la densidad aparente. A medida que se incrementan los valores de materia orgánica, disminuye la densidad aparente y aumenta la retención de agua disponible (Salamanca & Sadeghian, 2005).

El Peso Específico o **Densidad Real** del suelo, es la relación entre la unidad de peso y la unidad de volumen de la fase sólida del suelo, sin incluir el volumen de poros, siendo más o menos constante, ya que está determinado por la composición química y mineralógica de la fase sólida. Las muestras evaluadas, reportaron valores que fluctuaron entre  $2,32 \text{ g/cm}^3$  (Punto 17. Soiquía - Betéitva) y  $2,68 \text{ g/cm}^3$  (Punto 20. Betéitva - Soiquía), siendo registros coherentes con los obtenidos para el parámetro densidad aparente.

El **Carbono Orgánico Total (COT)** es un parámetro que se utiliza para valorar la calidad de un determinado lugar, esta sustancia puede ser descompuesta por microorganismos durante el proceso de consumo de oxígeno (PRTTR, 2007). El suelo puede actuar como fuente o reservorio de Carbono dependiendo de su uso y manejo, pueden contener más C que la suma existente en la vegetación y en la atmósfera (Swift, 2001). El Carbono Orgánico Total registró valores, entre 0,48 % (Punto 5. Finca La Copa) y 0,95% (Punto 2. Busbanzá- Quebradas) (**Tabla 7-58**); los resultados indican un bajo contenido de carbono orgánico total tanto en forma orgánica como inorgánica.

Con relación a la **Materia Orgánica** hace parte de los componentes del suelo, como consecuencia del proceso de degradación del material vegetal y animal por el microbiota presente en el mismo; en ese sentido, se obtuvieron valores que fluctuaron en un rango entre 0,82% (Punto 5. Finca La Copa) y 1,64% (Punto 2. Busbanzá- Quebradas), indicando un bajo contenido de MO en los suelos analizados.

La **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)** expresa la cantidad de cargas negativas que están disponibles en el suelo, principalmente en las arcillas y materia orgánica. Es un indicador de la capacidad del suelo para retener e intercambiar nutrientes (calcio, magnesio, sodio y potasio principalmente). Por lo tanto, el análisis de la CIC en suelos es el valor total de cationes que pueden ser retenidos (Moro, 2015). De acuerdo con esto, los suelos analizados reportaron valores entre  $9,52 \text{ meq/100g}$  (Punto 15. Corrales - Modeca) y  $26,93 \text{ meq/100g}$  (Punto 20. Betéitva - Soiquía) (**Tabla 7-58**). A mayor contenido de materia orgánica, mayor capacidad de intercambio catiónico, estos resultados indican una adecuada capacidad de intercambio, además de una buena capacidad de retención de nutrientes lo cual puede favorecer el crecimiento de vegetación en el suelo analizado (Sadeghian y Zapata, 2012), sin embargo suelos con  $\text{CIC} < 5 \text{ meq/100g}$  son suelos pobres poco aptos para la vida de las plantas y suelos con  $\text{CIC} > 30 \text{ meq/100g}$  son suelos excesivamente arcillosos, con problemas de permeabilidad y estructura, por lo que se descartan estos dos tipos de afectaciones.

Se ha comprobado que en algunos suelos el Aluminio intercambiable ( $\text{Al}^{+3}$ ) es el catión dominante asociado con la acidez del suelo. La **Acidez Intercambiable** en los suelos es el resultado de la presencia de hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) y Aluminio ( $\text{Al}^{+3}$ ) que causan una disminución en el pH. La alta concentración de  $\text{Al}^{+3}$  genera toxicidad para las plantas, además de tener un efecto negativo sobre las propiedades químicas del suelo como solubilización, disponibilidad y absorción de nutrientes, físicas como estructura y estabilidad de agregados y biológicas como tipo de organismos presentes en el suelo, ocasionando así una reducción en el crecimiento de las raíces lo cual afecta en forma negativa el crecimiento de los cultivos (Escobar, 2009). Para el presente monitoreo, se obtuvieron valores inferiores al límite cuantificación de la técnica analítica utilizada para su determinación en

laboratorio (<50 meq/100 g) en la totalidad de puntos, por lo que se descartan afectaciones causadas por este parámetro en los suelos evaluados.

El Potasio (K) es un macronutriente absorbido por las plantas en grandes cantidades, siendo superado sólo por el N y, a veces por el Ca. Es el nutriente que menores problemas de disponibilidad presenta, ya que, en general, la provisión de este elemento en los suelos es aceptable. A diferencia del nitrógeno y el fósforo, el potasio no ocasiona problemas ambientales cuando sale del sistema suelo. No es tóxico y no causa eutrofización en los sistemas acuáticos. El **potasio intercambiable** es la fracción que se encuentra adsorbida en el complejo de cambio y que es intercambiable con otros cationes. La saturación potásica del complejo de cambio oscila entre 1 y 5%, esta forma es fácilmente disponible para las plantas y para el presente monitoreo reportó valores entre 0,07 meq/100g (Punto 8. Corrales – Reyes Patria) y 0,91 meq/100g (Punto 17. Soiquía - Betéitiva) (**Figura 7-71**). Los suelos jóvenes y poco meteorizados, tienen altos niveles de K+. Los suelos orgánicos son pobres en su contenido (menor de 0,03%), dado su bajo nivel de minerales (Barber, 1995). El **potasio disponible**, correspondiente a la solución más intercambiable de este elemento, registró valores comprendidos entre 0,07 cmol/Kg (Punto 20. Betéitiva – Soiquia) y 0,47 cmol/Kg (Punto 15. Corrales – Modeca).

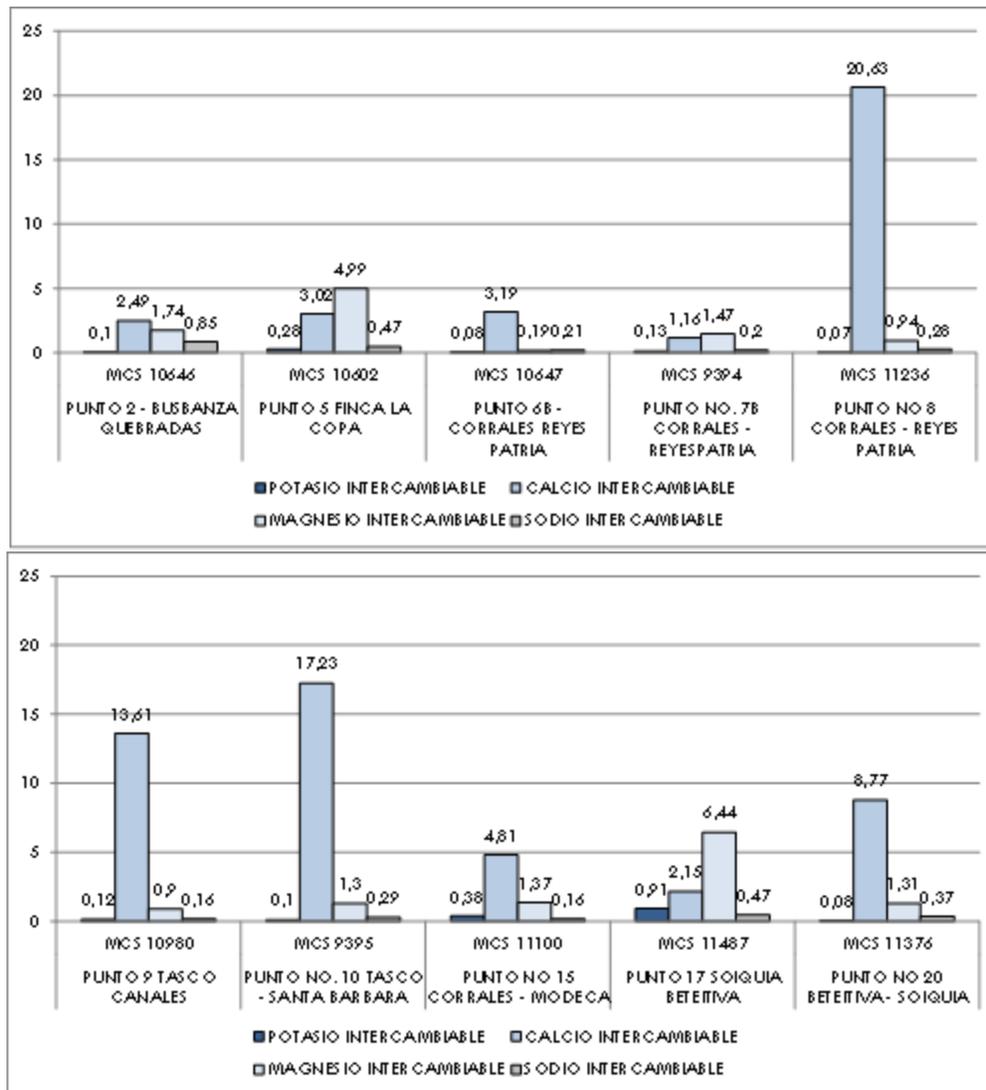
El Calcio (Ca) es un nutriente de naturaleza estructural, pues hace parte del componente de las paredes y membranas celulares, razón por la cual es indispensable su presencia para la formación de nuevas células. El Ca es el nutriente de carácter básico más abundante en las plantas después de K (Navarro y Navarro, 2003). La carencia de Ca<sup>2+</sup> reduce la tasa de crecimiento en las plantas, especialmente en los tejidos meristemáticos, tanto de raíces como parte aérea, dado que el Ca es requerido para la elongación y la división celular. El **calcio intercambiable** reportó valores entre 1,16 meq/100g (Punto 7B. Corrales – Reyes Patria) y 20,63 meq/100g (Punto 8. Corrales – Reyes Patria) (**Figura 7-71**). Estos valores proceden principalmente de las rocas y los minerales que conforman el suelo; por lo tanto, su contenido puede variar ampliamente dependiendo del material de origen, donde los suelos de textura gruesa y aquellos que se ubican en regiones húmedas, formados a partir de rocas pobres en minerales de Ca tienen bajos niveles de Ca<sup>2+</sup>. En contraposición a lo anterior, los suelos de textura fina, formados a partir de rocas que son ricas en este elemento, contienen mucho mayores contenidos de Ca total y Ca<sup>2+</sup> intercambiable (Havlin et al., 1999).

Por otra parte, el magnesio (Mg) es el octavo elemento más común en la litosfera, con una concentración promedio cercana a 2,1%. Pese a lo anterior, y como consecuencia de la meteorización de minerales de Mg relativamente solubles, su concentración en los suelos es de tan solo 0,5%, hecho que indica una pérdida de éste representada en ¾ partes del total (Barber, 1995). El **magnesio intercambiable** reportó valores entre 0,19 meq/100g (Punto 6B. Corrales – Reyes Patria) y 6,44 meq/100g (Punto 17. Soiquía - Betéitiva) (**Figura 7-71**). El Mg<sup>2+</sup> intercambiable es por lo general del orden del 5% del Mg total, y constituye normalmente entre el 4 y 20% de la CIC, valor considerablemente menor que el de Ca<sup>2+</sup> (80%), y mayor que el de K + (cerca de 4%) (Mengel y Kirkby, 2000).

El sodio (Na) no es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, pero es importante para el diagnóstico de suelos que pueden tener problemas por las altas cantidades de sodio (Espinoza, et al.); el **sodio intercambiable** reportó valores comprendidos entre 0,16 meq/100g (Punto 15. Corrales - Modeca) y 0,85 meq/100g (Punto 2. Busbanzá- Quebradas) (**Figura 7-71**), siendo bajos y descartando afectaciones por sodificación de los suelos.

El aluminio hace parte de los complejos aluminosilicato que liberan fácilmente el ion Al<sup>3+</sup> a la solución del suelo (Álvarez et al., 2005). Según el pH, el aluminio puede estar de forma soluble, intercambiable y tóxica para las plantas (Al<sup>3+</sup>), o de forma polimerizada como hidróxidos de aluminio o aluminatos (Porta et al., 2003). El **aluminio intercambiable** reportó valores entre el límite de cuantificación utilizado por el laboratorio (<0,10 meq/100g) y 4,61 meq/100g (Punto 7B.

Corrales – Reyes Patria) (**Tabla 7-58**). El aluminio intercambiable presente en el suelo es reconocido como uno de los principales factores en el desarrollo de la acidez del suelo (Bernier & Alfaro, 2006), por lo que se encontraron resultados coherentes con los valores de pH obtenidos. En cuanto al **porcentaje de saturación de aluminio**, el cual es el mejor criterio para diagnosticar problemas de acidez (Espinoza & Molina, 1999), reportó un comportamiento similar al aluminio intercambiable al reportarse como No Aplica (N.A) en aquellos puntos en los que el aluminio intercambiable fue inferior al límite de cuantificación y 21,56%, valor que coincidió con el punto que reportó la mayor concentración de aluminio intercambiable (Punto 7B. Corrales – Reyes Patria; **Tabla 7-58**).



**Figura 7-71 Porcentajes intercambiables para K, Mg, Ca<sup>2+</sup> y Al<sup>3+</sup> del suelo**  
Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019

Según la FAO en el suelo se encuentran los cationes ácidos (hidrógeno y aluminio) y los cationes básicos (calcio, magnesio, potasio y sodio). La fracción de los cationes básicos que ocupan posiciones en los coloides del suelo se refiere al porcentaje de saturación de bases. Cuando el pH del suelo indica 7 (estado neutral) su **saturación de bases** llega a un 100% y significa que no se

encuentran iones de hidrógeno en los coloides. La saturación de bases se relaciona con el pH del suelo. Se utiliza únicamente para calcular la cantidad de limo requerida en un suelo ácido para neutralizarlo. Este parámetro reportó porcentajes entre 12,95% (Punto 7B. Corrales- Reyes Patria) y 112,97% (Punto 8. Corrales – Reyes Patria) (**Tabla 7-58** ). Cuanto mayor sea el grado de saturación, más posibilidades tiene el suelo de retener cationes.

La mineralización es la transformación del Nitrógeno (N) contenido en compuestos orgánicos hasta su liberación al suelo como  $NH_3$  después de su descomposición por acciones de los microorganismos (Cerrato *et al.*, 2007). Medidas utilizadas en la preparación del suelo para la agricultura como laboreo, fertilización y riego entre otras, han llevado a elevar los niveles de mineralización, lo cual implica que los modelos naturales de distribución del nitrógeno en diferentes compuestos con diferente grado de estabilización, se han simplificado, siendo las formas húmicas más recalcitrantes resistentes a esas condiciones (Orozco, 1999). Para el presente monitoreo, el **Nitrógeno Potencialmente Mineralizado ( $NNO_3$ )** reportó valores entre 5 ppm (Punto 7B, Punto 10 y Punto 17) y 30 ppm (Punto 15. Corrales – Modeca) y para el **Nitrógeno Potencialmente Mineralizado ( $NNH_4$ )** valores entre 2 ppm (en la mayoría de puntos evaluados) y 6 ppm (Punto 7B. Corrales –Reyes Patria) (**Tabla 7-58** ).

La disponibilidad de Nitrógeno es de gran importancia para las plantas, las que absorben nitratos y amonio que utilizan en la síntesis de las proteínas y de otros compuestos orgánicos vegetales. La determinación de **Nitrógeno Total Kjeldahl** para los suelos monitoreados, arrojó valores que fluctuaron entre 0,08 mgNTK/Kg (Punto 2. Busbanzá- Quebradas y Punto 5. Finca La Copa) y 0,6 mgNTK/Kg (Punto 7B Corrales – Reyes Patria). Las cantidades de nitrógeno presentes en los suelos están controladas, especialmente, por las condiciones climáticas y la vegetación; plantas con sistemas radicales extensos presentan altos contenidos de nitrógeno (Fassbender & Bornemisza, 1994).

En cuanto al contenido de **Fósforo Total**, este depende de la heterogeneidad de las rocas parentales, el desarrollo de los suelos y otras condiciones edafológicas y ecológicas, específicamente la textura (entre más fina la textura, mayor contenido de P), la profundidad y la cantidad de materia orgánica (Fassbender & Bornemisza, 1994). Se registraron valores de fósforo total inferiores al límite de cuantificación de la técnica analítica empleada en laboratorio para su determinación (<2,5 mg P/Kg) en la totalidad de puntos evaluados, por lo que se infiere un bajo contenido de este parámetro vinculado con la baja presencia de materia orgánica.

La utilización de diferentes fracciones de la materia orgánica del suelo puede ser utilizados como indicadores de la sostenibilidad de sistemas agrícolas (Lozano *et al.*, 2015). La cantidad y el tipo de materia orgánica influyen en casi todas las propiedades que contribuyen a la calidad del suelo y ha sido señalado como un indicador importante de su fertilidad y productividad. **La Fracción ligera de la materia orgánica**, es aquella constituida por material orgánico muy fragmentado Este parámetro reportó valores entre 0,06 (Punto 9. Tasco -Canales) y 0,21 (Punto 6B. Corrales- Reyes Patria) (**Tabla 7-58** ).

El **color** del suelo refleja la composición, así como las condiciones pasadas y presentes de óxido-reducción del suelo. Está determinado generalmente por el revestimiento de partículas muy finas de materia orgánica humificada (oscuro), óxidos de hierro (amarillo, pardo, anaranjado y rojo), óxidos de manganeso (negro) y otros, o puede ser debido al color de la roca parental (FAO, 2009). En la **Tabla 7-59** se presentan los resultados para el Color de los suelos monitoreados:

**Tabla 7-59 Resultados de Color reportados para las muestras de suelo**

PARAMETRO	PUNTO 2	PUNTO 5	PUNTO 6B	PUNTO N. 7B	PUNTO NO 8	PUNTO 9	PUNTO N. 10 TASCO	PUNTO N. 15	PUNTO 17	PUNTO N. 20
	10646	10602	10647	9394	11236	10980	9395	11100	11487	11376
Color (Carta)	10YR 3/2	10YR 4/2	5YR 5/8	10 YR 4/3	10YR 4/2	2,5Y 3/2	2,5Y 6/4	2,5YR	10YR 4/2	10YR 4/2

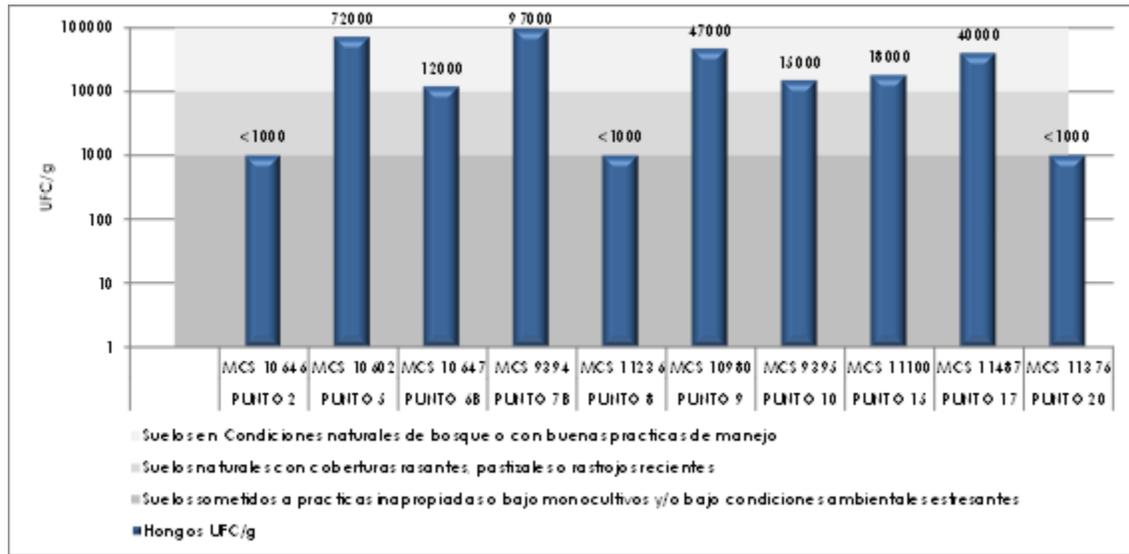
PARAMETRO	PUNTO 2	PUNTO 5	PUNTO 6B	PUNTO N. 7B	PUNTO NO 8	PUNTO 9	PUNTO N. 10 TASCO	PUNTO N. 15	PUNTO 17	PUNTO N. 20
	10646	10602	10647	9394	11236	10980	9395	11100	11487	11376
Munsell)	Very Dark Grayish Brown (Marrón Grisáceo Muy Oscuro)	Dark Grayish Brown (Marrón Grisáceo Oscuro)	Yellowish Red (Rojo Amarillento)	Brown (Marrón)	Dark Grayish Brown (Marrón Grisáceo Oscuro)	Very Dark Grayish Brwn (Marrón Grisáceo Muy Oscuro)	Ligth Yellowish Brown (Marrón Amarillento Claro)	3/3 Dark Reddish Brown (Marrón Rójizo Oscuro)	Dark Grayish Brown (Marrón Grisáceo Oscuro)	Dark Grayish Brown (Marrón Grisáceo Oscuro)

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019

La **Salmonella** es uno de los géneros bacterianos que se encuentran asociados a enfermedades por contaminación de alimentos de origen animal, principalmente (Jara, 2017). El hábitat de la Salmonella es el tracto gastrointestinal de los humanos y de diversos animales. Por ello, se presupone que su persistencia y multiplicación en el ambiente están muy limitadas (Pino et al., 1999). En reservorios secundarios, como aguas de pozos, suelo, camas para crianza y carcasas, los microorganismos sobreviven durante períodos muy largos, pero no se multiplican normalmente como en los sistemas digestivos de los animales (Jara, 2017). Sin embargo, en los suelos se presentan características que podrían ser adecuadas para estas bacterias como el tipo de suelo, grado de desecación, poblaciones de organismos depredadores y cantidad de materia orgánica presente (Paluszac et al., 2003). Para el presente monitoreo, este parámetro no fue detectable en la totalidad de muestras analizadas (**Tabla 7-58**), esta ausencia reportada, hace que el suelo no se considere contaminado e inutilizable, por lo tanto, los resultados obtenidos no generan riesgo para la salud pública.

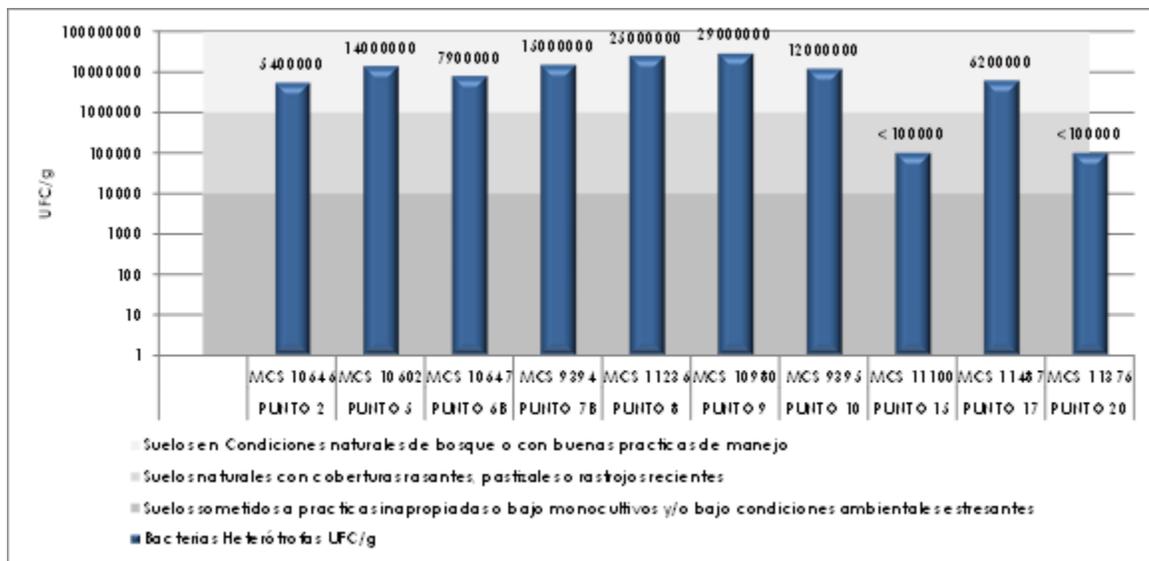
Las **Coliformes** son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo los humanos. La presencia de bacterias coliformes es un indicio de que el agua puede estar contaminada con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo (Munn, 2004); los Coliformes Totales registraron valores, entre el límite de cuantificación de la técnica analítica empleada en laboratorio para su determinación (<1,8 NMP/g) en los puntos 2, 7B, 10 y 20) y >233,5 NMP/g en el punto 6B-Corrales- Reyes Patria, mostrando un comportamiento variable entre punto, siendo coherente con el comportamiento que presentan este tipo de microorganismos; en cuanto a los Coliformes Fecales, registraron valores bajos que se encuentran entre el límite de cuantificación de la técnica analítica (<1,8 NMP/g) y 4,5 NMP/g en el punto 7B Corrales- Reyes Patria; los resultados se vinculan con la infiltración de heces de animales, provenientes de las actividades agropecuarias desarrolladas en cercanías a los puntos evaluados.

Los **Hongos** son organismos cuya estructura asimilativa está compuesta por una serie de pequeños tubos (3-10 $\mu$  diámetro) quitinosos que arrancan, más o menos radialmente, de un punto. El conjunto de tubitos se conoce como micelio, y cada uno de ellos, como hifa. Su crecimiento se realiza mediante la síntesis de protoplasma en los ápices de las hifas. Estas pueden subdividirse en células individuales mediante septas. Algunos hongos importantes en el suelo son: los Ficomycetos, los Ascomycetos, los Hongos Imperfectos y los Micelios (Blasco, 1970). Estos reportaron valores en Unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g) entre menores al límite de detección de la técnica analítica empleada en el laboratorio (<1000 UFC/g) y 97000 UFC/g en el 7B Corrales- Reyes Patria (**Figura 7-72**). Según clasificación del IGAC los puntos 2 (Busbanzá-Quebradas), 8 (Corrales- Reyes Patria) y 20 (Betéitiva – Soiquía) presentan condiciones ambientales estresantes al reportar valores inferiores al límite, los demás puntos se encuentran dentro de la categoría de suelos en condiciones naturales o con buenas prácticas de manejo.



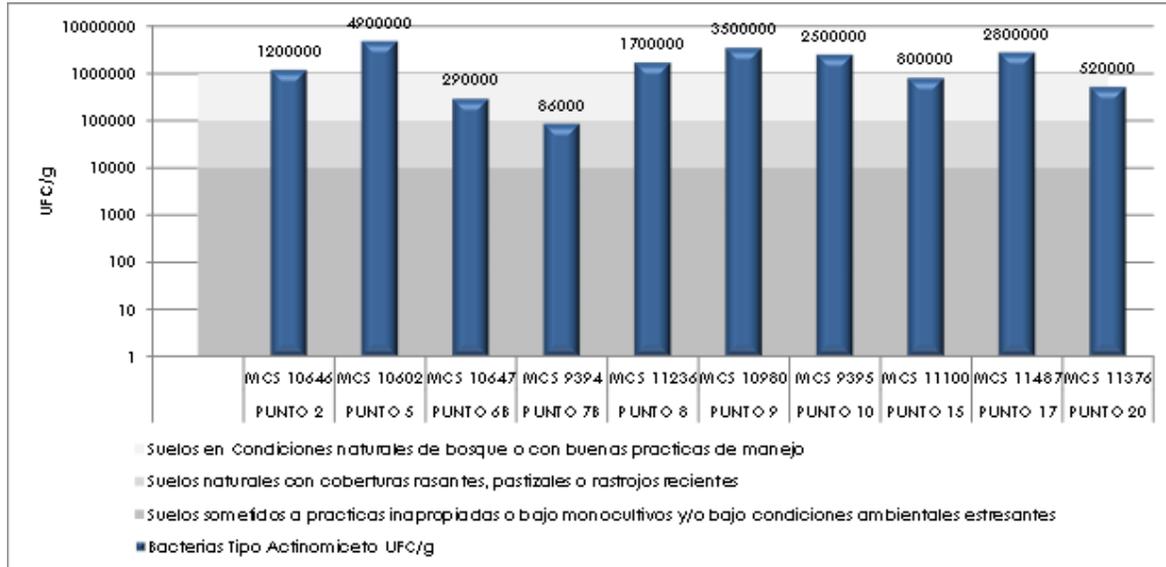
**Figura 7-72 Registros de Hongos obtenidos en los puntos de muestreo**  
Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019

Las **Bacterias** son de difícil clasificación debido a su heterogeneidad. Hay muchos géneros que tienen relación con los suelos, de los cuales alrededor de 50 lo tienen como su hábitat natural. Las bacterias pertenecen a la clase Schizomycetos, y los órdenes Pseudomonales, Eubacteriales y Actinomycetales, contienen las más importantes de los suelos (Blasco, 1970). Para el presente monitoreo las bacterias heterótrofas presentaron valores entre el límite de detección de la técnica analítica <100000 UFC/g y 29000000 UFC/g en el Punto 9. Tasco Canales (**Figura 7-73**), según el IGAC los suelos se clasifican como Suelos en condiciones naturales y suelos naturales con coberturas rasantes, pastizales o rastrojos recientes.



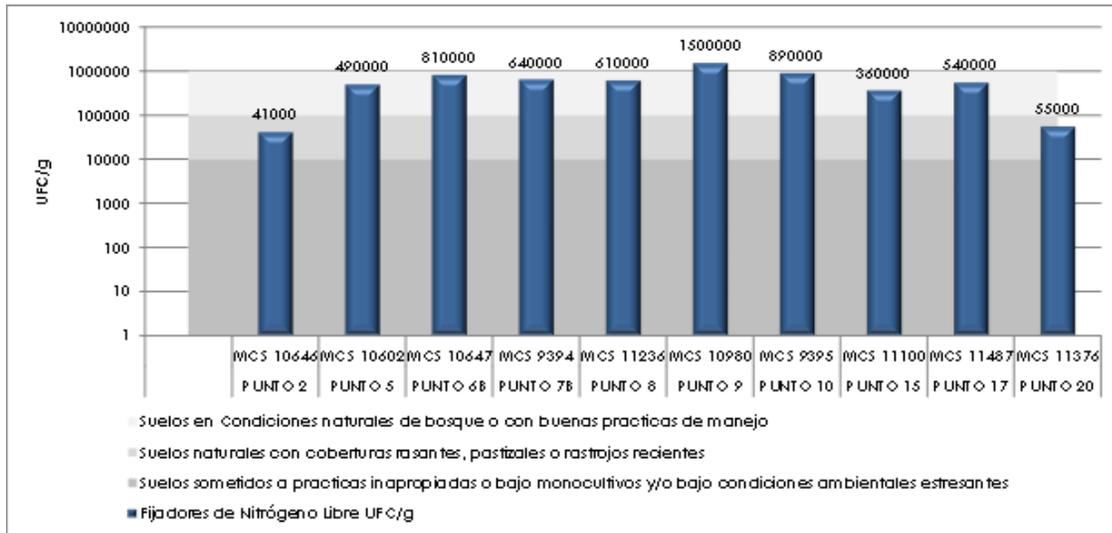
**Figura 7-73 Registros de Bacterias Heterótrofas obtenidos en los puntos de muestreo**  
Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019

Los **Actinomicetos** son considerados como transicionales entre bacterias y hongos. Son unicelulares produciendo micelio muy tenue, cuyas hifas se asemejan a los filamentos fungales. Inicialmente fueron clasificados como hongos y actualmente existe la tendencia a considerarlos dentro de las bacterias. Pertenecen a la clase Schizomycetos, orden Actinomycetales (Blasco, 1970). Estos reportaron valores entre 86000 UFC/g en el punto 7B. Corrales- Reyes Patria y 4900000 UFC/g en el Punto 5. Finca La Copa.



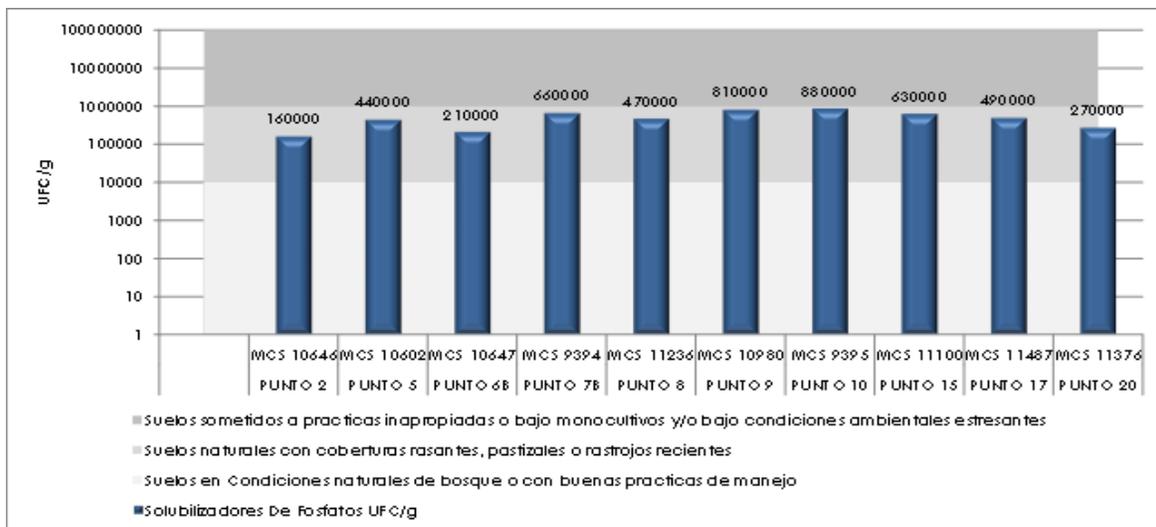
**Figura 7-74 Registros de Bacterias de tipo Actinomiceto obtenidos en los puntos de muestreo**  
**Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019**

El nitrógeno atmosférico es fijado biológicamente por unos pocos microorganismos en simbiosis con plantas determinadas, las más importantes de las cuales pertenecen a la familia Leguminosae que son infectadas por bacterias del género Rhizobium. Actualmente está comprobado que cierto número de bacterias y algas, son capaces de fijar nitrógeno asimbioticamente, como lo son las Azotobacter, Beijerinckia y Clostridium (Blasco, 1970). Los **Fijadores de Nitrógeno Libre** presentaron valores entre 41000 UFC/g en el punto 2. Busbanzá Quebradas y 1500000 UFC/g en el punto 9 Tasco Canales (**Figura 7-75**), ubicándose según el IGAC dentro de los Suelos en condiciones naturales.



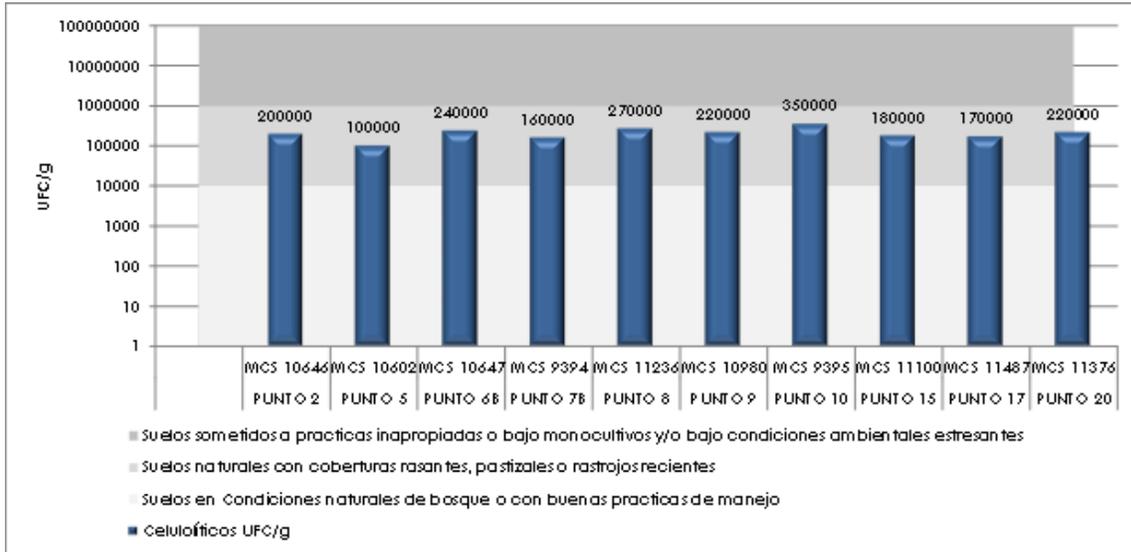
**Figura 7-75 Registros de Fijadores de Nitrógeno Libre obtenidos en los puntos de muestreo**  
Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019

Buena parte de los microorganismos están capacitados para solubilizar los compuestos inorgánicos de fósforo presentes en los suelos. La solubilización se produce por el ataque directo de los microorganismos sobre los fosfatos inorgánicos o en forma indirecta por la acción de los ácidos producidos durante la descomposición de los materiales orgánicos. Estos ácidos a su vez disuelven fosfatos inorgánicos. En condiciones anaeróbicas está demostrado que es el sulfhídrico, liberado por las bacterias reductoras del azufre, al que reacciona con los compuestos inorgánicos del fósforo. Microbiológicamente es de mayor importancia la solubilidad de los fosfatos cálcicos, que constituyen una fuente no solamente de fósforo, sino principalmente de calcio (Blasco, 1970). Los **Solubilizadores de Fosfatos** reportaron valores entre 160000 UFC /g en el punto 2. Busbanzá- Quebradas y 880000 en el punto 10. Tasco- Santa Bárbara (**Figura 7-76**), ubicándose dentro de los suelos naturales con coberturas rasantes, pastizales o rastrojos recientes.



**Figura 7-76 Registros de Solubilizadores de Fosfatos obtenidos en los puntos de muestreo**  
Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019

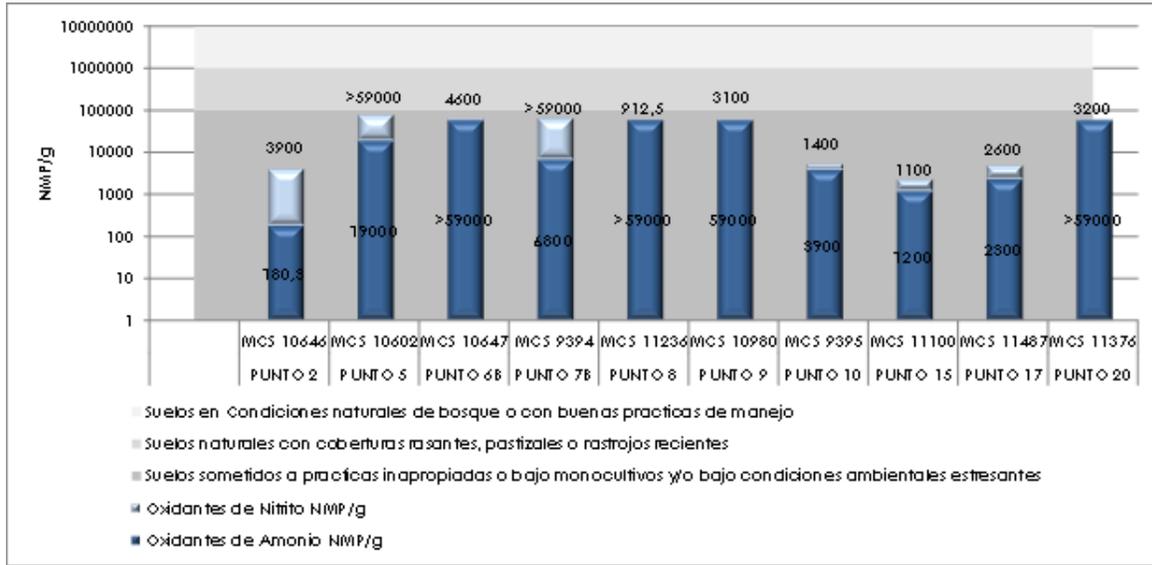
Los Microorganismos **Celulolíticos** o microorganismos degradadores de celulosa incluyen hongos y bacterias, aerobios y anaerobios, mesofílicos y termofílicos que ocupan gran variedad de hábitats (Aubert, 1988). Estos reportaron concentraciones entre 100000 UFC/g en el punto 5 – Finca La Copa y 350000 UFC/g en el punto 10. Tasco Santa Bárbara (**Figura 7-77**), presentando características de suelos naturales en todos los puntos monitoreados.



**Figura 7-77 Registros de Celulolíticos obtenidos en los puntos de muestreo**

*Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019*

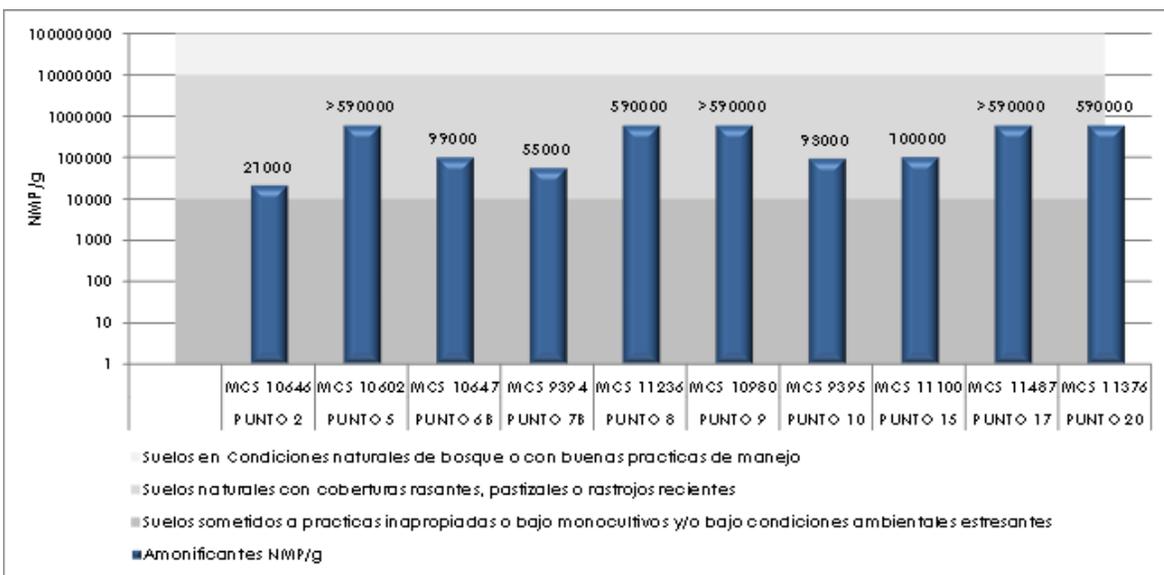
La nitrificación es un proceso aeróbico realizado por bacterias caracterizadas por su metabolismo quimioautótrofo obligatorio, derivando su energía completamente de la oxidación del amoníaco a nitrito y nitrato. Las bacterias nitrificantes se dividen en dos grupos, Oxidadoras de Amoníaco y Oxidadoras de Nitritos, de todas ellas los más importantes y los más encontrados en los suelos son Nitrosomas y Nitrobacter (Blasco, 1970). Para los **Oxidantes de Amonio** se presentaron valores entre 180,3 NMP/g en el punto Suelo 2 – Busbanzá Quebradas y >59000 NMP/g en los puntos 6B, punto 8 y punto 20; y para los **Oxidantes de Nitrito** se presentaron valores entre 912,5 NMP/g y >59000 NMP/g (**Figura 7-78**), presentando suelos con condiciones estresantes.



**Figura 7-78 Registros de Oxidantes de Amonio y Oxidantes de Nitrito obtenidos en los puntos de muestreo**

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019

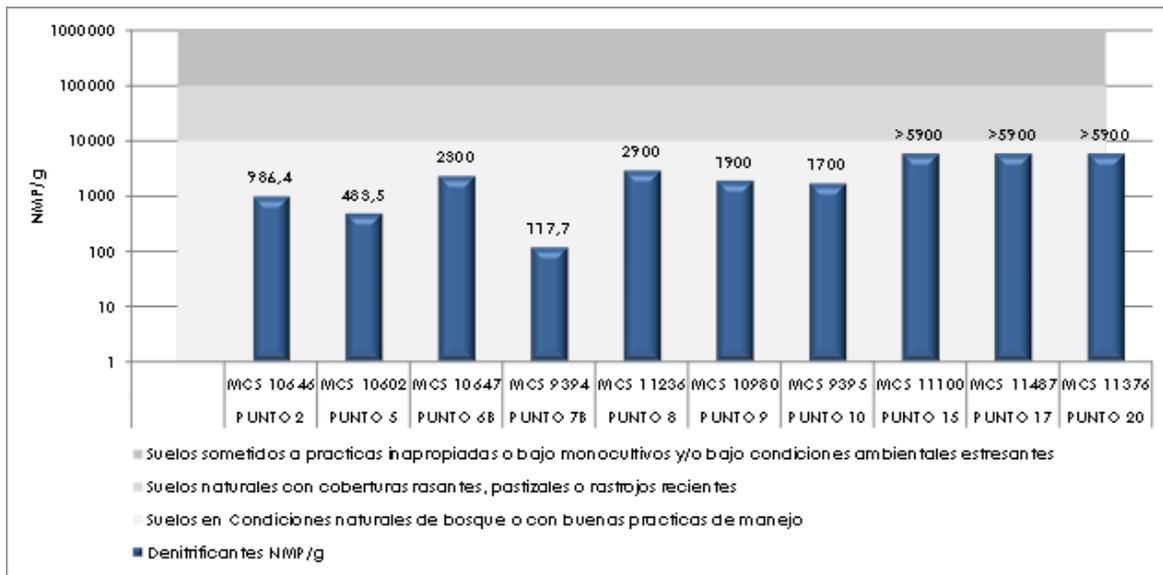
Los organismos **Amonificantes** son una gran diversidad de bacterias, hongos y actinomicetos que pueden liberar amonio de los compuestos orgánicos nitrogenados, tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas. Las bacterias liberan más que los hongos, ya que estos requieren asimilar más nitrógeno para la síntesis celular. Es decir, la amonificación no requiere de microorganismos especializados (Blasco, 1970). Para el presente monitoreo se presentaron valores entre 21000 NMP/g en el punto 2 Busbanzá Quebradas y mayor al límite de detección de la técnica analítica empleada en el laboratorio (>590000 NMP/g) en los puntos 5, punto 9 y punto 17 (**Figura 7-79**).



**Figura 7-79 Registros de Amonificantes obtenidos en los puntos de muestreo**

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019

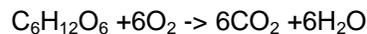
Los microorganismos que intervienen en la denitrificación son todos aquellos que por su actividad producen pérdidas de nitrógeno (bacterias, hongos y actinomicetos). Pero estrictamente en la verdadera reducción intervienen solo unos pocos géneros de bacterias. En el primer caso es necesario que la actividad de los microorganismos produzca un cambio en el pH, suficiente como para producir volatilización. Las verdaderas bacterias denitrificantes actúan en la reducción porque son aeróbicas y, en medios de humedad creciente, utilizan los nitratos como aceptadores de electrones en ausencia de oxígeno (Blasco, 1970). Los organismos **Denitrificantes** reportaron concentraciones entre 117,7 NMP/g en el punto 7B Corrales – Reyes Patria y >5900 NMP/g en los puntos 15, 17 y 20 (**Figura 7-80**), los resultados indican suelos en condiciones naturales de bosque o con buenas prácticas de manejo.



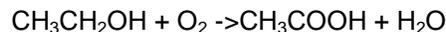
**Figura 7-80 Registros de Denitrificantes obtenidos en los puntos de muestreo**

*Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019*

La **Respiración** hace de las reacciones microbiológicas en el suelo, este tipo de reacción conduce a la oxidación del sustrato y la reducción del oxígeno molecular. La respiración de los distintos microorganismos aeróbicos heterótrofos puede expresarse así cuando la oxidación es completa:



A veces las oxidaciones no son completas, y en lugar de  $CO_2$  se acumulan compuestos orgánicos, debido a que los microorganismos no tienen la suficiente energía para completar la conversión del sustrato en  $CO_2$ . Es el caso de la Acetobacter, o bacteria del ácido acético, que oxida el alcohol etílico a ácido acético (Blasco, 1970):



Para este parámetro se reportaron concentraciones entre 0,029 (mg  $CO_2$ /g)/48h en el Punto 5 Finca La Copa y 0,297 (mg  $CO_2$ /g)/48h en el Punto 10 Tasco – Santa Bárbara (**Figura 7-81**), observándose que los microorganismos de la mayoría de los puntos se encuentran bajo condiciones ambientales estresantes, con excepción de los puntos 6B y 10.



**Figura 7-81 Registros de Respiración obtenidos en los puntos de muestreo**

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019

La consistencia del suelo es la firmeza con que se unen los materiales que lo componen o la resistencia de los suelos a la deformación y la ruptura. La consistencia del suelo se mide por muestras de suelo mojado, húmedo y seco. En los suelos mojados, se expresa como plasticidad. La consistencia del suelo puede estimarse en el campo mediante ensayos sencillos, o medirse con mayor exactitud en el laboratorio. Para el presente monitoreo, se observó en la mayoría de puntos una **consistencia en húmedo** “Friable”, es decir, que el suelo se desmenuza fácilmente bajo una presión de ligera a moderada. En cuando a la plasticidad, se observaron características “Moderadamente Plástico” y “No Plástico”, ya que no se puede formar un cordón con la muestra o este se rompe fácilmente.

### 7.3.7 Invertebrados Presentes En El Suelo

Los macroinvertebrados, son denominados los ingenieros del ecosistema, mostrando efectos directos sobre las propiedades del suelo y procesos de humificación y mineralización de la materia orgánica (Rendon *et al.*, 2011). Sus actividades junto con la presencia de raíces determinan la arquitectura del suelo a través de la acumulación de agregados y poros de diferente tamaño (Lavelle *et al.*, 2006), lo que repercute en la estructura del suelo y en la fertilidad de este (Rendon *et al.*, 2011). Por otra parte, el estado de las propiedades dinámicas del suelo, como son el contenido de materia orgánica, la diversidad de organismos, o los productos microbianos en un tiempo particular permiten establecer la salud del suelo (Romig *et al.*, 1995).

Los macroinvertebrados del suelo desempeñan un papel clave en los procesos que determinan la fertilidad y la estructura física del suelo, regulando así características de disponibilidad de nutrientes para las plantas (Lavelle *et al.*, 1994). La composición y abundancia de las comunidades de macroinvertebrados son muy sensibles a las diferentes prácticas de manejo del suelo (Lavelle *et al.*, 1992).

De los 10 puntos evaluados, se reportaron organismos en ocho de los sitios muestreados (**Figura 7-82**). Se reportó un total de 415 individuos, encontrando que entre los taxa hallados se registran los órdenes Coleoptera, Hemiptera, Himenoptera, Miriápodos, Escorpiones, Oribatida, Opisthopora, registrándose la mayor abundancia en el Punto 17 Soiquia Beteitiva con 133 Ind, seguido de Punto 9 Tasco Canales con 123 individuos.

El orden **Oribatida** fue el grupo con más individuos, con 245 individuos, presentes en tres de los puntos de muestreo, siendo mayor en Tasco Canales, con un porcentaje de abundancia relativa entre 64 y 73% (**Figura 7-82**). Los oribátidos son uno de los grupos de artrópodos dominantes en los horizontes orgánicos del suelo donde alcanzan densidades de cientos de miles de individuos por metro cuadrado. Muestras de suelo no degradado pueden proporcionar de 50 a 100 especies de oribátidos. En el suelo promueven el crecimiento de los hongos y las bacterias y contribuyen a formar la microestructura del suelo al añadir sus excrementos (Iturrondobeitia & Subías, 2015).

Por su parte, el orden **Coleoptera** estuvo presente en todos los puntos de muestreo, con una densidad total de 81 individuos y porcentajes de abundancia relativa entre 9 y 100% (**Figura 7-82**), registrando la mayor densidad de en Punto 10 Tasco - Santa Barbara con 16 Individuos. Los coleópteros que viven en el suelo se caracterizan por tener cuerpos delgados y aplanados, extremidades cortas y reducción de segmentos tarsales. También es posible encontrar reducción alar tanto en los élitros como en las alas membranosas (por ejemplo, en la familia Staphylinidae). Algunos de estos organismos son depredadores en la superficie del suelo o constructores de túneles, muchos de estos coleópteros habitan en el suelo solamente en sus etapas larvales (Sanchez, 2013).

Seguidamente los **Miriápodos** fueron reportados en tres de los puntos de muestreo, con una abundancia total de 27 individuos y un porcentaje de abundancia relativa entre 2 y 12% (**Figura 7-82**), registrando la mayor cantidad de organismos en Punto 17 Soiquia Beteitiva. La gran mayoría de las especies de miriapodos viven en el suelo y tienen la facilidad de excavar. Por ello, la influencia de estos organismos en el suelo es de tipo física y química, puesto que al perforar el suelo rompen los niveles superiores y alteran la naturaleza física del mismo, incrementan la porosidad, la capacidad de retención de agua e influyen en los procesos de transporte de nutriente (Bueno-Villegas, 2012).

En cuanto al orden **Himenóptera**, este fue identificado en cuatro de los puntos de muestreo, con abundancias relativas entre 4 y 42% (**Figura 7-82**); además de una densidad total de 22 individuos, siendo mayor en el Punto No 20 Beteitiva – Soiquia. Las hormigas son consideradas importantes indicadores ecológicos, de igual forma, exhiben una amplia gama de gremios tróficos y funcionales que operan en casi todos los estratos de los agroecosistemas, ofreciendo servicios ecosistémicos, como el control potenciales plagas, polinización o la introducción de materia orgánica en el suelo (Arenas-Clavijo, 2018).

Para el orden **Opisthoptora**, se registró un total de 19 Individuos, distribuidos en dos de los puntos de muestreo siendo mayor en Punto 17 Soiquia Beteitiva, con abundancias relativas de 4 y 11% (**Figura 7-82**). Las lombrices son de especial interés dentro de la fauna edáfica por su mayor presencia y biomasa, desempeñando un importante papel estructural, ya que la formación de galerías facilita el crecimiento de las raíces, sus excrementos retienen agua y contienen importantes nutrientes para las plantas (Ibáñez *et al.*, 2004).

Por último, los **Escorpiones** fueron el grupo más escaso, con un total de tres individuos reportados, presentes en Punto 9 Tasco Canales, Punto No 20 Beteitiva – Soiquia y Punto 17 Soiquia Beteitiva; con abundancias relativas de 1% (**Figura 7-82**).

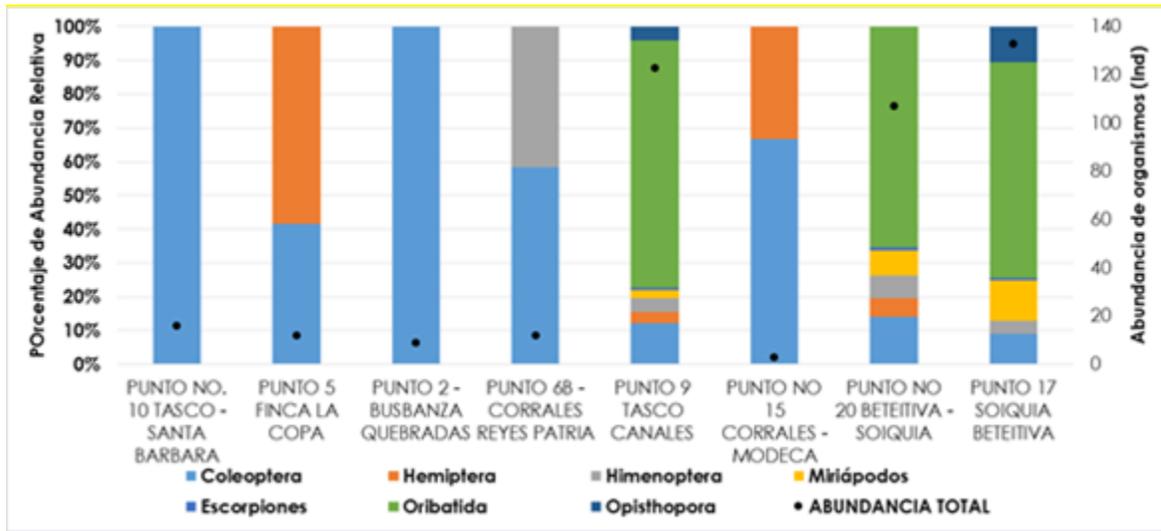


Figura 7-82 Porcentajes de abundancia invertebrados presentes en las muestras de suelo

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019

➤ Atributos ecológicos

En la **Tabla 7-60** se presentan los resultados de diversidad, dominancia y uniformidad hallados en los puntos evaluados en el presente estudio.

Tabla 7-60 Atributos ecológicos hallados

ÍNDICES	PUNTO 10 TASCO - SANTA BARBARA	PUNTO 5 FINCA LA COPA	PUNTO 2 - BUSBANZA QUEBRADAS	PUNTO 6B CORRALES REYES PATRIA	PUNTO 9 TASCO CANALES	PUNTO 15 CORRALES - MODECA	PUNTO 20 BETEITIVA - SOIQUIA	PUNTO 17 SOIQUIA BETEITIVA
Riqueza	1	2	1	2	7	2	6	6
Abundancia	16	12	9	12	123	3	107	133
Dominancia	-	-	-	-	0,555	-	0,460	0,443
Diversidad Shannon_H	-	-	-	-	0,986	-	1,131	1,155
Uniformidad	-	-	-	-	0,507	-	0,631	0,644

(-): No pudo ser calculado debido a la baja riqueza reportada.

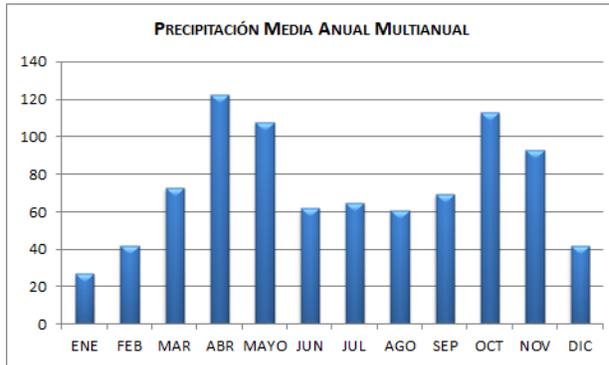
Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2019

En general, el estrato superficial mostró diversidades bajas lo cual se asocia con la baja riqueza de organismos presentes en las muestras analizadas ( **Tabla 7-60**). En lo que respecta a la uniformidad (Pielou) se reportaron valores bajos entre 0,507 y 0,644 mientras que el índice de dominancia (Simpson) presentó valores ente 0,443 y 0,555, mostrando que la comunidad de macroinvertebrados muestra una uniformidad de especies en cada punto.

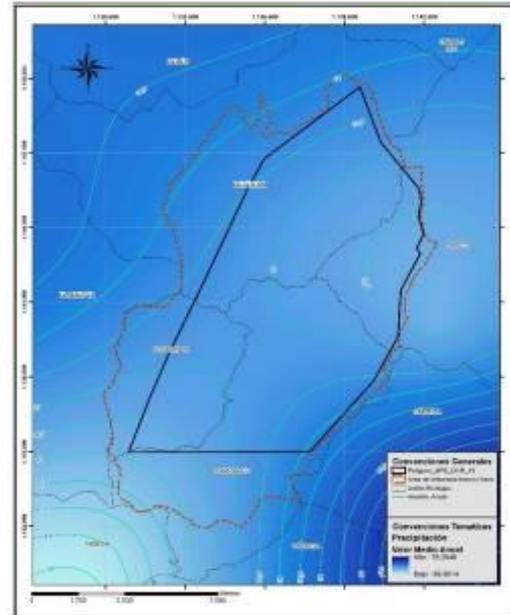
7.3.7.1 Análisis de los Elementos Climáticos

De acuerdo con el análisis de los elementos climáticos realizado en el capítulo 5, numeral 5.1.8.4, la precipitación tiene un comportamiento temporal de tipo bimodal, es decir presenta dos épocas de lluvia, el primer periodo de lluvia se presenta entre los meses de marzo – mayo con valores de hasta 122.5 mm y el segundo periodo entre septiembre – noviembre con 112.7 mm. (Ver **Figura 7-83**). Ahora desde la perspectiva de distribución espacial la precipitación presenta una menor concentración a lo largo del año hacia la zona media del APE COR -15 como se presenta en la **Figura 7-83**.

Distribución Temporal de la Precipitación



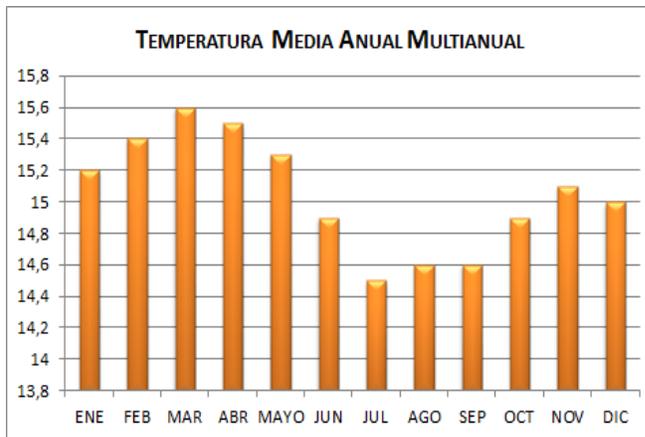
Distribución Espacial de la Precipitación



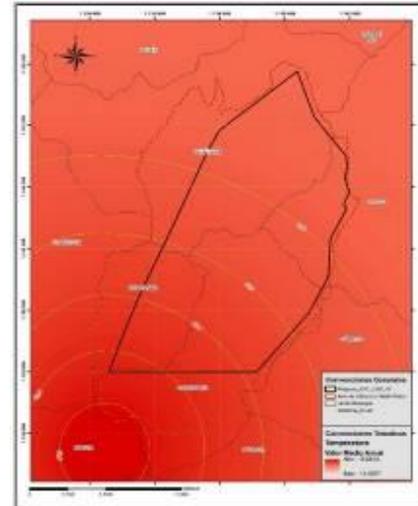
**Figura 7-83 Distribución Espacial y Temporal de la Precipitación**

En cuanto a la temperatura, la distribución anual coincide con el comportamiento de la temperatura, teniendo dos temporadas de máximos entre febrero hasta abril la primera y la segunda entre octubre y diciembre. La distribución espacial permite ver que hacia el norte la temperatura disminuye en cerca de 0.12 °C. (Ver **Figura 7-84**).

Distribución Temporal de la Precipitación



Distribución Espacial de la Precipitación



**Figura 7-84 Distribución Espacial y Temporal de la Temperatura**

Al realizar el balance hídrico, se puede observar que entre los períodos de marzo a mayo y de septiembre a noviembre se presentan excesos de humedad los cuales pueden llegar a disminuir ostensiblemente la tasa de infiltración de las aguas tratadas en suelo. En otras palabras, los tiempos de aspersión serían mayores. (Ver **Figura 7-85**).

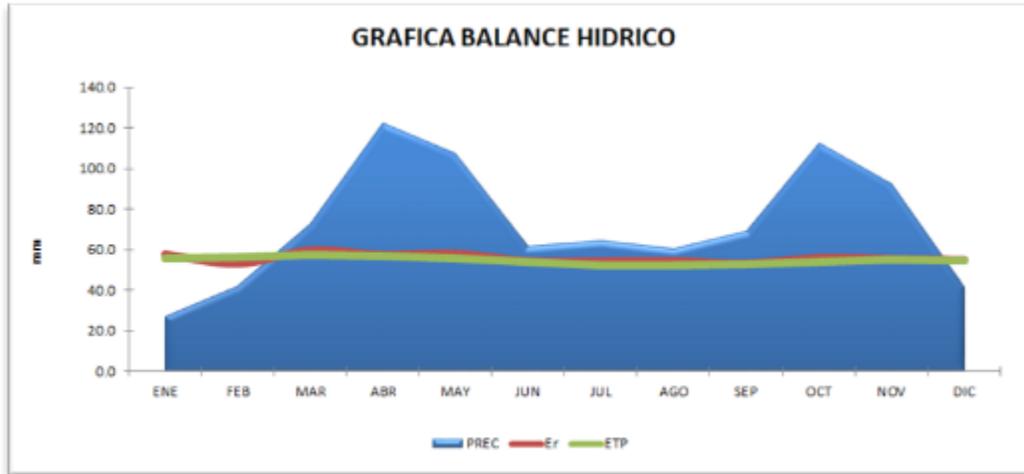


Figura 7-85 Gráfica de Balance Hídrico

#### 7.3.7.2 Pruebas De Infiltración

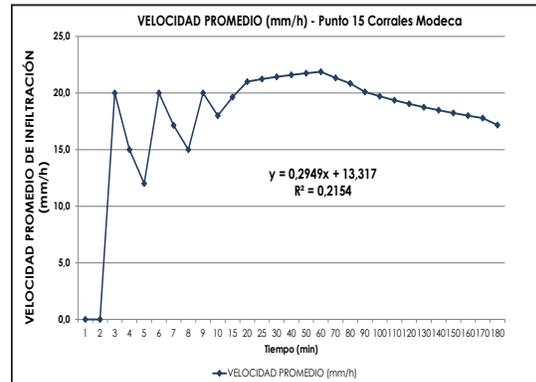
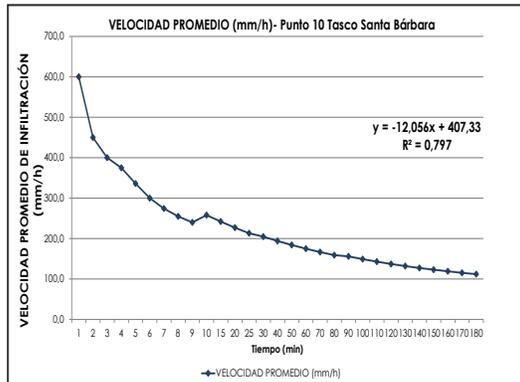
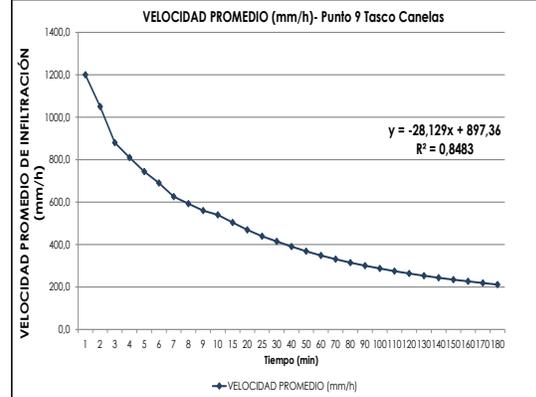
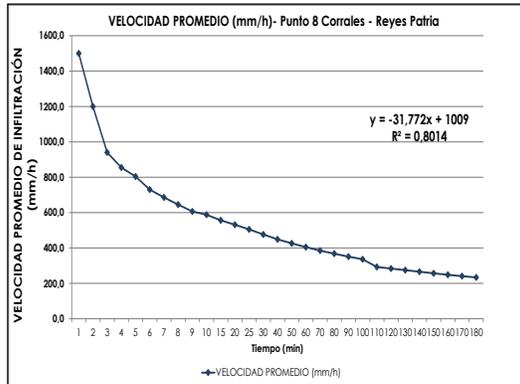
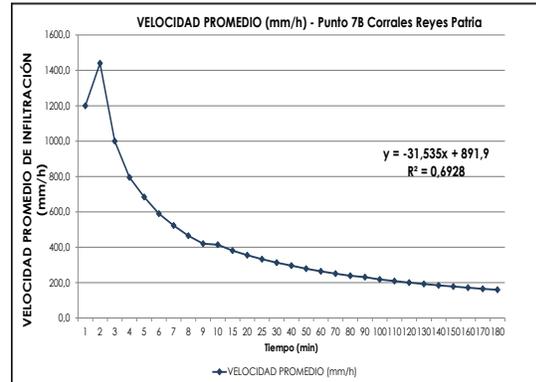
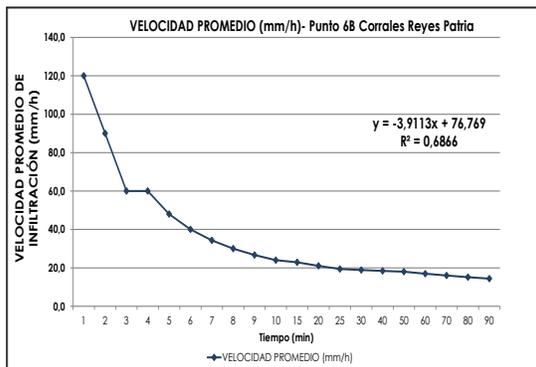
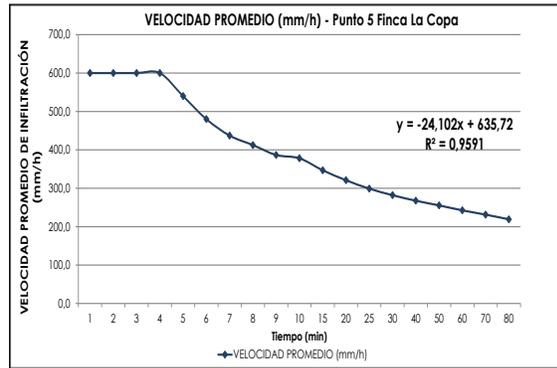
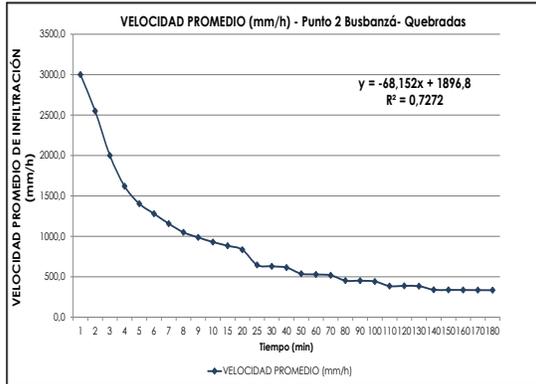
Para esta prueba se tomaron datos iniciales de tiempo y altura de la columna de agua, justo antes de iniciar la prueba. A medida que transcurre el tiempo, se van anotando los datos de la altura de la columna mientras el agua se infiltra en el suelo a analizar (**Anexo 2**). En la **Figura 7-86** se presentan las gráficas que muestran el comportamiento de la velocidad de infiltración del agua en los diez puntos evaluados en el área de perforación exploratoria COR- 15; se observa un lento pero constante movimiento durante los minutos determinados en cada prueba debido a que el terreno presentó un suelo de características Franco- Arcillosas y Arcillosas en la mayoría de los puntos, el cual causa una infiltración lenta del agua en el suelo.

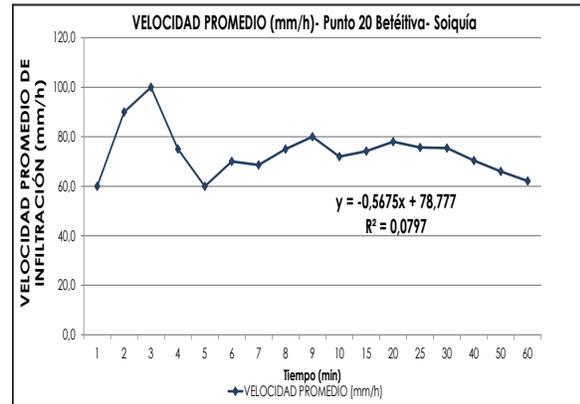
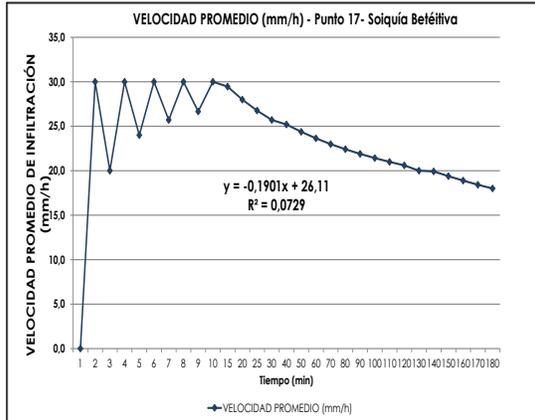
En la **Tabla 7-61** se presentan la tasa y el factor de infiltración para los diez sitios de monitoreo, las cuales mostraron una clasificación de infiltración lenta, moderadamente lenta y moderadamente rápida, indicando una retención considerable de líquido en las primeras capas del suelo debido a la capacidad de campo del sustrato tipo Franco- arcilloso.

**Tabla 7-61 Tasa y factor de infiltración de los puntos de muestreo**

NOMBRE	TIEMPO (s)	TASA DE INFILTRACIÓN (p en cm)	FACTOR DE INFILTRACIÓN		
			en cm/s	en cm/h	en min/cm
PUNTO 2 - BUSBANZA QUEBRADAS	10800	26	0,0024	8,7	6,92
PUNTO 5 FINCA LA COPA	4800	11,3	0,0024	8,5	7,07
PUNTO 6B - CORRALES REYES PATRIA	5400	1	0,0002	0,7	90
PUNTO NO. 7B CORRALES - REYESPATRIA	10800	12,9	0,0012	4,3	13,95
PUNTO NO 8 CORRALES - REYES PATRIA	10800	18	0,0017	6	10
PUNTO 9 TASCO CANALES	10800	17,9	0,0017	6	10,05
PUNTO NO. 10 TASCO - SANTA BARBARA	10800	13	0,0012	4,3	13,84
PUNTO NO 15 CORRALES - MODECA	10800	4,6	0,0004	1,5	39,13
PUNTO 17 SOIQUIA BETEITIVA	10800	3,7	0,0003	1,2	48,64
PUNTO NO 20 BETEITIVA - SOIQUIA	3600	4	0,0011	4	15
INTERPRETACIÓN		INFILTRACIÓN (cm/h)			
MUY LENTA		<0,1			
LENTA		0,1 – 0,5			
MODERADAMENTE LENTA		0,51 – 2,0			
MODERADA		2,01 – 6,3			
MODERADAMENTE RÁPIDA		6,311 – 12,7			
RÁPIDA		12.7 – 25,4			
MUY RÁPIDA		>25,4			

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S, 2019





**Figura 7-86 Velocidades de infiltración e infiltraciones acumuladas en los puntos analizados**

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S, 2019

Evaluando las anteriores pruebas de infiltración podemos concluir que nuestras unidades con potencial para realizar el vertimiento son las siguientes:

NOMBRE	TIEMPO (s)	TASA DE INFILTRACIÓN (p en cm)	FACTOR DE INFILTRACIÓN		
			en cm/s	en cm/h	en min/cm
MMC	4800	11,3	0,0024	8,5	7,07
MME	10800	18	0,0017	6	10
MMH	10800	17,9	0,0017	6	10,05
INTERPRETACIÓN		INFILTRACIÓN (cm/h)			
MUY LENTA		<0,1			
LENTA		0,1 – 0,5			
MODERADAMENTE LENTA		0,51 – 2,0			
MODERADA		2,01 – 6,3			
MODERADAMENTE RÁPIDA		6,311 – 12,7			
RÁPIDA		12.7 – 25,4			
MUY RÁPIDA		>25,4			

- Tasas De Aplicación De Aguas Residuales**

Un campo de infiltración recibe el efluente del tanque de almacenamiento y gracias a la permeabilidad del suelo permite el tratamiento y disposición subsuperficial del agua residual. El

primer paso para proyectar un sistema de disposición subsuperficial de aguas residuales es determinar si el suelo es apto para la infiltración del efluente y, en caso positivo, calcular el área necesaria. El nivel freático o la superficie de cualquier formación impermeable debe encontrarse preferiblemente a más de 1.0 m del fondo del campo de infiltración. (Márquez, 2008). En la **(Tabla 7-62 )** se pueden observar las características hidráulicas que debe tener un suelo para realizar el riego de aguas residuales sobre él.

**Tabla 7-62 Características hidráulicas del suelo**

TEXTURA	PERMEABILIDAD (CM/H)	PERCOLACIÓN (MIN/CM)
Arena	> 15	< 4
Marga Arenosa	0,5 – 15	4 - 18
Marga limosa porosa		
Marga arcillosa limosa		
Arcillas, marga limosa	< 0.5	>18
Marga arcillosa limosa		

*Fuente: Romero, 2000*

Los resultados de las pruebas de percolación variaron entre 6,92 min/cm (Punto 2. Busbanzá – Quebradas) y 90 cm/min (Punto 6B- Corrales Reyes Patria) **(Tabla 7-61)**, indicando que la textura del suelo a la que corresponden cada una de las muestras tomadas son de un tipo de suelo de textura marga arcillosa limosa. Según los valores de la **(Tabla 7-63 )** para la tasa de percolación obtenida de las pruebas de infiltración en los diez (10) puntos de muestra, la tasa de aplicación de aguas residuales recomendada según las características del suelo para la menor tasa de percolación correspondiente al Punto 2- Busbanzá Quebradas (6,92 min/cm) es de 24 L/m<sup>2</sup> d y para la mayor, correspondiente al punto 6B- Corrales- Reyes Patria, no se recomienda el uso del suelo para el vertimiento de aguas residuales, ya que no se posee una conductividad hidráulica que permita el riego.

**Tabla 7-63 Tasas de aplicación de aguas residuales para sistemas de infiltración**

Textura del suelo	Tasa de percolación (min/cm)	Tasa de aplicación L/m <sup>2</sup> d
Grava, arena gruesa	<0,40	No recomendado
Arena media gruesa	0,4 – 2,0	48
Arena fina, arena margosa	2,1 – 6,0	32
Marga, marga arenosa	6,1 – 12,0	24
Marga, marga limosa porosa	12,1 – 24	18
Marga arcillolimsa, marga arcillosa	24,1 – 48	8
Arcillas, arcillascoloidales	>48	No recomendado

*Fuente: Romero, 2000*

### 7.3.7.3 Riesgo de contaminación del acuífero

De acuerdo con la evaluación de vulnerabilidad presentada en el Capítulo 5, numeral 5.1.6.9 de la línea base, El cálculo de la vulnerabilidad con el método GOD tiene que ver con tres parámetros, el grado de confinamiento hidráulico (G) y la ocurrencia del sustrato suprayacente (O) son parámetros que no cambian con el tiempo, mientras que la distancia al nivel del agua subterránea o al techo del acuífero (D) puede ser variable en diferentes épocas del año. En este orden de ideas, se realizó la evaluación de la vulnerabilidad con el método GOD para dos escenarios, el de niveles de agua elevado y niveles de agua profundizados. Estos escenarios de D son: profundidades menores que 5 m (conservador) que está relacionado con las zonas cercanas a manantiales y profundidades entre 5 m y 20 m (menos conservador) para las zonas más alejadas a los

manantiales. En la **Tabla 7-64** se presenta el cálculo de la vulnerabilidad. Los valores de G y O son invariantes en ambos escenarios y sus valores se asignaron según la clasificación de tipo de acuífero por comportamiento y la composición de las rocas.

**Tabla 7-64 Cálculo de vulnerabilidad en el AI del medio físico**

UNIDAD HIDROGEOLOGICA	G	O	D MÁXIMO	GOD MÁXIMO	CLASE GOD MÁXIMO	D MÍNIMO	GOD MÍNIMO	CLASE GOD MÍNIMO
Acuífero Floresta	0	0.5	0	0	Vulnerabilidad Muy Baja	0	0	Vulnerabilidad Muy Baja
Acuífero Areniscas de Socha	0.9	0.6	0.9	0.486	Vulnerabilidad Moderada	0.8	0.432	Vulnerabilidad Moderada
Acuífero Depósito Fluvial Neógeno	0.9	0.7	0.9	0.567	Vulnerabilidad Alta	0.8	0.504	Vulnerabilidad Alta
Acuífero Depósitos Aluviales	0.9	0.7	0.9	0.567	Vulnerabilidad Alta	0.8	0.504	Vulnerabilidad Alta
Acuífero Depósitos Coluviales	0.9	0.8	0.9	0.648	Vulnerabilidad Alta	0.8	0.576	Vulnerabilidad Alta
Acuífero Depósitos Fluvio - Lacustres	0.9	0.6	0.9	0.486	Vulnerabilidad Moderada	0.8	0.432	Vulnerabilidad Moderada
Acuífero Girón	0.9	0.6	0.9	0.486	Vulnerabilidad Moderada	0.8	0.432	Vulnerabilidad Moderada
Acuífero Labor y Tierna	0.9	0.6	0.9	0.486	Vulnerabilidad Moderada	0.8	0.432	Vulnerabilidad Moderada
Acuífero Picacho	0.9	0.7	0.9	0.567	Vulnerabilidad Alta	0.8	0.504	Vulnerabilidad Alta
Acuífero Somero Meteorizado y Fracturado Filitas y Esquistos de Busbanzá	0.9	0.6	0.9	0.486	Vulnerabilidad Moderada	0.8	0.432	Vulnerabilidad Moderada
Acuífero Somero Meteorizado y Fracturado Stock de Otengá	0.9	0.6	0.9	0.486	Vulnerabilidad Moderada	0.8	0.432	Vulnerabilidad Moderada
Acuífero Tibasosa	1	1	1	1	Vulnerabilidad Extrema	0.8	0.8	Vulnerabilidad Extrema

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	G	O	D MÁXIMO	GOD MÁXIMO	CLASE GOD MÁXIMO	D MÍNIMO	GOD MÍNIMO	CLASE GOD MÍNIMO
Acuífero Tíbet	0.9	0.6	0.9	0.486	Vulnerabilidad Moderada	0.8	0.432	Vulnerabilidad Moderada
Acuífero Une	0.9	0.6	0.9	0.486	Vulnerabilidad Moderada	0.8	0.432	Vulnerabilidad Moderada
Acuífugo Neis de Quebradas	0	0.6	0	0	Vulnerabilidad Muy Baja	0.8	0	Vulnerabilidad Muy Baja
Acuitardo Arcillas de Socha	0.4	0.5	0.9	0.18	Vulnerabilidad Baja	0.8	0.16	Vulnerabilidad Baja
Acuitardo Chipaque	0.4	0.5	0.9	0.18	Vulnerabilidad Baja	0.8	0.16	Vulnerabilidad Baja
Acuitardo Concentración	0.4	0.5	0.9	0.18	Vulnerabilidad Baja	0.8	0.16	Vulnerabilidad Baja
Acuitardo Cuche	0.4	0.6	0.9	0.216	Vulnerabilidad Baja	0.8	0.192	Vulnerabilidad Baja
Acuitardo Guaduas	0.4	0.55	0.9	0.198	Vulnerabilidad Baja	0.8	0.176	Vulnerabilidad Baja
Acuitardo Los Pinos	0.4	0.55	0.9	0.198	Vulnerabilidad Baja	0.8	0.176	Vulnerabilidad Baja
Acuitardo Plaeners	0.4	0.6	0.9	0.216	Vulnerabilidad Baja	0.8	0.192	Vulnerabilidad Baja

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

En la **Figura 7-87** se presenta la variación espacial de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea. Se obtuvieron clases de vulnerabilidad desde muy baja para acuífugos y acuíferos, baja para acuitardos, y moderada hasta extrema para los acuíferos



**Figura 7-87 Variación espacial de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea en el AI del APE COR-15**  
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

### 7.3.8 Solicitud de Permiso

MAUREL & PROM COLOMBIA B.V solicita permiso de vertimiento o disposición de aguas residuales domésticas e industriales generadas durante el desarrollo de las actividades exploratorias que comprende el proyecto "Área de Perforación Exploratoria COR 15", el vertimiento se realizará mediante las alternativas propuestas anteriormente y bajo las condiciones presentadas a continuación:

- Riego en vías

Riego en vías de aguas residuales domésticas, industriales, y aguas de formación, generadas durante el desarrollo de las actividades que comprende el proyecto, previamente tratadas y dando cumplimiento a la normatividad vigente para tal efecto, al interior del APE - COR 15, únicamente en época de verano, en vías sin pavimentar en un caudal de hasta 1.8 LPS.

- Reutilización en Procesos de la perforación exploratoria y de las pruebas de producción

Reutilización de aguas residuales domésticas, industriales, aguas de formación, incluyendo las aguas resultantes de las pruebas hidrostáticas de líneas de flujo, en actividades del proyecto APE COR 15, previamente tratadas y dando cumplimiento a la normatividad vigente para tal efecto, en un caudal de hasta 2 LPS.

- **Sistemas de aspersión o campos de infiltración**

Vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales, de formación y de la prueba hidrostática previamente tratadas por medio de sistemas de aspersión, campos de infiltración, en las plataformas o en áreas aledañas y dando cumplimiento a la normatividad vigente para tal efecto, en un caudal de hasta 1.8 LPS, aplicación durante cuatro (4) horas diarias, En cada plataforma las áreas destinadas para aspersión o infiltración serán de hasta 0,85 hectáreas las cuales se ubicarán dentro de las mismas. El diseño final del sistema de aspersión o evaporación se presentará con el correspondiente plan de manejo ambiental.

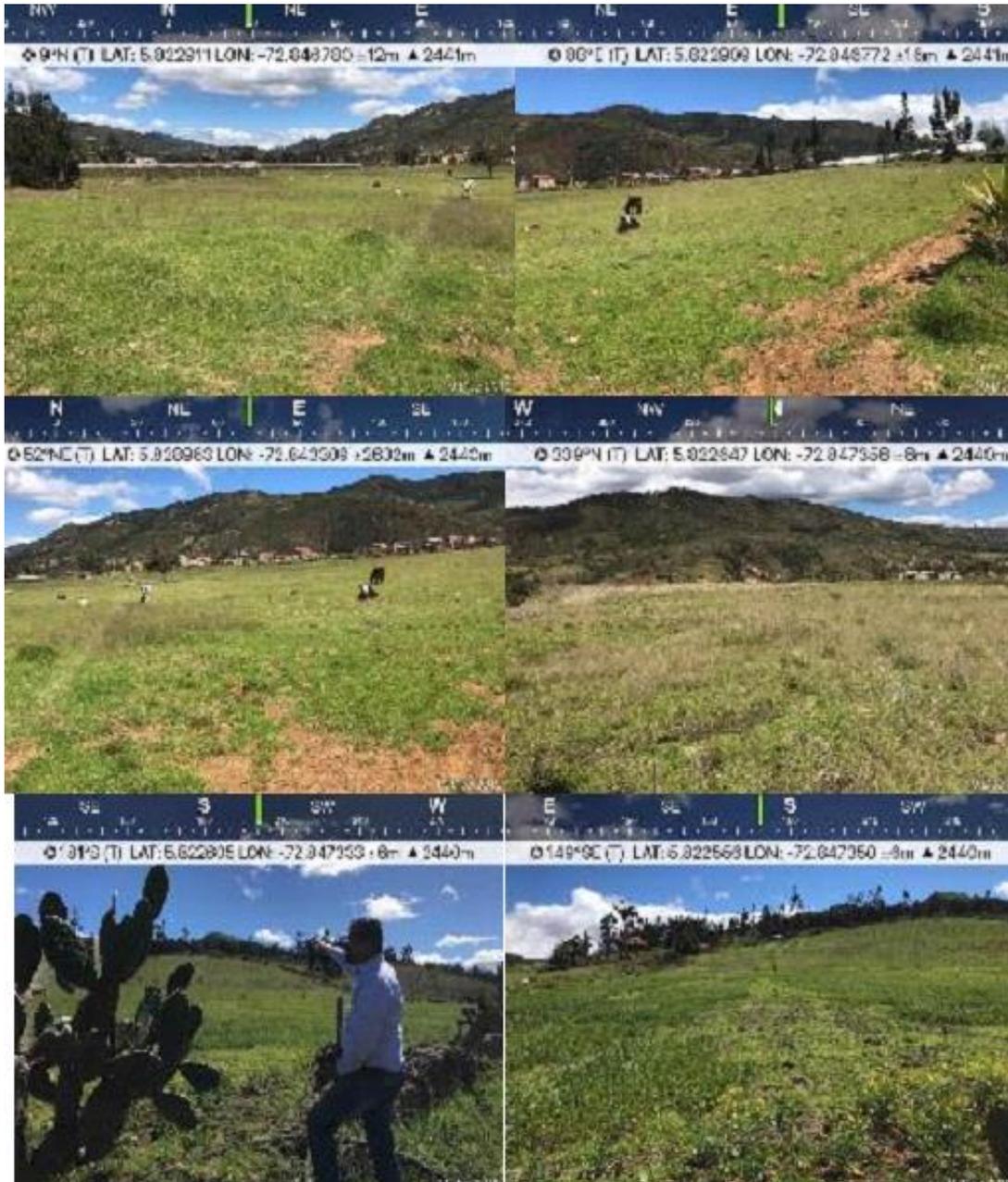
Y teniendo previsto que son las siguientes unidades las que tienen propiedades favorables para establecer zonas de aspersión se presentan varias zonas con potencial para establecer estas zonas.

NOMBRE	TIEMPO (s)	TASA DE INFILTRACIÓN (p en cm)	FACTOR DE INFILTRACIÓN		
			en cm/s	en cm/h	en min/cm
<b>MMC</b>	4800	11,3	0,0024	8,5	7,07
<b>MME</b>	10800	18	0,0017	6	10
<b>MMH</b>	10800	17,9	0,0017	6	10,05
INTERPRETACIÓN			INFILTRACIÓN (cm/h)		
<b>MUY LENTA</b>			<0,1		
<b>LENTA</b>			0,1 – 0,5		
<b>MODERADAMENTE LENTA</b>			0,51 – 2,0		
<b>MODERADA</b>			2,01 – 6,3		
<b>MODERADAMENTE RÁPIDA</b>			6,311 – 12,7		
<b>RÁPIDA</b>			12.7 – 25,4		
<b>MUY RÁPIDA</b>			>25,4		

Las anteriores unidades de suelo son las más apropiadas para establecer las zonas o área de infiltración por aspersión que sean necesarias para el vertimiento en época de verano.

Estas áreas deben ser definidas en el plan de manejo con el fin de establecer cuáles son las más adecuadas y cercanas a la plataforma.

A continuación, se presentan varias fotos de las 3 unidades con mejor probabilidad de desarrollar la actividad de vertimiento por fuera de la plataforma en el caso que sea requerido



Fotografía 7-16 Zonas o áreas dentro de la unidad MMC

Fuente: MAUREL & PROM COLOMBIA B.V., 2019



Fotografía 7-17 Zonas o áreas dentro de la unidad MMH

Fuente: MAUREL & PROM COLOMBIA B.V., 2019







**Fotografía 7-18 Zonas o áreas dentro de la unidad MME**

Fuente: MAUREL & PROM COLOMBIA B.V., 2019

- Entrega a terceros debidamente autorizados

Entrega de vertimientos a terceros que cuenten con licencia o permiso emitido por una autoridad ambiental competente para el manejo, transporte y disposición final de las de aguas residuales domésticas, industriales, de formación y de la prueba hidrostática.

#### 7.4 OCUPACIONES DE CAUCE

Se solicita permiso para ocupación de cauces para el APE COR 15, en ocho (8) sitios con el propósito de poder realizar el mantenimiento, la construcción de vías de acceso a las locaciones e instalación de líneas de flujo que se requieran sobre cuerpos de agua superficial (ríos, quebradas y afluentes menores). Se reforzarán y construirán estructuras que permitan el tránsito de vehículos y maquinaria sobre la vía. Las principales estructuras a construir o adecuar se describen a continuación haciendo referencia al drenaje a intervenir:

No	Vía	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá		Nombre del drenaje	Tipo de drenaje	Estructura Existente	Localización Político administrativa	Tipo de Intervención
		Este	Norte					
1	Vía 1	1140506,83	1139696	Quebrada Canelas	Permanente	Puente en concreto reforzado con una longitud de 37,4 m y un ancho de 7.7m. Capa de rodadura en pavimento rígido. Presenta buenas condiciones de drenaje y buenas condiciones estructurales, no se observan fisuras o agrietamiento. El estado de la superficie de rodadura es bueno, no se evidencia desgaste, hundimientos ni agrietamientos.	Este puente marca el límite entre los municipios de Tasco (Vereda Canelas) y Corrales (vereda Reyes Patria).	Ampliación de la rasante y reforzamiento de las estructuras.
2	Vía 5	1134254	1137039	Quebrada NN	Permanente	Pontón con una longitud de 5,7 m	Vereda Tonemí, municipio de	Refuerzo, ampliación de

No	Vía	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá		Nombre del drenaje	Tipo de drenaje	Estructura Existente	Localización Político administrativa	Tipo de Intervención
		Este	Norte					
						y ancho de calzada de 5m. Capa de rodadura en pavimento flexible. Se encuentra en un estado bueno en cuanto al drenaje. Presenta buenas condiciones estructurales. El estado general de la superficie es bueno, no se evidencia desgaste, hundimientos y agrietamientos en la capa de rodadura.	Busbanzá.	la rasante, mejoramiento de las condiciones del ángulo de giro.  Limpieza de la estructura para que no pierda su capacidad hidráulica
3	Vía 2.1	1138778	1142475	Río Chicamocha	Permanente	Puente en concreto reforzado con una luz de 21.1 m y un ancho de 3.7 m. Capa de rodadura en pavimento rígido. Buenas condiciones de drenaje. Presenta buenas condiciones estructurales, no se observan fisuramiento o agrietamiento. El estado general de la superficie es bueno, no se evidencia desgaste, hundimientos y agrietamientos en la capa de rodadura. A los costados tiene barandas en concreto de 1m de altas.	Este puente sirve de límite entre los municipios de Tasco (vereda Santa Bárbara) y Betétiva (vereda de Buntia).	Eventualment e refuerzo
4	Vía 7	1136954	1144875	Quebrada Gaspar	Permanente	Pontón en concreto reforzado con una longitud de 5m y ancho de 6,5m. La capa de rodadura es tierra, con buenas condiciones de drenaje y estructurales, no	Límite de las veredas Otengá y Buntia, Municipio de Betétiva.	Refuerzo de la estructura, ampliación y limpieza

No	Vía	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá		Nombre del drenaje	Tipo de drenaje	Estructura Existente	Localización Política administrativa	Tipo de Intervención
		Este	Norte					
						se observan fisuras ni agrietamiento en su estructura. El estado general de la superficie es buena, no se evidencia desgaste, hundimientos ni agrietamientos en la capa de rodadura.		
5	Vía 2.2	1139223	1144951	Quebrada de la Rinconada (Quebrada Otengá)	Permanente	<p>Puente en concreto reforzado con una longitud de 11.4m y ancho de 3,80m; capa de rodadura en pavimento rígido. Buen estado de drenajes.</p> <p>Presenta buenas condiciones estructurales, no se observan fisuramiento o agrietamiento. Su estado general de la superficie es bueno, no se evidencia desgaste, hundimientos y agrietamientos en la capa de rodadura.</p>	La quebrada es el límite entre las veredas Soiquia y Centro del municipio de Betétiva.	Ampliación de la rasante y refuerzo de la estructura
6	Vía 2.2	1139207	1144944	Quebrada Sicuanova	Permanente	<p>Pontón en madera con una longitud de 4,5 m y un ancho de 2,6. Capa de rodadura en tierra. Se encuentra en un estado bueno en cuanto al drenaje. Su estado general de la superficie es bueno, no se evidencia desgaste, hundimientos y agrietamientos en la capa de rodadura. La vía cuenta con cuneta en tierra en el costado izquierdo, su estado es en</p>	Esta quebrada es el límite entre las veredas Soiquia y Saurca, del municipio de Betétiva	<p>Ampliación de la rasante y refuerzo de la estructura</p> <p>Reconstrucción y ampliación de la estructura.</p> <p>Limpieza para garantizar la capacidad hidráulica</p>

No	Vía	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá		Nombre del drenaje	Tipo de drenaje	Estructura Existente	Localización Política administrativa	Tipo de Intervención
		Este	Norte					
						condiciones generales es regular.		
7	Vía 2.2	1139574	1147487	Quebrada Saurca	De invierno	<p>Puente en concreto reforzado con una longitud de 9.5 m y un ancho de 3.5m. Su capa de rodadura es en pavimento tierra. Se encuentra en un estado bueno en cuanto al drenaje. Estructuralmente no presenta fisura o grietas que perjudiquen la estructura. El estado general de la superficie es bueno, no se evidencia desgaste, hundimientos y agrietamientos en la capa de rodadura</p>	<p>Esta quebrada marca el límite entre las veredas de Saurca y Divaquía, del municipio de Betétiva.</p>	<p>Mantenimiento y monitoreo Ampliación de la rasante y refuerzo de la estructura</p>
8	Vía 2.2	1139169	1136464	Qda. NN	De invierno	<p>Box couvert con una longitud de 2m, ancho de 4.2 y 3m de alto. La capa de rodadura es en tierra. Se encuentra en buen estado. Presenta buenas condiciones estructurales. El estado general de la superficie es bueno, no se evidencia desgaste, hundimientos y agrietamientos en la capa de rodadura. La vía cuenta con cuneta al costado izquierdo en tierra, su estado es bueno.</p>	<p>Vereda de Reyes Patria en el municipio de Corrales.</p>	<p>Reconformación de la estructura y limpieza por mejoramiento de radio de giro y mantenimiento de la pendiente.</p>

\*movilidad para la ubicación de las ocupaciones de cauce 6 m (3 m aguas arriba y 3 m aguas abajo)

#### 7.4.1 Análisis de Frecuencia para Caudales Máximos y Medios

El análisis de frecuencia de caudales se realizó mediante el siguiente método:

Metodología de GUMBEL para el análisis de frecuencias de caudales mínimos, el cual fue usado en las cuencas que presentan información hidrométrica.

Para las cuencas sin información hidrométrica, la frecuencia de caudales, fue analizada por el método de distribución de probabilidad de Gumbel, usando registros históricos de una estación cercana, a los cuales, mediante el método de transposición de caudales, se realizó la extrapolación de los mismos para obtener información de cada una de las cuencas de interés.

Con base en la información obtenida a partir de la metodología de GUMBEL para el análisis de frecuencias de caudales mínimos, realizado con los reportes históricos suministrados por parte del IDEAM, se logró establecer los periodos de retorno de caudales para cada una de las corrientes analizadas por medio de la siguiente ecuación:

$$K = \frac{-\sqrt{6}}{\pi} \left( 0,5772 + \ln \left( \ln \frac{T_R}{T_R - 1} \right) \right)$$

Dónde:

**K:** Coeficiente de Gumbel

**Ln:** Logaritmo natural

**Tr:** Tasa de retorno

$$Q_{\mu} = Q + K \times \alpha$$

Dónde:

**Q<sub>μ</sub>:** Periodo de Retorno en años

**Q:** Promedio de caudales multianuales

**K:** Coeficiente de Gumbel

**α:** Desviación estándar de los caudales

### ➤ Río Chicamocha

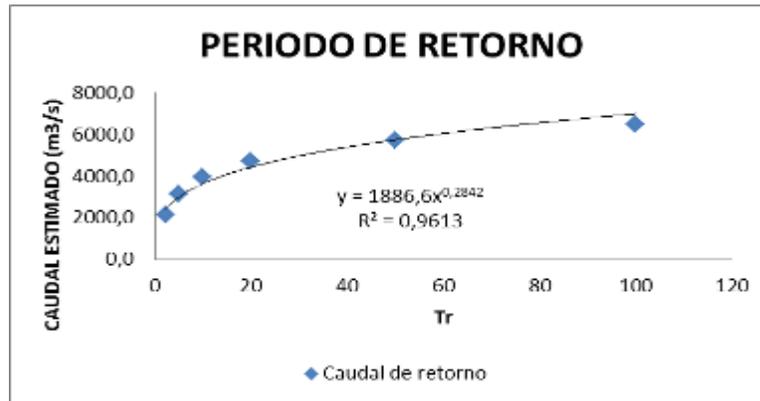
Esta corriente a través del tiempo presenta un aumento de caudales del 7,5 % en el periodo de 5 años de retorno, arrojando así un caudal de 994,7 m<sup>3</sup>/s; para el periodo más próximo arrojo un aumento del 13,6%, correspondiente a un caudal de 1803,2 m<sup>3</sup>/s. Para un tiempo de retorno de 100 años, se obtuvo un caudal de 6470,2 m<sup>3</sup>/s. Siendo esta una oferta representativa para el área evaluada, obteniendo una buena disponibilidad del recurso y disminuyendo la probabilidad de ocurrencia de cualquier conflicto actual o potencial en el tiempo evaluado.

De acuerdo a los porcentajes de aumento de caudal, el rio seguirá manteniendo sus características actuales para su uso y disponibilidad. La frecuencia de caudales para los distintos periodos de retorno en la corriente del Chicamocha se presenta en la **Tabla 7-65** y en la **Figura 7-88**.

**Tabla 7-65 Análisis de Frecuencia de Caudales - Corriente Chicamocha**

MAX PROM	DESVEST	PERIODO DE RETORNO	CAUDAL ESTIMADO
2134,8	1381,5	qtr=2,33	2136,5
		qtr=5	3129,4
		qtr=10	3938,0
		qtr=20	4713,7
		qtr=50	5717,8
		qtr=100	6470,2

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019



**Figura 7-88 Periodo de Retorno para la Corriente del Chicamocha**  
Fuente: INCONSAS, 2012

- **Metodología de Gumbel para el Análisis de Frecuencias de Caudales en las Cuencas que No Poseen Información Hidrométrica.**
  - *Caudales Mínimos y Máximos y el Método de Distribución de Probabilidad de Gumbel*

Para determinar los caudales máximos, se utilizó la distribución GUMBEL, esta distribución de probabilidades fue desarrollada para el análisis de eventos extremos.

Para determinar el caudal máximo instantáneo asociado a cierto periodo de retorno, uso la relación de factor de frecuencia dada como:

$$Q_{TR} = \mu + K\sigma$$

Dónde:

$Q_{TR}$ : caudal máximo para un periodo de retorno ( $T_R$ )

$\mu$ : media estimada de los registros históricos de caudal

$\sigma$ : desviación estándar estimada de los registros históricos de caudal

K: Factor de frecuencia que depende de la distribución y del periodo de retorno.

Para la distribución Gumbel, el factor de frecuencia K se estima a partir de la siguiente relación:

$$K = \frac{-\sqrt{6}}{\pi} \left( 0,5772 + \ln \left( \ln \frac{T_R}{T_R - 1} \right) \right)$$

La información empleada para la determinación de caudales máximos, fue tomada de los registros históricos suministrados por el IDEAM para la estación Paz del Rio, luego se determinaron los caudales máximos para cada corriente empleando el método de transposición de caudales como se realizó para determinar los caudales mínimos. En la **Tabla 7-66** se muestran los datos de caudales máximos para corriente. En la **Tabla 7-67** se muestran los datos de caudales mínimos para corriente.

**Tabla 7-66 Caudales Máximos para cada Cuenca – M. Transposición de Caudales**

AÑOS	Q MÁX (m³/s)	CAUDAL MÁXIMO (M3/S) - MÉTODO DE TRANSPOSICIÓN DE CAUDALES						
	ESTACIÓN: PAZ DEL RIO	R. GÁMEZA	Q. BUSBANZA	Q. CANELAS	Q. GUAZA	Q. CARBONERA	Q. EL VOLADOR	Q. GRANDE
1983	416,10	24,81	8,07	13,26	24,58	12,40	3,39	3,28

AÑOS	Q MÁX (m <sup>3</sup> /s)	CAUDAL MÁXIMO (M3/S) - MÉTODO DE TRANSPOSICIÓN DE CAUDALES						
	ESTACIÓN: PAZ DEL RIO	R. GÁMEZA	Q. BUSBANZA	Q. CANELAS	Q. GUAZA	Q. CARBONERA	Q. EL VOLADOR	Q. GRANDE
1984	288,40	17,19	5,60	9,19	17,03	8,60	2,35	2,28
1985	280,00	16,69	5,43	8,92	16,54	8,35	2,28	2,21
1986	214,80	12,81	4,17	6,85	12,69	6,40	1,75	1,69
1987	286,50	17,08	5,56	9,13	16,92	8,54	2,33	2,26
1988	168,00	10,02	3,26	5,35	9,92	5,01	1,37	1,33
1989	196,60	11,72	3,81	6,27	11,61	5,86	1,60	1,55
1990	291,00	17,35	5,65	9,27	17,19	8,68	2,37	2,30
1991	100,90	6,02	1,96	3,22	5,96	3,01	0,82	0,80
1992	120,30	7,17	2,33	3,83	7,10	3,59	0,98	0,95
1993	139,00	8,29	2,70	4,43	8,21	4,14	1,13	1,10
1994	130,30	7,77	2,53	4,15	7,70	3,88	1,06	1,03
1996	174,30	10,39	3,38	5,56	10,29	5,20	1,42	1,38
1997	174,30	10,39	3,38	5,56	10,29	5,20	1,42	1,38
1999	133,00	7,93	2,58	4,24	7,86	3,97	1,08	1,05
2000	114,00	6,80	2,21	3,63	6,73	3,40	0,93	0,90
2001	100,50	5,99	1,95	3,20	5,94	3,00	0,82	0,79
2002	154,80	9,23	3,00	4,93	9,14	4,61	1,26	1,22
2003	174,60	10,41	3,39	5,56	10,31	5,21	1,42	1,38
2004	132,10	7,88	2,56	4,21	7,80	3,94	1,08	1,04
2005	132,10	7,88	2,56	4,21	7,80	3,94	1,08	1,04
2006	173,60	10,35	3,37	5,53	10,25	5,18	1,41	1,37
2007	89,79	5,35	1,74	2,86	5,30	2,68	0,73	0,71
2008	190,90	11,38	3,70	6,08	11,27	5,69	1,56	1,51
2009	46,41	2,77	0,90	1,48	2,74	1,38	0,38	0,37
2010	232,70	13,87	4,51	7,42	13,74	6,94	1,90	1,84

Fuente: IDEAM, 2012

Tabla 7-67 Caudales Mínimos Para Cada Cuenca – M. Transposición De Caudales

AÑOS	Q MIN (m <sup>3</sup> /s)	CAUDAL MÍNIMO (M3/S) - MÉTODO DE TRANSPOSICIÓN DE CAUDALES						
	ESTACIÓN: PAZ DEL RIO	R, GÁMEZA	Q, BUSBANZA	Q, CANELAS	Q, GUAZA	Q, CARBONERA	Q, EL VOLADOR	Q, GRANDE
1983	2,20	0,13	0,04	0,07	0,13	0,07	0,02	0,02
1984	2,20	0,13	0,04	0,07	0,13	0,07	0,02	0,02
1985	1,20	0,07	0,02	0,04	0,07	0,04	0,01	0,01
1986	4,10	0,24	0,08	0,13	0,24	0,12	0,03	0,03
1987	5,00	0,30	0,10	0,16	0,30	0,15	0,04	0,04
1988	85,00	5,07	1,65	2,71	5,02	2,53	0,69	0,67

AÑOS	Q MÍN (m <sup>3</sup> /s)	CAUDAL MÍNIMO (M3/S) - MÉTODO DE TRANSPOSICIÓN DE CAUDALES						
	ESTACIÓN: PAZ DEL RIO	R, GÁMEZA	Q, BUSBANZA	Q, CANELAS	Q, GUAZA	Q, CARBONERA	Q, EL VOLADOR	Q, GRANDE
1989	30,40	1,81	0,59	0,97	1,80	0,91	0,25	0,24
1990	1,90	0,11	0,04	0,06	0,11	0,06	0,02	0,01
1991	3,96	0,24	0,08	0,13	0,23	0,12	0,03	0,03
1992	2,35	0,14	0,05	0,07	0,14	0,07	0,02	0,02
1993	1,20	0,07	0,02	0,04	0,07	0,04	0,01	0,01
1994	5,90	0,35	0,11	0,19	0,35	0,18	0,05	0,05
1996	6,50	0,39	0,13	0,21	0,38	0,19	0,05	0,05
1997	100,10	5,97	1,94	3,19	5,91	2,98	0,82	0,79
1999	12,40	0,74	0,24	0,40	0,73	0,37	0,10	0,10
2000	9,40	0,56	0,18	0,30	0,56	0,28	0,08	0,07
2001	4,96	0,30	0,10	0,16	0,29	0,15	0,04	0,04
2002	2,80	0,17	0,05	0,09	0,17	0,08	0,02	0,02
2003	3,18	0,19	0,06	0,10	0,19	0,09	0,03	0,03
2004	3,18	0,19	0,06	0,10	0,19	0,09	0,03	0,03
2005	5,69	0,34	0,11	0,18	0,34	0,17	0,05	0,04
2006	5,18	0,31	0,10	0,17	0,31	0,15	0,04	0,04
2007	0,73	0,04	0,01	0,02	0,04	0,02	0,01	0,01
2008	2,42	0,14	0,05	0,08	0,14	0,07	0,02	0,02
2009	2,33	0,14	0,05	0,07	0,14	0,07	0,02	0,02
2010	4,96	0,30	0,10	0,16	0,29	0,15	0,04	0,04

Fuente: IDEAM, 2012

Teniendo como referencia estos datos de caudales máximos y mínimos, se realizó la distribución de probabilidad de Gumbel determinando los valores de caudales para diferentes periodos de retorno, resultados se mencionan a continuación para cada una de las fuentes.

Tabla 7-68 Caudales Mínimos – M. Transposición De Caudal

NOMBRE MICROCUENCAS	Q. MÍNIMO (m <sup>3</sup> /s)					
	M. Transposición de Caudales					
	Tr: 3	Tr: 5	Tr: 10	Tr: 20	Tr: 50	Tr: 100
Rio Gámeza	1.2	2	3	4.27	5.2	6.14
Quebrada Busbanzá	0.39	0.65	0.98	1.39	1.69	2
Quebrada Canelas	0.64	1.07	1.6	2.28	2.78	3.28
Quebrada Guaza-Llano Grande	1.19	1.98	2.97	4.23	5.16	6.08
Quebrada Carbonera	0.6	1	1.5	2.13	2.6	3.07
Quebrada El Volador	0.16	0.27	0.41	0.58	0.71	0.84
Quebrada Grande	0.16	0.26	0.4	0.56	0.69	0.81
Promedio	0,62	1,03	1,55	2,21	2,69	3,17

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

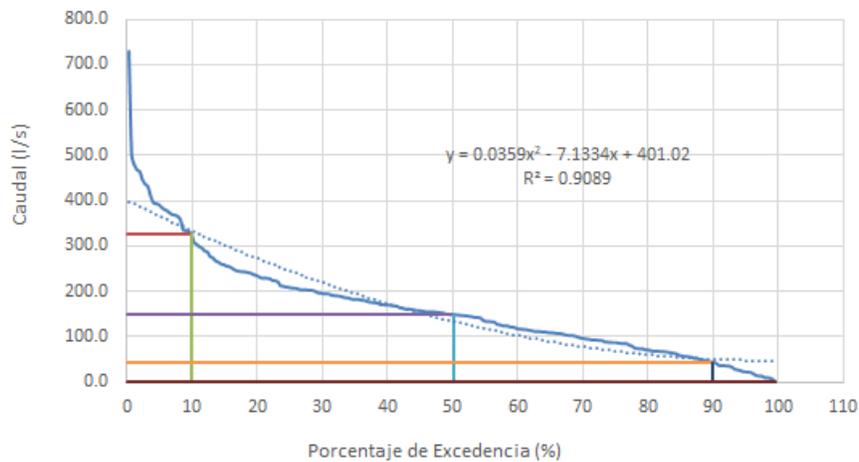
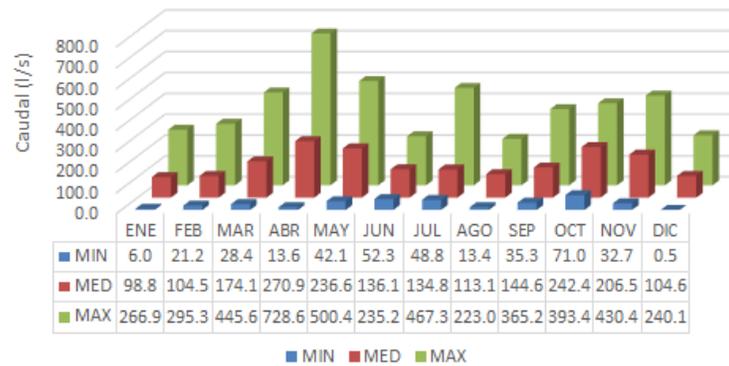
#### 7.4.2 Estimación de Caudales Para Puntos De Ocupación De Cauce

En la **Tabla 7-69** se presenta resumen de resultados obtenidos en la implementación de la metodología de balance hídrico para estimación de caudales medios mensuales multianuales y caudales extremos de las ocupaciones proyectadas en el desarrollo del proyecto COR 15.

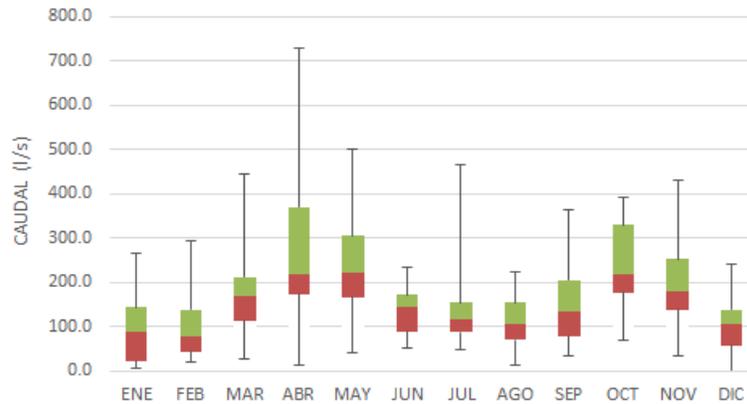
**Tabla 7-69 Caudales Medios, Máximos y Mínimos Puntos De Ocupación de Cauces**  
**CAUDAL MEDIO MENSUAL ESTIMADO OCUPACIÓN DE CAUCE 1 QUEBRADA CANELA (l/s)**

De acuerdo con los resultados obtenidos de caudales medios mensuales para la quebrada Canelas, se evidencia un régimen hidrológico bimodal, en el cual los menores caudales promedio se presentan en una primera temporada entre los meses de diciembre (104.6 l/s), enero (98.8 l/s) y febrero (104.5 l/s), presentando en el mes de enero los caudales bajo del año. Una segunda temporada de disminución de caudal en los meses de junio (136.1 l/s), julio (134.8 l/s), agosto (113.1 l/s) y septiembre (144.6 l/s).

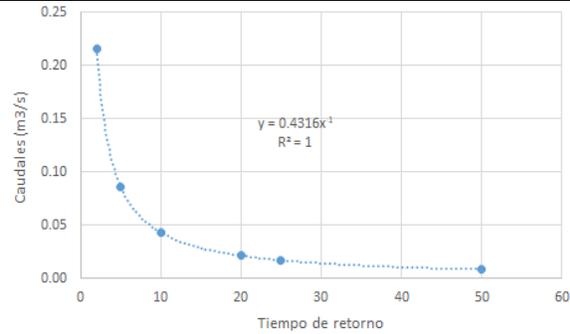
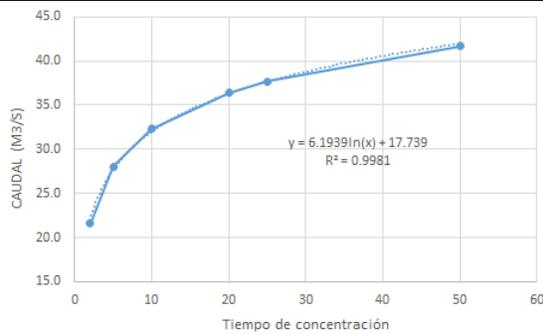
Igualmente se identifica que los registros de mayores caudales se presentan en los meses de marzo (174.1 l/s), abril (270.9 l/s) y mayo (236.6 l/s) y una segunda temporada de mayor caudal en los meses de septiembre (144.6 l/s), octubre (242.4 l/s) y noviembre (206.5 l/s).



Fuente	N° Años	Máximo Registro (l/s)	Mínimo Registro (l/s)	Media	Mediana	Desviación estándar	Registro 10%, O Caudal de Aguas Altas (l/s)	Registro 50%, O Caudal Promedio (l/s)
Ocu 1	20	728.6365713	0.462230197	163.90	148.49	110.54	327.3	148.4



	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Min	6.0	21.2	28.4	13.6	42.1	52.3	48.8	13.4	35.3	71.0	32.7	0.5
q1	23.0	44.0	113.7	174.3	166.4	90.2	88.3	70.1	78.2	177.2	139.1	58.1
qmediana	89.3	79.1	169.1	220.2	220.7	145.1	116.9	107.0	134.1	218.4	179.4	107.1
q3	143.9	138.7	212.1	370.0	305.0	172.4	155.1	154.4	204.7	329.3	253.2	139.0
Max	266.9	295.3	445.6	728.6	500.4	235.2	467.3	223.0	365.2	393.4	430.4	240.1

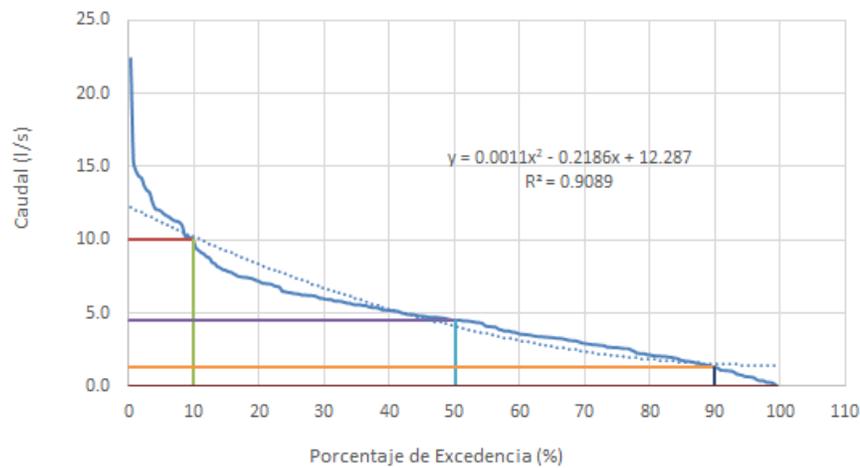
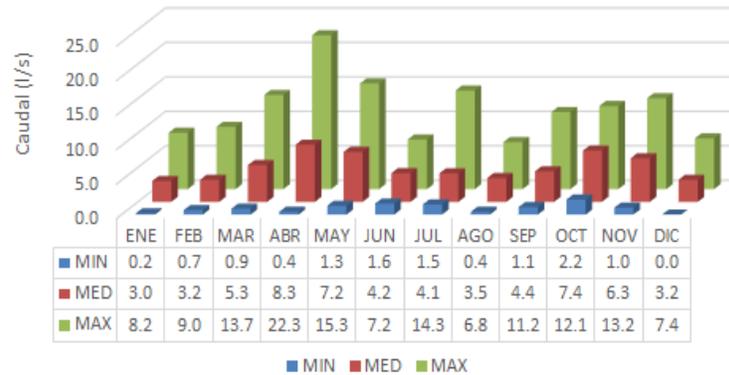


TR	CAUDAL	TR	CAUDAL
2	21.6	2	0.22
5	28.1	5	0.09
10	32.3	10	0.04
20	36.4	20	0.02
25	37.7	25	0.02
50	41.7	50	0.01

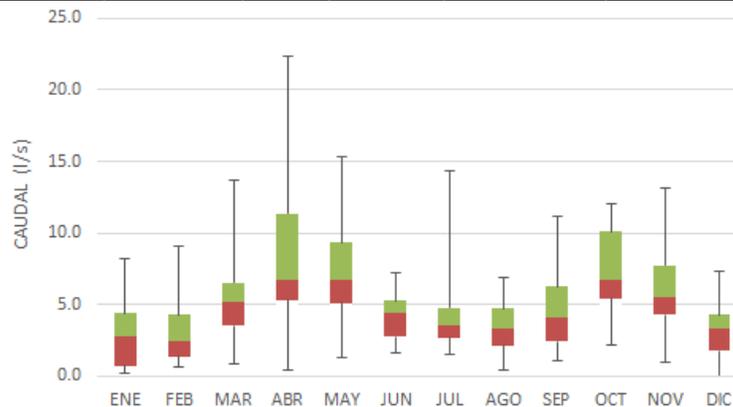
**CAUDAL MEDIO MENSUAL ESTIMADO OCUPACIÓN DE CAUCE 2 QUEBRADA GRANDE (l/s)**

De acuerdo con los resultados obtenidos de caudales medios mensuales para la quebrada Canelas, se evidencia un régimen hidrológico bimodal, en el cual los menores caudales promedio se presentan en una primera temporada entre los meses de diciembre (3.2 l/s), enero (3 l/s) y febrero (3.2 l/s), presentando en el mes de enero los caudales bajo del año. Una segunda temporada de disminución de caudal en los meses de junio (4.2 l/s), julio (3.5 l/s), agosto (3.5 l/s) y septiembre (4.4 l/s).

Igualmente se identifica que los registros de mayores caudales se presentan en los meses de marzo (5.3 l/s), abril (8.3 l/s) y mayo (7.2 l/s) y una segunda temporada de mayor caudal en los meses de septiembre (4.4 l/s), octubre (7.4 l/s) y noviembre (6.3 l/s).

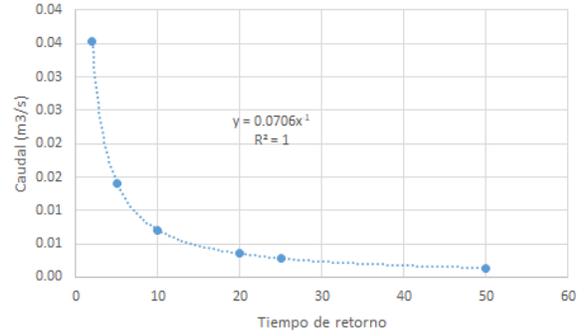
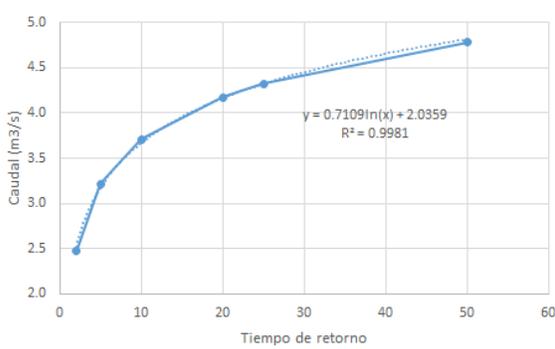


Fuente	N° Años	Máximo Registro (l/s)	Mínimo Registro (l/s)	Media	Mediana	Desviación estándar	Registro 10%, O Caudal de Aguas Altas (l/s)	Registro 50%, O Caudal Promedio (l/s)
Ocu 2	20	22.3	0.01	5.0	4.5	3.4	10.0	4.5



	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Min	0.2	0.7	0.9	0.4	1.3	1.6	1.5	0.4	1.1	2.2	1.0	0.0
q1	0.7	1.3	3.5	5.3	5.1	2.8	2.7	2.1	2.4	5.4	4.3	1.8
qmediana	2.7	2.4	5.2	6.7	6.8	4.4	3.6	3.3	4.1	6.7	5.5	3.3
q3	4.4	4.3	6.5	11.3	9.3	5.3	4.8	4.7	6.3	10.1	7.8	4.3

Max	8.2	9.0	13.7	22.3	15.3	7.2	14.3	6.8	11.2	12.1	13.2	7.4
-----	-----	-----	------	------	------	-----	------	-----	------	------	------	-----

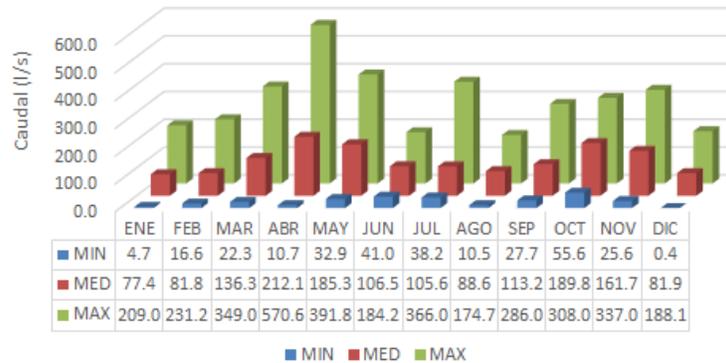


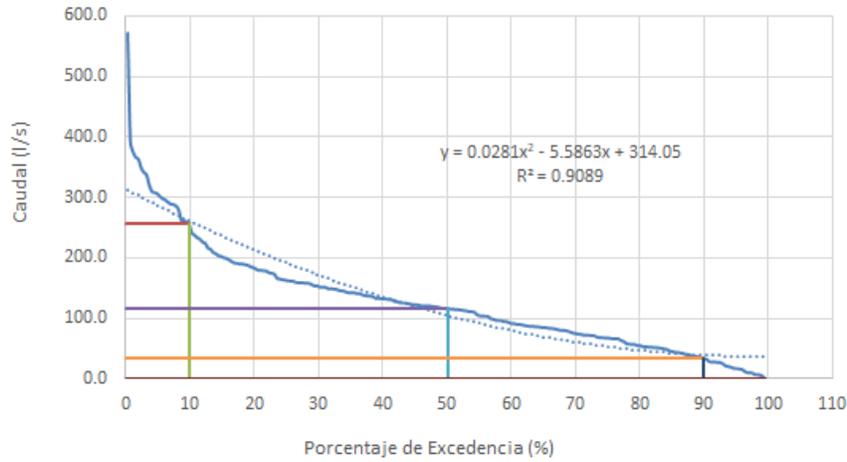
TR	CAUDAL	TR	CAUDAL
2	2.5	2	0.04
5	3.2	5	0.01
10	3.7	10	0.01
20	4.2	20	0.00
25	4.3	25	0.00
50	4.8	50	0.00

**CAUDAL MEDIO MENSUAL ESTIMADO OCUPACION DE CAUCE 3 RÍO CHICAMOCA (l/s)**

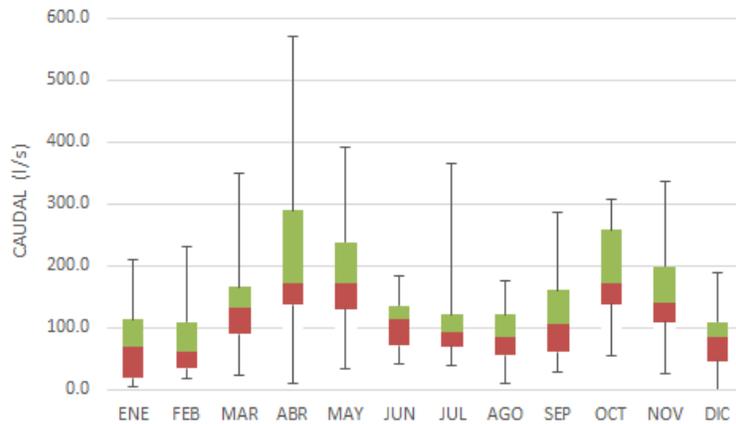
De acuerdo con los resultados obtenidos de caudales medios mensuales para la quebrada Canelas, se evidencia un régimen hidrológico bimodal, en el cual los menores caudales promedio se presentan en una primera temporada entre los meses de diciembre (81.9 l/s), enero (77.4 l/s) y febrero (81.8 l/s), presentando en el mes de enero los caudales bajo del año. Una segunda temporada de disminución de caudal en los meses de junio (106.5 l/s), julio (105.6 l/s), agosto (88.6 l/s) y septiembre (113.2 l/s).

Igualmente se identifica que los registros de mayores caudales se presentan en los meses de marzo (136.3 l/s), abril (212.1 l/s) y mayo (185.3 l/s) y una segunda temporada de mayor caudal en los meses de octubre (189.8 l/s), noviembre (161.7 l/s) y diciembre (81.9 l/s).

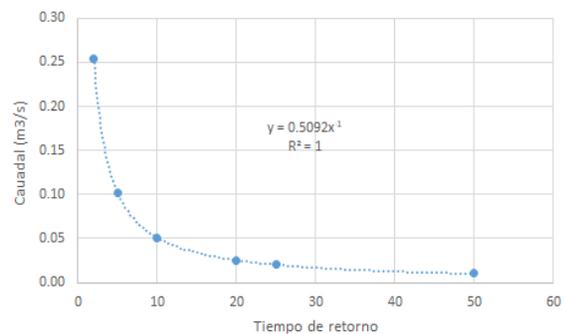
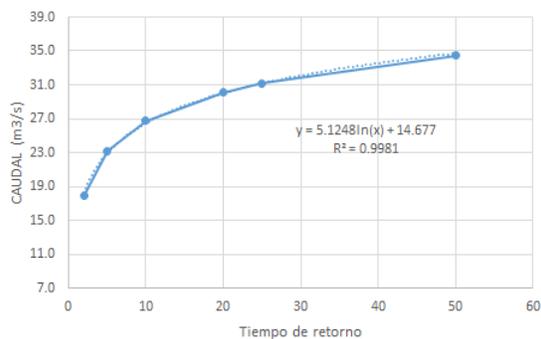




Fuente	N° Años	Máximo Registro (l/s)	Mínimo Registro (l/s)	Media	Mediana	Desviación estándar	Registro 10%, O Caudal de Aguas Altas (l/s)	Registro 50%, O Caudal Promedio (l/s)
Ocu 3	20	570.6	0.36	128.4	116.3	86.6	256.3	116.2



	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Min	4.7	16.6	22.3	10.7	32.9	41.0	38.2	10.5	27.7	55.6	25.6	0.4
q1	18.0	34.5	89.0	136.5	130.3	70.6	69.1	54.9	61.2	138.8	108.9	45.5
qmediana	69.9	61.9	132.4	172.4	172.8	113.6	91.6	83.8	105.0	171.0	140.5	83.9
q3	112.7	108.7	166.1	289.8	238.8	135.0	121.4	120.9	160.3	257.9	198.3	108.9
Max	209.0	231.2	349.0	570.6	391.8	184.2	366.0	174.7	286.0	308.0	337.0	188.1

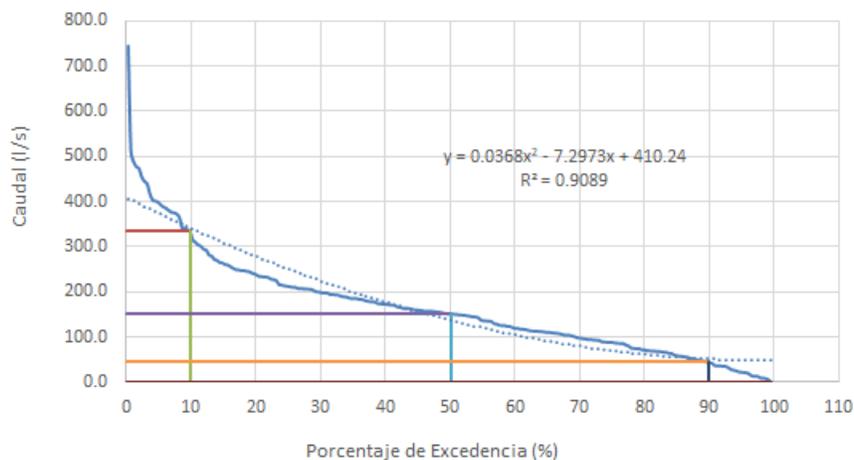
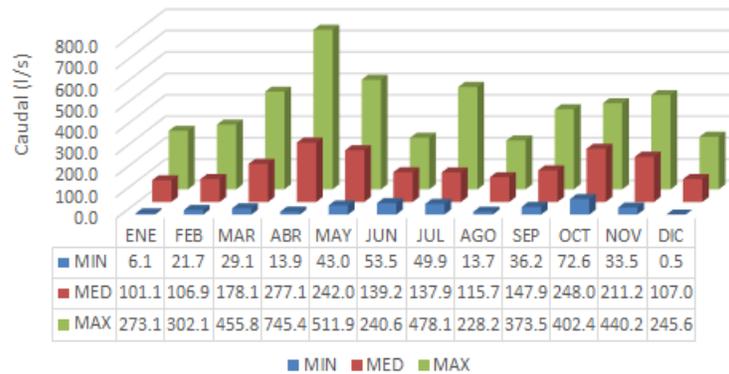


TR	CAUDAL	TR	CAUDAL
2	17.9	2	0.25
5	23.2	5	0.10
10	26.7	10	0.05
20	30.1	20	0.03
25	31.2	25	0.02
50	34.5	50	0.01

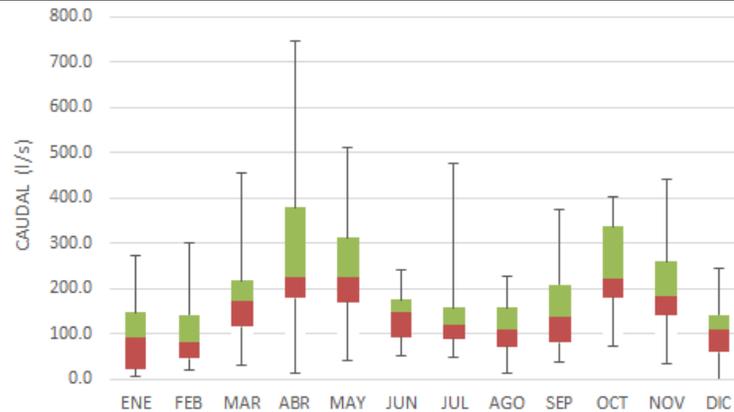
**CAUDAL MEDIO MENSUAL ESTIMADO OCUPACIÓN DE CAUCE 4QUEBRADA GASPAR (l/s)**

De acuerdo con los resultados obtenidos de caudales medios mensuales para la quebrada Canelas, se evidencia un régimen hidrológico bimodal, en el cual los menores caudales promedio se presentan en una primera temporada entre los meses de diciembre (107 l/s), enero (101. l/s) y febrero (106.9 l/s), presentando en el mes de enero los caudales bajo del año. Una segunda temporada de disminución de caudal en los meses de junio (139.2 l/s), julio (137.9 l/s), agosto (115.7 l/s) y septiembre (147.9 l/s).

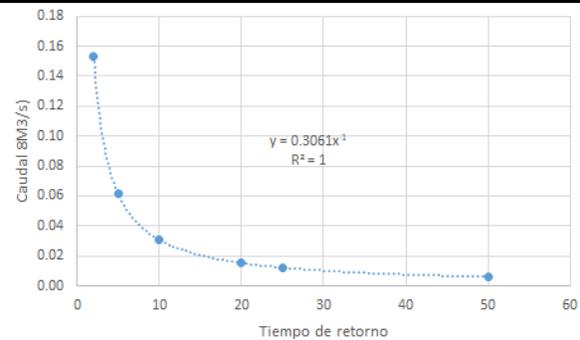
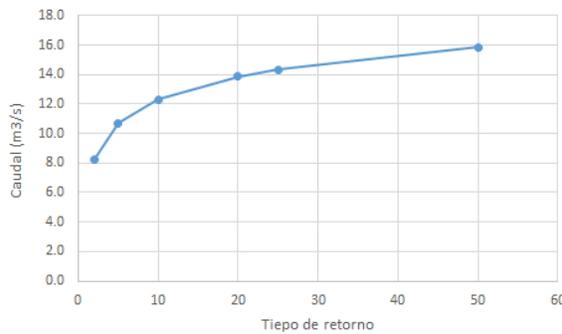
Igualmente se identifica que los registros de mayores caudales se presentan en los meses de marzo (178.1 l/s), abril (277.1 l/s) y mayo (242 l/s) y una segunda temporada de mayor caudal en los meses de septiembre (147.9 l/s), octubre (248 l/s) y noviembre (211.2 l/s).



Fuente	N° Años	Máximo Registro (l/s)	Mínimo Registro (l/s)	Media	Mediana	Desviación estándar	Registro 10%, O Caudal de Aguas Altas (l/s)	Registro 50%, O Caudal Promedio (l/s)
Ocu 4	20	745.4	0.47	167.7	151.9	113.1	334.8	151.8



	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Min	6.1	21.7	29.1	13.9	43.0	53.5	49.9	13.7	36.2	72.6	33.5	0.5
q1	23.5	45.0	116.3	178.3	170.2	92.3	90.3	71.8	79.9	181.3	142.2	59.5
qmediana	91.4	80.9	172.9	225.3	225.8	148.4	119.6	109.5	137.2	223.4	183.5	109.6
q3	147.2	141.9	217.0	378.5	312.0	176.3	158.6	157.9	209.4	336.9	259.0	142.2
Max	273.1	302.1	455.8	745.4	511.9	240.6	478.1	228.2	373.5	402.4	440.2	245.6

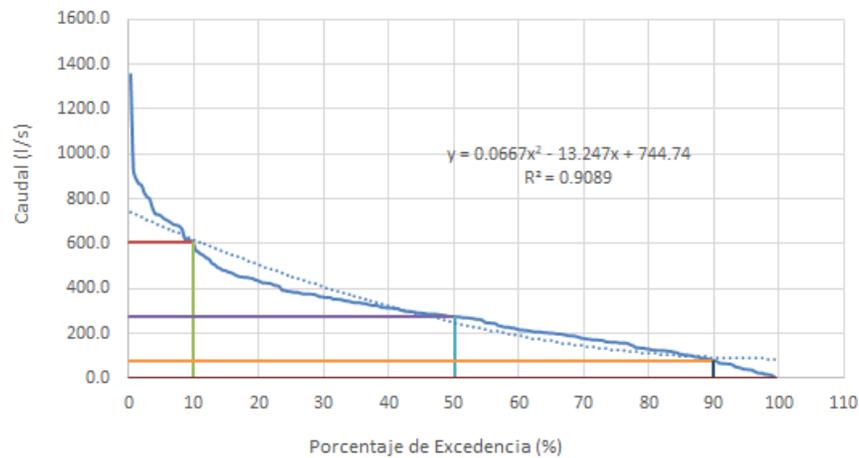
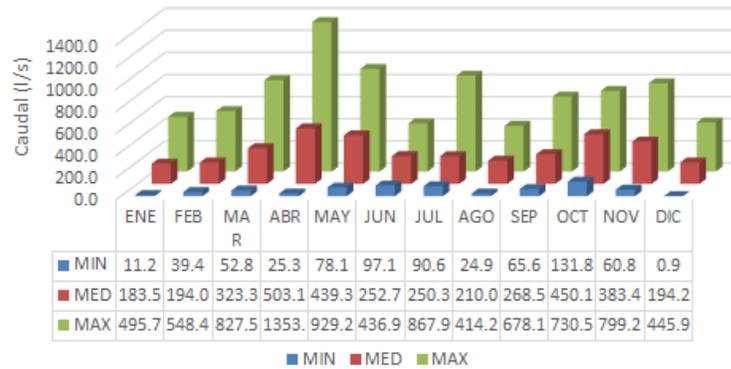


TR	CAUDAL	TR	CAUDAL
2	8.2	2	0.15
5	10.7	5	0.06
10	12.3	10	0.03
20	13.9	20	0.02
25	14.3	25	0.01
50	15.9	50	0.01

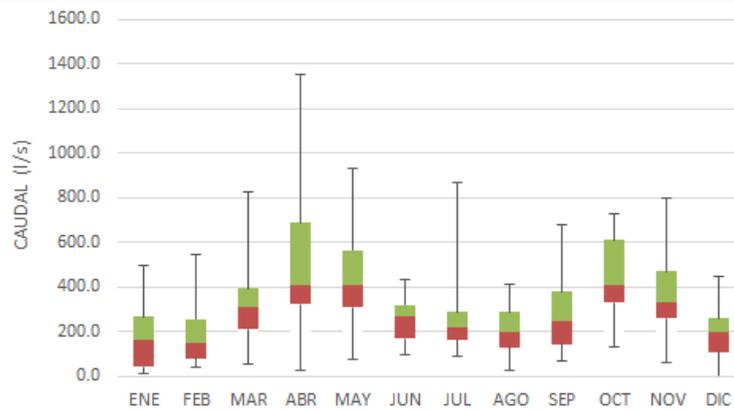
**CAUDAL MEDIO MENSUAL ESTIMADO OCUPACIÓN DE CAUCE 6 QUEBRADA SICUANOVA (l/s)**

De acuerdo con los resultados obtenidos de caudales medios mensuales para la quebrada Canelas, se evidencia un régimen hidrológico bimodal, en el cual los menores caudales promedio se presentan en una primera temporada entre los meses de diciembre (194.2 l/s), enero (183.5 l/s) y febrero (194 l/s), presentando en el mes de enero los caudales bajo del año. Una segunda temporada de disminución de caudal en los meses de junio (252.7 l/s), julio (250.3 l/s), agosto (210 l/s) y septiembre (268.5 l/s).

Igualmente se identifica que los registros de mayores caudales se presentan en los meses de marzo (323.3 l/s), abril (503.1 l/s) y mayo (439.3 l/s) y una segunda temporada de mayor caudal en los meses de septiembre (268.5 l/s), octubre (450.1 l/s) y noviembre (383.4 l/s).

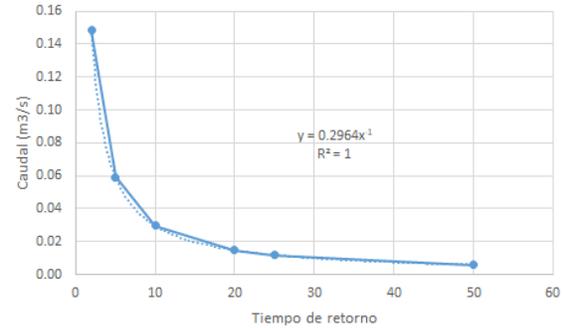
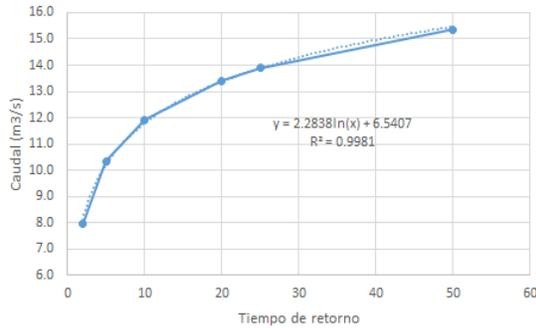


Fuente	N° Años	Máximo Registro (l/s)	Mínimo Registro (l/s)	Media	Mediana	Desviación estándar	Registro 10%, O Caudal de Aguas Altas (l/s)	Registro 50%, O Caudal Promedio (l/s)
Ocu 6	20	1353.2	0.86	304.4	275.8	205.3	607.8	275.5



	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Min	11.2	39.4	52.8	25.3	78.1	97.1	90.6	24.9	65.6	131.8	60.8	0.9
q1	42.7	81.7	211.2	323.7	309.0	167.5	164.0	130.3	145.1	329.1	258.2	107.9
qmediana	165.9	146.8	314.0	408.9	409.9	269.4	217.2	198.7	249.0	405.6	333.1	198.9
q3	267.3	257.7	393.9	687.1	566.3	320.1	288.0	286.7	380.1	611.6	470.2	258.2

Max	495.7	548.4	827.5	1353.2	929.2	436.9	867.9	414.2	678.1	730.5	799.2	445.9
-----	-------	-------	-------	--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

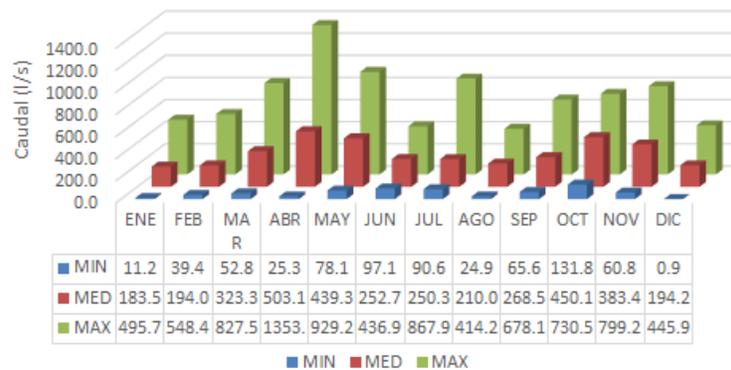


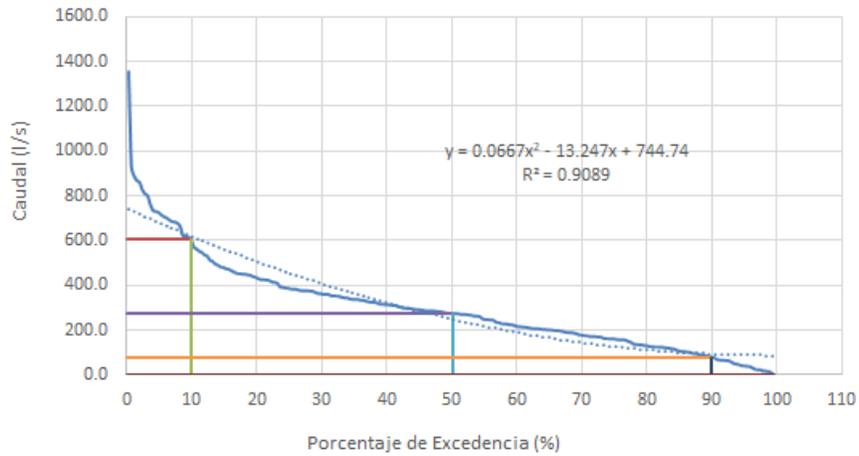
TR	CAUDAL	TR	CAUDAL
2	8.0	2	0.15
5	10.3	5	0.06
10	11.9	10	0.03
20	13.4	20	0.01
25	13.9	25	0.01
50	15.4	50	0.01

**CAUDAL MEDIO MENSUAL ESTIMADO OCUPACIÓN DE CAUCE 7 QUEBRADA SAURCA (l/s)**

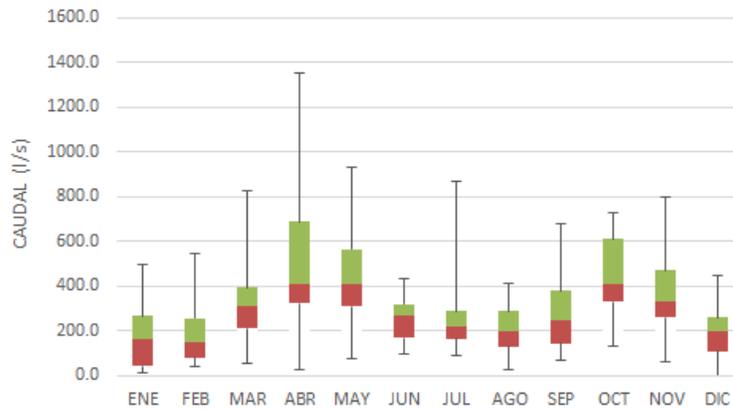
De acuerdo con los resultados obtenidos de caudales medios mensuales para la quebrada Canelas, se evidencia un régimen hidrológico bimodal, en el cual los menores caudales promedio se presentan en una primera temporada entre los meses de diciembre (194.2 l/s), enero (183.5 l/s) y febrero (194 l/s), presentando en el mes de enero los caudales bajo del año. Una segunda temporada de disminución de caudal en los meses de junio (252.7 l/s), julio (250.3 l/s), agosto (210 l/s) y septiembre (268.5 l/s).

Igualmente se identifica que los registros de mayores caudales se presentan en los meses de marzo (323.3 l/s), abril (503.1 l/s) y mayo (439.3 l/s) y una segunda temporada de mayor caudal en los meses de septiembre (268.5 l/s), octubre (450.1 l/s) y noviembre (383.4 l/s).

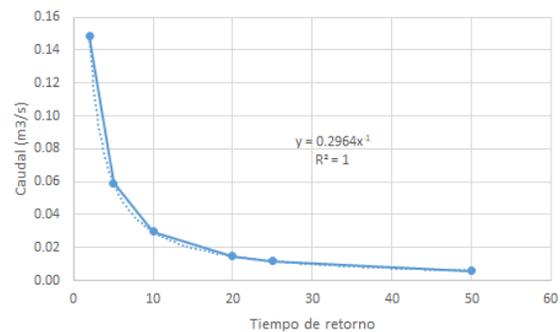
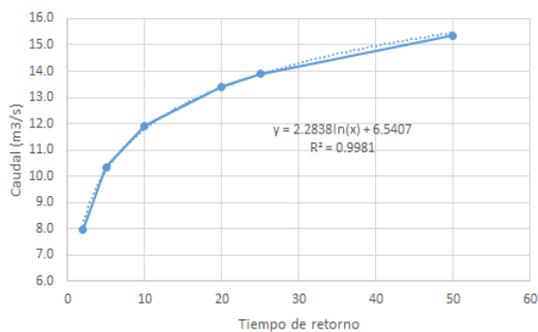




Fuente	N° Años	Máximo Registro (l/s)	Mínimo Registro (l/s)	Media	Mediana	Desviación estándar	Registro 10%, O Caudal de Aguas Altas (l/s)	Registro 50%, O Caudal Promedio (l/s)
Ocu 6	20	1353.2	0.86	304.4	275.8	205.3	607.8	275.5



	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Min	11.2	39.4	52.8	25.3	78.1	97.1	90.6	24.9	65.6	131.8	60.8	0.9
q1	42.7	81.7	211.2	323.7	309.0	167.5	164.0	130.3	145.1	329.1	258.2	107.9
qmediana	165.9	146.8	314.0	408.9	409.9	269.4	217.2	198.7	249.0	405.6	333.1	198.9
q3	267.3	257.7	393.9	687.1	566.3	320.1	288.0	286.7	380.1	611.6	470.2	258.2
Max	495.7	548.4	827.5	1353.2	929.2	436.9	867.9	414.2	678.1	730.5	799.2	445.9

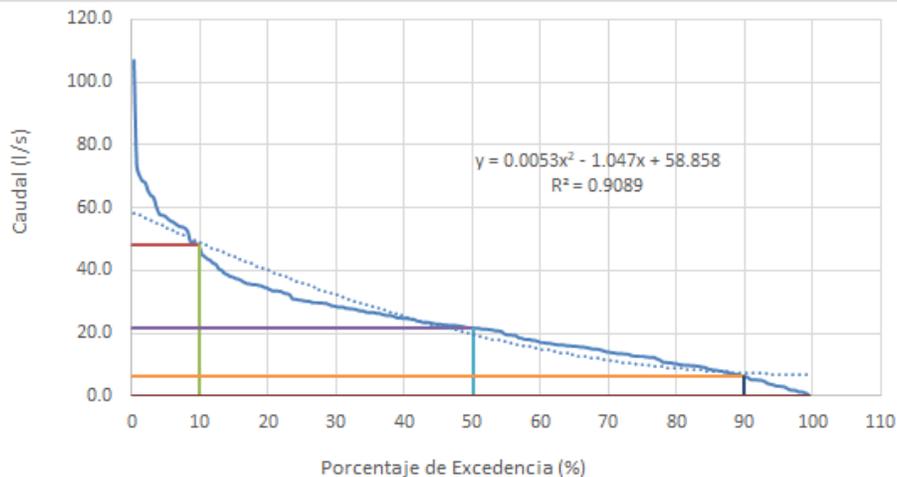
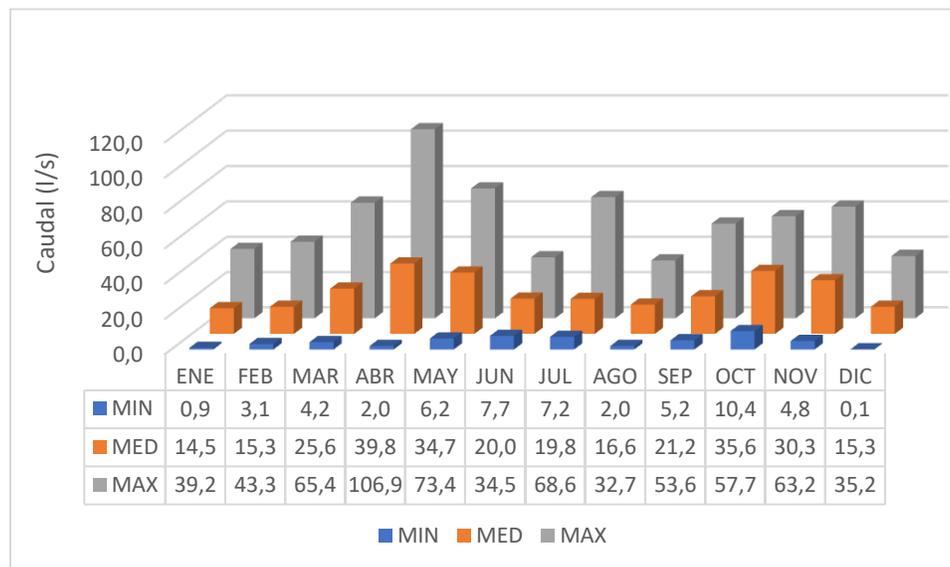


TR	CAUDAL	TR	CAUDAL
2	8.0	2	0.15
5	10.3	5	0.06
10	11.9	10	0.03
20	13.4	20	0.01
25	13.9	25	0.01
50	15.4	50	0.01

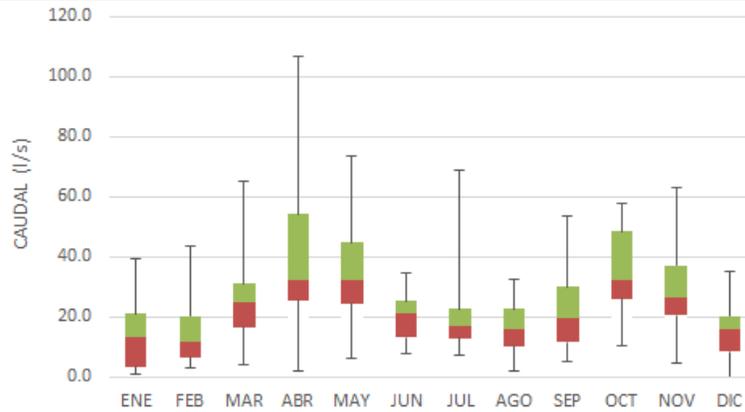
**CAUDAL MEDIO MENSUAL ESTIMADO OCUPACIÓN DE CAUCE 8 QUEBRADA NN (l/s)**

De acuerdo con los resultados obtenidos de caudales medios mensuales para la quebrada Canelas, se evidencia un régimen hidrológico bimodal, en el cual los menores caudales promedio se presentan en una primera temporada entre los meses de diciembre (15.3 l/s), enero (14.5 l/s) y febrero (15.3 l/s), presentando en el mes de enero los caudales bajo del año. Una segunda temporada de disminución de caudal en los meses de junio (20 l/s), julio (19.8 l/s), agosto (16.6 l/s) y septiembre (21.2 l/s).

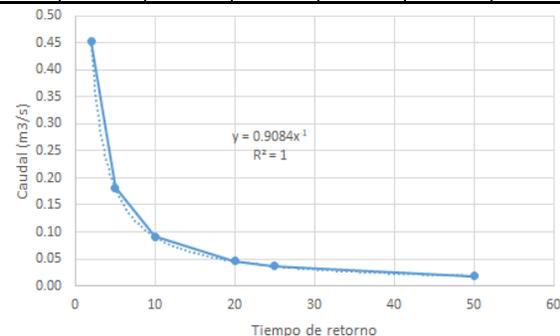
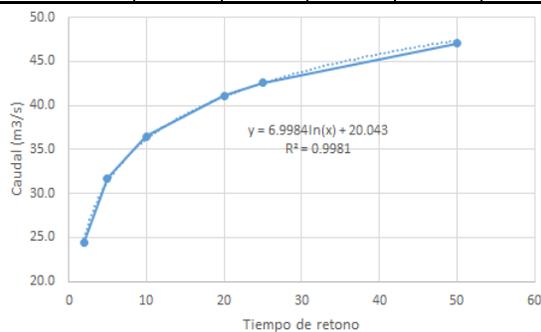
Igualmente se identifica que los registros de mayores caudales se presentan en los meses de marzo (25.6 l/s), abril (39.8 l/s) y mayo (34.7 l/s) y una segunda temporada de mayor caudal en los meses de septiembre (21.2 l/s), octubre (35.6 l/s) y noviembre (30.3 l/s).



Fuente	N° Años	Máximo Registro (l/s)	Mínimo Registro (l/s)	Media	Mediana	Desviación estándar	Registro 10%, O Caudal de Aguas Altas (l/s)	Registro 50%, O Caudal Promedio (l/s)
Ocu 8	20	106.9	0.07	24.1	21.8	16.2	48.0	21.8



	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Min	0.9	3.1	4.2	2.0	6.2	7.7	7.2	2.0	5.2	10.4	4.8	0.1
q1	3.4	6.5	16.7	25.6	24.4	13.2	13.0	10.3	11.5	26.0	20.4	8.5
qmediana	13.1	11.6	24.8	32.3	32.4	21.3	17.2	15.7	19.7	32.1	26.3	15.7
q3	21.1	20.4	31.1	54.3	44.8	25.3	22.8	22.7	30.0	48.3	37.2	20.4
Max	39.2	43.3	65.4	106.9	73.4	34.5	68.6	32.7	53.6	57.7	63.2	35.2



TR	CAUDAL	TR	CAUDAL
2	24.4	2	0.45
5	31.7	5	0.18
10	36.5	10	0.09
20	41.1	20	0.05
25	42.6	25	0.04
50	47.1	50	0.02

### 7.4.3 Dinámica Fluvial Ocupaciones de Cauce

A nivel regional la dinámica fluvial de la cuenca del río Chicamocha presenta en buena parte socavación lateral, lo cual repercute en el cambio de dirección de flujo dando como consecuencia procesos erosivos, cambios morfológicos en los niveles de terrazas y producción de sedimentos finos. Teniendo en cuenta los procesos morfodinámicos más relevantes, en la cuenca del Chicamocha se cuenta con movimientos en masa, carcavamiento, erosión difusa y concentrada y en menor proporción dinámica fluvial representativa ya que se observa como un río de carácter tranquilo en el cual se destacan movimientos de material asociado a la actividad minera.

En zonas aledañas al área de estudio se han detectado fenómenos asociados a socavación, dicho proceso puede llegar a modificar la dirección de flujo de las fuentes hídricas y produciendo erosión en las orillas de los ríos y quebradas existentes en el área, igualmente por presentar zonas de altas pendientes, se identifica una producción de sedimentos que aguas abajo en el valle de la cuenca terminan depositándose.

Igualmente, la producción de sedimentos parece tener como fundamento la posibilidad de recarga de los depósitos aluviales en los periodos de invierno o temporada de lluvias, ya que la erosión de la cuenca genera nueva carga sólida de gravas y arenas, en las otras partes de la cuenca aguas debajo de Sogamoso, cuenca Media y Baja del Río Chicamocha.

Otro de los fenómenos que fortalecen la producción de sedimentos, está relacionado con las actividades extractivas de material en las minas de peña aguas abajo en la cuenca en las canteras actualmente explotadas en la Formación Picacho, que, aunque parecen tener una explotación controlada parcialmente, requieren de una revisión y adecuados procesos de manejo ambiental para controlar la producción de sedimentos que llegan a los cauces.

Quedan por mencionar los diferentes procesos morfodinámicos de erosión asociados a las zonas de grandes precipitaciones en las cuencas aferentes al Chicamocha como el río Surba, que por afectar sedimentos no consolidados se erosionan produciendo fenómenos de remoción en masa causantes del incremento de carga sólida a los cauces, originados por factores naturales como fenómenos de remoción y antrópicos, como la tala de bosques y el uso inadecuado del suelo, minería, desarrollo de obras civiles, etc. 1

En la **Tabla 7-70** se presentan características de dinámica fluvial de cada una de las ocupaciones de cauce a realizar en el desarrollo del proyecto.

**Tabla 7-70 Dinámica fluvial ocupaciones de cauce**

NO.	VÍA	COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN BOGOTÁ		NOMBRE DEL DRENAJE	DINÁMICA FLUVIAL	FOTOGRAFÍA
		Este	Norte			
1	Vía 1	1140506,83	1139696	Quebrada Canelas	Quebrada de carácter permanente, donde se identifica baja conectividad longitudinal y transversal igualmente se identifican estratos horizontales que han permitido generar estructura escalonada, además sobre el cauce al parecer se ha instaurado un sistema de protección, asociado con el material transportado por el río que evita que los procesos de socavación avancen de forma más rápida	

1 CORPOBOYACÁ - Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2006

NO.	VÍA	COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN BOGOTÁ		NOMBRE DEL DRENAJE	DINÁMICA FLUVIAL	FOTOGRAFÍA
		Este	Norte			
2	Vía 5	1.134.254	1137039	Quebrada Grande	Quebrada de baja dinámica fluvial, ya que no se identifica material ni en suspensión ni en fondo, igualmente se observa una baja pendiente y cobertura vegetal en regeneración, que indica que, el cauce no presenta caudales extremos de forma seguida, igualmente en la vertiente derecha se observa en su zona de ronda extensión del área agrícola por parte de cultivo	 
3	Vía 2.1	1138778	1142475	Río Chicamocha	Río de carácter permanentes de gran importancia, donde se identifica transporte de materia de fondo y en suspensión, el trayecto descrito es de carácter rectilíneo y no se observan procesos de socavación, presenta una moderada dinámica fluvial, con un ancho superior a 20 metros identificando un comportamiento homogéneo.	
4	Vía 7	1136954	1144875	Quebrada Gaspar	Quebrada de baja dinámica fluvial de carácter permanente con poca pendiente, presenta transporte de material únicamente en fondo, conectividad baja trasversal por ausencia de material arbóreo en su zona de ronda y presentación ambiental	
5	Vía 2.2	1139223	1144951	Quebrada de la Rinconada (Quebrada Otengá)	Quebrada de carácter permanentes donde se identifica un flujo bajo de agua y llanuras de inundación, no se identifican cambio de dirección de flujo	
6	Vía 2.2	1139207	1144944	Quebrada Sicuanova	Quebrada de baja dinámica fluvial, ya que no se identifica material ni en suspensión ni en fondo, igualmente se observa una baja pendiente y cobertura vegetal relacionada con especies arbustivas y arbóreas de regeneración natural, según lo observado no se evidencia la presencia de caudales máximos o extremos	

NO.	VÍA	COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN BOGOTÁ		NOMBRE DEL DRENAJE	DINÁMICA FLUVIAL	FOTOGRAFÍA
		Este	Norte			
7	Vía 2.2	1139574	1147487	Quebrada Saurca	Quebrada intermitente que en su zona alta se pueden identificar pendientes importantes que permiten los procesos erosivos y arrase de material en época de lluvias	
8	Vía 4.1	1139169	1136464	Qda. NN	Quebrada intermitente que en su zona alta se pueden identificar pendientes importantes que permiten los procesos erosivos y arrase de material en época de lluvias	

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

#### 7.4.2 Ubicación de los Tramos Homogéneos

Para la construcción de las obras civiles del proyecto APE COR 15 que implican ocupación de cauces, se procurará que las actividades se ubiquen en sitios ya intervenidos y en la medida de las posibilidades en sectores donde ya exista infraestructura, con el fin de realizar la menor intervención ambiental posible dentro del APE de interés. Además, los tramos que se intervendrán serán lineales con el fin de evitar la mayor afectación posible de la dinámica fluvial de la fuente.

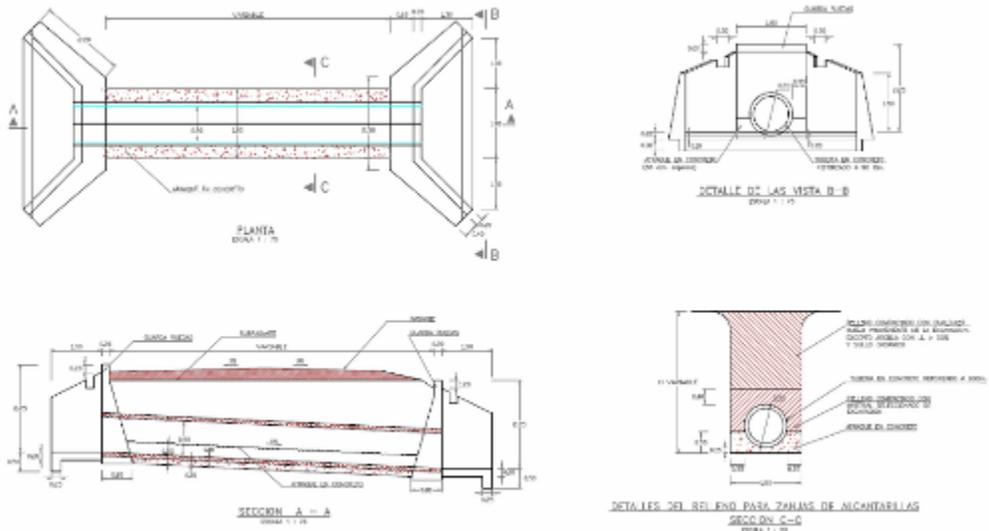
La ubicación de los sitios de ocupación de cauce tendrá un rango de variación de aproximadamente 50 m aguas arriba o aguas abajo, de acuerdo con la dinámica fluvial de la corriente a intervenir, por topografía, por replanteo de la vía o por los acuerdos a que se llegue con la comunidad. Las coordenadas específicas de ocupación de cauce para cada pozo Exploratorio se presentarán en los Planes de Manejo Ambiental correspondientes.

#### 7.4.3 Diseño Preliminar De Las Obras A Construir

En los cruces de cauces necesarios para la construcción de las vías de acceso a las locaciones de los diferentes sectores del Área de Perforación Exploratoria COR 15, se construirán estructuras que cumplan con el drenaje del caudal particular de la fuente a intervenir; estas estructuras contarán con obras complementarias para proteger las márgenes de los sitios de ponteadero de los posibles procesos erosivos subsecuentes como sería el caso de la socavación lateral; con ello se evitarán la alteración de las vertientes y la protección de la misma estructura a construir. Para los tramos que requieren adecuaciones de obras se mantendrán las actuales condiciones de diseño y/o se mejorarán si presentan daños o deterioros significativos.

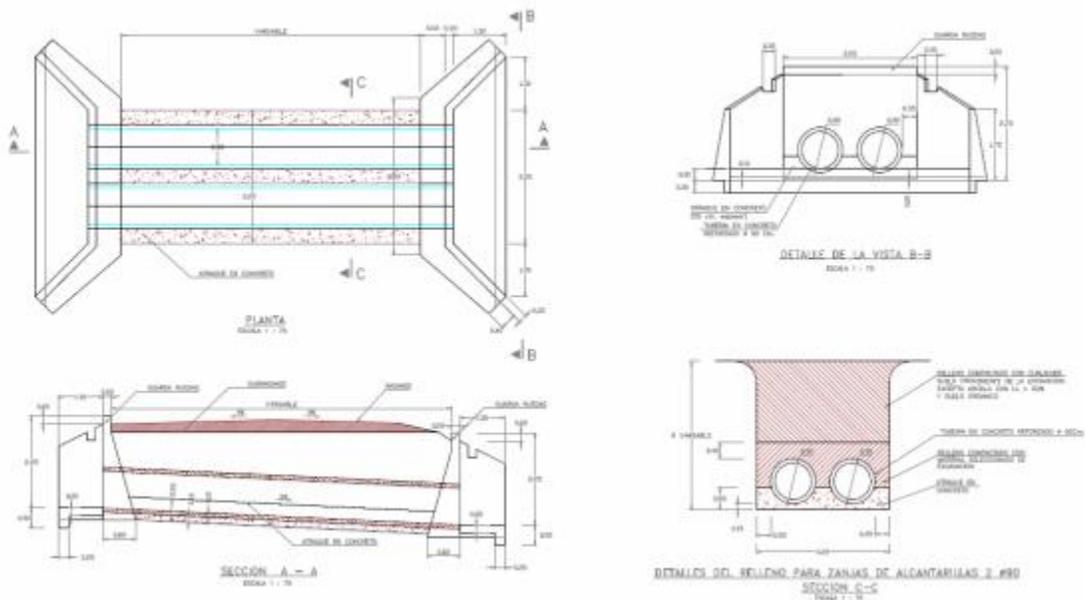
En general las obras previstas para los cruces de cuerpos de agua en el APE COR 15 corresponden con bateas, alcantarillas simples o dobles con Ø entre 24" y 36", puentes, pontones y box culvert con sus respectivos descoles y encoles, además de obras de arte como cunetas en tierra o recubiertas de concreto a lo largo de las vías para su adecuada protección. En cuanto al diseño de las obras planificadas para el APE COR 15 se cuenta con los diseños tipo (Ver **Figura 7-89** a la **Figura 7-92**). El diseño definitivo con dimensiones y especificaciones de las obras en sitio puntual por cada pozo exploratorio, se presentará en los Planes de Manejo Ambiental correspondientes.

Siempre se dará cumplimiento a las acciones y medidas de manejo planteadas en el Plan de Manejo Ambiental del Capítulo 11.



**Figura 7-89 Diseño Típico de una Alcantarilla Sencilla  $\varnothing = 36''$**

Fuente: MAUREL & PROM COLOMBIA B.V., 2012



**Figura 7-90 Diseño Típico de una Alcantarilla Doble  $\varnothing = 36''$**

Fuente: MAUREL & PROM COLOMBIA B.V., 2019



**Tabla 7-71 Obras De Drenaje Y Estructuras Típicas Necesarias Para Las Vías De Acceso A Locaciones**

OBRA O ESTRUCTURA	LOCALIZACIÓN APROXIMADA
Alcantarillas sencillas o dobles de 24" o 36" de diámetro.	En los sitios de cruce de pequeños drenajes de aguas lluvias y en otros puntos para el drenaje de la banca. También se requiere construir dichas estructuras cada cierta distancia en los tramos de terraplén para permitir el drenaje natural de un lado al otro de la vía, pues de no hacerlo, en tiempo de lluvias, este actuará como un dique y el nivel del agua puede llegar a pasar por encima de la vía.
Box couvert con dimensiones del orden de 1.0 m por 1.0 m a 2.0 por 2.0 m	En sitios de cruce de cuerpos de agua como caños y pequeñas quebradas.
Cunetas laterales a lo largo de la vía	En tierra, cuando la pendiente longitudinal sea menor al 8%. En caso de construir tramos de vía con pendiente superior a 8%, sus cunetas se deberán recubrir con concreto para evitar la erosión a lo largo de la vía.
Descoles	Se pueden conformar en tierra, en sectores donde la pendiente transversal sea suave y revestidas en sacos de suelo – cemento, piedra pegada o concreto, en lugares donde la pendiente transversal sea muy pronunciada.
Drenes sub-superficiales	En sectores donde el nivel freático se encuentre cercano a la superficie del terreno.
Pontones en concreto reforzado con luz libre de 10 a 15 m. o bateas de concreto con tubos de alcantarilla.	En el sitio de cruce de quebradas o Ríos.

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

#### 7.4.4 Procedimientos Constructivos

Para la construcción y/o adecuación de las vías de acceso en cruce de corrientes de agua superficial, tanto en los cauces definidos, las corrientes intermitentes o en los cambios de pendiente, se requiere de las Obras de Drenaje descritas que permiten el tránsito de vehículos de forma segura (alcantarillas, bateas, box couvert y puentes).

Las Alcantarillas sencillas o dobles estarán construidas:

- Con uno o dos (2) tubos de concreto reforzado de diámetro igual de 90 cm, paralelos entre sí, con una separación entre ellos de 0,35 m al igual que la separación con las paredes de la excavación, que tendrá un ancho total de 4,70 m. Estos elementos tendrán atraque en concreto de 2500 p.s.i. en todo su entorno con un espesor en el fondo de 0,15 m. La pendiente que se debe dar a los tubos es del 5% para evitar la segregación de partículas en el fondo de estos y su colmatación.
- Sobre los tubos, va una parrilla metálica ubicada a 0,1 m del borde superior de estos y 0,1 m por debajo de la cota superior del atraque de concreto, conformada por refuerzo en ambos sentidos de 5/8" cada 15 cm.
- En la superficie, se conformará una capa de afirmado compactado de 0,1 m de espesor, con bombeo hacia ambos costados (dos aguas) mínimo del 3%.
- El guardaruedas, al igual que el cabezote y las aletas, estarán construidos en concreto de 2500 p.s.i. El guardaruedas, tiene un ancho igual al ocupado por los tubos de 4,7 m, una altura de 0,2 m y un ancho de 0,2 m a ambos costados de la estructura.

- El cabezote, en la parte superior, inicia con un ancho de 0,20 m y en el fondo tiene un ancho de 0,60 m.
- Las aletas, ocupan una longitud de 1,3 m a lo largo y de 1,3 m a lo ancho, teniendo en cuenta que son construidas en diagonal con respecto a la posición de los tubos. Cuentan con el respectivo vano (espacio) para la conexión de las cunetas longitudinales de la vía.
- El ancho total de la estructura es variable y depende de las características del cauce a intervenir y de las especificaciones de la vía en ese sitio. La altura de cada alcantarilla, debe ajustarse a la topografía del terreno.

Los Pontones o pequeños puentes serán construidos:

- Considerándose como máximo una luz libre de 15 m.
- Por lo general la estructura tiene un ancho total de 8,6 m, 8 m efectivos y 0,6 m de guardaruedas (0,30 de cada lado). El largo es de 6 m totales.
- La placa de concreto reforzado de 0,36 m de espesor de 3500 p.s.i. (240 Kg/cm<sup>2</sup>) va apoyada en estribos de concreto de 3000 p.s.i. en ambos extremos.
- El pontón tiene barandas a ambos costados de 0,80 m de altura. Los elementos horizontales (dos en cada costado) de esta son de 4" de tubería tipo colmena galvanizada o similar.
- El refuerzo longitudinal superior de la placa está conformado por varillas de 3/8" cada 20 cm en ambos costados y el refuerzo inferior consta de varillas de 3/4" cada 12 cm en ambos costados.
- La altura de los estribos está determinada por la profundidad del cauce donde se va a construir la estructura. Como capa de rodadura se debe conformar una capa de 0,04 m de espesor de asfalto para brindar seguridad y comodidad para los usuarios de la estructura.

Para el manejo de las aguas lluvias sobre y alrededor de las vías se plantea la conformación de cunetas laterales que ayuden a canalizar estos flujos y las lleven a las estructuras de drenaje, evitando de esta forma los daños prematuros por estancamientos de agua.

Es importante mencionar que el procedimiento constructivo según cada diseño definitivo de estas estructuras descritas dependerá de un estudio detallado de la fuente hídrica que tenga en cuenta el régimen hidráulico, hidrológico, topografía y tipo de suelo para cimentación presentes y demás parámetros constructivos que permitan conocer el comportamiento de las corrientes a intervenir, que indicara incluso el tipo de materiales a utilizar según cada estudio y el Plan de Manejo Ambiental respectivo.

Las obras de construcción para el cruce de cauces se llevarán a cabo en lo posible durante la temporada seca de tal forma que se manejen mejor y se minimicen los impactos de las intervenciones; también se podrán realizar en época de invierno siempre y cuando no se altere la dinámica del cuerpo de agua a través de medidas preventivas adecuadas a la zona de intervención.

En todo caso solamente se iniciarán las obras una vez se tengan los materiales; durante la construcción se desviará parte del curso del agua, para trabajar sobre el costado seco, realizando

las actividades constructivas. Se realizarán las obras de refuerzo, complementarias y de construcción siguiendo prácticas de manejo ambiental que protejan el recurso hídrico de este tipo de drenaje. La maquinaria y equipo requerido para la construcción de las obras será mantenido alejado de la corriente, en áreas dispuestas para tal fin. No se permitirá el lavado de ningún vehículo ni maquinaria en este sitio de las obras para evitar la contaminación de las aguas.

Se instalará señalización de orden preventivo, informativo y reglamentario necesaria para el sitio de obra para minimizar accidentes de trabajadores y/o comunidades del área de influencia del proyecto; entre otras actividades preventivas, se demarcará la zona o tramo de fuente hídrica para evitar que la comunidad y/o animales que ingresen al sitio sufran accidentes de caída o molestias con la maquinaria; se hará demarcación del área del Proyecto con Cintas Reflectivas y Delineadores Tabulares que permitan el anterior objetivo; se adecuarán pasos peatonales con tablas para evitar o restringir el paso de los trabajadores por el cauce.

Se evitará a toda costa la contaminación de las corrientes con materiales de obra, escombros, aceites, combustibles o cualquier otra sustancia contaminante. Adicionalmente, una vez terminada la construcción de las obras se llevará a cabo una limpieza general de las áreas de trabajo, de tal forma que se preserve la calidad paisajística del área y se evite el arrastre de sedimentos o escombros por las corrientes de agua.

En lo posible, durante la construcción de puentes, pontones, alcantarillas y otras obras de arte, se evitará cortar o represar el flujo a los drenajes existentes, si es necesario este se desviará dentro del mismo cauce mientras se realizan las obras. No se dejará ningún obstáculo dentro del cauce de los drenajes que evite su flujo natural.

Se construirán obras hidráulicas (puentes, alcantarillas, box Couvert) de geometría suficiente para permitir el flujo normal del cauce y conducir adecuadamente la corriente de agua intervenida, donde se tendrán en cuenta:

- *Condiciones hidrológicas e hidráulicas de la corriente como las cotas máximas de inundación.*
- *Seguimiento aguas arriba, del sitio de la obra, del caudal de las cuencas a intervenir para evitar accidentes por crecientes del mismo.*
- *Evitar cortar el flujo del agua e intentar no cambiar la dinámica natural de los drenajes, buscando minimizar en lo posible la intervención de las márgenes de éstos.*

Se realizarán obras de protección de cauces en las márgenes del cuerpo hídrico intervenido para controlar procesos erosivos y de inestabilidad, como los procesos de socavación de taludes, mediante la conformación de muros de gaviones, empedrados, sacos de suelo-cemento, bateas de concreto, muros de suelo reforzado, terraplenes, diques.

Si es necesario se elaborarán cortes en los sitios de cimentación, para el apoyo de pontones o alcantarillas, el material extraído se debe localizar lejos del cauce y de las riberas de los drenajes, para posteriormente ser llevado a los sitios autorizados para disposición de cortes. En esta labor se necesitará de un Buldócer y/o retroexcavadora y de volquetas para su transporte.

Donde fuera necesario, principalmente cerca de las zonas a intervenir en los drenajes, se realizará mantenimiento para retirar la capa estéril del corredor vial y/o de zonas aledañas al área de interés exploratorio que presenten materiales con condiciones apropiados para la adecuación (mantenimiento y/o construcción) de vías y/o de sitios de explotación de materiales de arrastre que cuenten con la licencia ambiental retención de material particulado suelto. Este mantenimiento se podrá realizar manualmente mediante una cuadrilla de obreros.

Adicionalmente: no se dejará maquinaria ni ningún obstáculo dentro de los cauces que evite el flujo natural de estos drenajes; no se dispondrá ninguna clase de residuos sólidos o líquidos sobre las corrientes de las cuencas, por ejemplo, no se efectuará lavado de vehículos, ni de maquinaria en las riberas de los cauces a intervenir y se restaurará la vegetación afectada en las áreas intervenidas, para evitar el aporte de sedimentos sobre los cauces cercanos.

#### 7.4.5 Solicitud De Permiso

**MAUREL & PROM COLOMBIA B.V.**, solicita Permiso para la ocupación de cauces para el desarrollo de las actividades exploratorias que comprende el Área de Perforación Exploratoria COR 15, en los sitios que se indican en la **Tabla 7-72** aclarando que tendrán un rango de movilidad de 3 m aguas arriba y aguas abajo con respecto al punto solicitado, para manejar la dinámica fluvial de las corrientes o por topografía y replanteo de la vía, y según los diseños específicos que se presentarán con el Plan de Manejo Ambiental correspondiente.

**Tabla 7-72 Sitios de Ocupación De Cauce APE COR-15**

No.	Vía	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá		Nombre del drenaje	Tipo de drenaje	Estructura Existente	Localización Político administrativa	Tipo de Intervención
		Este	Norte					
1	Vía 1	1140506,83	1139696	Quebrada Canelas	Permanente	Puente en concreto reforzado con una longitud de 37,4 m y un ancho de 7.7m. Capa de rodadura en pavimento rígido. Presenta buenas condiciones de drenaje y buenas condiciones estructurales, no se observan fisuras o agrietamiento. El estado de la superficie de rodadura es bueno, no se evidencia desgaste, hundimientos ni agrietamientos.	Este puente marca el límite entre los municipios de Tasco (Vereda Canelas) y Corrales (vereda Reyes Patria).	Ampliación de la rasante y reforzamiento de las estructuras.
2	Vía 5	1134254	1137039	Quebrada NN	Permanente	Pontón con una longitud de 5,7 m y ancho de calzada de 5m. Capa de rodadura en pavimento flexible. Se encuentra en un estado bueno en cuanto al drenaje. Presenta buenas condiciones estructurales. El	Vereda Tonemí, municipio de Busbanza.	Refuerzo, ampliación de la rasante, mejoramiento de las condiciones del ángulo de giro.  Limpieza de la estructura para que no pierda su capacidad hidráulica

No.	Vía	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá		Nombre del drenaje	Tipo de drenaje	Estructura Existente	Localización Político administrativa	Tipo de Intervención
		Este	Norte					
						estado general de la superficie es bueno, no se evidencia desgaste, hundimientos y agrietamientos en la capa de rodadura.		
3	Vía 2.1	1138778	1142475	Río Chicamocha	Permanente	Puente en concreto reforzado con una luz de 21.1 m y un ancho de 3.7 m. Capa de rodadura en pavimento rígido. Buenas condiciones de drenaje. Presenta buenas condiciones estructurales, no se observan fisuramiento o agrietamiento. El estado general de la superficie es bueno, no se evidencia desgaste, hundimientos y agrietamientos en la capa de rodadura. A los costados tiene barandas en concreto de 1m de altas.	Este puente sirve de límite entre los municipios de Tasco (vereda Santa Barbara) y Beteitiva (vereda de Buntia).	Eventualmen e refuerzo
4	Vía 7	1136954	1144875	Quebrada Gaspar	Permanente	Pontón en concreto reforzado con una longitud de 5m y ancho de 6,5m. La capa de rodadura es tierra, con buenas condiciones de drenaje y estructurales, no se observan fisuras ni agrietamiento en su estructura. El estado general de la superficie es buena, no se evidencia desgaste,	Límite de las veredas Otengá y Buntia, Municipio de Betétiva.	Refuerzo de la estructura, ampliación y limpieza

No.	Vía	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá		Nombre del drenaje	Tipo de drenaje	Estructura Existente	Localización Político administrativa	Tipo de Intervención
		Este	Norte					
						hundimientos ni agrietamientos en la capa de rodadura.		
5	Vía 2.2	1139223	1144951	Quebrada de la Rinconada (Quebrada Otengá)	Permanente	Puente en concreto reforzado con una longitud de 11.4m y ancho de 3,80m; capa de rodadura en pavimento rígido. Buen estado de drenajes. Presenta buenas condiciones estructurales, no se observan fisuramiento o agrietamiento. Su estado general de la superficie es bueno, no se evidencia desgaste, hundimientos y agrietamientos en la capa de rodadura.	La quebrada es el límite entre las veredas Soiquia y Centro del municipio de Betétiva.	Ampliación de la rasante y refuerzo de la estructura
6	Vía 2.2	1139207	1144944	Quebrada Sicuanova	Permanente	Pontón en madera con una longitud de 4,5 m y un ancho de 2,6. Capa de rodadura en tierra. Se encuentra en un estado bueno en cuanto al drenaje. Su estado general de la superficie es bueno, no se evidencia desgaste, hundimientos y agrietamientos en la capa de rodadura. La vía cuenta con cuneta en tierra en el costado izquierdo, su estado es en condiciones generales es regular.	Esta quebrada es el límite entre las veredas Soiquia y Saurca, del municipio de Betétiva	Ampliación de la rasante y refuerzo de la estructura Reconstrucción y ampliación de la estructura.  Limpieza para garantizar la capacidad hidráulica
7	Vía	1139574	1147487	Quebrada	De invierno	Puente en	Esta quebrada	Mantenimiento

No.	Vía	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá		Nombre del drenaje	Tipo de drenaje	Estructura Existente	Localización Político administrativa	Tipo de Intervención
		Este	Norte					
	2.2			Saurca		concreto reforzado con una longitud de 9.5 m y un ancho de 3.5m, Su capa de rodadura es en pavimento tierra. Se encuentra en un estado bueno en cuanto al drenaje. Estructuralmente no presenta fisura o grietas que perjudiquen la estructura. El estado general de la superficie es bueno, no se evidencia desgaste, hundimientos y agrietamientos en la capa de rodadura	marca el límite entre las veredas de Saurca y Divaquía, del municipio de Betétiva.	o y monitoreo Ampliación de la rasante y refuerzo de la estructura
8	Vía 2.2	1139169	1136464	Qda. NN	De invierno	Box coulvert con una longitud de 2m, ancho de 4.2 y 3m de alto. La capa de rodadura es en tierra. Se encuentra en buen estado. Presenta buenas condiciones estructurales. El estado general de la superficie es bueno, no se evidencia desgaste, hundimientos y agrietamientos en la capa de rodadura. La vía cuenta con cuneta al costado izquierdo en tierra, su estado es bueno.	Vereda de Reyes Patria en el municipio de Corrales.	Reconformación de la estructura y limpieza por mejoramiento de radio de giro y mantenimiento de la pendiente.

\*movilidad para la ubicación de las ocupaciones de cauce 6 m (3 m aguas arriba y 3 m aguas abajo)

## 7.5 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Para el Área de Perforación Exploratoria COR 15 se obtendrán los materiales de construcción a través de terceros autorizados que cuenten con licencia ambiental otorgada por autoridad

ambiental y permiso minero vigente para realizar extracción y explotación de material de arrastre y de cantera. Los sitios autorizados se presentan en la **Tabla 7-73**.

**Tabla 7-73 Títulos Mineros para Extracción de Materiales de Construcción en Boyacá**

No	CONTRATO DE CONCESION Agencia Nacional de Minería -ANM Titulo Minero	Modalidad	Titular	Material	Municipio	Vereda	Licencia Ambiental	Fecha Otorgado
1	17956	Licencia de Explotación	María Silvestre Caro	Arena	Tasco	Santa Bárbara	871	3/11/1999
2	00181-15	Licencia de Explotación	Sika Andina S.A	Materiales de Construcción	Corrales	Reyes Patria	1241	19/12/2005
3	00-582-15	Licencia especial de materiales de construcción	María Cristina Téllez Álvarez	Materiales de Construcción / Arena	Tasco	Santa Bárbara	929	27/03/2011
4	JBF-08071	Contrato de Concesión	Dora Constanza León Rojas	Materiales de Construcción / Arena	Tasco	Santa Bárbara	2938	26/10/2010
5	18244	Licencia de Explotación	Mary Chinome Guio	Arena	Tasco	Santa Bárbara	566	30/08/1999
6	14830	Licencia de Explotación	Luis Ismael Álvarez León	Materiales de Construcción	Tasco	Santa Bárbara	539	27/08/1999

Al momento de iniciar las actividades de perforación exploratoria, se verificará que estos sitios sigan contando con las autorizaciones exigidas por las autoridades competentes y se relacionará en los Planes de Manejo Ambiental específicos los sitios donde se obtendrán los materiales para la actividad.

## 7.6 APROVECHAMIENTO FORESTAL

### 7.6.1 Inventario Forestal

Basados en el Artículo 18 del Capítulo IV del Decreto 1791 de 1996 y los Términos de Referencia de Estudios de Impacto Ambiental para Proyectos de Exploración de Hidrocarburos M-M-INA-01, se realizó un inventario forestal de muestreo al azar, con un error no superior al 15% y un nivel de probabilidad del 95%, para la cuantificación de individuos con un DAP mayor o igual a 10 cm.

### 7.6.2 Tipo De Muestreo Realizado

En el APE COR 15 las coberturas vegetales que posiblemente se verán afectadas en las diferentes etapas de la exploración de hidrocarburos son: Bosque ripario, pastos arbolados y plantaciones. En la **Tabla 7-74** se presentan las áreas ocupadas por las unidades objeto de muestreo presentes en el APE, diferenciadas por su presencia en cada bioma.

**Tabla 7-74 Áreas Ocupadas por las Coberturas de la Tierra en el APE COR-15**

ID	NOMENCLATURA CLC	COBERTURA CLC	ÁREA (ha)	% ha
1	111	Tejido urbano continuo	74,268	0,6
2	112	Tejido urbano discontinuo	2,723	0,0
3	121	Zonas industriales o comerciales	2,056	0,0

ID	NOMENCLATURA CLC	COBERTURA CLC	ÁREA (ha)	% ha
4	131	Zonas de extracción minera	96,658	0,7
5	214	Hortalizas	213,948	1,6
6	215	Tubérculos	102,065	0,8
7	223	Cultivos permanentes arbóreos	18,305	0,1
8	225	Cultivos confinados	23,790	0,2
9	231	Pastos limpios	2051,221	15,7
10	232	Pastos arbolados	310,068	2,4
11	242	Mosaico de pastos y cultivos	542,260	4,2
12	314	Bosque de galería y ripáreo	241,818	1,9
13	315	Plantación forestal	1276,819	9,8
14	333	Tierras desnudas y degradadas	188,323	1,4
15	511	Ríos	43,804	0,3
16	1221	Red vial ferroviaria y territorios asociados	187,926	1,4
17	3221	Arbustal denso	2425,845	18,6
19	321	Herbazal	5227,936	40,1
Total general			13029,832	100%

Fuente: UPTC- INCITEMA, 2019

Para la caracterización florística de las unidades boscosas presentes en el área de influencia, se realizó inventario forestal estadístico con una probabilidad del 95% y un error de muestreo menor al 15%. Para determinar el número total de parcelas se realizó un pre muestreo de 6 parcelas para todas las coberturas arbóreas a excepción de pastos arbolados donde se realizaron 3 parcelas de caracterización y un transepto de 10 x 100 metros para la realización de perfiles, y a partir de los datos obtenidos se calcularon los estadígrafos aplicando la siguiente metodología:

◆ Coeficiente de variación de la muestra

$$CV\% = \frac{S}{Y} * 100$$

Dónde,

**CV:** Coeficiente de variación.

**S:** Desviación estándar.

**Y:** Media aritmética.

◆ Media Aritmética (Y)

Es el valor de la sumatoria de los volúmenes presentes en el pre muestreo, promediado en el número de parcelas.

$$Y = \frac{\sum Y_i}{N}$$

Dónde,

**Y<sub>i</sub>**: Volumen en m<sup>3</sup>.

**N**: Número de parcelas del Pre muestreo.

◆ **Desviación Estándar (S)**

Caracteriza la dispersión de los individuos con respecto a la media. Dicho de otra forma, es un valor que indica si los individuos en una muestra están próximos a la media o están diseminados (Orozco y Brumer, 2002).

$$S = \frac{(\sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2/n)}{n - 1}$$

Dónde,

**Y<sub>i</sub>**: Volumen en m<sup>3</sup>.

**N**: Número de parcelas del Pre muestreo.

◆ **Error Estándar (S<sub>y</sub>)**

Mide el desvío de las medias muestrales respecto de la media poblacional, la siguiente formula se utiliza para poblaciones infinitas.

$$S_y = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Dónde,

**S**: Desviación Estándar.

**N**: Número de parcelas del Pre muestreo.

◆ **Error de muestreo relativo (E%)**

$$E\% = \frac{t * CV}{\sqrt{n}}$$

Dónde,

**T**: Valor de t de Student para grados de libertad igual a n-1.

**CV**: Coeficiente de Variación.

**N**: Número de parcelas.

◆ **Cálculo del Número de Muestra (n)**

A partir de la fórmula del Error de Muestreo Relativo, se puede despejar una fórmula para el cálculo del número total de parcelas a inventariar para un determinado error de muestreo.

$$n = \frac{(CV)t^2}{E\%^2}$$

Dónde,

**t:** Valor de t de Student para grados de libertad igual a n-1.

**CV:** Coeficiente de Variación.

**E%:** Error de muestreo relativo (no mayor al 15%).

#### ➤ Forma y Tamaño de las Parcelas

La forma de las parcelas es rectangular y el tamaño de dichas parcelas es de 100x10 m, teniendo así un área de muestreo de 1000 m<sup>2</sup>. En el caso de que no se pueda realizar la parcela con estas dimensiones se puede realizar de 50x20 m, teniendo en cuenta que no se debe perder el área de la parcela (1000 m<sup>2</sup>).

#### ➤ Registro de los datos de campo del inventario

Para el inventario forestal se tomaron diferentes variables dasométricas, tales como: Circunferencia a la Altura del Pecho (CAP) en centímetros (la cual se convierte en DAP en la etapa de oficina), altura total (Ht) en metros, altura comercial (Hc) en metros, número de bifurcaciones por debajo de la altura de medición del DAP, entre otras. Esta información fue consignada en planillas previamente diseñadas para tal fin. De igual forma, las parcelas fueron georreferenciadas y los fustales fueron marcados en números arábigos con pintura indeleble de color rojo.

#### ➤ Análisis estructural de la vegetación

Se realizó el análisis de composición florística, estructura horizontal, estructura vertical, índices de biodiversidad, volúmenes y análisis de regeneración natural para las diferentes coberturas encontradas en campo.

#### ◆ Composición florística

La composición florística de un área en particular hace referencia a la cantidad de especies que se encuentran en cada una de las coberturas analizadas, por lo que, a mayor número de especies en cada una de ellas, mayor es su diversidad. Lo anterior depende de diferentes factores de tipo natural y antrópico (clima, suelos, competencias naturales, actividades agropecuarias, presencia de infraestructuras, entre otros).

#### ◆ Estructura Horizontal

La estructura horizontal tiene la capacidad de evaluar el comportamiento de los individuos arbóreos a nivel individual, así como también a nivel de especies, en la superficie de la cobertura boscosa (Melo, 2000). Dicha estructura se evalúa con distintos índices que muestran la ocurrencia y la importancia ecológica de las especies, siendo el Índice de Valor de Importancia (IVI) el más utilizado. Este índice fue creado por Curtis & McIntosh (1951) y es la suma de la Abundancia, la Frecuencia y la Dominancia de las especies de cada bosque en particular.

### ✓ Abundancia

La abundancia hace referencia a la cantidad de individuos arbóreos por especie. En los cálculos se distingue como abundancia absoluta (número de individuos por especie) y como abundancia relativa (proporción de los individuos de cada especie en el total de los individuos del ecosistema). La abundancia se calcula con las siguientes expresiones (Lamprecht, 1990):

$$Ab_a = ni$$

$$Ab\% = \left(\frac{ni}{N}\right) * 100$$

Dónde,

**Aba:** Abundancia absoluta.

**Ab%:** Abundancia relativa.

**Ni:** Número de individuos de la iésima especie.

**N:** Número de individuos totales en la muestra.

### ✓ Frecuencia

La frecuencia se refiere al número de veces que una especie en particular está presente en las diferentes parcelas inventariadas. En los cálculos se obtiene la frecuencia absoluta (Número de parcelas en las que se encuentra cada una de las especies) y la frecuencia relativa (porcentaje de apariciones de cada especie respecto al resto de especies encontradas en todo el inventario). La frecuencia se calcula con las siguientes expresiones (Lamprecht, 1990):

$$Fr_a = \frac{U}{T} * 100$$

$$Fr\% = (Fa/\sum Ft) * 100$$

Dónde,

**Fr<sub>a</sub>:** Frecuencia absoluta.

**Fr%:** Frecuencia relativa.

**U:** Número de unidades de muestreo en que ocurre una especie.

**T:** Número total de unidades de muestreo.

**Fa:** Frecuencia absoluta.

**∑Ft:** Suma de las frecuencias absolutas.

### ✓ Dominancia

La dominancia hace referencia al espacio superficial que ocupa cada una de las especies, por lo que también es conocida como el grado de cobertura de las especies. La dominancia se calcula sumando las proyecciones horizontales de los individuos arbóreos sobre el suelo, específicamente de las copas de los individuos. Sin embargo, la estructura vertical de los bosques tropicales es muy compleja, por lo cual se emplea el área basal como sustituto de los verdaderos valores de dominancia, siendo justificado por la alta correlación entre el diámetro de copa y el diámetro del fuste para una especie en particular (Lozada, 2010).

El valor del área basal expresada en metros cuadrados ( $m^2$ ) para cada especie será la Dominancia Absoluta ( $Da$ ), mientras la dominancia relativa se calcula como la proporción de una especie en el área total evaluada, expresada en porcentaje. La dominancia se calcula con las siguientes expresiones (Lamprecht, 1990):

$$Da = Gi$$

$$Gi = (\pi/40000) * \sum Di^2$$

$$D\% = \left(\frac{Gi}{Gt}\right) * 100$$

Dónde,

**Da:** Dominancia absoluta.

**Gi:** Área Basal en  $m^2$  para la  $i$ ésima especie.

**Di:** Diámetro normal en cm de los individuos de la  $i$ ésima especie.

**D%:** Dominancia Relativa.

**Gi:** Área basal en  $m^2$  para  $i$ ésima especie.

**Gt:** Área basal total en  $m^2$  del muestreo.

#### ✓ Índice de valor de importancia

El Índice de valor de importancia (IVI) es posiblemente el índice más conocido. Se calcula para cada especie a partir de la suma de la abundancia relativa ( $Ab\%$ ), la frecuencia relativa ( $Fr\%$ ) y la dominancia relativa ( $D\%$ ), con el fin de comparar el peso ecológico de cada especie dentro del ecosistema. La obtención de IVI's similares para las especies indicadoras sugieren la igualdad o por lo menos la semejanza del rodal en su composición, estructura, sitio y dinámica (Lamprecht, 1990). El IVI se calcula con la siguiente expresión:

$$IVI = Ab\% + Fr\% + D\%$$

Dónde,

**Ab%:** Abundancia Relativa.

**Fr%:** Frecuencia Relativa.

**D%:** Dominancia Relativa.

#### ✓ Coeficiente de mezcla (CM).

El coeficiente de mezcla mide la intensidad de la mezcla en bosques naturales, para lo cual se divide el número de especies encontradas entre el número total de individuos, obteniéndose una cifra que representa el promedio de individuos de cada especie dentro de la asociación (Cárdenas, 2014). El CM igual a 1/1 es el mayor valor de este coeficiente, lo que quiere decir que cada individuo inventariado va a corresponder a una especie diferente y se describe como S:N o S/N) (Alvis, 2009).

$$CM = \frac{1}{\left(\frac{Ni}{t}\right)}$$

Dónde,

**Ni:** Número de especies.

**Nt:** Número total de individuos.

#### ✓ Estructura Diamétrica

La estructura diamétrica se determina por especie y para cada tipo de cobertura, agrupando los árboles inventariados en categorías diamétricas con intervalos fijos. La distribución en categorías diamétricas se deduce tanto en número de especies como en porcentaje, considerando el número total de árboles encontrados igual al 100%. La cantidad de clases diamétricas están definidas por la regla de Sturges (Sturges, 1926) para individuos con DAP>10 cm.

#### ◆ Estructura vertical

El análisis de la estructura horizontal es insuficiente en un estudio fitosociológico, por ello Finol (1971) propuso incluir el estudio de la estructura vertical, como una forma de describir el estado sucesional en el que se encuentra cada especie. De este análisis surge una aproximación sobre cuáles son las especies más promisorias para conformar la estructura del bosque en términos dinámicos.

De acuerdo con Rangel-Ch. & Velásquez (1997), la estructura vertical se analiza desde el punto de vista de la estratificación, considerando la altura total de los árboles y realizando la separación en capas o estratos.

#### ✓ Distribución altimétrica

Se realizó una clasificación simple de la estructura vertical en la que se distingue un piso superior, medio, e inferior.

#### ✓ Evaluación de la distribución altimétrica por clases

Esta clasificación se calcula teniendo en cuenta la diferencia entre la menor altura y la mayor altura, la raíz cubica de este valor nos muestra el número de clases a calcular. La cantidad de clases están definidas por la regla de Sturges (Sturges, 1926).

#### ✓ Distribución de copa (diagrama de Ogawa)

Ogawa (1965), citado por (UNESCO, 1980), describe un procedimiento para detectar la presencia de estratos, confeccionando una gráfica con las alturas (Ht) en las ordenadas y en las abscisas las alturas hasta la base de las copas (Hc). La aparición de enjambres de puntos más o menos aislados indica el virtual vacío de las copas en los niveles intermedios, sugiriendo un número de estratos diferenciales en el perfil del bosque. Por otra parte, cuando se genera una sola nube de puntos alargada y con pendiente positiva no se pueden diferenciar los estratos del bosque, ya que existe de manera continua desde el sotobosque hasta el dosel.

#### ✓ Grado de Agregación de las Especies

El grado de agregación de las especies es un valor que determina la distribución de las especies. Un  $Ga < 1$  significa que la especie es dispersa, un  $Ga$  entre 1 y 2 expresa que la especie tiene

tendencia al agrupamiento, mientras que un  $G_a > 2$  quiere decir que la especie presenta distribución agrupada. Lo anterior se calcula por medio de la siguiente expresión matemática:

$$G_a = \frac{D_o}{D_e}$$

$$D_o = \frac{\text{No. Total de árboles por especie}}{\text{No. Total de parcelas muestreadas}}$$

$$D_e = -\text{Log}_e \left( 1 - \frac{F}{100} \right)$$

Dónde,

**G<sub>a</sub>**: Grado de agregación.

**D<sub>o</sub>**: Densidad observada.

**D<sub>e</sub>**: Densidad esperada.

**F**: Frecuencia absoluta.

#### ◆ Índices de Biodiversidad

Autores como Krebs (1999) y Pielou (1977) coinciden en señalar que la diversidad está formada por dos componentes: el número de especies o riqueza de especie y la abundancia o equilibrio de especie. De esta forma, los índices de biodiversidad se utilizan para determinar la riqueza o número de poblaciones de especies diferentes que conforman los ecosistemas. Los índices de biodiversidad más utilizados se enumeran a continuación.

#### ✓ Índice de Margalef (D<sub>mg</sub>)

Es una medida utilizada para estimar la biodiversidad de una comunidad con base a la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos (Lamprecht, 1990), la cual indica que un índice con valores menores a 2,00 denota una baja riqueza de especies y por el contrario valores cercanos a 5,00 o superiores reflejan una riqueza de especies alta (Margalef, 1951).

$$D_{mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Dónde,

**S**: Número de especies.

**N**: Número de individuos.

#### ✓ Índice de Shannon

Este índice se basa en la teoría de la Información. El resultado de este índice nos muestra el comportamiento de los individuos presentes en el bosque estudiado (Lamprecht, 1990). Este índice se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 0,5

y 5, aunque su valor normal está entre 2 y 3, por lo cual, valores inferiores a 2 se consideran bajos y superiores a 3 son altos (Shannon, 1948).

$$H' = - \sum_n \pi \times \ln \pi$$

$$\pi = \left( \frac{N_i}{N_t} \right)$$

Dónde,

**N<sub>i</sub>**: Número de individuos de la especie más abundante.

**N<sub>t</sub>**: Número total de individuos de la muestra.

#### ✓ Índice de Simpson

El índice de Simpson se deriva de la teoría de probabilidades, y mide la probabilidad de encontrar dos individuos de la misma especie en dos 'extracciones' sucesivas al azar sin 'reposición'. Dicho de otra forma, este índice muestra la probabilidad de que dos individuos dentro del mismo hábitat, seleccionados al azar, pertenezcan a la misma especie (Simpson, 1949).

$$D_{si} = 1 - \sum_n \left( \frac{N_i}{N_t} \right)^2$$

#### ◆ Análisis del sotobosque (Regeneración Natural)

Como regeneración natural se consideran todos los descendientes de plantas arbóreas que se encuentran entre 0,1m de altura hasta el límite de diámetro establecido en el inventario. Constituye la garantía de supervivencia de un ecosistema forestal (Finol, 1971).

La determinación de los límites para las diferentes clases de altura, así como el número de clases, puede responder a criterios distintos según las características del bosque que se estudia. Esta distribución en clases de altura puede utilizarse para obtener un índice analítico que se denomina Categoría de Tamaño. Para el presente análisis se definieron tres categorías de tamaño para los individuos con DAP inferiores a 10 cm, con intervalos definidos de la siguiente manera: 1) Inferior o renuevos: de 0 a 0.70m de altura (menores a 1cm de DAP); 2) Medio o brinzal: mayores a 0.71m y menores a 1cm de DAP; y 3) Superior o latizal: de 1,1 a 10 cm de DAP.

#### ✓ Categoría de tamaño absoluta

Se determina en forma análoga a la Posición Sociológica (PS). Es decir, se atribuye un valor fitosociológico a cada categoría, el cual se usa para obtener este índice.

$$VFem(j) = \frac{N_j}{N}$$

Dónde,

**VFem (j):** Valor fitosociológico de la categoría de tamaño j.

**Nj:** Número total de individuos de la categoría de tamaño j.

**N:** Número total de individuos de las especies menores.

Para calcular la categoría de tamaño absoluta, se utiliza la siguiente expresión:

$$CTaEM = VFem(i) * n(i) + VFem(m) * n(m) + VFem(s) * n(s)$$

Dónde,

**CTaEM:** Categoría de tamaño absoluta.

**VFem:** Valor fitosociológico de la categoría de tamaño.

**n:** Número de individuos de la categoría de tamaño.

✓ Índice de valor de importancia ampliado (IVIA)

Finol (1971), consideró importante incorporar datos de regeneración y posición sociológica (estratos) al IVI tradicional. Creó el Índice de Valor de Importancia Ampliado (IVIA), que es un parámetro más robusto y completo.

Lozada (2008), consideró necesario simplificar el método para adecuarlo a formas de vida herbácea y trepadora. Además, cambió el nombre para diferenciarlo claramente del índice original propuesto por Finol.

$$IVIA = Estructura_{horizontal} + Estructura_{vertical} + estructurasantobosque$$

Cuya expresión es:

$$IVIA = IVI + PSr + Emr$$

◆ Volúmenes de madera

Para la determinación del volumen total y comercial de la madera se empleó la siguiente fórmula:

$$V = \frac{\pi}{40000} \times DAP^2 \times h \times f$$

Dónde,

**V:** Volumen total maderable en m<sup>3</sup>.

**DAP:** Diámetro a la altura del pecho (DAP) en cm.

**h:** Altura (total o comercial) del individuo en m.

f: Factor forma (0,7).

### 7.6.3 Localización y Georreferenciación de las Parcelas

Como se presentó en el capítulo 5 de la línea base, numeral 5.2.1.1, a continuación, se presentan las parcelas por tipo de cobertura que se realizaron conforme a lo establecido en los términos de referencia. Las coberturas en las cuales se realizará aprovechamiento forestal son: Pastos arbolados y Bosque ripario.

#### ➤ Bosques de galería y/o ripario:

En la cobertura Bosque ripario para el área de influencia, se realizó la caracterización en dieciséis (16) parcelas de muestreo y según coordenadas descritas en la **Tabla 7-75**.

**Tabla 7-75 Coordenadas de UMF. Cobertura Bosque Ripario**

Parcela No	Coordenadas Datum Magna Sirgas Origen Bogotá			
	Inicial		Final	
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
Br1	1139803,64	1145592,89	1139811	1145688,71
Br2	1138780,28	1142516,54	1138845,24	1142591,57
Br3	1139315,61	1147756	1139418,04	1147763,68
Br4	1140712,72	1139613,65	1140624,87	1139666,77
Br5	1135756,1	1139591,79	1135857,89	1139591,35
Br6	1135744,01	1135525,03	1135604,91	1135803,32
Br7	1136969,9	1137877,76	1137067,89	1137846,45
Br8	1132244	1137516	1132252	1137615
Br9	1133634	1137986	1133592	1138060
Br10	1140528	1147325	1140578	1147315
Br11	1134560	1136698	1134654	1136649
Br12	1133837	1139474	1133739	1139445
Br13	1135416	1136125	1135506	1136076
Br14	1139305	1145109	1139246	1145084
Br15	1141144	1147801	1141097	1147767
Br16	1139605	1147482	1139577	1147430

Fuente: UPTC- INCITEMA, 2019- 2020

#### ➤ Pastos arbolados

En el área de influencia, se realizó la caracterización para la cobertura vegetal de Pastos arbolados en seis (6) parcelas de muestreo según coordenadas descritas en la **Tabla 7-76**.

**Tabla 7-76 Coordenadas de UMF. Cobertura Pastos arbolados**

Parcela No	Coordenadas Datum Magna Sirgas Origen Bogotá			
	Inicial		Final	
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
Pa 1	1135650.01	1147146.43	1135745	1147107

Parcela No	Coordenadas Datum Magna Sirgas Origen Bogotá			
	Inicial		Final	
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
Pa2	1138637.66	1146297.07	1138628	1146395
Pa3	1136236.52	1139731.77	1136292.09	1139647.38
Pa4	1136397.11	1138175.82	1136352.11	1138087.23
Pa5	1133583.07	1139794.48	1133671.48	1139838.14
Pa6	1136796.11	1139134.37	1136890.86	1139111.68

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

#### 7.6.4 Cantidad Y Área de las Obras y/o Actividades que Requieren Aprovechamiento

Basados en los datos estadísticos y para realizar el cálculo del volumen a aprovechar por coberturas para el Área de perforación exploratoria COR 15, a continuación, en la **Tabla 7-77** se presentan las obras o actividades a desarrollar en el proyecto.

**Tabla 7-77 Obras o Actividades Propuestas para el Proyecto**

ACTIVIDAD	CANTIDAD	ÁREA UNIDAD (hectáreas)	ÁREA TOTAL (hectáreas)
Locaciones	6	3	18
ZODMES	6	1	6
Ampliación de plataformas para Facilidades Tempranas de Producción	2	1	2
Área de Facilidades Tempranas Adicional	1	1	1
Estaciones de recibo de crudo y gas	2	1	2
Hasta 30 Km de Vías nuevas (ancho de 7 metros)	Hasta 30 Km de vía nueva por hasta 7 metros de ancho	21	21
8 ocupaciones de cauce (8 metros de ancho x 10 metros de largo en cada lado)	8	0,008	0,064
Hasta 15 Km de líneas de flujo (Derecho de vía de hasta 7 metros)	10,5	1	10,5
<b>Área Total a Intervenir con desarrollo completo del proyecto</b>			<b>60.564</b>

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

#### 7.6.5 Área Y Volúmenes De Aprovechamiento Por Tipo De Cobertura

A continuación, se presentan los estadígrafos de cada cobertura

##### ➤ Bosque Ripario

Para la cobertura Bosque ripario, los parámetros estadísticos realizados son a partir de (3) tres parcelas de muestreo de 0.1 Ha, con el fin de obtener el error de muestreo no mayor al 15% y con probabilidad del 95%; con una (t) de Student para valores positivos unilaterales, con los datos de volumen total por cada unidad de muestreo.

En la **Tabla 7-78** se encuentran los resultados de los estadígrafos evaluados.

**Tabla 7-78 Estadígrafos Cobertura Bosque Ripario**

ESTADIGRAFO	VALORES
Probabilidad ( $\bar{Y}$ )	95%
Nivel de significancia ( $\alpha$ )	5%
Número de parcelas o muestra (n)	16.00
Población (N)	30.00
Volumen promedio (X)	23.96
Desviación estándar (S)	8.19
Varianza (S <sup>2</sup> )	67.10
Covarianza (CV%)	34.19
Error estándar (Sx)	1.01
(t) de student. (95%)	2.120
(Sx)*(t)	2.03
Error de muestreo (<15%)	12.38
Intensidad de muestreo (i) %	0.22
Límite de confianza inferior (Li)	20.99
Límite de confianza superior (Ls)	26.92

Fuente: UPTC- INCITEMA, 2019

- *Volumen promedio por hectárea*

El volumen promedio por hectárea se obtuvo de las dieciséis unidades de muestreo y se intrapolo a la hectárea. Por lo tanto, para el bosque ripario se registra un volumen total de 239.59 m<sup>3</sup>/ha, con 396 individuos, ocupando un área basal de 30.48 (m<sup>2</sup>/ha), y volumen comercial de 66.3 (m<sup>3</sup>/ha). (Ver **Tabla 7-79**).

**Tabla 7-79 Número de individuos, área basal, volúmenes comercial y total por hectárea de la Cobertura Bosque ripario**

NÚMERO DE INDIVIDUOS POR HECTÁREA	ÁREA BASAL (m <sup>2</sup> /ha)	VOLUMEN COMERCIAL (m <sup>3</sup> /ha)	VOLUMEN TOTAL (m <sup>3</sup> /ha)
396	30.48	66.3	239.59

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

### ➤ Pastos arbolados

Los parámetros estadísticos se realizaron con el fin de obtener el error no mayor al 15% y se calculó con probabilidad del 95% a partir de los datos de volumen total por cada unidad de muestreo. Para la cobertura Pastos arbolados se realizaron seis (6) unidades de 0.1 Ha cada una y la (t) de Student se trabajó para valores positivos unilaterales.

En la **Tabla 7-80** se encuentran los resultados de los estadígrafos evaluados.

**Tabla 7-80 Estadígrafos cobertura Pastos arbolados**

ESTADIGRAFO	VALORES
Probabilidad ( $\bar{Y}$ )	95%

ESTADIGRAFO	VALORES
Nivel de significancia ( $\alpha$ )	5%
Número de parcelas o muestra (n)	6.00
Población (N)	327.10
Volumen promedio (X)	9.01
Desviación estandar (S)	1.62
Varianza (S <sup>2</sup> )	2.62
Covarianza (CV%)	17.97
Error estándar (Sx)	1.01
(t) de student. (95%)	1.943
(Sx)*(t)	2.03
Error de muestreo (<15%)	14.13
Intensidad de muestreo (i) %	0.22
Límite de confianza inferior (Li)	7.73
Límite de confianza superior (Ls)	10.28

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

- *Volumen promedio por hectárea*

Teniendo en cuenta los volúmenes adquiridos en las 6 parcelas de muestreo de 0,1 Ha en la cobertura Pastos arbolados, se proyectaron a la hectárea las cantidades de área basal, volúmenes totales y comerciales. (Ver **Tabla 7-81**).

**Tabla 7-81 Número de individuos, área basal, volúmenes comercial y total por hectárea de la Cobertura Pastos arbolados**

NÚMERO DE INDIVIDUOS POR HECTÁREA	ÁREA BASAL (m <sup>2</sup> /ha)	VOLUMEN COMERCIAL (m <sup>3</sup> /ha)	VOLUMEN TOTAL (m <sup>3</sup> /ha)
281.66	11.10	17.01	90.06

Fuente: UPTC – INCITEMA, 2019

### ➤ Plantaciones Forestales

#### Volumen de madera aprovechable por ha.

Las plantaciones forestales están conformadas por rodales de la misma especie, tamaño aparente y edad promedio entre 8 a 20 años. Se observan aprovechamientos sistemáticos. En **Tabla 7-82** se presenta la relación de los volúmenes calculados para esta cobertura.

**Tabla 7-82 Volúmenes de madera aprovechable en plantaciones forestales**

Cobertura	Volumen Comercial m <sup>3</sup> /ha	Volumen total M <sup>3</sup> /ha
Plantaciones forestales	58.0	89.9

### 7.6.6 Productos Forestales, Disposición Final y Manejo De Desperdicios

El aprovechamiento de árboles y/o arbustos se llevará a cabo sobre los individuos estrictamente necesarios, y para ello el contratista deberá tener en cuenta las siguientes medidas generales de manejo:

- Realización del inventario al 100% de los individuos presentes en el área definida por el diseño para la adecuación y/o construcción de vías, construcción de plataformas, facilidades tempranas de producción y de estaciones de recibo, así como de líneas de flujo.
- Como se requiere despejar el área de construcción de la vía de acceso y localización, el sistema del aprovechamiento forestal que se puede utilizar se denomina tala rasa. Los árboles se deben cortar con motosierra a ras del suelo o a 30 cm de altura a partir del suelo luego de la eliminación de las ramas más grandes, la dirección del corte, es decir, la cuña, se realizará en la dirección en que se desee la caída del árbol.
- Los productos obtenidos del aprovechamiento forestal, podrán ser utilizados por LA EMPRESA durante las diferentes actividades del proyecto, también podrán ser donados a un tercero, en caso que así lo disponga la Empresa con la aceptación de CORPOBOYACA, y mediante firma de acta de entrega. De la extracción de material vegetal, se obtendrán subproductos como madera, aserrín y hojas, los cuales podrán destinarse para diferentes usos.

#### ➤ Poda

Para realizar la poda se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Hacer una poda total y/o parcial de la copa del árbol (descope). La poda consiste en cortar las ramas más grandes de los árboles o arbustos.
- Para cortar la rama del árbol desarrollado, se usa un serrucho de poda a mano y en el caso de ramas muy grandes, se puede emplear una motosierra.
- Para podar la parte superior de la copa, se puede hacer sólo cortando un tercio de la copa dependiendo de su tamaño. Se hace un corte recto y se quita la mayor parte de la parte superior de ésta. Si el árbol es grande es recomendable utilizar un tensor para asegurar la estabilidad.
- Los trabajos deberán ejecutarse de tal manera que no causen daños a estructuras, redes, servicios públicos y propiedades.
- Se deberán tener los cuidados que garanticen el bienestar y la salud de los trabajadores (motosierrista y ayudante); es decir, estos deberán contar con los elementos de protección personal y equipos adecuados para realizar dichas labores.
- Se deberán tomar las precauciones para evitar accidentes de trabajo. Por ejemplo: inspeccionar que no exista presencia de personal en el sector de caída de los árboles, que se preparen previamente los caminos de retirada, sin obstáculos para cada una de las personas ocupadas en el talado. Igualmente se deberá tener en cuenta la dirección del viento, inclinación y forma de la copa, el sitio de trabajo cerca del tronco.

- El follaje o copa del árbol se cortará tratando de obtener el fuste lo más largo posible. Las ramas se cortarán en secciones de dos o tres metros para facilitar la recolección y acopio.
- Las ramas delgadas serán troceadas y apiladas, y luego utilizadas para obras de conservación de suelos. A su vez el aserrín y demás desperdicios resultantes del aserrado serán incorporados al suelo. Los excedentes pueden ser donados a la comunidad de las veredas aledañas para que sean usadas como cercas, en arreglo de caminos, para corrales, en construcción o arreglo de casas.
- Bajo ninguna circunstancia se deben realizar quemas de los materiales sobrantes, producto de esta actividad.
- Revisar in situ las medidas de seguridad para llevar a cabo esta actividad, es decir, marcaje del sector con cintas adecuadas, dirección de caída libre, personal idóneo para adelantar la labor, así como las herramientas y dotación para la realización de dichas actividades.
- Inspeccionar y hacer un reconocimiento de los sitios de disposición temporal para materiales vegetales, así como la destinación de las trozas de madera de acuerdo con las recomendaciones.
- Detectar actividades no convenientes tales como quemas, disposición de materiales sobre las vías o caminos, remoción de árboles no autorizados, ignorar medidas básicas y vitales de seguridad industrial, usar metodologías inadecuadas y riesgosas, etc.

#### ➤ Procedimiento para la tala de árboles

Los tocones y raíces deberán eliminarse hasta el nivel de la subrasante. En la realización de esta tarea y en la medida que se necesite implementar esta actividad, se deberá limpiar alrededor del árbol en un radio igual a 3 veces el diámetro del fuste. Se procederá a hacer una excavación de aproximadamente 70 cm de ancho por una profundidad hasta donde ya no se encuentren raíces de ½ pulgada de diámetro y se procederá a realizar un corte vertical de profundidad variada, de acuerdo con el tipo del sistema radicular que presente cada especie y a la forma que presente el terreno. La poda se deberá realizar con tijeras, serrucho o motosierra a ras de la pared del costado del árbol.

El trabajo incluirá la disposición o eliminación de todos los desechos provenientes de las labores de eliminación de los árboles. El material de desecho proveniente de la tala podrá utilizarse en la construcción de obras de protección geotécnica.

El retiro de estocones y sistemas radiculares de los árboles inmersos en el suelo, se retirarán en el proceso de excavación con retroexcavadora o maquinaria similar. Este material vegetal tendrá el mismo tratamiento que el proveniente del desarme y descope.

Adicionalmente, se debe amarrar el fuste desde lo más alto de la copa, con el fin de dirigir la caída de este, después se procede a realizar un corte perpendicular con respecto a la posición del árbol, hasta aproximadamente la mitad del diámetro del fuste, dicho corte se realiza en el sentido de la dirección de caída, en ese mismo lado se realiza un corte transversal a manera de cuña para desequilibrar la resistencia del árbol. Finalmente se realiza un corte en la parte posterior del fuste y en sentido de la ruta de escape. El personal auxiliar procederá a cortar las ramas de la copa hasta lograr que el fuste quede completamente en contacto con el suelo.

Las acciones mencionadas, deben realizarse con especial atención previniendo la caída de árboles no deseados ya que las raíces y las copas de los árboles en las zonas más pendientes se encuentran entrelazadas o adheridas a bloques, lo cual puede ocasionar una alteración mayor.

#### ➤ **Desmonte de arbustos y árboles**

Los árboles a apeaar, serán talados con el equipo adecuado consistente en:

- Motosierras de diferentes caballajes y dimensiones de la espada.
- Equipo de seguridad industrial básico.
- Manilas.
- Winches
- Poleas.
- Cuñas.
- Desjarretadoras.

Antes de iniciar esta tarea específica, se debe limpiar el contorno de los árboles involucrados con el fin de liberarlos de rastrojos, u otros elementos que dificulten la tarea. La operación de apeo se realiza con motosierras de potencias y tamaño de la espada de acuerdo con el tamaño de los fustes. Se procede de la siguiente manera:

Se elige la dirección de caída y la dirección de escape. Tanto la dirección de caída del árbol como de escape deben estar libres de todo material o elemento obstruyente. El corte se realiza a una altura con respecto al piso de aproximadamente 0.3 m.

En los sitios de mayor concentración de árboles, se debe amarrar el fuste desde lo más alto de la copa, con el fin de dirigir la caída de este.

Se procede a realizar un corte perpendicular con respecto a la posición del árbol, hasta aproximadamente la mitad del diámetro del fuste, Este corte se realiza el sentido de la dirección de caída. En ese mismo lado se realiza un corte transversal a manera de cuña para desequilibrar la resistencia del árbol.

Finalmente se realiza un corte en la parte posterior del fuste y en sentido de la ruta de escape. El personal auxiliar procede a cortar las ramas de la copa hasta lograr que el fuste quede completamente en contacto con el suelo.

#### ➤ **Operación de troceado de troncos**

Una vez liberado el tronco de la copa se procede a trocearlo en longitudes comerciales de 3 o 5 metros o en sus múltiplos. Los troncos se deben seleccionar desde el sitio de aprovechamiento para su posterior disposición y uso.

En el mismo sitio del troceado de troncos se procede a retirar la corteza de los troncos y a seccionar las trozas requeridas como elementos en la construcción. El troceado consiste en realizar cortes longitudinales, extrayendo orillos de tal manera que se obtenga la mayor sección de madera.

#### ➤ **Demanda de Recursos**

Para cumplir con las actividades pertinentes al aprovechamiento (tala) de los fustales y latizales que se encuentran en el área, se requiere:

Personal: Un Ingeniero Forestal (encargado de las labores de aprovechamiento), una cuadrilla de trabajo conformada por cuatro hombres (2 motosierristas y 2 auxiliares), un arriero y su ayudante (con su respectivo equipo mular), si se requiere un conductor de volqueta.

#### ➤ **Métodos de seguridad en el Aprovechamiento Forestal**

Las actividades de aprovechamiento forestal presentan altos riesgos de accidente y enfermedad profesional, comparada con otras de carácter industrial. El ingeniero encargado debe comunicar con claridad al personal las condiciones de seguridad con las que deben trabajar, esa política debe ser expuesta a toda persona que trabaje o participe en las labores a su cargo.

#### ➤ **Medidas Preventivas y de Seguridad para la Operación Forestal**

- No se permite contratar menores de 18 años para este tipo de trabajos. Los menores deben ser autorizados por la autoridad competente y solamente podrán desempeñarse en tareas de bajo riesgo y carga física liviana.
- Todos los trabajadores deben disponer de gafas de protección, protectores de oídos, cascos, overoles (manga larga), guantes y botas punta de acero.
- No usar ropa demasiado suelta que pueda enredarse fácilmente en la cadena, de la motosierra o en otro tipo de partes sobresalientes, ocasionando accidentes graves.
- No se debe transportar la motosierra con el motor funcionando.
- La carga y descarga manual de camiones ha de realizarse en terrenos planos y uniformes para evitar caídas y deslizamientos de trabajadores.
- Los trabajadores encargados del transporte manual de cargas deben recibir instrucciones de formación apropiadas en la técnica de manipulación, con el fin de prevenir los accidentes, estar equipados con los dispositivos y el equipo necesario para garantizar su seguridad, no se debe obligar a ninguna persona a levantar y transportar cargas superiores a los 50 kg, la carga no debe ser lanzada por encima de la cabeza de ninguno de los trabajadores.
- Todos los equipos deben estar en buenas condiciones de funcionamiento. Si se trabaja en operaciones de apeo, debe evitarse posiciones incómodas o antiergonómicas, tomando todas las medidas de seguridad.
- Las herramientas deben estar en buen estado y ser las apropiadas para cada actividad a desempeñar.
- Se deben tener en cuenta las distancias seguras, especificando claramente las direcciones de caídas y arrastre de los árboles.
- Las áreas de trabajo y los trabajadores deben mantener una distancia de seguridad y las zonas deben estar despejadas.
- El ayudante del motosierrista debe estar a una distancia de por los menos el doble de la altura de los árboles más altos del bosque.
- Es importante que se establezca, antes de comenzar a cortar, la dirección de la caída, así como limpiar la base de los árboles y los caminos de salida. Los caminos de salida deben estar despejados de objetos, troncos, y herramientas.
- Durante el volteo de árboles, el operador debe retirarse de la base del árbol cuando éste empieza a caer, nadie debe estar cerca.
- Las hojas de las herramientas cortantes durante el transporte y almacenaje deben estar cubiertas y aseguradas.

#### ➤ **Uso o Destino de los Productos**

El material maderable producto del aprovechamiento forestal realizado será, trozado y dimensionado de acuerdo a la destinación final de los mismos, bajo los criterios de aprovechamiento de productos seleccionados de la siguiente manera, aclarando que solo serán

utilizados en las labores del proyecto y no serán comercializados. Los individuos de las especies de madera de alta densidad pueden ser usados para obras de estabilización y construcción en las diferentes actividades de exploración.

Los individuos de las especies que tiene una madera ordinaria con uso aceptable, pueden ser usados para postes de cerca, cabos de herramientas o en obras de estabilización donde no se requiera soportar cargas. Finalmente, el porcentaje restante, sin uso conocido, puede ser troceado y picado en partes pequeñas para incorporarlos en el material producto del descapote y/o para generación de compost.

### 7.6.7 Planillas de Información de los Inventarios

Las planillas donde se registró la información de los inventarios se presentan en el *Anexo Capítulo 7*.

### 7.6.8 Solicitud De Permiso

**MAUREL & PROM COLOMBIA B.V.**, solicita Permiso de Aprovechamiento Forestal en el Área de Perforación Exploratoria COR 15, para la adecuación y construcción de vías de acceso, construcción de plataformas multipozo, facilidades tempranas de producción, estaciones de recibo y líneas de flujo. En la **Tabla 7-83** se definen el volumen total estimado por hectárea para las diferentes coberturas vegetales.

**Tabla 7-83 Máximo Volumen Aprovechable Por Unidad De Cobertura Vegetal**

UNIDAD DE COBERTURA	VOLUMEN TOTAL (m3)
Bosque Ripario	239.59
Pastos arbolados	90.06
Plantación Forestal	89.9
<b>TOTAL</b>	<b>419.55</b>

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

## 7.7 EMISIONES ATMOSFÉRICAS

### 7.7.1 Fuentes De Emisión

En general se puede definir un contaminante del aire como aquel componente presente en la atmósfera, a niveles perjudiciales para la vida del hombre, plantas o animales.

El Decreto 948 de 1995 (emitido por el gobierno nacional de Colombia), el cual regula las acciones dirigidas a la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire, así como la Resolución 610 de 2010 (del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial) definen fuente de emisión como toda actividad, proceso u operación, realizado por los seres humanos, o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire; a partir de este concepto se derivan las clases de fuentes según su forma de descarga de contaminantes a la atmósfera.

A continuación, se describen los diferentes tipos de fuentes contaminantes según el Decreto 948 de 1995 expedido por el Ministerio de Medio Ambiente hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, MADS, identificadas para el APE COR-15 y las cuales se tuvieron en cuenta en el monitoreo de calidad de aire y en la modelación del mismo (Ver *Anexo*).

Fuentes de emisiones fijas puntuales: Es la fuente fija que emite contaminantes al aire por ductos o chimeneas. Con el trabajo realizado en campo se logró evidenciar que la gran mayoría de las

viviendas ubicadas dentro del área de influencia utilizan leña y carbón como combustible principal de las estufas, esto debido a actividades domésticas. Por otra parte, se observó la existencia de campamentos relacionados con el desarrollo de la actividad minera presente en la zona, en donde se usa principalmente carbón para la elaboración de alimentos de los trabajadores. Además de hornos a base de carbón utilizados en actividades industriales para el secado de arena.

Fuentes de emisiones fijas dispersas o difusas: Es aquella en que los focos de emisión de una fuente fija se dispersan en un área, por razón del desplazamiento de la acción causante de la emisión, como en el caso de las quemas abiertas controladas en zonas rurales. Dentro del área de influencia se evidenció este tipo de emisiones, las cuales están relacionadas con actividades industriales como trituradoras y acopios de carbón, así como areneras en donde se realiza acopio, tamizado, secado y empaque de la misma. Además de ladrilleras activas en el municipio de Tasco. Estas actividades generan emisiones de material particulado y gases por combustión, de una forma dispersa afectando el área circundante. Dichas labores son características de los municipios de Tasco y Corrales en sus sectores industriales como son Peña Blanca y el corredor industrial respectivamente. Por otra parte, se identificaron actividades agropecuarias en el municipio de Busbanza como invernaderos de tomate y cultivos de papa en granjas integrales, además de galpones dedicados a la producción de huevos, criaderos de cerdos y ganadería. Estas actividades generan emisiones de gases a la atmósfera como el metano debido a los procesos bioquímicos que llevan a cabo los animales por la digestión y degradación de sus desechos orgánicos; además de contaminantes relacionados a los fertilizantes usados en los cultivos.

Dentro del municipio de Corrales en la vereda Didamón se encuentran 2 hornos usados para la producción de cal, los cuales generan emisiones atmosféricas debido a la calcinación de piedra caliza y coque.

Adicionalmente en esta clasificación ingresan las vías sin pavimentar, las cuales corresponden en su gran mayoría a las que comunican las veredas y centros poblados de los municipios ubicados dentro de la zona de estudio.

Fuentes de emisiones móviles: Es la fuente de emisión que, por razón de su uso o propósito, es susceptible de desplazarse, como los automotores o vehículos de transporte a motor de cualquier naturaleza. Durante el recorrido en campo del APE COR-15, se evidenció el tránsito de vehículos de todo tipo (liviano y pesado), especialmente por la vía principal que comunica a los municipios de Corrales y Tasco. Además del tránsito de vehículos de carga y maquinaria en las áreas rurales, relacionados con la actividad minera presente en la zona.

#### ➤ Principales receptores de emisiones

Dentro de los potenciales receptores en el área pueden incluirse asentamientos poblacionales como instituciones educativas, caseríos y viviendas aisladas. Estos se encuentran ubicados principalmente en los municipios de Corrales y Tasco, lugares en donde se desarrollan la mayor parte de actividades industriales en la actualidad.

### 7.7.2 Resultados del Monitoreo de Calidad del Aire

Para el desarrollo de esta temática se tuvo como referencia la Resolución 610 de 2010 y el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire expedidos por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). Además del análisis de los resultados del monitoreo de aire a realizar para el área de estudio.

Para el APE COR-15 se adelantó un monitoreo de calidad del aire, el cual se presentó en el capítulo 5 y en el Anexo 5 del mismo capítulo. La ubicación y posterior verificación de los equipos a emplear en el monitoreo se hizo teniendo en cuenta los criterios técnicos de micro localización contemplados en el Numeral 6.4 del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire) del MAVDT hoy MADS2. Ver **Tabla 7-84 hasta la Tabla 7-90**:

---

<sup>2</sup>Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE. Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire. Bogotá. Octubre 2010.

Tabla 7-84 Ficha de la estación uno (1) de monitoreo de calidad del aire

INFORMACIÓN GENERAL												
Estación	E1	Nombre	Acopio	Departamento	Boyacá	Municipio	Corrales	Vereda	Reyes Patria			
Altitud (m.s.n.m.)	2449	COORD. DMS – BOGOTÁ	N	1136783		Entorno local	La estación se encuentra en una zona montañosa, rodeada de muy poca vegetación, en suelo con deslizamientos; cerca de la planta de triturado y el centro de acopio.					
Altura del suelo (m)	2		E	1137218								
TIPO DE ESTACIÓN												
Nivel I Área	Rural			Nivel II Tiempo	Indicativa			Nivel III Emisiones Dominantes	Industrial			
INFORMACIÓN ADICIONAL												
Tráfico	Distancia al borde (m)	20		Industrial	Tipo de industria	Minera		Indicativas	Tiempo de muestreo (días)	36		
	Ancho de la vía (m)	10			Distancia fuentes (m)	100			Seco/Húmedo	Húmedo		
	Tráfico diario	N/A			Dirección	N/A			Fecha inicio	23/11/2019		
	Vel. Promedio (Km/h)	70					Fecha fin		28/12/2019			
	Estado de la vía	Pavimentada										
Objetivo de la estación	Monitorear las concentraciones de contaminantes atmosféricos en el área para el EIA del Área De Perforación Exploratoria Cor-15.				Descripción fuentes de emisión	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vía principal pavimentada con flujo continuo a 20 m.</li> <li>Centro de triturado y acopio de carbón.</li> </ul>						
CONFIGURACIÓN DE LA ESTACIÓN												
Parámetros	Equipos monitoreo	Marca	Modelo	N° de Serie	Código	Equipos Verificación	Marca	Modelo	N° de Serie	Código	Fecha De Vencimiento	
PM <sub>10</sub>	Muestreador de alto volumen	Tisch	TE-6070	N/A	47	Varyflow	Tisch	TE-5028A	043832	2827	21/01/2020	
PM <sub>2.5</sub>	Muestreador de bajo volumen	Thermo	PQ-200	N/A	87	deltaCal	BGI	--	148591	591	15/05/2020	
SO <sub>2</sub>	Rack de gases	Nacional	Rack de 3 gases	N/A	108	Probeta	Kimax Kimble	--	N/A	0016	09/07/2020	
NO <sub>2</sub>	Rack de gases	Nacional	Rack de 3 gases	N/A	108	Probeta	Kimax Kimble	--	N/A	0016	09/07/2020	
CH <sub>2</sub> O	Rack de gases	Nacional	Rack de 3 gases	N/A	108	Probeta	Kimax Kimble	--	N/A	0016	09/07/2020	
O <sub>3</sub>	Monitor HORIBA	Horiba	APOA370	N/A	EO-09	Balas cero span	EPSI	2010D	29500419	5139	11/04/2020	
H <sub>2</sub> S	Monitor Horiba	Horiba	APSAH-370	N/A	EO-01	Balas cero span	EPSI	2010D	29500419	5139	11/04/2020	
HCT	Bomba MSA	Escorf	Gillian	N/A	82	Bios Dry Cal	Defender	520MF	151491	590	23/11/2019	
COV	Bomba MSA	Escorf	Gillian	N/A	82	Bios Dry Cal	Defender	520MF	151491	590	23/11/2019	
BTEX	Bomba MSA	Escorf	Gillian	N/A	82	Bios Dry Cal	Defender	520MF	151491	590	23/11/2019	
CO	Monitor HORIBA	Horiba	APMA370	N/A	EO-05	Balas cero span	EPSI	--	021518CLB	2639	26/02/2022	

Registro Fotográfico



Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2020

**Tabla 7-85 Ficha de la estación dos (2) de monitoreo de calidad del aire**

INFORMACIÓN GENERAL												
Estación	E2	Nombre	Busbanzá	Departamento	Boyacá	Municipio	Busbanzá	Vereda	Tonemi			
Altitud (m.s.n.m.)	2480	COORD. DMS – BOGOTÁ	N	E	1136540	1132703	Entorno local	La estación de monitoreo se ubicó cerca de una carretera a aproximadamente 20 m y junto a una vivienda.				
Altura del suelo (m)	2											
TIPO DE ESTACIÓN												
Nivel I Área	Rural			Nivel II Tiempo	Indicativa			Nivel III Emisiones Dominantes	Tráfico			
INFORMACIÓN ADICIONAL												
Tráfico	Distancia al borde (m)	20	Industrial	Tipo de industria	N/A			Indicativas	Tiempo de muestreo (días)	36		
	Ancho de la vía (m)	8		Distancia fuentes (m)	N/A				Seco/Húmedo	Húmedo		
	Tráfico diario	N/A		Dirección	N/A				Fecha inicio	23/11/2019		
	Vel. Promedio (Km/h)	60					Fecha fin		28/12/2019			
Estado de la vía	Pavimentada											
Objetivo de la estación	Monitorear las concentraciones de contaminantes atmosféricos en el área para el EIA del Área De Perforación Exploratoria Cor-15.				Descripción fuentes de emisión	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vivienda a 7 m al noroeste.</li> <li>Vía principal transitada a 20 m al noreste.</li> </ul>						
CONFIGURACIÓN DE LA ESTACIÓN												
Parámetros	Equipos monitoreo	Marca	Modelo	N° de Serie	Código	Equipos Verificación	Marca	Modelo	N° de Serie	Código	Fecha De Vencimiento	
PM <sub>10</sub>	Muestreador de alto volumen	Tisch	TE-6070	N/A	47	Varyflow	Tisch	TE-5028A	043832	2827	21/01/2020	
PM <sub>2.5</sub>	Muestreador de bajo volumen	Thermo	PQ-200	N/A	88	deltaCal	BGI	--	148591	591	15/05/2020	
SO <sub>2</sub>	Rack de gases	Nacional	Rack de 3 gases	N/A	109	Probeta	Kimax Kimble	--	N/A	0016	09/07/2020	
NO <sub>2</sub>	Rack de gases	Nacional	Rack de 3 gases	N/A	109	Probeta	Kimax Kimble	--	N/A	0016	09/07/2020	
CH <sub>2</sub> O	Rack de gases	Nacional	Rack de 3 gases	N/A	109	Probeta	Kimax Kimble	--	N/A	0016	09/07/2020	
O <sub>3</sub>	Monitor HORIBA	Horiba	APOA370	N/A	EO-10	Balas cero span	EPSI	2010D	29500419	5139	11/04/2020	
H <sub>2</sub> S	Monitor Horiba	Horiba	APSAH-370	N/A	EO-02	Balas cero span	EPSI	2010D	29500419	5139	11/04/2020	
HCT	Bomba MSA	Escorf	Gillian	N/A	82	Bios Dry Cal	Defender	520MF	151491	590	23/11/2019	
COV	Bomba MSA	Escorf	Gillian	N/A	82	Bios Dry Cal	Defender	520MF	151491	590	23/11/2019	
BTEX	Bomba MSA	Escorf	Gillian	N/A	82	Bios Dry Cal	Defender	520MF	151491	590	23/11/2019	
CO	Monitor HORIBA	Horiba	APMA370	N/A	EO-06	Balas cero span	EPSI	--	021518CLB	2639	26/02/2022	

REGISTRO FOTOGRÁFICO

CAMBIO DE SOLUCIONES



CAMBIO DE FILTROS PM<sub>10</sub>



Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2020

**Tabla 7-86 Ficha de la estación tres (3) de monitoreo de calidad del aire**

INFORMACIÓN GENERAL											
Estación	E3	Nombre	Tasco	Departamento	Boyacá	Municipio	Tasco	Vereda	Santa Bárbara		
Altitud (m.s.n.m.)	2543		COORD. DMS – BOGOTÁ	N	1143150		Entorno local	La estación se encuentra ubicada cerca de una vivienda y de una vía transitada, en zona montañosa con poca vegetación.			
Altura del suelo (m)	2			E	1140272						
TIPO DE ESTACIÓN											
Nivel I Área	Rural			Nivel II Tiempo	Indicativa			Nivel III Emisiones Dominantes	Industrial		
INFORMACIÓN ADICIONAL											
Tráfico	Distancia al borde (m)	10		Industrial	Tipo de industria	N/A		Indicativas	Tiempo de muestreo (días)	36	
	Ancho de la vía (m)	10			Distancia fuentes (m)	N/A			Seco/Húmedo	Húmedo	
	Tráfico diario	N/A			Dirección	N/A			Fecha inicio	23/11/2019	
	Vel. Promedio (Km/h)	60							Fecha fin	28/12/2019	
	Estado de la vía	Pavimentada									
Objetivo de la estación	Monitorear las concentraciones de contaminantes atmosféricos en el área para el EIA del Área De Perforación Exploratoria Cor-15.				Descripción fuentes de emisión	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vía transitada en buen estado a 10 m al norte.</li> <li>Vivienda a 10 m al sureste.</li> </ul>					
CONFIGURACIÓN DE LA ESTACIÓN											
Parámetros	Equipos monitoreo	Marca	Modelo	N° de Serie	Código	Equipos Verificación	Marca	Modelo	N° de Serie	Código	Fecha De Vencimiento
PM <sub>10</sub>	Muestreador de alto volumen	Tisch	TE-6070	N/A	49	Varyflow	Tisch	TE-5028A	043832	2827	21/01/2020
PM <sub>2.5</sub>	Muestreador de bajo volumen	Thermo	PQ-200	N/A	89	deltaCal	BGI	--	148591	591	15/05/2020
SO <sub>2</sub>	Rack de gases	Nacional	Rack de 3 gases	N/A	110	Probeta	Kimax Kimble	--	N/A	0016	09/07/2020
NO <sub>2</sub>	Rack de gases	Nacional	Rack de 3 gases	N/A	110	Probeta	Kimax Kimble	--	N/A	0016	09/07/2020
CH <sub>2</sub> O	Rack de gases	Nacional	Rack de 3 gases	N/A	110	Probeta	Kimax Kimble	--	N/A	0016	09/07/2020
O <sub>3</sub>	Monitor HORIBA	Horiba	APOA370	N/A	EO-11	Balas cero span	EPSI	2010D	29500419	5139	11/04/2020
H <sub>2</sub> S	Monitor Horiba	Horiba	APSAH-370	N/A	EO-03	Balas cero span	EPSI	2010D	29500419	5139	11/04/2020
HCT	Bomba MSA	Escorf	Gillian	N/A	82	Bios Dry Cal	Defender	520MF	151491	590	23/11/2019
COV	Bomba MSA	Escorf	Gillian	N/A	82	Bios Dry Cal	Defender	520MF	151491	590	23/11/2019
BTEX	Bomba MSA	Escorf	Gillian	N/A	82	Bios Dry Cal	Defender	520MF	151491	590	23/11/2019
CO	Monitor HORIBA	Horiba	APMA370	N/A	EO-07	Balas cero span	EPSI	--	021518CLB	2639	26/02/2022

REGISTRO FOTOGRÁFICO

CAMBIO DE FILTROS PM<sub>10</sub>



CAMBIO DE SOLUCIONES



Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2020

**Tabla 7-87 Ficha de la estación cuatro (4) de monitoreo de calidad del aire**

INFORMACIÓN GENERAL											
<b>Estación</b>	E4	<b>Nombre</b>	Reyes Patria	<b>Departamento</b>	Boyacá	<b>Municipio</b>	Corrales	<b>Vereda</b>	Reyes Patria		
<b>Altitud (m.s.n.m.)</b>	2900	<b>COORD. DMS – BOGOTÁ</b>	N	1137222		<b>Entorno local</b>	Estación de monitoreo ubicada en terreno plano con poca vegetación, cerca de una vivienda en construcción y de una vía terciaria con tráfico esporádico.				
<b>Altura del suelo (m)</b>	2		E	1138855							
TIPO DE ESTACIÓN											
<b>Nivel I Área</b>	Rural			<b>Nivel II Tiempo</b>	Indicativa			<b>Nivel III Emisiones Dominantes</b>	De Fondo		
INFORMACIÓN ADICIONAL											
<b>Tráfico</b>	Distancia al borde (m)	30		<b>Industrial</b>	Tipo de industria	N/A		<b>Indicativas</b>	Tiempo de muestreo (días)	36	
	Ancho de la vía (m)	6			Distancia fuentes (m)	N/A			Seco/Húmedo	Húmedo	
	Tráfico diario	N/A			Dirección	N/A			Fecha inicio	23/11/2019	
	Vel. Promedio (Km/h)	20							Fecha fin	28/12/2019	
	Estado de la vía	Sin pavimentar									
<b>Objetivo de la estación</b>	Monitorear las concentraciones de contaminantes atmosféricos en el área para el EIA del Área De Perforación Exploratoria Cor-15.				<b>Descripción fuentes de emisión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Viviendas en construcción al norte.</li> <li>Vía terciaria con flujo vehicular esporádico al noreste.</li> </ul>					
CONFIGURACIÓN DE LA ESTACIÓN											
Parámetros	Equipos monitoreo	Marca	Modelo	N° de Serie	Código	Equipos Verificación	Marca	Modelo	N° de Serie	Código	Fecha De Vencimiento
PM <sub>10</sub>	Muestreador de alto volumen	Tisch	TE-6070	N/A	50	Varyflow	Tisch	TE-5028A	043832	2827	21/01/2020
PM <sub>2.5</sub>	Muestreador de bajo volumen	Thermo	PQ-200	N/A	90	deltaCal	BGI	--	148591	591	15/05/2020
SO <sub>2</sub>	Rack de gases	Nacional	Rack de 3 gases	N/A	111	Probeta	Kimax Kimble	--	N/A	0016	09/07/2020
NO <sub>2</sub>	Rack de gases	Nacional	Rack de 3 gases	N/A	111	Probeta	Kimax Kimble	--	N/A	0016	09/07/2020
CH <sub>2</sub> O	Rack de gases	Nacional	Rack de 3 gases	N/A	111	Probeta	Kimax Kimble	--	N/A	0016	09/07/2020
O <sub>3</sub>	Monitor HORIBA	Horiba	APOA370	N/A	EO-12	Balas cero span	EPSI	2010D	29500419	5139	11/04/2020
H <sub>2</sub> S	Monitor Horiba	Horiba	APSAH-370	N/A	EO-04	Balas cero span	EPSI	2010D	29500419	5139	11/04/2020
HCT	Bomba MSA	Escorf	Gillian	N/A	82	Bios Dry Cal	Defender	520MF	151491	590	23/11/2019
COV	Bomba MSA	Escorf	Gillian	N/A	82	Bios Dry Cal	Defender	520MF	151491	590	23/11/2019
BTEX	Bomba MSA	Escorf	Gillian	N/A	82	Bios Dry Cal	Defender	520MF	151491	590	23/11/2019
CO	Monitor HORIBA	Horiba	APMA370	N/A	EO-08	Balas cero span	EPSI	--	021518CLB	2639	26/02/2022

REGISTRO FOTOGRÁFICO

CAMBIO DE SOLUCIONES



CAMBIO DE FILTROS PM<sub>10</sub>



Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2020.

**Tabla 7-88 Ficha de la estación cinco (5) de monitoreo de calidad del aire**

INFORMACIÓN GENERAL											
<b>Estación</b>	E5	<b>Nombre</b>	Buena Vista	<b>Departamento</b>	Boyacá	<b>Municipio</b>	Corrales	<b>Vereda</b>	Buena Vista		
<b>Altitud (m.s.n.m.)</b>	2597	<b>COORD. DMS – BOGOTÁ</b>	N	1140792		<b>Entorno local</b>	Estación ubicada en zona montañosa con poca vegetación, cerca de una vivienda deshabitada y una vía terciaria con bajo flujo vehicular.				
<b>Altura del suelo (m)</b>	2		E	1138024							
TIPO DE ESTACIÓN											
<b>Nivel I Área</b>	Rural			<b>Nivel II Tiempo</b>	Indicativa			<b>Nivel III Emisiones Dominantes</b>	De Fondo		
INFORMACIÓN ADICIONAL											
<b>Tráfico</b>	Distancia al borde (m)	30		<b>Industrial</b>	Tipo de industria	N/A		<b>Indicativas</b>	Tiempo de muestreo (días)	36	
	Ancho de la vía (m)	6			Distancia fuentes (m)	N/A			Seco/Húmedo	Húmedo	
	Tráfico diario	N/A			Dirección	N/A			Fecha inicio	23/11/2019	
	Vel. Promedio (Km/h)	10							Fecha fin	28/12/2019	
	Estado de la vía	Sin pavimentar									
<b>Objetivo de la estación</b>	Monitorear las concentraciones de contaminantes atmosféricos en el área para el EIA del Área De Perforación Exploratoria Cor-15.					<b>Descripción fuentes de emisión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vivienda deshabitada al norte.</li> <li>Vía vehicular terciaria con bajo flujo vehicular al norte.</li> </ul>				
CONFIGURACIÓN DE LA ESTACIÓN											
Parámetros	Equipos monitoreo	Marca	Modelo	N° de Serie	Código	Equipos Verificación	Marca	Modelo	N° de Serie	Código	Fecha De Vencimiento
PM <sub>10</sub>	Muestreador de alto volumen	Tisch	TE-6070	N/A	51	Varyflow	Tisch	TE-5028A	043832	2827	21/01/2020
PM <sub>2.5</sub>	Muestreador de bajo volumen	Thermo	PQ-200	N/A	91	deltaCal	BGI	--	148591	591	15/05/2020
SO <sub>2</sub>	Rack de gases	Nacional	Rack de 3 gases	N/A	112	Probeta	Kimax Kimble	--	N/A	0016	09/07/2020
NO <sub>2</sub>	Rack de gases	Nacional	Rack de 3 gases	N/A	112	Probeta	Kimax Kimble	--	N/A	0016	09/07/2020
CH <sub>2</sub> O	Rack de gases	Nacional	Rack de 3 gases	N/A	112	Probeta	Kimax Kimble	--	N/A	0016	09/07/2020
O <sub>3</sub>	Monitor HORIBA	Horiba	APOA370	N/A	EO-14	Balas cero span	EPSI	2010D	29500419	5139	11/04/2020
H <sub>2</sub> S	Monitor Horiba	Horiba	APSAH-370	N/A	EO-06	Balas cero span	EPSI	2010D	29500419	5139	11/04/2020
HCT	Bomba MSA	Escorf	Gillian	N/A	82	Bios Dry Cal	Defender	520MF	151491	590	23/11/2019
COV	Bomba MSA	Escorf	Gillian	N/A	82	Bios Dry Cal	Defender	520MF	151491	590	23/11/2019
BTEX	Bomba MSA	Escorf	Gillian	N/A	82	Bios Dry Cal	Defender	520MF	151491	590	23/11/2019
CO	Monitor HORIBA	Horiba	APMA370	N/A	EO-09	Balas cero span	EPSI	--	021518CLB	2639	26/02/2022

REGISTRO FOTOGRÁFICO

CAMBIO DE FILTROS PM<sub>10</sub>



CAMBIO DE SOLUCIONES



Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2020

**Tabla 7-89 Ficha de la estación seis (6) de monitoreo de calidad del aire**

INFORMACIÓN GENERAL											
<b>Estación</b>	E6	<b>Nombre</b>	Beteitiva	<b>Departamento</b>	Boyacá	<b>Municipio</b>	Betéitiva		<b>Vereda</b>	Betéitiva	
<b>Altitud (m.s.n.m.)</b>	2500	<b>COORD. DMS – BOGOTÁ</b>	N	1145414		<b>Entorno local</b>	Estación de monitoreo en zona montañosa con poca vegetación, cerca de una vivienda y de una vía con poco tránsito.				
<b>Altura del suelo (m)</b>	2		E	1140482							
TIPO DE ESTACIÓN											
<b>Nivel I Área</b>	Rural			<b>Nivel II Tiempo</b>	Indicativa			<b>Nivel III Emisiones Dominantes</b>	Tráfico		
INFORMACIÓN ADICIONAL											
<b>Tráfico</b>	Distancia al borde (m)	10		<b>Industrial</b>	Tipo de industria	N/A		<b>Indicativas</b>	Tiempo de muestreo (días)	36	
	Ancho de la vía (m)	6			Distancia fuentes (m)	N/A			Seco/Húmedo	Húmedo	
	Tráfico diario	N/A			Dirección	N/A			Fecha inicio	23/11/2019	
	Vel. Promedio (Km/h)	10			Estado de la vía	Pavimentada			Fecha fin	28/12/2019	
<b>Objetivo de la estación</b>	Monitorear las concentraciones de contaminantes atmosféricos en el área para el EIA del Área De Perforación Exploratoria Cor-15.					<b>Descripción fuentes de emisión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vivienda al norte.</li> <li>Vía con poco tráfico vehicular al este.</li> </ul>				
CONFIGURACIÓN DE LA ESTACIÓN											
Parámetros	Equipos monitoreo	Marca	Modelo	N° de Serie	Código	Equipos Verificación	Marca	Modelo	N° de Serie	Código	Fecha De Vencimiento
PM <sub>10</sub>	Muestreador de alto volumen	Tisch	TE-6070	N/A	52	Varyflow	Tisch	TE-5028A	043832	2827	21/01/2020
PM <sub>2.5</sub>	Muestreador de bajo volumen	Thermo	PQ-200	N/A	92	deltaCal	BGI	--	148591	591	15/05/2020
SO <sub>2</sub>	Rack de gases	Nacional	Rack de 3 gases	N/A	113	Probeta	Kimax Kimble	--	N/A	0016	09/07/2020
NO <sub>2</sub>	Rack de gases	Nacional	Rack de 3 gases	N/A	113	Probeta	Kimax Kimble	--	N/A	0016	09/07/2020
CH <sub>2</sub> O	Rack de gases	Nacional	Rack de 3 gases	N/A	113	Probeta	Kimax Kimble	--	N/A	0016	09/07/2020
O <sub>3</sub>	Monitor HORIBA	Horiba	APOA370	N/A	EO-15	Balas cero span	EPSI	2010D	29500419	5139	11/04/2020
H <sub>2</sub> S	Monitor Horiba	Horiba	APSAH-370	N/A	EO-07	Balas cero span	EPSI	2010D	29500419	5139	11/04/2020
HCT	Bomba MSA	Escorf	Gillian	N/A	82	Bios Dry Cal	Defender	520MF	151491	590	23/11/2019
COV	Bomba MSA	Escorf	Gillian	N/A	82	Bios Dry Cal	Defender	520MF	151491	590	23/11/2019
BTEX	Bomba MSA	Escorf	Gillian	N/A	82	Bios Dry Cal	Defender	520MF	151491	590	23/11/2019
CO	Monitor HORIBA	Horiba	APMA370	N/A	EO-10	Balas cero span	EPSI	--	021518CLB	2639	26/02/2022

**REGISTRO FOTOGRÁFICO**

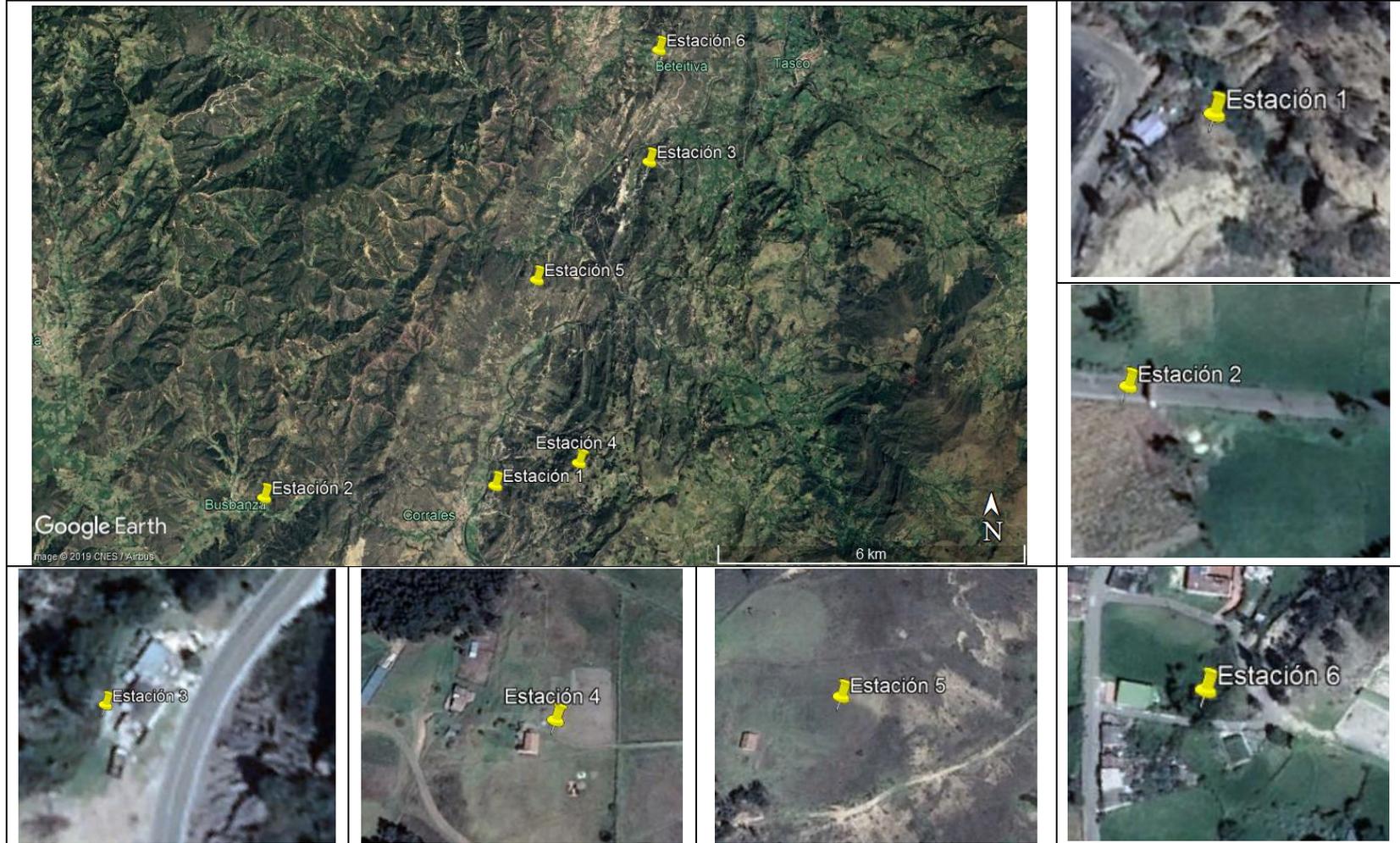
**CAMBIO DE SOLUCIONES**



**CAMBIO DE FILTROS PM<sub>10</sub>**



Tabla 7-90 Localización general de los puntos de monitoreo dispuestos para el presente estudio



Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2020

Los resultados del monitoreo de calidad de aire realizado para el Área de Perforación Exploratoria COR-15 permiten obtener las siguientes conclusiones:

- Los resultados de las mediciones reportados de PM10 en las estaciones no superaron el límite permisible diario establecido en la Resolución 2254 del 2017 (75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La estación 3 presentó las mayores concentraciones con una media de 40,20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y la estación 5 las menores con una media de 22,16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , se presentaron concentraciones entre 9,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 58,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , la mayoría de las mediciones (19,4%) oscilaron entre 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- Las concentraciones de PM2.5 evidenciaron un comportamiento similar al PM10, la estación 1 registró las mayores concentraciones y la estación 5 las menores, además, los resultados se encontraron en un rango de 2,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a 19,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Los valores obtenidos durante el monitoreo no excedieron el límite diario (37  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dando cumplimiento a lo establecido en la Resolución 2254 de 2017.
- Las concentraciones de NO2 presentan registros inferiores o muy cercanas al límite de detección del método acreditado (0,12  $\mu\text{g}$ ), obteniendo en las condiciones de monitoreo una concentración en su mayoría <68,48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para 1 hora, por lo que se concluye que en el área de monitoreo no se encuentran fuentes representativas para este contaminante, los valores obtenidos dan cumplimiento al límite de 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para 1 hora establecido en la Resolución 2254 del 2017.
- Las concentraciones de SO2 presentan registros inferiores o muy cercanos al límite de detección de <1,0  $\mu\text{g}$ , lo que corresponde en las condiciones de monitoreo a una concentración en su mayoría <18,01  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , valor lejano al límite diario establecido en la Resolución 2254 del 2017 (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), permitiendo inferir que las fuentes que emiten este tipo contaminante, no impactan la calidad el aire en la zona de monitoreo.
- Las concentraciones de CH2O presentaron registros indetectables por el método de laboratorio en todas las mediciones (<20,0  $\mu\text{g}$ ), que corresponde a valores <3,51  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en las condiciones de monitoreo para 24 horas de medición, por lo que se concluye que en el área no se encuentran fuentes representativas para este contaminante.
- En cuanto a sustancias generadoras de olores (H2S) se registraron en todas las mediciones valores inferiores al límite de cuantificación del método analítico empleado (<0,02  $\mu\text{g}$ ), indicando una concentración <8,21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , encontrándose estas por debajo del umbral normativo establecido en la Resolución 1541 del 2014 (30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).
- Las mediciones del parámetro CO presentaron valores por debajo del límite de detección del instrumento utilizado (<1,0 ppm), lo que permite deducir que no se encuentran fuentes representativas para este contaminante en la zona de monitoreo, los valores obtenidos dan cumplimiento al límite para 1 hora establecido en la Resolución 2254 del 2017.
- Las mediciones de HCT y COV presentan concentraciones por debajo del límite de detección del método utilizado 0,008  $\mu\text{g}$  para HCT y COV, indicando concentraciones <2,80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; permitiendo inferir que no hay fuentes representativas para estos contaminantes en la zona de monitoreo.
- Las mediciones de BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno) presentan concentraciones por debajo del límite de detección del método utilizado para cada parámetro, permitiendo inferir que no hay fuentes representativas para estos

contaminantes en la zona de monitoreo. Las mediciones de benceno cumplen con el límite establecido.

- El índice de calidad del aire para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> fue “Bueno” y “Moderado o Aceptable”, por lo que según se establece en la tabla 35 del “Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire”, puede generar efectos sobre la salud de las personas extraordinariamente sensitivas, por lo que se recomienda que las personas con enfermedades respiratorias como asma deben reducir la actividad física al aire libre en la zona.
- El ICA para NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, presentó una clasificación “Buena”, esto debido a que las seis estaciones reportaron concentraciones mínimas de estos parámetros, en su mayoría inferiores al límite de la técnica analítica empleada para este contaminante en todos los casos, indicando así que estos parámetros no generan riesgo a la salud de las personas.
- *Igualmente, los resultados de parámetros obtenidos durante los monitoreos cumplieron en todas las mediciones con los límites establecidos en la Resolución 2254 del 2017, sin embargo, de manera general se recomienda:*
- Realizar jornadas de riego en las vías sin pavimentar, además de mejorar su estado, para disminuir la resuspensión del material particulado y realizar el mantenimiento preventivo en todos los equipos que generen emisiones, asegurando así mejores resultados en los parámetros evaluados.
- Identificar las fuentes de emisión de material particulado cercanas a la estación 3 que es la que registró las mayores concentraciones de Material Particulado.

El informe total de laboratorio realizado por MCS – Consultoría y Monitoreo Ambiental se encuentra en el anexo denominado Informe\_Aire.

Los resultados del monitoreo de calidad de aire realizado para el EIA del Área de Perforación Exploratoria COR-15 permiten obtener las siguientes conclusiones:

- Las concentraciones reportadas de PM<sub>10</sub> en las estaciones no superaron el límite permisible diario establecido en la Resolución 2254 del 2017 (75 µg/m<sup>3</sup>) con resultados entre 7,78 µg/m<sup>3</sup> y 69,86 µg/m<sup>3</sup>. La estación 1 (Acopio) presentó los mayores valores con una media de 53,45 µg/m<sup>3</sup> y la estación 5 (Buena Vista) los menores con una media de 20,48 µg/m<sup>3</sup>, la mayoría de las concentraciones se variaron entre 18 µg/m<sup>3</sup> y 26 µg/m<sup>3</sup> (25,9%).
- Las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> evidenciaron un comportamiento similar al PM<sub>10</sub>, la estación 1 (Acopio) registró las mayores concentraciones con una media de 17,15 µg/m<sup>3</sup> y la estación 5 (Buena Vista) las menores con una media de 8,12 µg/m<sup>3</sup>, los resultados se encontraron en un rango de 2,66 µg/m<sup>3</sup> a 33,51 µg/m<sup>3</sup>. Los valores obtenidos durante el monitoreo no excedieron el límite diario (37 µg/m<sup>3</sup>) dando cumplimiento a la Resolución 2254 de 2017.
- Las concentraciones de NO<sub>2</sub> presentan registros inferiores al límite de detección del método acreditado (0,12 µg), obteniendo en las condiciones de monitoreo una concentración <66,21 µg/m<sup>3</sup> para 1 hora, por lo que se concluye que en el área de monitoreo no se encuentran fuentes representativas para este contaminante, los valores

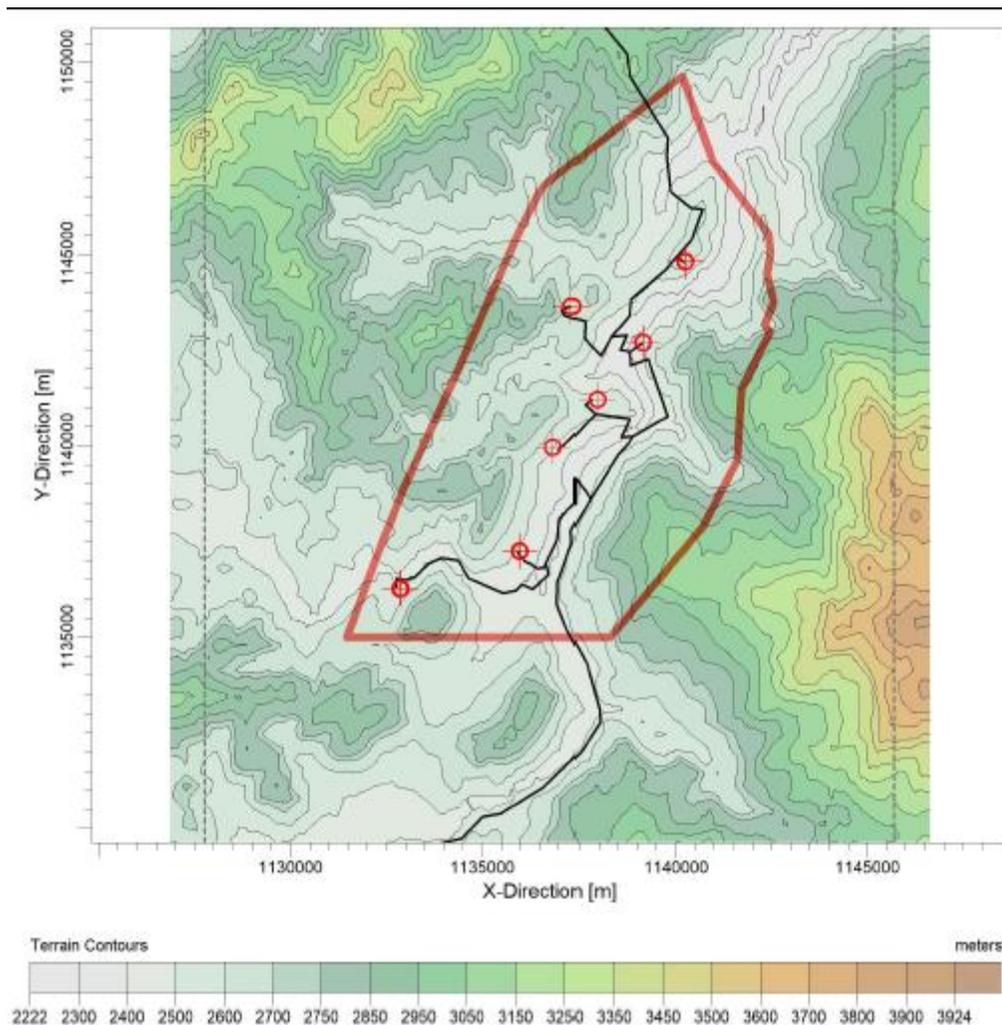
obtenidos dan cumplimiento al límite de  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para 1 hora establecido en la Resolución 2254 del 2017.

- Las concentraciones de  $\text{SO}_2$  presentan registros inferiores al límite de detección de  $<1,0 \mu\text{g}$ , lo que corresponde en las condiciones de monitoreo a una concentración en todas las mediciones  $<19,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , valor lejano al límite diario establecido en la Resolución 2254 del 2017 ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), permitiendo inferir que las fuentes que emiten este tipo contaminante, no impactan la calidad el aire en la zona de monitoreo.
- Los resultados registrados de Ozono ( $\text{O}_3$ ) en cada punto de monitoreo presentaron valores por debajo del límite permitido para 8 horas establecido en  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la Resolución 2254 del 2017, donde los valores oscilaron entre  $22,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $88,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , el mayor valor se evidenció en la estación 5 (Buena Vista); asimismo, los menores resultados se obtuvieron en la estación 6 (Beteitiva) con una media de  $48,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- Los resultados registrados de CO presentaron valores menores en la estación 2 (Busbanzá) con una media de  $277,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y los mayores en la estación 1 (Acopio) con una media de  $411,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De acuerdo a lo anterior no se reportan sobrepasos a los límites para 1 hora ( $35000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y 8 horas ( $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) establecidos en la Resolución 2254 de 2017 indicando cumplimiento normativo.
- Los resultados registrados de  $\text{H}_2\text{S}$  presentaron valores entre  $1,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $9,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para 1 hora y de  $4,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $6,99 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para 24 horas, donde acuerdo a lo anterior, no se reportan sobrepasos a los límites para 1 ( $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y 24 horas ( $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) establecidos en la Resolución 1541 de 2013 dando total cumplimiento normativo.
- Los resultados registrados de  $\text{CH}_2\text{O}$  presentaron valores por debajo del límite de detección del método acreditado, correspondiente a  $20,0 \mu\text{g}$  de  $\text{CH}_2\text{O}$ , esto representa una concentración  $<3,51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , lo cual indica baja presencia de este contaminante en la zona de monitoreo y descarta fuentes representativas para este en la zona de monitoreo, este parámetro no tiene límites establecidos, por lo que no es posible emitir un juicio normativo.
- Las mediciones de HCT y COV presentan concentraciones por debajo del límite de detección del método utilizado  $0,008 \mu\text{g}$  para HCT y COV, indicando concentraciones  $<2,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; permitiendo inferir que no hay fuentes representativas para estos contaminantes en la zona de monitoreo.
- Las mediciones de BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno) presentan concentraciones por debajo del límite de detección del método utilizado, permitiendo inferir que no hay fuentes representativas para estos contaminantes en la zona de monitoreo.
- El índice de calidad del aire para  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2,5}$  fue “Bueno” y “Moderado o Aceptable”, por lo que según se establece en la tabla 35 del “Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire”, puede generar efectos sobre la salud de las personas extraordinariamente sensitivas, por lo que se recomienda que las personas con enfermedades respiratorias como asma deben reducir la actividad física al aire libre en la zona.
- El ICA para  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , CO y  $\text{O}_3$ , presentó una clasificación “Buena”, esto debido a que las seis estaciones reportaron concentraciones mínimas de estos parámetros, en su mayoría inferiores al límite de la técnica analítica empleada para este contaminante en todos los casos, indicando así que estos parámetros no generan riesgo a la salud de las personas.

El informe total de laboratorio realizado por MCS – Consultoría y Monitoreo Ambiental se encuentra en el anexo del Capítulo 5 denominado Monitoreo Calidad del Aire.

### 7.7.3 Modelo de elevación del terreno

El proyecto enmarca una topografía compleja debido a la gran magnitud del mismo. Como cobertura de suelo, predomina el suelo rural. En la **Figura 7-93** se observa la topografía de la zona, la cual fue obtenida por medio de la base de datos de la USGS, donde la resolución es de 90 metros.



**Figura 7-93 Modelo de elevación digital**

La elaboración de los modelos de dispersión de contaminantes se realizó por medio del software AERMOD, el cual es un modelo gaussiano de estado estacionario. Se ha elaborado por la versión comercial denominada AERMOD View™ y a su vez se utilizó el software ArcGIS para la representación gráfica de los mapas.

El software cuenta con dos preprocesadores (AERMET y AERMAP) y un procesador principal (AERMOD), los cuales se describen a continuación.

- AERMET: El primer preprocesador es el AERMET, el cual se encarga de la meteorología de la zona de estudio, esta es adquirida bajo modelos a mesoescala (MM5). Estos modelos además de proporcionar las propiedades físicas superficiales, los datos modelados entregan también las propiedades físicas de la columna del aire (meteorología de altura), importante para determinar propiedades de los gradientes verticales de temperatura (potencial de aire seco, equivalente de aire húmedo y virtual de aire seco), y demás propiedades relacionadas con la capa límite de mezclado y estabilidad atmosférica (fenómenos de turbulencia) de los contaminantes. Este modelo fue desarrollado por la Universidad Estatal de Pennsylvania (Penn State University, PSU) y el Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas (National Center for Atmospheric Research, NCAR). Fue seleccionado por el Servicio Meteorológico Nacional (System Meteorological National), por su alta definición en la detección de sistemas atmosféricos de mesoescala, y cuenta con todas las características necesarias para su adaptación a las condiciones específicas del territorio Colombiano, este modelo se puede aplicar a cualquier zona del mundo, ya que es posible desarrollar la información de entrada (campos meteorológicos, topografía y uso de suelo) necesaria para su funcionamiento, inclusive para zonas con alta resolución espacial que con topografía compleja, como nuestras cordilleras

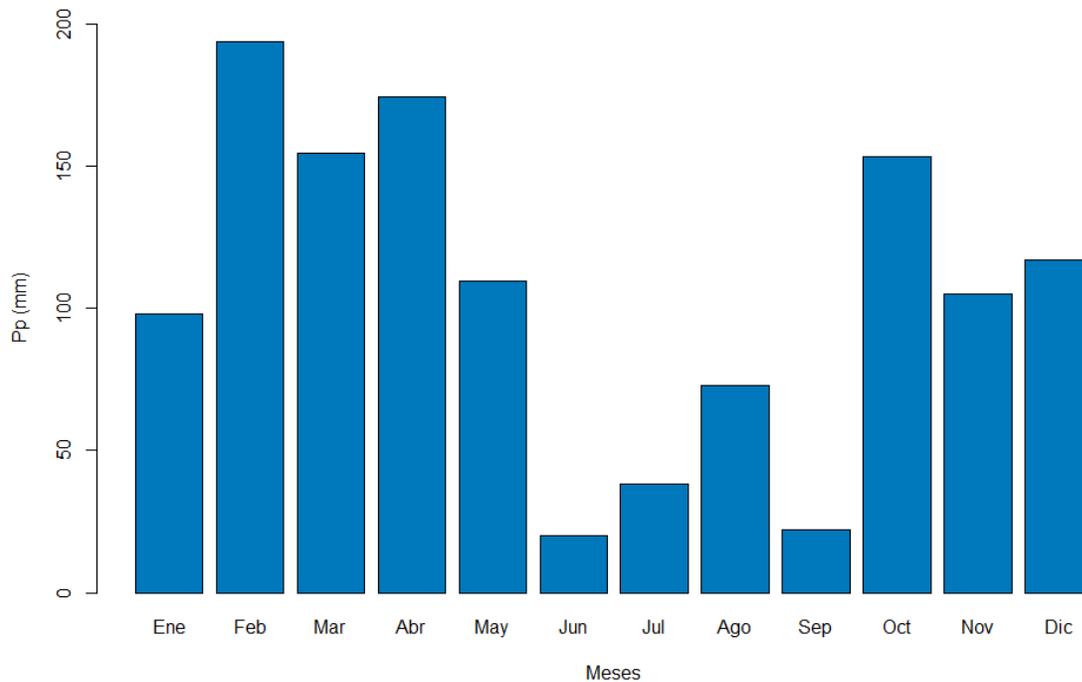
La información adquirida, se entrega procesada a condiciones locales en formato editable (Excel, Bloc de Notas, Word), datos horarios de las siguientes variables:

- Calor sensible (W/m<sup>2</sup>).
  - Velocidad de fricción superficial (m/s)
  - Velocidad convectiva (m/s).
  - Gradiente de Temperatura vertical potencial sobre la capa limite planetaria
  - Altura de convección generada sobre la capa limite (m).
  - Altura mecánica generada en la capa límite (m).
  - Longitud de Monin Obukhov (m).
  - Longitud de rugosidad superficial (m).
  - Relación de Bowen.
  - Albedo.
  - Velocidad del viento (m/s)
  - Dirección del viento (°).
  - Temperatura (K)
  - Velocidad de precipitación (mm/hr)
  - Humedad relativa (%)
  - Presión barométrica (mb)
  - Cobertura de nubes (decimas)
- AERMAP: El segundo preprocesador es el encargado de procesar la información topográfica, la cual es adquirida a través de modelos de elevación digital (DEM) proporcionados por la NASA (Misión SRTM o ASTER) con resolución de 90 metros.
  - AERMOD: Por último, se procesa toda la información necesaria para calcular las concentraciones de inmisión en la zona de estudio.

La información meteorológica para la modelación fue adquirida a través de modelos a mesoescala en este caso MM5 para la zona de estudio, lo anterior debido a que la información solicitante del modelo debe ser de un año y horaria. La meteorología de la zona, es una de las variables más importantes al analizar la dispersión del contaminante. Es por lo anterior que el presente capítulo pretende describir las variables meteorológicas, sus principales características y su tendencia.

#### 7.7.4 Precipitación

Se puede evidenciar en la **Figura 7-94**, que la precipitación en la zona de estudio tiene un comportamiento bimodal, con dos temporadas húmedas entre febrero y abril y entre octubre y diciembre en total en el año la cantidad de precipitación fue de 1259 mm.

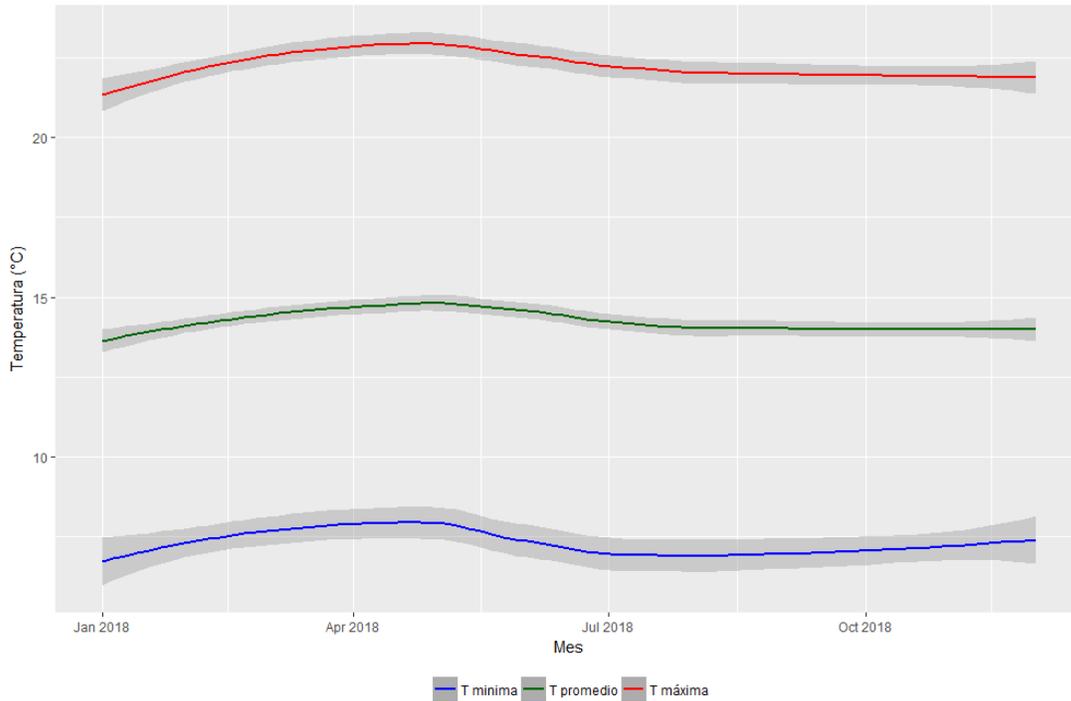


**Figura 7-94 Precipitaciones mensuales**

#### 7.7.5 Temperatura

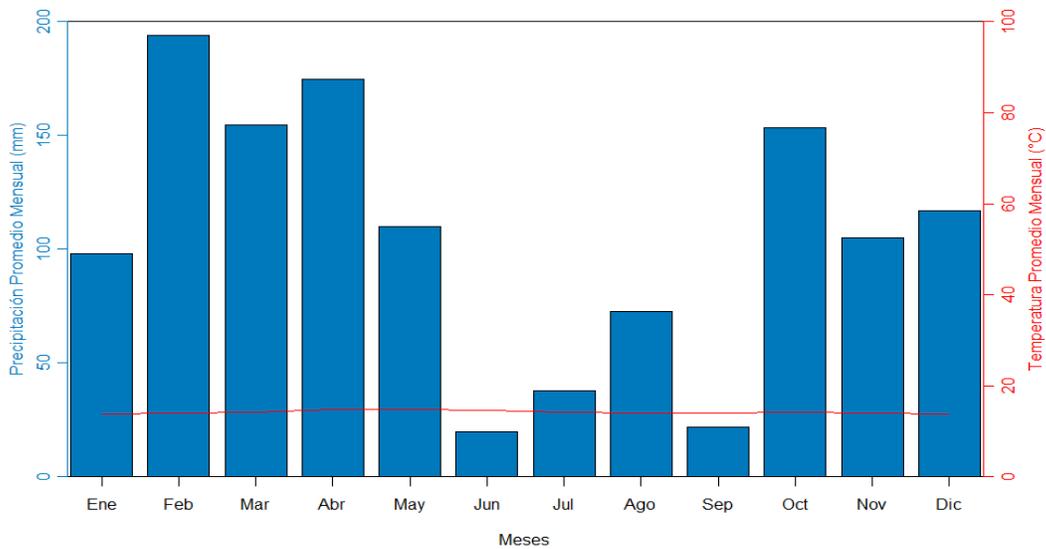
En la **Figura 7-95**, se puede observar el comportamiento de la temperatura promedio, los máximos y los mínimos diarios. La línea muestra el comportamiento suavizado, mientras que las áreas sombreadas el intervalo de confianza del 95%. Se puede observar que los meses con mayor temperatura son septiembre y diciembre mientras que los meses con temperaturas menos altas fueron enero y marzo.

En promedio la temperatura es de 14°C lo anterior debido al piso altitudinal en el que se encuentra.



**Figura 7-95 Temperatura Promedio**

En la **Figura 7-96**, se observa el Climograma de Gausson, en el cual se pueden observar los datos de temperatura promedio y precipitación. Se evidencia que los meses secos del año son junio y septiembre.

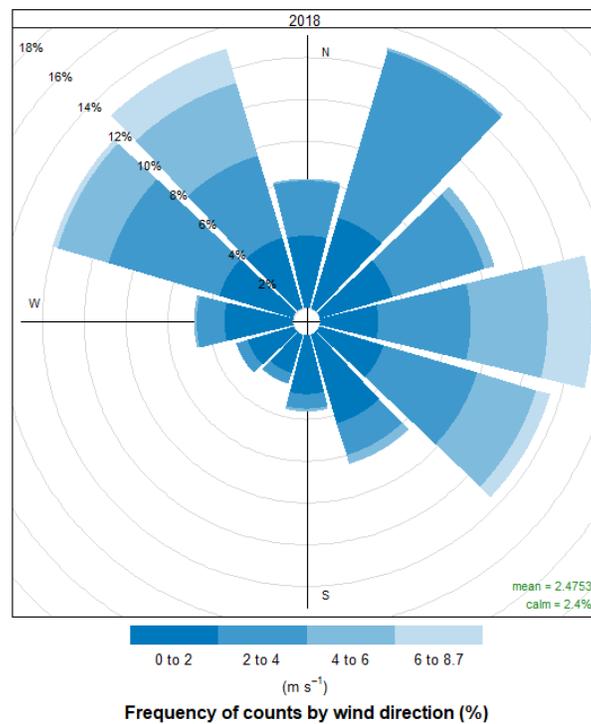


**Figura 7-96 Climograma de Gausson**

### 7.7.6 Velocidad y dirección del viento

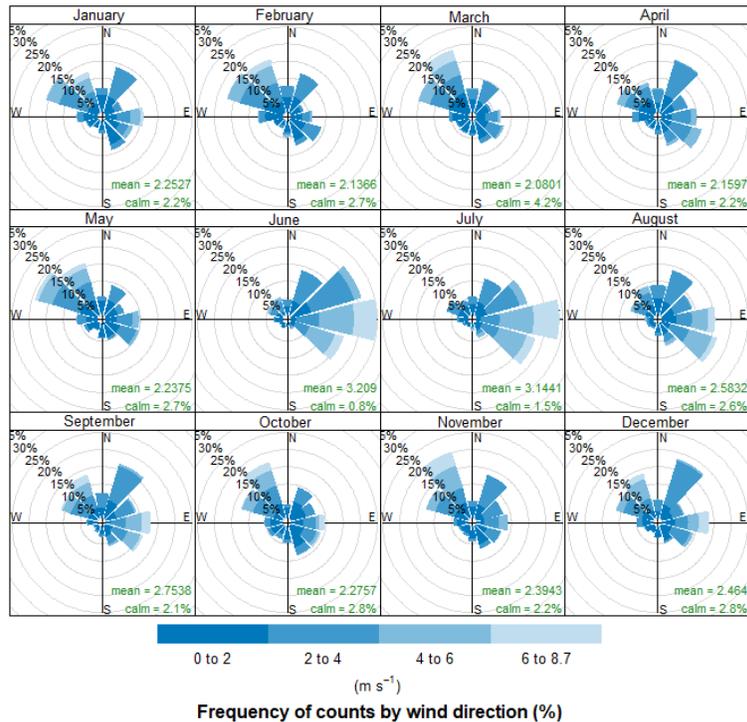
La distribución de los contaminantes en la atmósfera requiere del conocimiento de la frecuencia y distribución de la dirección y de la velocidad del viento, ya que cuantifican el rigor y la incidencia del transporte de contaminantes en diferentes direcciones a partir del foco de emisión.

Para representar la dirección y la velocidad del viento se realiza la rosa de vientos, la cual se analiza en las siguientes figuras para diferentes escalas de tiempo, en la **Figura 7-97** se observa la rosa de vientos anual, donde se evidencia que la dirección predominante no está definida, sin embargo los vientos provenientes del NW, NE y E son los más frecuentes en la zona.



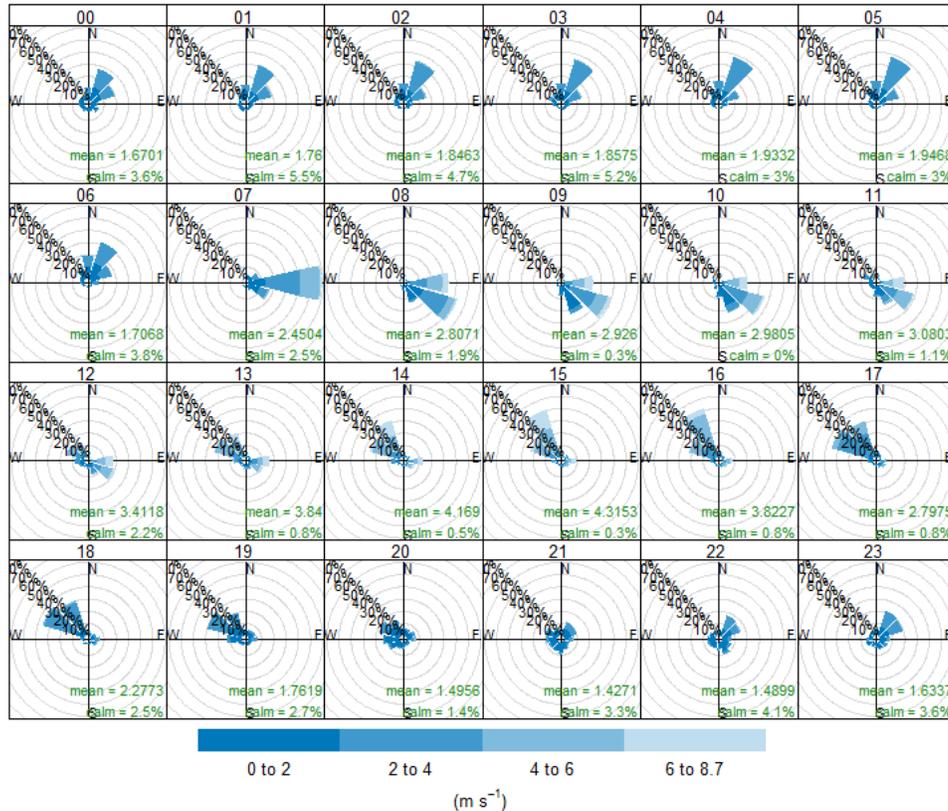
**Figura 7-97 Rosa de los vientos anual**

En la **Figura 7-98**, se observa el comportamiento mensual de los vientos, se evidencia que de Enero a Mayo la predominancia de vientos es la NW, cambiando desde Junio a Septiembre observando que los vientos que vienen del NE y E se vuelven más frecuentes y finalizando el año entre Octubre y Diciembre la dirección predominante vuelve a ser la NW.



**Figura 7-98 Rosas de vientos promedio mensual**

Para el comportamiento horario se evidencia que a lo largo del día se encuentran variaciones, en horas de la madrugada entre las 0 y las 6 horas la dirección predominante es la NE, a partir de las 7 horas hasta 11 horas la dirección predominante es la E, cambiando nuevamente a partir de las 12 hasta las 17 horas por la dirección NW y terminando el día desde las 18 hasta las 23 la dirección predominante vuelve a ser la NW.



(m s<sup>-1</sup>)

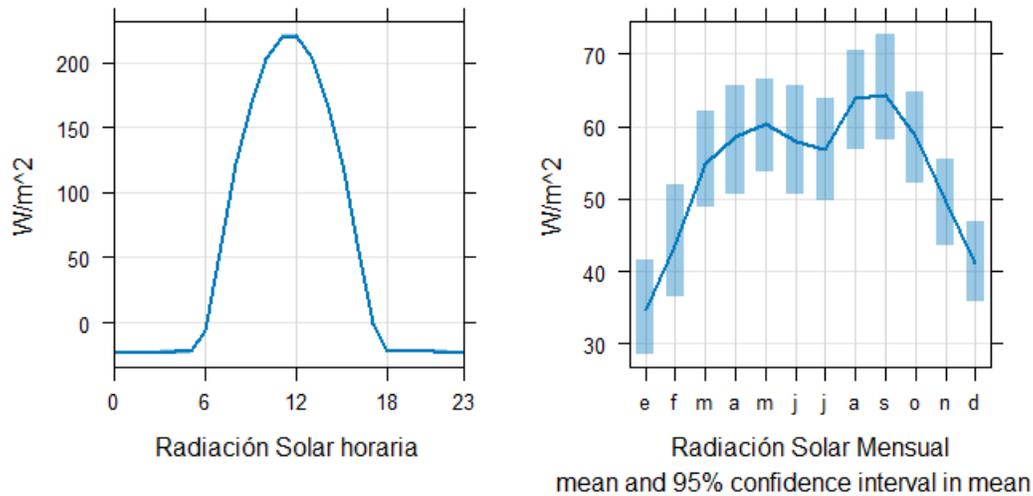
Frequency of counts by wind direction (%)

**Figura 7-99 Rosas de vientos horaria**

### 7.7.7 Radiación solar

La radiación solar se expresa como la emisión, propagación y absorción de energía en forma de onda electromagnética, la radiación depende de diferentes factores; la distancia entre la tierra y el sol, la longitud del día y la nubosidad.

Según la **Figura 7-100** , se observa que evidentemente a medio día se encuentra el valor más elevado con 220 W/m<sup>2</sup> además el mes de septiembre tienen la radiación solar promedio más elevada del año.



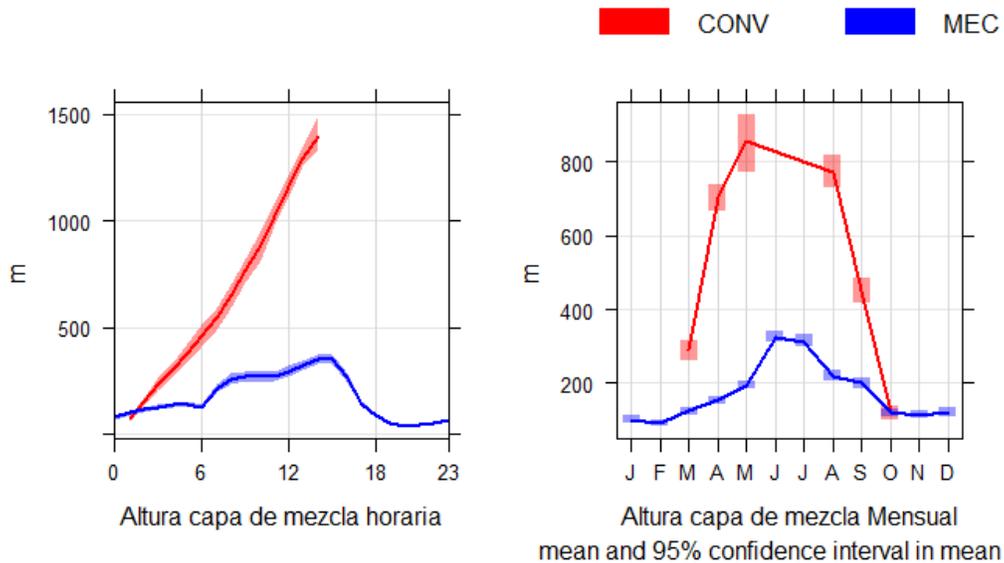
**Figura 7-100 Variabilidad radiación solar**

#### 7.7.8 Altura de capa de mezcla

Las variables anteriormente descritas, en conjunto crean escenarios en los cuales la dispersión del contaminante puede ser más eficiente o por el contrario la interacción entre penacho y atmosfera hace que los niveles de inmisión sean más elevados, lo anterior se representa con la Altura de capa de mezcla, que es la altura donde los contaminantes se mezclan con la atmosfera y la estabilidad atmosférica, que es la propiedad que hace que la emisión se disperse con más facilidad o por el contrario se precipite.

Como parte de la capa de mezcla, son determinados los parámetros de altura capa límite convectiva (CBL) y la altura estable de la capa límite (SBL). La CBL se manifiesta en horas del día mientras que la SBL se presenta en cualquier momento, pero se hace más importante en las noches, en las cuales los fenómenos de dispersión se realizan en una atmósfera estable, donde el fenómeno turbulento es determinante, mientras el fenómeno de convección es despreciable.

Se observa que la CBL empieza a las 6:00 a.m. creciendo hasta 1400 metros sobre las 5:00 p.m., sin embargo, la SBL, existente durante todo el día tiene su máximo en 400 metros sobre las 3:00 p.m.

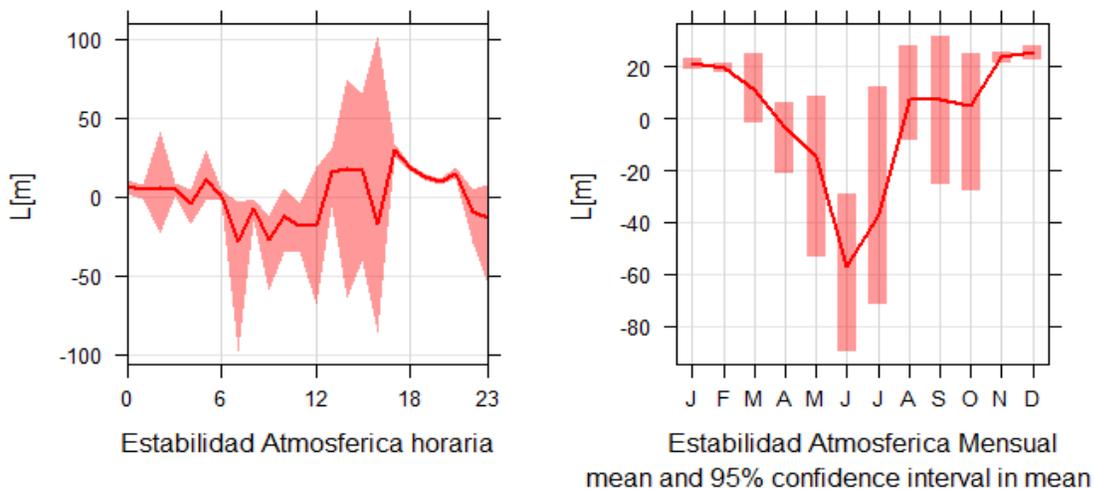


**Figura 7-101 Variabilidad CBL y SBL**

### 7.7.9 Estabilidad atmosférica

La longitud de Monin-Obukhov es una variable que representa la estabilidad atmosférica, su interpretación indica que en horas de luz solar cuando existe calentamiento, la atmósfera es inestable y presenta valores negativos, caso contrario en horas de la noche donde los valores positivos indican el enfriamiento de la atmósfera por ende las condiciones de estabilidad.

Como se observa en la **Figura 7-102**, aproximadamente a las 6:00 a.m. la inestabilidad es bastante fuerte y por el contrario a las 5:00 p.m. las condiciones de estabilidad son muy marcadas, a una escala mensual la predominancia de inestabilidad se presenta durante la mayoría el año, siendo el mes de junio el de inestabilidad más fuerte.



**Figura 7-102 Variabilidad de la estabilidad atmosférica**

### 7.7.10 Variables de superficie

#### ➤ Albedo

El albedo es la radiación que cualquier superficie puede reflejar respecto a la radiación que incide sobre la misma. Esta variable depende del suelo, las superficies claras poseen valores superiores a las oscuras. La medición varía entre 0, que se refieren a superficies totalmente absorbentes y 1 que son superficies totalmente reflectivas.

La zona de estudio, está principalmente constituida por suelo rural, por ende, el valor que se tomó se basó en los valores por defecto que la EPA propone.

**Tabla 7-91 Valores de albedo**

USO DEL SUELO	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	PROMEDIO
Agua	0,2	0,12	0,1	0,14	0,14
Bosque Deciduo	0,5	0,12	0,12	0,12	0,215
Bosque de Coníferas	0,35	0,12	0,12	0,12	0,1775
Tierra Cultivada	0,6	0,14	0,2	0,18	0,28
Pastizales	0,6	0,18	0,18	0,2	0,29
Desierto	0,45	0,3	0,28	0,28	0,3275

#### ➤ Relación de Bowen

Se refiere a la razón entre la transferencia de calor sensible y latente de una superficie, en la zona de estudio se tomó valores por defecto de la EPA, al igual que el albedo para suelo rural.

**Tabla 7-92 Valores relación de Bowen**

USO DEL SUELO	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	PROMEDIO
Agua	1,5	0,1	0,1	0,1	0,45
Bosque Deciduo	1,5	0,7	0,3	1	0,875
Bosque de Coníferas	1,5	0,7	0,3	8	0,825
Tierra Cultivada	1,5	0,3	0,5	0,7	0,75
Pastizales	1,5	0,4	0,8	1	0,925
Desierto	6	3	4	6	4,75

#### ➤ Rugosidad superficie

Ase define como la altura sobre el suelo en el que la velocidad del viento tiende a cero. Entre más grande es el valor más grande es la turbulencia generada.

Al igual que para las variables anteriores, se tomó el valor por defecto para suelo rural.

**Tabla 7-93 Valores rugosidad de superficie**

USO DEL SUELO	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	PROMEDIO
Agua	0,0001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bosque Deciduo	0,5	1	1,3	0,8	0,9
Bosque de Coníferas	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Tierra Cultivada	0,01	0,03	0,2	0,05	0,0725
Pastizales	0,001	0,05	0,1	0,01	0,04025
Desierto	0,15	0,3	0,3	0,3	0,2625

### 7.7.11 Estimación de contaminantes atmosféricos

Uno de los métodos utilizados para la estimación de posibles emisiones que puedan ser generadas durante el desarrollo del proyecto en el APE COR 15, por la utilización de materias primas, insumos y combustibles para el proceso de perforación exploratoria es el factor de emisión.

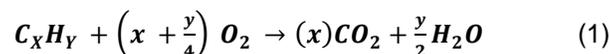
Mediante el inventario de emisiones se caracterizan y consolidan las emisiones de contaminantes atmosféricos, de acuerdo con el tipo de fuente, cantidad de contaminantes emitidos en un área geográfica y en un intervalo de tiempo determinado. Los inventarios de emisiones son instrumentos indispensables en los procesos de gestión de calidad del aire y toma de decisiones, pues son el punto de partida para la implementación, evaluación y ajuste de programas y medidas de control, tendientes a mejorar la calidad del aire.

#### ➤ Proceso de Formación de los Contaminantes - Combustión

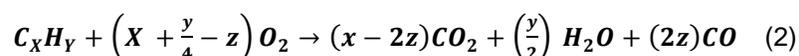
La combustión es el proceso en el que un combustible es oxidado en una reacción exotérmica con el oxígeno del aire. Como se presentará más adelante los contaminantes atmosféricos emitidos a la atmósfera en el APE COR 15 provienen principalmente de procesos de combustión que ocurren en fuentes fijas como teas y generadores eléctricos. La combustión puede ser completa o incompleta.

En la combustión completa todo el carbono en el combustible se convierte en CO<sub>2</sub>, todo el hidrógeno se convierte en H<sub>2</sub>O, y de haber azufre todo se convierte en SO<sub>2</sub>. Por su parte, en la combustión incompleta parte del combustible no se quema y, por no darse la oxidación total de los compuestos, se generan sustancias como C, H<sub>2</sub>, CO y el OH. La reacción balanceada para ambos tipos de combustión de alcanos de la forma (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) se presenta a continuación.

#### Combustión completa



#### Combustión incompleta



Cabe aclarar que la combustión es incompleta cuando no hay suficiente suministro de oxígeno, esto se presenta cuando no se da una buena mezcla entre el combustible y el oxígeno dentro de la

cámara de combustión y por las disociaciones que se presentan cuando se manejan altas temperaturas de operación.

Es importante establecer que, en el proceso de combustión, se generan sustancias adicionales a las ya presentadas por la presencia de impurezas en el combustible utilizado o por las condiciones bajo las cuales se lleva a cabo el proceso, estas pueden ser:

- **Hidrocarburos Totales (HCT):** Las emisiones de hidrocarburos están relacionadas con el fenómeno de enfriamiento de la llama debido al contacto con superficies frías; en donde, una fracción del combustible no es quemada de manera completa.
- **Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>):** Las emisiones de este contaminante provienen de actividades en las que se genere consumo de combustible con contenido de azufre. En presencia de oxígeno el azufre se oxida a dióxido de azufre.
- **Neblina ácida o trióxido de azufre expresados como H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:** La concentración de trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>) generada en el proceso de combustión depende del equipo utilizado. Por lo general las concentraciones de este compuesto se encuentran directamente relacionadas con la concentración de azufre en el combustible y la de oxígeno en la cámara de combustión. Usualmente, se toma que la concentración de SO<sub>3</sub> corresponde entre el 0.5% y el 2% de la concentración de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Cuando la corriente de gas se enfría el trióxido de azufre rápidamente se convierte en ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).
- **Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>):** Los óxidos de nitrógeno son los gases de la forma NO<sub>x</sub> entre los que se encuentra el monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). A altas temperaturas el nitrógeno reacciona con el oxígeno para formar los óxidos de nitrógeno. Los óxidos de nitrógeno generados a partir del nitrógeno atmosférico son denominados NO<sub>x</sub>-térmicos pues se generan en las zonas de alta temperatura dentro de la cámara de combustión; a su vez, los NO<sub>x</sub> generados a partir de residuos de nitrógeno en el combustible son los NO<sub>x</sub>-combustible. Se establece que una fracción significativa de los NO<sub>x</sub>-combustible permanece en la ceniza. [2]
- **Material Particulado:** El material particulado (MP) puede ser generado por descarga directa de fuentes o por la formación indirecta que involucra diferentes tipos de reacciones químicas. En general el MP resultado de procesos químicos presenta un tamaño menor a 1micra, mientras que el resultante de procesos es mayor. Debido a que el tamaño de las partículas determina los efectos sobre la salud que el material particulado pueda tener se tiene que la fracción respirable es menor a las 10 micras (PM<sub>10</sub>), las partículas finas son menores a las 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>) y las ultrafinas se encuentran por debajo de las 0.1 micras. La legislación sobre emisiones regula PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>.

### ➤ Descripción del Proceso

El APE COR 15 se encuentra localizado en el departamento de Boyacá, en los municipios de Betétiva, Busbanzá, Corrales y Tasco. El territorio está constituido por zona de montaña, en la zona central de la cordillera oriental. La superficie es húmeda, dura y rocosa.

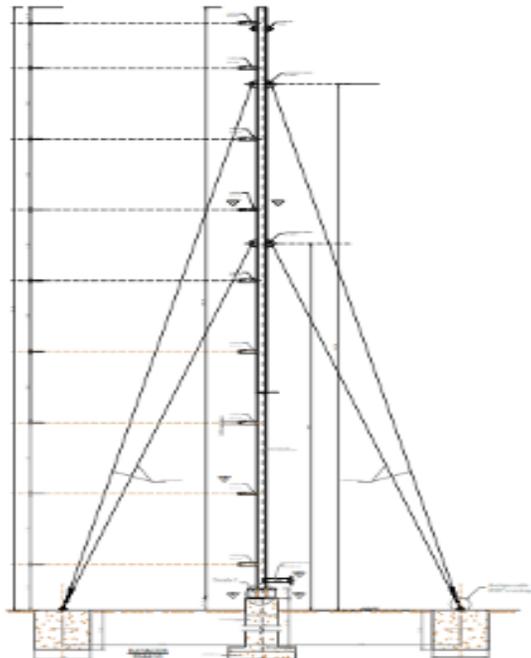
El desarrollo del proyecto requiere desarrollar la ingeniería y la instalación de plataformas multipozo, facilidades tempranas de producción con capacidad para procesar el fluido producido que se llegue a encontrar (gas o petróleo), las estaciones de recibo y transferencia de los fluidos y las vías de acceso para la movilización de los vehículos, maquinaria y carrotaques.

➤ **Localización Fuentes Fijas Puntuales**

Dentro de los equipos que se tendrán tanto en plataformas como en facilidades tempranas de producción están los generadores y los motores de maquinaria y vehículos que son los principales responsables de las emisiones de contaminantes a la atmósfera durante la perforación y las teas en las pruebas cortas y extensas de producción. Estos equipos se encuentran concentrados en dos puntos dentro del área de proceso.

✓ *Fuentes puntuales – Teas*

Para la etapa de desarrollo, como se mencionó anteriormente, se contará con tea para la quema de gas. Este equipo se instalará sobre placa impermeabilizada con un área suficiente para amortiguación de fugas de mínimo de 4 m de largo por 4 m de ancho provista de un dique perimetral de 15 cm de altura, plano o cóncavo, con drenaje hacia una caja trampa de grasas. La trampa contará con una válvula de cierre a fin de controlar cualquier contingencia y de manera que, en caso de presentar aguas con algún contenido de aceites, sea posible conectar a un sistema de bombeo que las conduzca hacia el sistema de tratamiento de aguas industriales.



**Figura 7-103 Vista De Tea De 15 Metros De Altura**  
*Fuente: MAUREL & PROM COLOMBIA B.V., 2012*

✓ *Fuentes puntuales – Generadores eléctricos diesel*

Se puede establecer que cuentan con generadores de 125 kVA cada uno. El punto de quema de gas estará a una altura no inferior de 15 m y ajustado al cálculo de volumen de gas a quemar, velocidad de salida y condiciones ambientales locales.

➤ **Emisión de Contaminantes Usando el Método de Factores de Emisión**

El método de factores de emisión es un indicador que permite relacionar la cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera con una corriente del proceso, o actividad que puede ser

medida con facilidad. Específicamente, este factor emisión representa la tasa de emisión del contaminante de interés expresado como el peso del contaminante dividido por la unidad (peso, volumen, distancia, tiempo) de la actividad responsable de la emisión.

### ➤ Factores de Emisión en Fuentes Fijas Puntuales

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA-por sus siglas en inglés) publicó hace más de 30 años el documento “AP 42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors” el cual contiene los factores de emisión y la información de proceso de más de 200 categorías de fuentes de emisión.

Cabe aclarar que los factores manejados en dicho documento se encuentran jerarquizados según su confiabilidad siendo los tipos A excelentes, los B mejor que el promedio y así sucesivamente hasta el tipo E que es considerado deficiente; lo anterior debe tenerse en cuenta al momento de evaluar los resultados de emisión de contaminantes encontrados por el método de factores de emisión. En este estudio el AP-42 fue utilizado para establecer los factores de emisión de las fuentes puntuales de emisión: calderas y generadores eléctricos.

Una vez se tienen los factores de emisión ( $F_e$ ) para un contaminante específico, la ecuación permite calcular el valor total de las emisiones a la atmósfera teniendo en cuenta la frecuencia de la actividad y la presencia o no de equipos para el control de emisiones.

$$E = F_e \times A \times \left(1 - \frac{E_R}{100}\right) \quad (3)$$

Donde,

E Emisiones  
 $F_e$  Factor de emisión  
 A Taza de Actividad  
 $E_r$  Eficiencia de la reducción de emisión

#### ✓ Generadores Eléctricos Diesel

Se ubicarán generadores eléctricos diesel en las plataformas, en el área de proceso y en la zona de alojamiento. La EPA presenta los factores de emisión de este tipo de equipos para los óxidos de nitrógeno (NOx), carbono orgánico total (TOC) el monóxido de carbono (CO) y el material particulado (PM), en una base de libras por caballos/hora. Cabe aclarar que los factores de emisión presentados en la **Tabla 7-94** son válidos para motores con más de 600 HP.

**Tabla 7-94 Factores De Emisión Motores Diesel Grandes (Generadores Eléctricos)**

Pollutant	Emission Factor (lb/hp-hr) (power output)	Diesel Fuel	
		Emission Factor (lb/MMBtu) (fuel input)	EMISSION FACTOR RATING

Pollutant	Emission Factor (lb/hp-hr) (power output)	Diesel Fuel Emission Factor (lb/MMBtu) (fuel input)	EMISSION FACTOR RATING
NO <sub>x</sub> Uncontrolled	0.024	3.2	B
Controlled	0.013 <sup>c</sup>	1.9 <sup>c</sup>	B
CO	5.5 E-03	0.85	C
SO <sub>x</sub> <sup>d</sup>	8.09 E-03S <sub>1</sub>	1.01S <sub>1</sub>	B
CO <sub>2</sub> <sup>e</sup>	1.16	165	B
PM	0.0007 <sup>c</sup>	0.1 <sup>c</sup>	B
TOC (as CH <sub>4</sub> )	7.05 E-04	0.09	C
Methane	f	f	E
Nonmethane	f	f	E

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

#### a) Plataformas:

Como se mencionó anteriormente se asumió un total de 6 plataformas con generadores de 125 kVA. Utilizando la **Tabla 7-95** de factores de emisión y estableciendo que de los dos generadores instalados en cada plataforma uno es operativo las 24 horas del día y el otro se encuentra en stand by, se encontraron las emisiones totales de los contaminantes.

**Tabla 7-95 Resultados Emisiones Kg/Mes Para Los Generadores Eléctricos**

EMISIONES	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	PM
Factor Emisión (Kg/gal)	14.8	0.4	3.4	0.4
Emisiones por caldera (Kg/mes)	2,930.6	86.1	671.6	85.5
Emisiones totales (Kg/mes)	2,930.6	86.1	671.6	85.5
TOTAL (Ton/mes)	102,571	3,013.5	23,506	2,992.5

Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

#### b) Teas:

Las fuentes fijas de mayor impacto en el proyecto son las teas y los generadores eléctricos. Para las teas se encontró que el mayor contaminante a ser emitido son los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) mientras que para los generadores eléctricos se estableció que serían los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

Debido a que el mayor contaminante a ser emitido en las teas son los óxidos de

### 7.7.12 Resultados Modelo de Dispersión

#### ➤ Etapas Línea Base

Para el escenario base se identificó en campo una (1) fuente de emisión asociada al tránsito vehicular de la vía principal que conecta los cascos urbanos de Sogamoso y Corrales (aforo vehicular que se evidencia en el anexo 3). Vía pavimentada de aproximadamente 10 metros de ancho.

Las fuentes móviles que transitan por la vía son las tenidas en cuenta en el presente estudio, se tipificaron dos emisiones, la primera es la emisión propia de la combustión del vehículo y que sale por el ducto de escape o exostos y la segunda es el desgaste de la llanta y de los frenos.

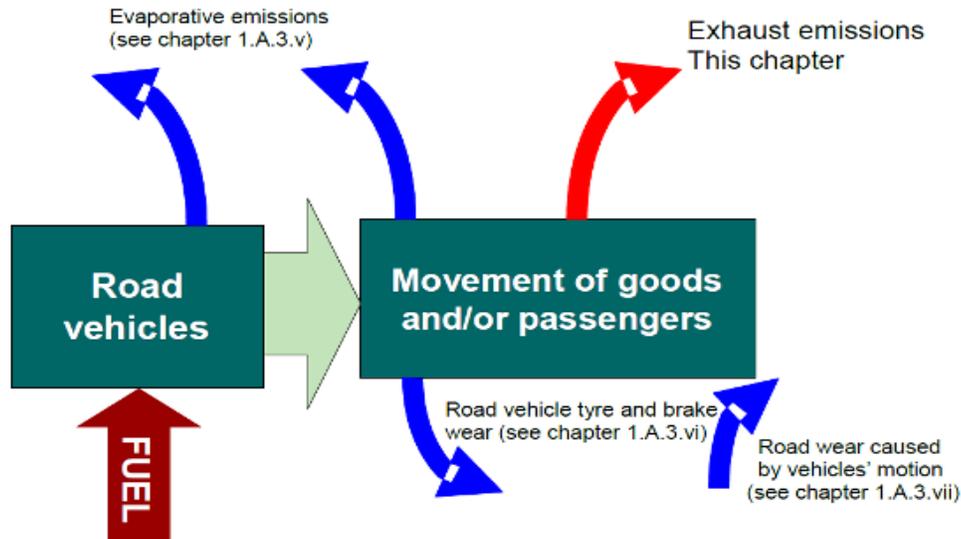


Figura 7-104 Diagrama de flujo emisiones por tráfico rodado

Fuente: EEA, 2017

La Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA por sus siglas en inglés) no proporciona factores de emisión para cada una de las categorías de emisión y diferenciadas por tipo de vehículo, es por esto que se dividió el flujo vehicular en las siguientes categorías:

Tabla 7-96 Homologación tipos de vehículos

TIPO DE VEHÍCULO	CARACTERÍSTICA
Passenger Cars	Son todo tipo de automóvil. Camioneta o SUV que transporta máximo 6 pasajeros incluido el conductor
Motos	Vehículos de dos ruedas – 4 tiempos
Buses	Vehículo usado para el transporte de pasajeros con más de 6 asientos
Light duty trucks	Vehículos usados para el transporte de mercancía con un peso máximo de 3,5 toneladas
Heavy duty vehicles	Vehículos usados para el transporte de mercancía que exceden las 3,5 toneladas

Para determinar el tráfico promedio diario que transita por los ejes viales se tomó en cuenta la información proporcionada por el cliente de aforos vehiculares y se homologó de acuerdo a lo estipulado por la EEA:

Tabla 7-97 Características fuentes lineales de emisión – Escenario 1

Vía	Passenger Cars	Motos	Buses	Light duty trucks	Heavy duty trucks	Longitud Vía	Ancho Vía
						km	m
Vía Línea Base	17482	5962	6381	8379	1515	28.4	10

Con el fin de identificar el aporte de contaminantes se procedió a determinar los factores de emisión, los cuales se presentan a continuación:

**Tabla 7-98 Factores de emisión fuentes móviles**

Tipo Vehículo	Combustión – Exosto <sup>a</sup>						Desgaste <sup>a</sup>	
	CO	VOC	NOX	CO2	PM10	SOX <sup>b</sup>	PM10	PM2.5
Passenger Cars	0.620	0.065	0.061	0.398	0.001	0.050	0.014	0.007
Motos	7.17	0.839	0.317	0.221	0.004	0.02	0.0064	0.0034
Buses	0.223	0.022	5.42	0.265	0.046	0.25	0.0064	0.0034
Light duty vehicles	0.375	0.035	0.831	0.398	0.041	0.69	12.7	0.0216
Heavy duty vehicles	0.105	0.010	3.830	0.486	0.024	0.970	0.059	0.032

a: Todos los valores están en g/km por vehículo

b: Para el SOx los valores fueron tomados del estudio realizado por el PNUMA y la TNT denominado "Modulo 18"

Al recopilar la información de la cantidad de vehículos y la longitud de la vía se puede inferir cuantos kilómetros son transitados al día y asociando este recorrido al factor de emisión se puede obtener cuantos gramos de contaminante se emiten diariamente en cada uno de los ejes viales evaluados, obteniendo el siguiente resultado:

**Tabla 7-99 Emisiones gramo por día fuentes móviles – Escenario 1**

Vía	Emisiones totales T/año						
	CO	VOC	NO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>
Vía Línea Base	606.0	3918.6	522.8	145.9	13.6	3.3	102.3

Para complementar el análisis de calidad de aire, se analizan los valores encontrados en el monitoreo de calidad de aire, como se muestra a continuación:

**Tabla 7-100 Concentraciones medias - estaciones calidad de aire**

Nombre	PM10 ug/m <sup>3</sup>	PM2.5 ug/m <sup>3</sup>	SO2 ug/m <sup>3</sup>
Estación 1	38.16	11.74	18.35
Estación 2	33.73	10.61	24.19
Estación 3	40.2	11.66	24.2
Estación 4	25.4	8.89	20.9
Estación 5	22.16	7.9	9.28
Estación 6	32.88	11.29	18.77

#### ➤ Etapa Construcción y Perforación Sin Medidas de Control

En la zona de estudio se tipificaron 21 fuentes fijas asociadas a 6 Plataformas y 1 Facilidad de Producción, cuyo objetivo es la generación de energía y la quema de gas de alivio.

**Tabla 7-101 Fuentes fijas objeto de estudio**

Equipo	Cantidad	Locación	Dd	Ha	T	Vs	Comb	Consumo
Generador RIG	6	Plataformas	0.4	5	840	13.2	DIESEL	80 gal/ hora
Generador Campamento	6	Plataformas	0.4	5	840	2.5	DIESEL	15 gal/ hora
Generador Sólidos	6	Plataformas	0.4	5	840	3.3	DIESEL	20 gal/ hora
Generador Campamento	1	Facilidades	0.4	5	840	2.5	DIESEL	15 gal/ hora
Generador de Equipos	1	Facilidades	0.4	5	840	8.3	DIESEL	50 gal/ hora
TEA	1	Facilidades	0.2	25	1100	0.5	GAS	0.05 MMscfd

De acuerdo al combustible se aplicaron los siguientes factores según el AP 42 de la EPA.

**Tabla 7-102 Factor de emisión combustión interna a diesel**

Contaminante	F.E lb/MMBTU	Rating
NOx	3.2	B
CO	0.85	C
PM <sub>10</sub>	0.0496	E
PM <sub>2.5</sub>	0.0476	E

AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 3: Stationary Internal Combustion Sources 3.4. Large Stationary Diesel And All Stationary Dual-fuel Engines

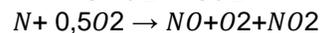
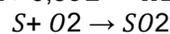
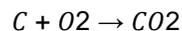
**Tabla 7-103 Factor de emisión TEA**

Contaminante	F.E lb/MMBTU	Rating
NOx	0.068	A
CO	0.31	A
PM	0.174	A

AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 13: Miscellaneous Sources Section 13.5. Industrial Flares  
<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/index.html>

En un balance de masas se representan las entradas y las salidas de un sistema con el fin de estimar de manera indirecta la emisión, empleando la ley de la conservación de la masa y ecuaciones básicas de combustión que se describen a continuación:

$$\text{Masa entra} + \text{Masa Generada} = \text{Masa sale} + \text{Masa Acumulada}$$



Según el Protocolo para el Control y la Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, un factor de emisión es la relación entre la cantidad de contaminante emitido por unidad de consumo de energía o combustible. Para el caso objeto de estudio, estos valores fueron seleccionados dependiendo de cada fuente, utilizando los factores de emisión descritos anteriormente.

Adicionalmente, para dar solución al balance se efectúan las siguientes suposiciones:

- *El material particulado es generado a partir de las cenizas presentes en el combustible.*
- *El azufre presente en el combustible reacciona en su totalidad para generar SO<sub>2</sub>.*
- *La totalidad del hidrógeno en el combustible se transforma en agua durante la combustión.*
- *Con el fin de dar precisión al balance, la emisión de material particulado y óxidos de nitrógeno son determinadas por factores de emisión.*
- *La fracción volumétrica de material particulado es insignificante frente al total de la mezcla de gases.*
- *Los gases se comportan como gases ideales.*

La siguiente tabla presenta las características del combustible utilizado:

**Tabla 7-104 Características Combustible**

Características	Gas Natural	Diesel
Densidad Combustible	0.0007 g/cm <sup>3</sup>	0.83 g/cm <sup>3</sup>
Capacidad Calorífica	1107.5 Btu/ft <sup>3</sup>	18000 Btu/lb

La composición de los combustibles utilizados se encuentra en la siguiente tabla, esta es tomada de bibliografía en razón a que no es suministrada.

**Tabla 7-105 Análisis ultimo Gas de alivio**

Elemento	%masa
N <sub>2</sub>	2.67
CO <sub>2</sub>	0.03
CH <sub>4</sub>	95.8
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.7
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.26
iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.16
nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.05
iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.04
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.02
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0.04
C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	0.02
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.01
C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0.03
C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	0.02
C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	0.01
H <sub>2</sub> S	0.018
O <sub>2</sub>	0.010

*Fuente: Gerencia de Gas-Ecopetrol, junio de 2004. Calidad de gases comercializados en Colombia*

Como resultado de la aplicación del balance de masas y los factores de emisión se obtuvieron los siguientes resultados de flujos máxicos de contaminantes:

**Tabla 7-106 Emisiones fuentes fijas - Escenario 2**

Equipo	Cantidad	Locación	Comb	Consumo	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO
Generador RIG	6	Plataformas	DIESEL	80 gal/ hora	4.02	0.07	0.06	0.06	1.07
Generador Campamento	6	Plataformas	DIESEL	15 gal/ hora	0.76	0.01	0.01	0.01	0.20
Generador Sólidos	6	Plataformas	DIESEL	20 gal/ hora	1.01	0.02	0.01	0.01	0.27
Generador Campamento	1	Facilidades	DIESEL	15 gal/ hora	2.51	0.04	0.04	0.04	0.67
Generador de Equipos	1	Facilidades	DIESEL	50 gal/ hora	0.75	0.01	0.01	0.01	0.20
TEA	1	Facilidades	GAS	0.05 MMscfd	0.02	0.01	0.05	0.05	30.13

*Fuente: Gerencia de Gas-Ecopetrol, junio de 2004. Calidad de gases comercializados en Colombia*

En este escenario se tipificaron los vehículos asociados a la construcción y perforación de las plataformas, los cuales se describen a continuación:

**Tabla 7-107 Resumen fuentes de emisión**

Etapas	Equipo	Frecuencia
Construcción	4 Volquetas	2 viajes/día/volqueta
	1 motoniveladora	6 horas/día
	1 vibrocompactador	5 horas/día
	2 Retroexcavadoras	6 horas/día
	1 Buseta	2 viajes/día
Perforación	Generador del Taladro	24 horas/día
	Generador del Campamento	24 horas/día
	Retroexcavadora	2 horas/día
	Montacargas	2 horas/día
	Carrotanque	2 viajes/día
	2 Volquetas	2 viajes/día
	1 Buseta	2 viajes/día
Pruebas de Producción	Generador del Campamento	5 horas/día
	Quema de Gas de Alivio	6 horas/día
	Carrotanques 4	2 viajes/día
	1 Buseta	2 viajes/día

*Fuente: Maurel & Prom Colombia B.V., 2019*

Las fuentes móviles que transitan por la vía son las tenidas en cuenta en el presente estudio, se tipificaron dos emisiones, la primera es la emisión propia de la combustión del vehículo y que sale por el ducto de escape o exhosto y la segunda es el desgaste de la llanta y de los frenos.

Para determinar el tráfico promedio diario que transita por los ejes viales se tomó en cuenta la información proporcionada por el cliente de aforos vehiculares y se homologó de acuerdo a lo estipulado por la EEA:

**Tabla 7-108 Características fuentes lineales de emisión – Escenario 2**

Vía	Passenger Cars	Motos	Buses	Light duty trucks	Heavy duty trucks	Longitud Vía	Ancho Vía
						km	m
Vía Línea Base + Operación	17482	5962	6393	8379	1559	28.4	10
Vía Plataformas			12		44	1	4

Al recopilar la información de la cantidad de vehículos y la longitud de la vía se puede inferir cuantos kilómetros son transitados al día y asociando este recorrido al factor de emisión se puede obtener cuantos gramos de contaminante se emiten diariamente en cada uno de los ejes viales evaluados, obteniendo el siguiente resultado:

**Tabla 7-109 Emisiones gramo por día fuentes móviles**

Vía	Emisiones totales T/año						
	CO	VOC	NO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>
Vía Línea Base + Operación	606.1	3926.0	525.2	146.1	13.6	3.3	102.7
Vía Plataformas	0.003	0.260	0.085	0.009	0.002	0.001	0.017

➤ **Etapas Construcción y Perforación Con Medidas de Control**

Para este escenario se tienen en cuenta las mismas emisiones del ESCENARIO 2, sin embargo, se realiza una restricción de operación para las fuentes móviles ÚNICAMENTE asociadas a la construcción y perforación. Para los equipos asociados a las fuentes fijas NO se tienen contempladas medidas de control.

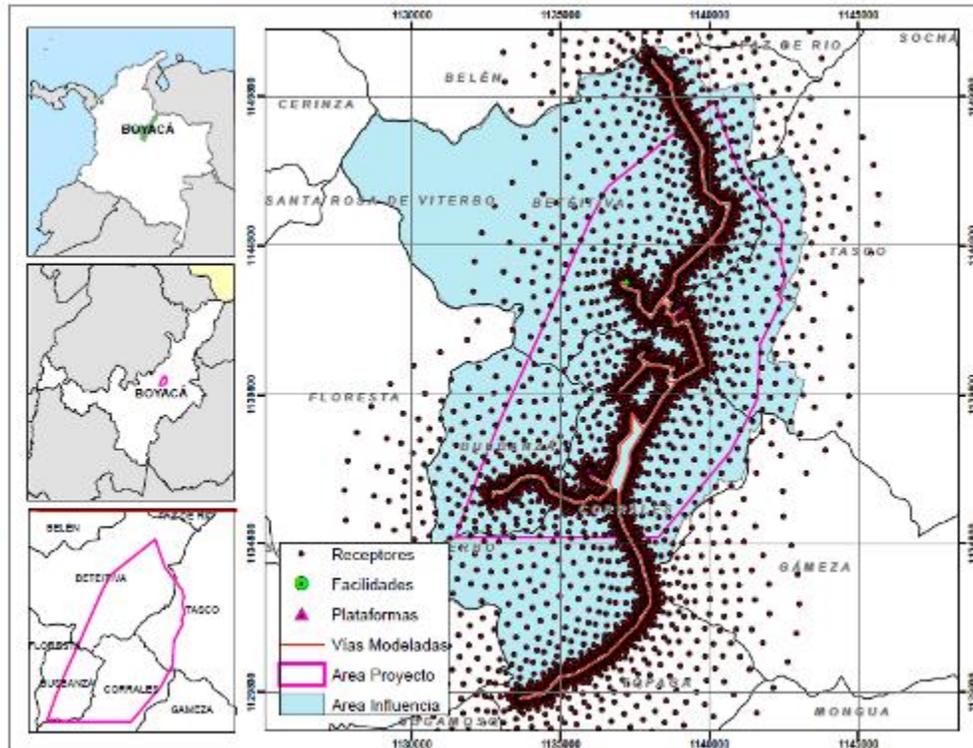
➤ **DISEÑO MODELO DE DISPERSIÓN**

Con la información procesada y completa, se corrieron los siguientes modelos:

Contaminante	Anual	24 Horas	8 Horas	1 Horas
PM <sub>10</sub>	X	X		
PM <sub>2.5</sub>	X	X		
NO <sub>2</sub>	X			X
SO <sub>2</sub>		X		X
CO			X	X

Conforme a los procedimientos metodológicos establecidos por la legislación ambiental colombiana el Ozono (O<sub>3</sub>) no se modela por ser una sustancia de interés fotovoltaico.

Se creó una grilla con un total de 4400 receptores abarcando una distancia de 5 kilómetros de las fuentes de emisión, como se muestra en la **Figura 7-105**.



**Figura 7-105 Receptores dominio de modelación**

## ➤ RESULTADOS

### ○ Etapa Línea Base

Para la línea base se dividió el análisis en dos, el primero la modelación de la vía tipificada y el segundo en la espacialización de los monitoreos de calidad de aire.

### ✓ Material Particulado $PM_{10}$

Para el material particulado  $PM_{10}$ , se evidencia que el impacto por la vía es considerable, con resultados máximo 24 horas y anual que no superan los límites normativos.

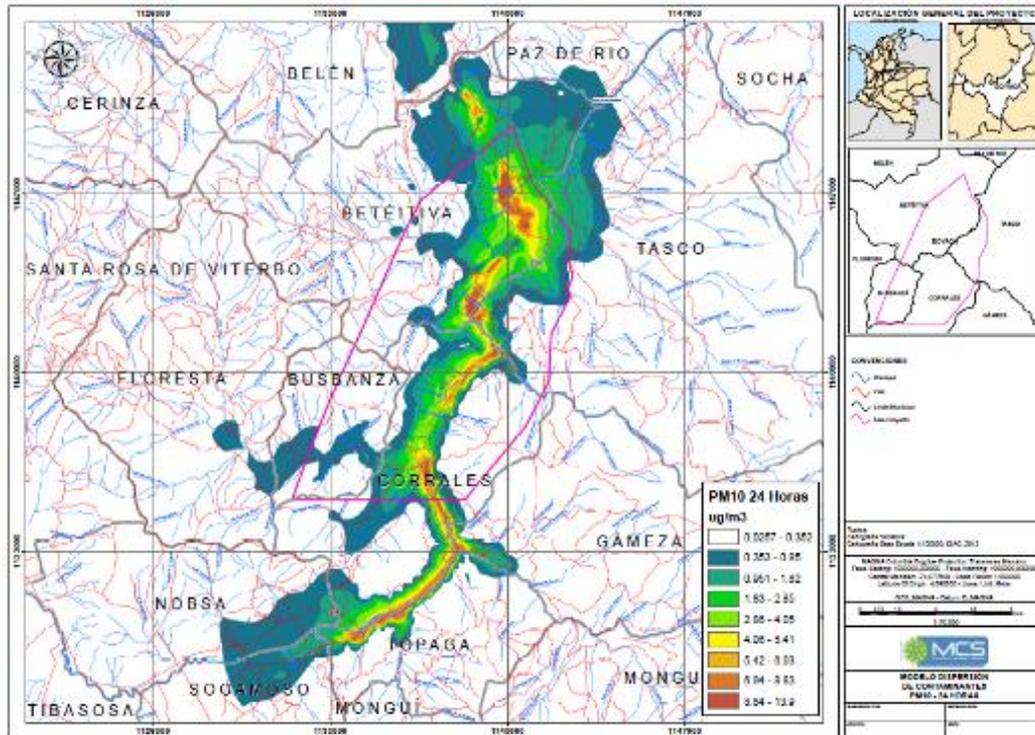


Figura 7-106 Modelo de dispersión de contaminantes PM10 24 horas – línea base

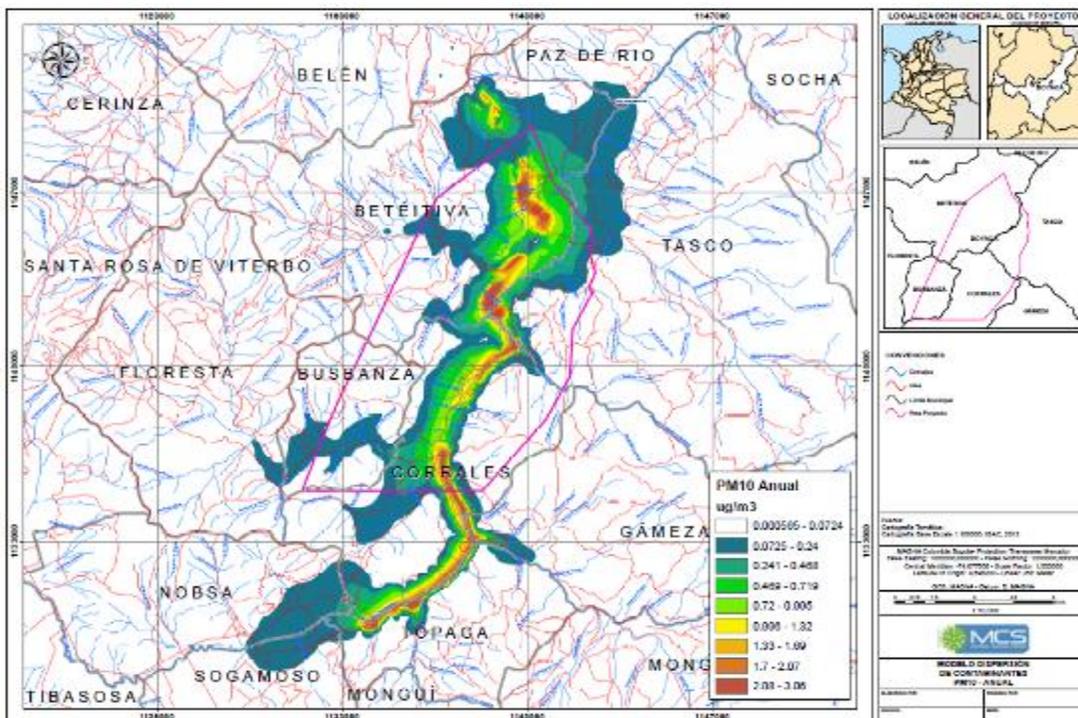


Figura 7-107 Modelo de dispersión de contaminantes PM10 anual – línea base

Para complementar el análisis se presentan las Isoplethas de PM10 asociadas al monitoreo realizado en la zona, este monitoreo es de la totalidad de la zona para determinar la concentración de fondo y evidenciar el escenario más crítico en la zona.

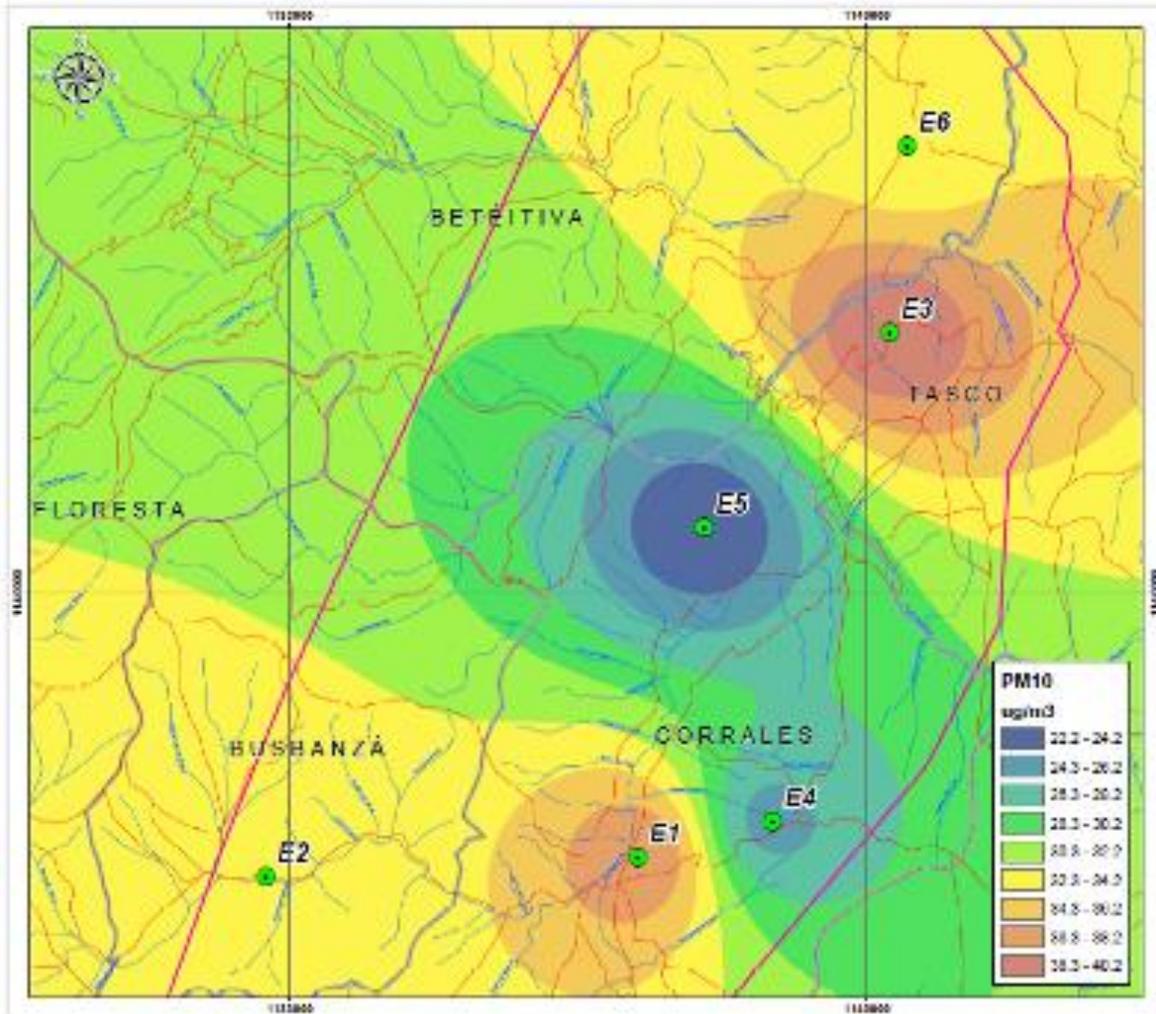


Figura 7-108 Isoplethas PM10 - línea base

Se observa que como concentración de fondo se puede asumir la concentración media máxima atribuida a la Estación 1, con un valor de 53.4 ug/m<sup>3</sup>.

✓ *Material Particulado PM<sub>2.5</sub>*

Para el material particulado PM<sub>2.5</sub>, se evidencia que el impacto por la vía es mínimo, con resultados máximo 24 horas y anual que no superan los límites normativos.

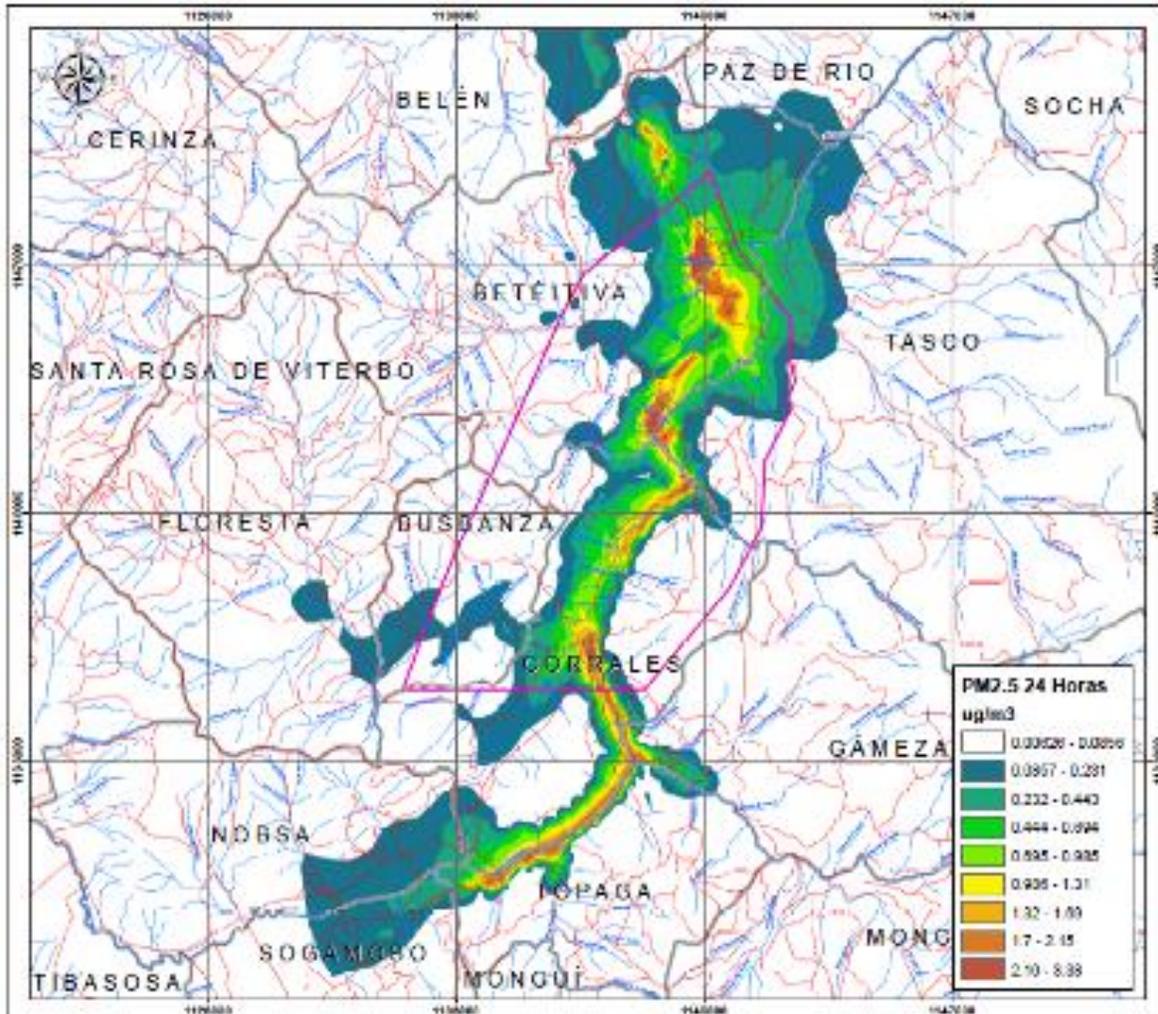


Figura 7-109 Modelo de dispersión de contaminantes PM2.5 24 horas – línea base

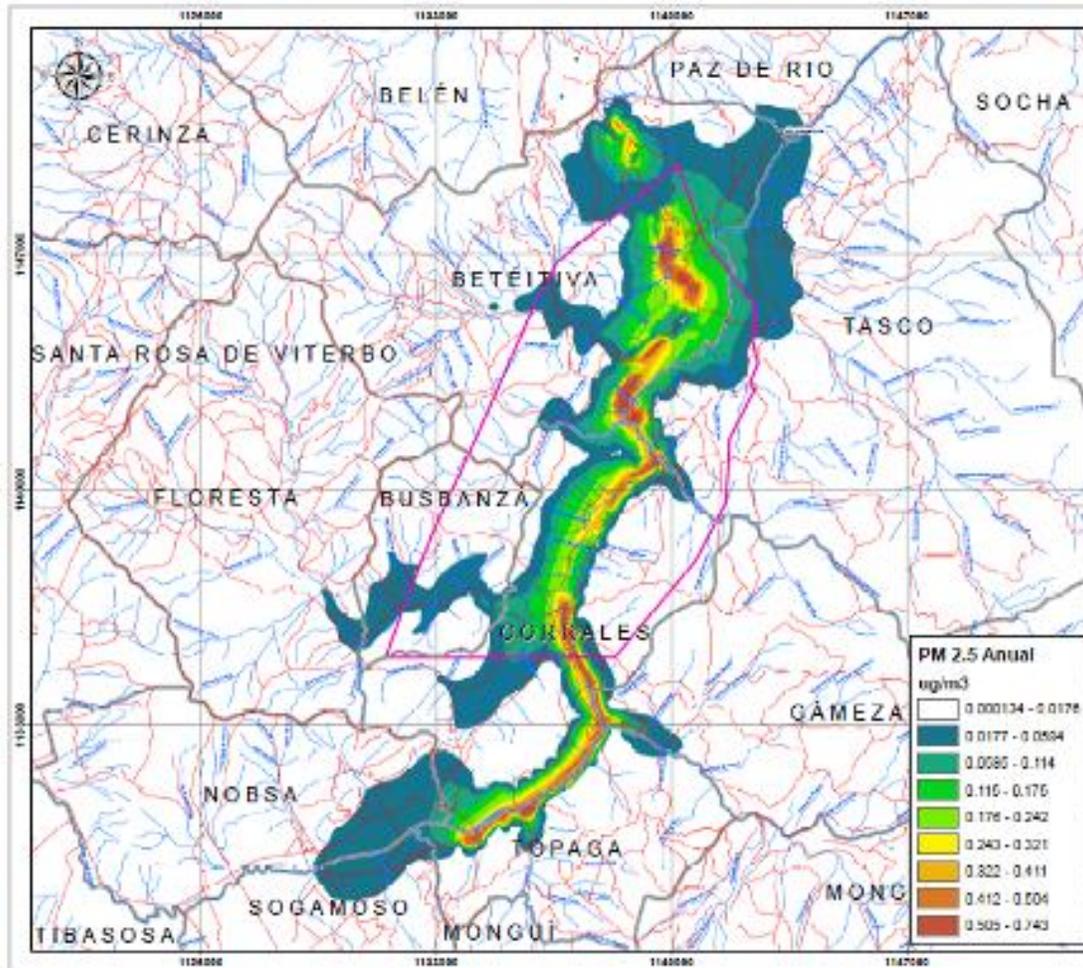


Figura 7-110 Modelo de dispersión de contaminantes PM2.5 Anual – línea base

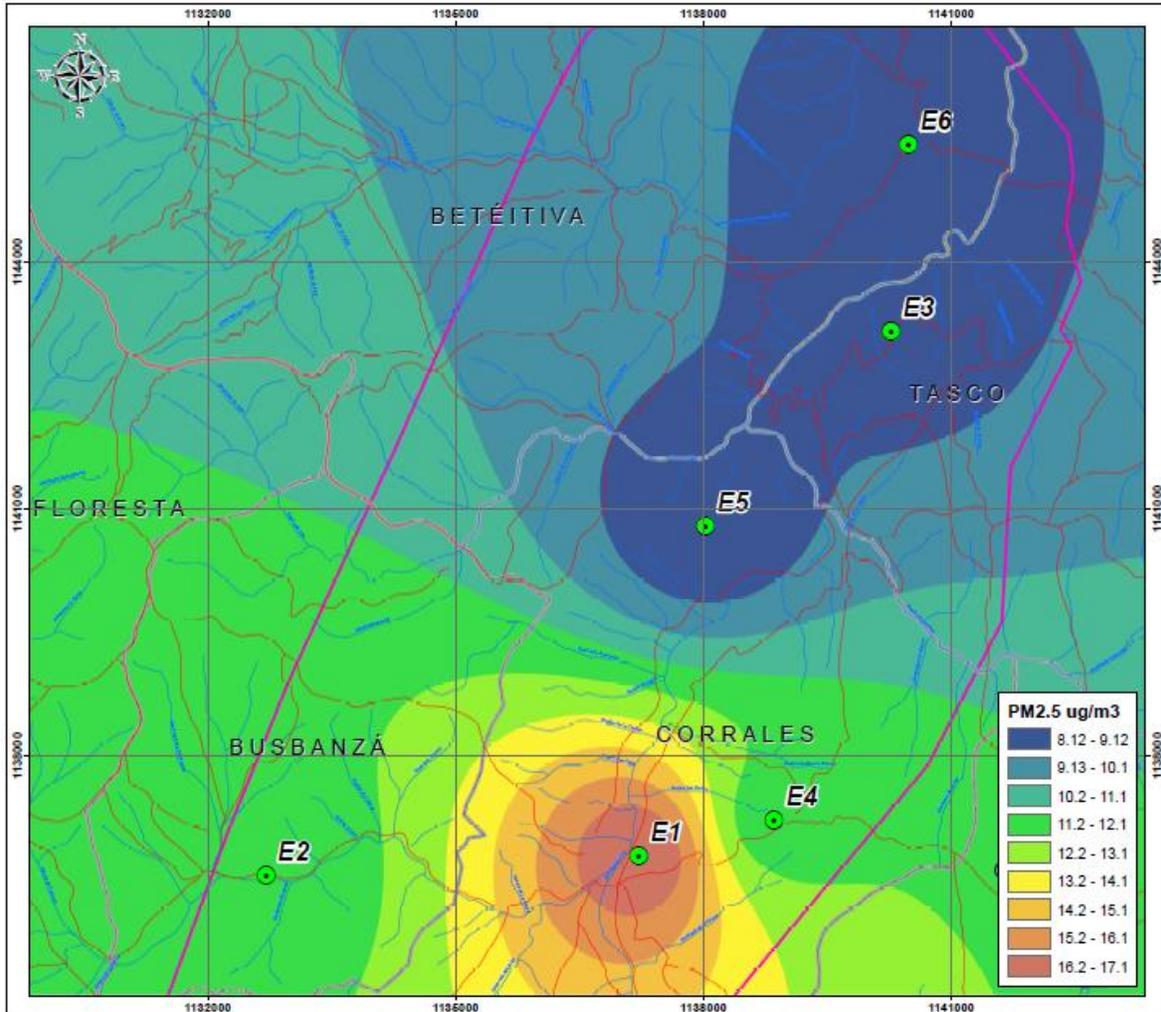


Figura 7-111 Isopletas PM2.5 - línea base

Al igual que PM10, para este contaminante la concentración de fondo es asumida como la máxima concentración promedio medida, asociada a la estación 1 con un valor de 17.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

✓ *Dióxido de Nitrógeno NO<sub>2</sub>*

Para el NO<sub>2</sub>, se observa que, debido al gran volumen vehicular, los niveles de concentración son considerables, sin embargo, siempre por debajo de los límites expuestos en la Resolución 2254 de 2017.

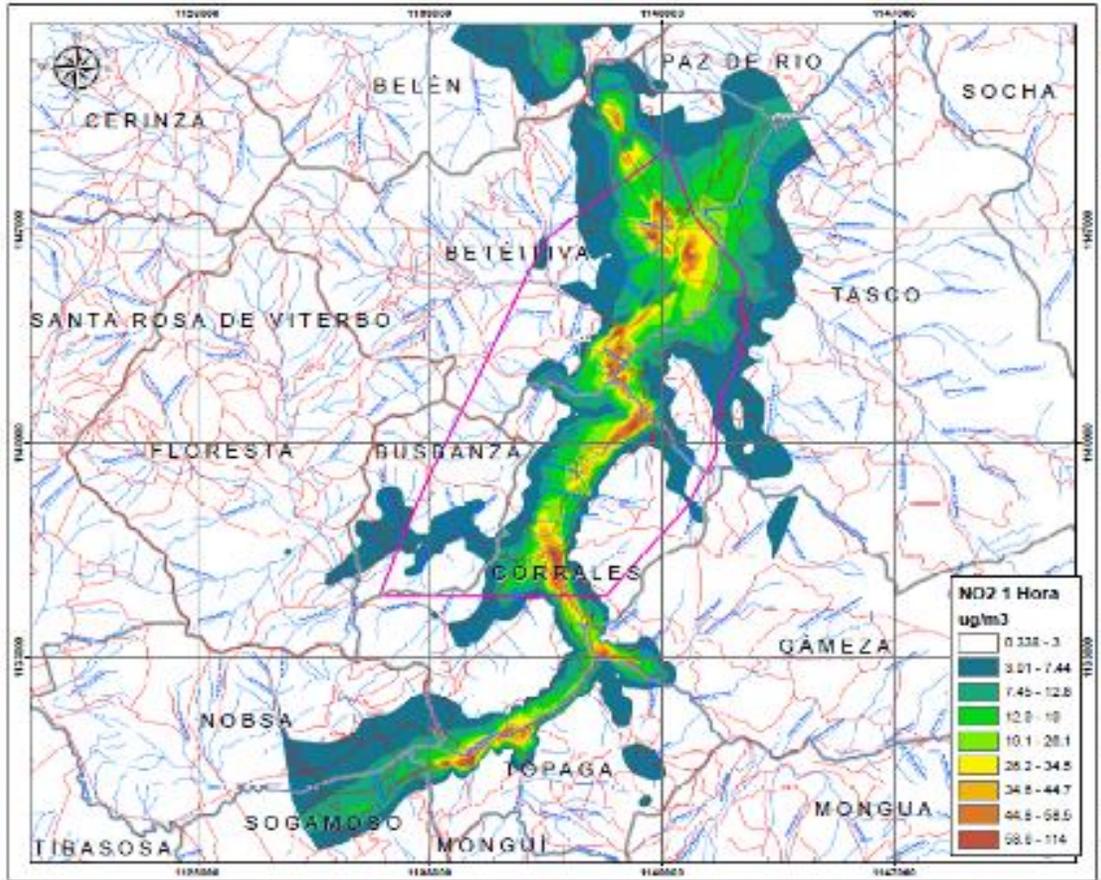


Figura 7-112 Modelo de dispersión para NO2 1 hora – Línea Base

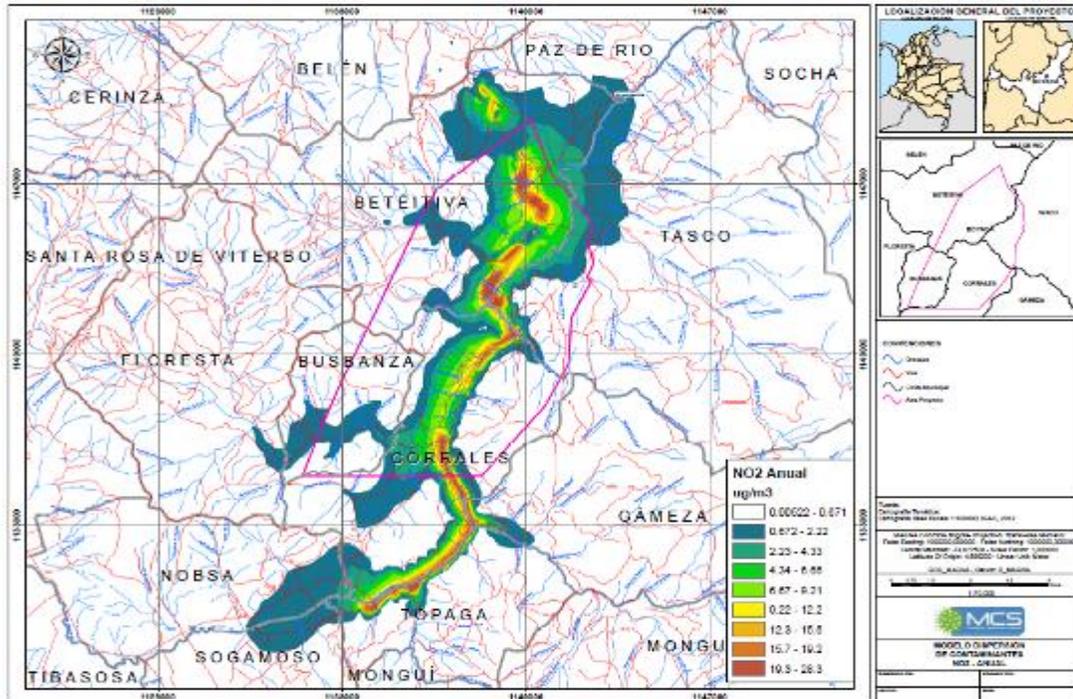


Figura 7-113 Modelo de dispersión para NO2 anual – Línea Base

✓ *Dióxido de Azufre SO<sub>2</sub>*

El dióxido de azufre en línea base se asocia al gran flujo vehicular en la zona, sin embargo, los valores de concentración resultado del modelo, evidencia un cumplimiento normativo.

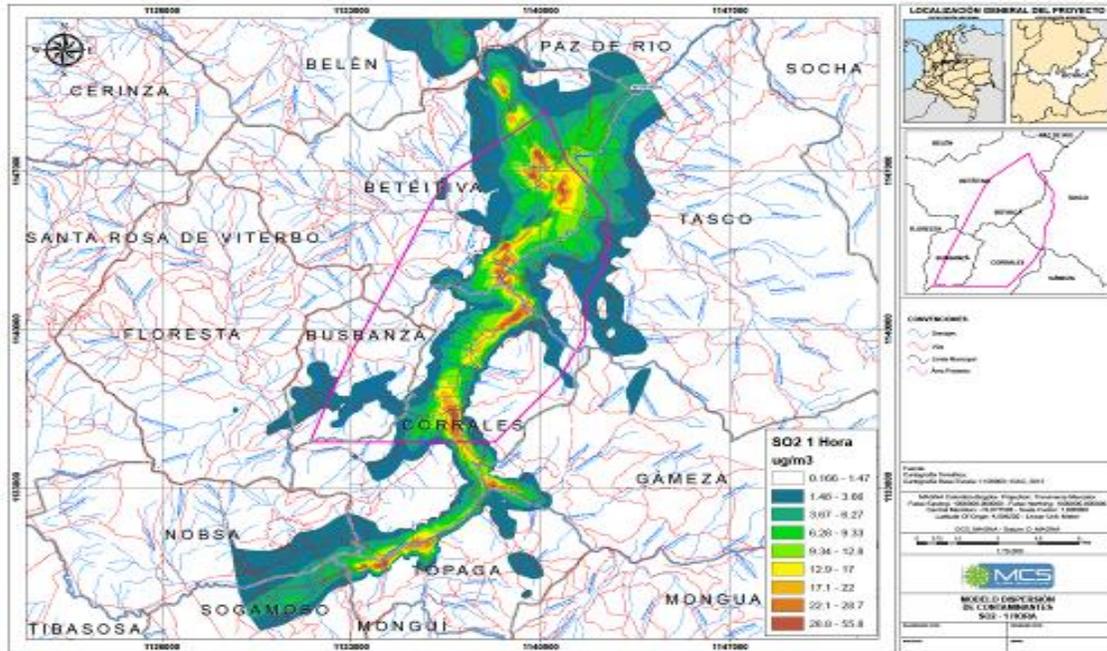


Figura 7-114 Modelo de dispersión de contaminantes para SO<sub>2</sub> 1 hora - Línea Base

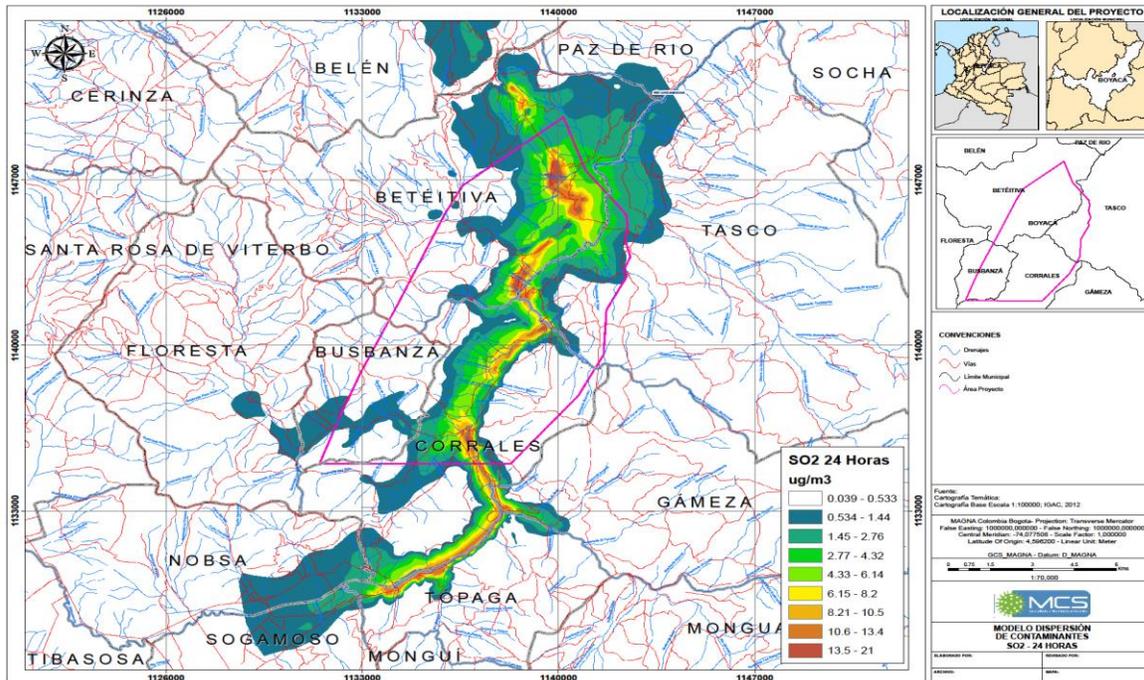


Figura 7-115 Modelo de dispersión de contaminantes para SO<sub>2</sub> 24 horas - Línea Base

✓ Monóxido de Carbono CO

El monóxido de carbono es evidentemente el contaminante más emitido en etapa de Línea Base, lo anterior de nuevo debido al alto flujo vehicular, sin embargo, los resultados máximos de inmisión NO superan los límites expuestos en la Resolución 2254 de 2017.

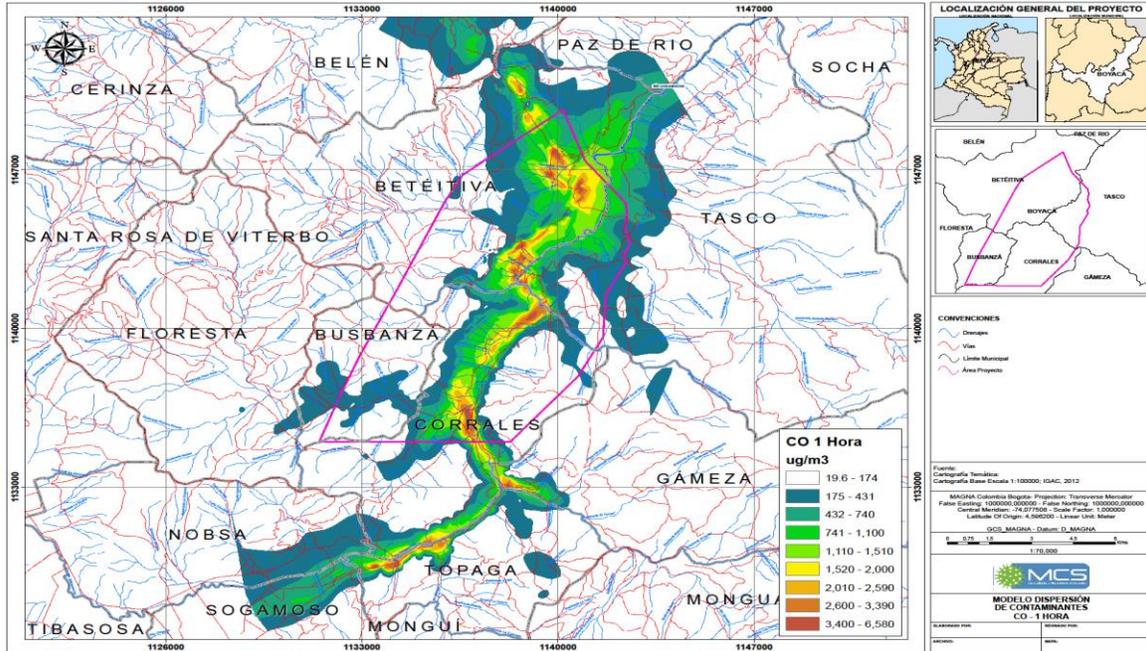


Figura 7-116 Modelo de dispersión de contaminantes para CO 1 hora - Línea Base

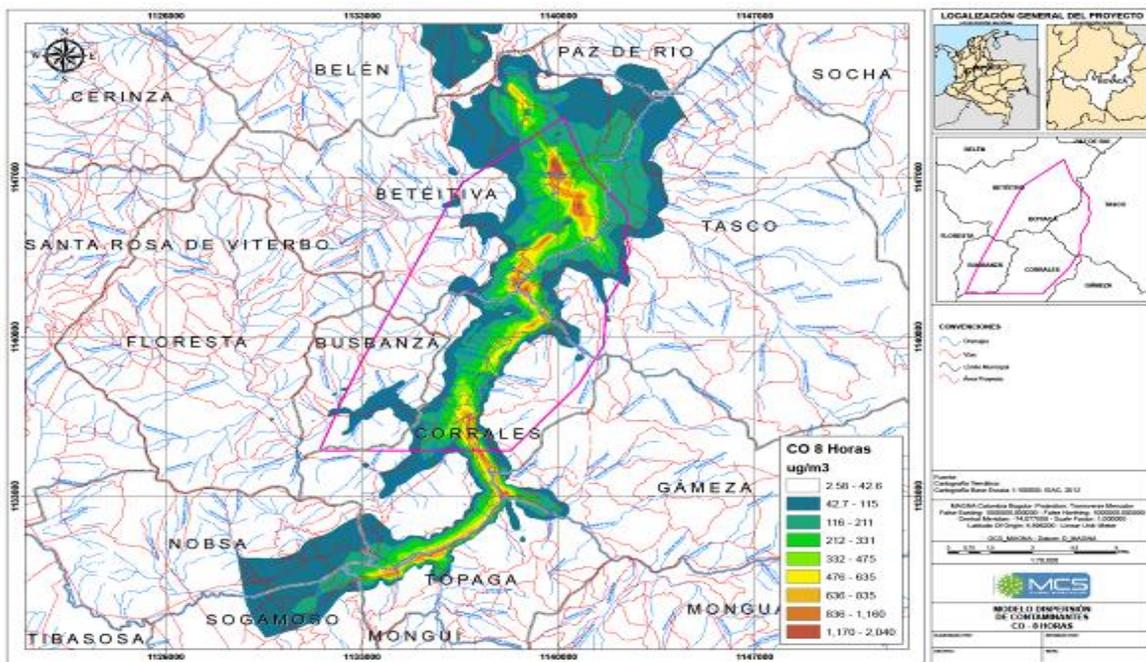
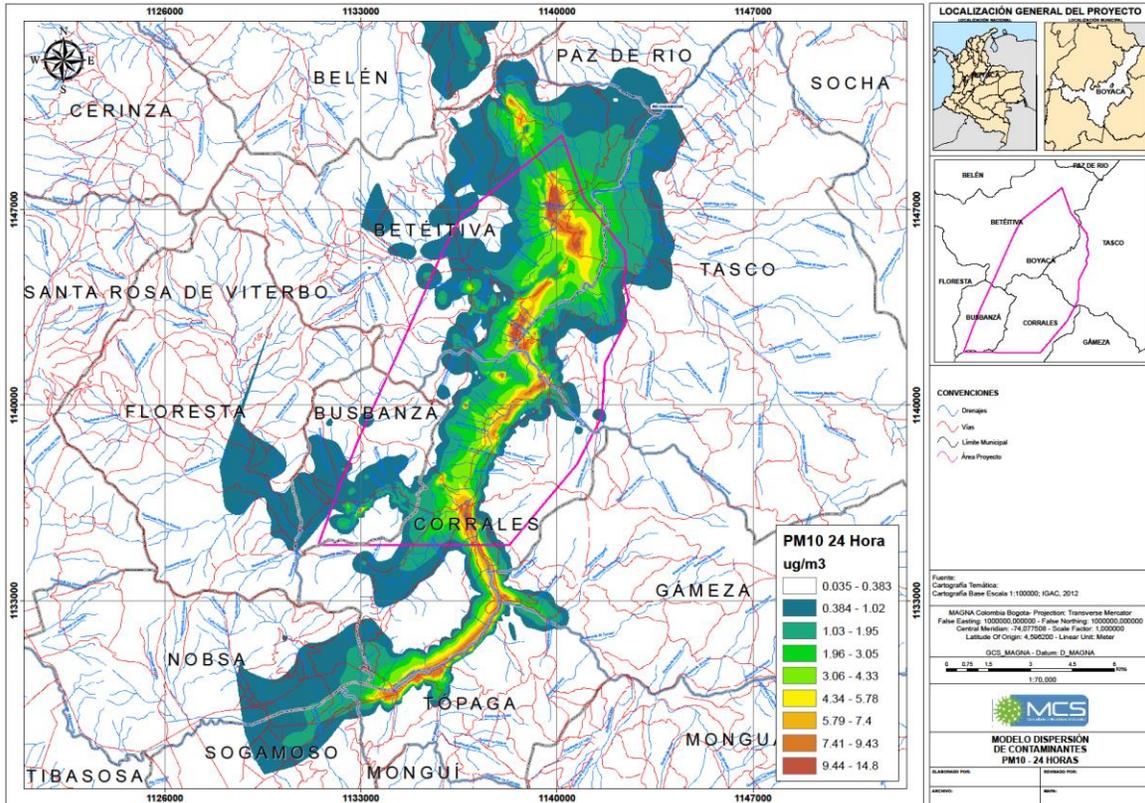


Figura 7-117 Modelo de dispersión de contaminantes para CO 8 horas - Línea Base

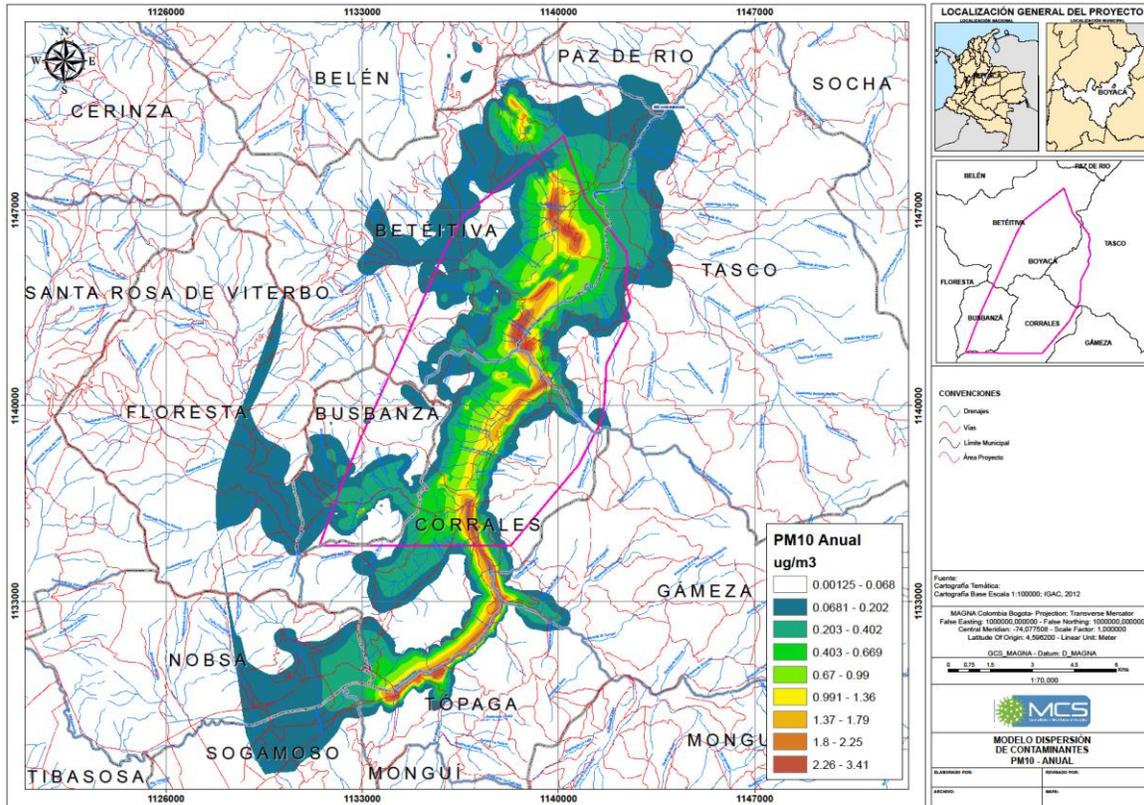
➤ **Etaa Construcción y Perforación Sin Medidas de Control**

- *Material Particulado PM<sub>10</sub>*

Se evidencia la injerencia de la dirección y velocidad del viento en la dispersión del contaminante, por otro lado, la entrada en operación de la construcción y perforación simultanea de 6 plataformas y 1 facilidad de producción evidencia el aumento de la concentración. Sin embargo, NO se sobrepasa los límites normativos expuestos en la Resolución 2254 de 2017.



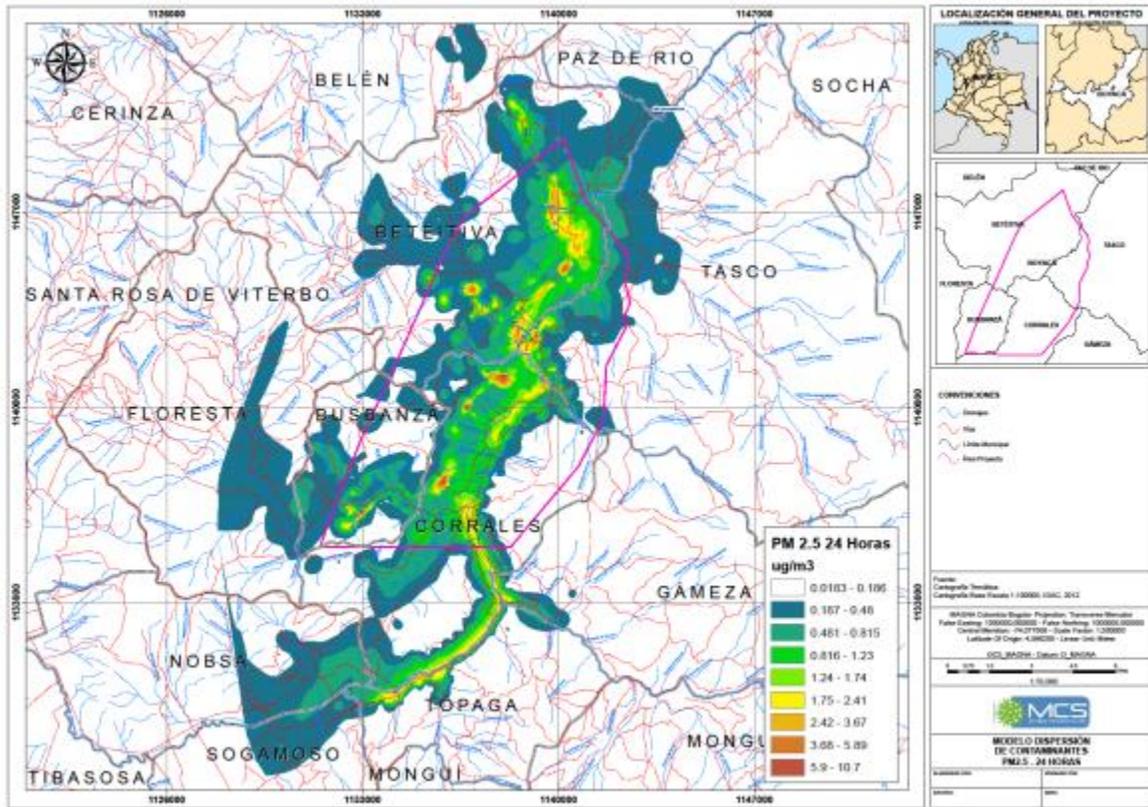
**Figura 7-118 Modelo de dispersión de contaminantes PM10 24 horas – sin medidas de control**



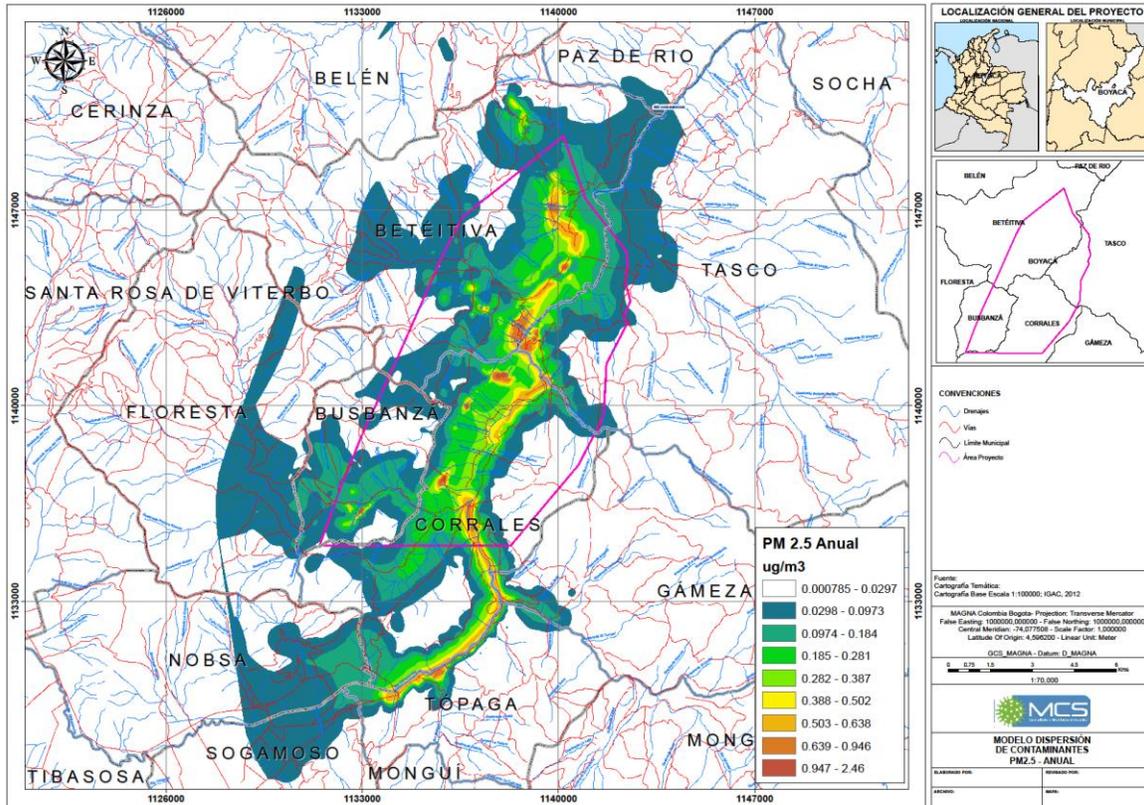
**Figura 7-119 Modelo de dispersión de contaminantes PM10 anual – sin medidas de control**

- *Material Particulado PM<sub>2.5</sub>*

Las emisiones de PM<sub>2.5</sub> son evidentemente menores a las de PM<sub>10</sub> y al observar los resultados del Escenario 2 se evidencia el aumento de la concentración, sin embargo, se encuentran por debajo de los límites expuestos en la Resolución 2254 de 2017.



**Figura 7-120 Modelo de dispersión de contaminantes PM2.5 24 horas – sin medidas de control**



**Figura 7-121 Modelo de dispersión de contaminantes PM2.5 anual – sin medidas de control**

- *Dióxido de Nitrógeno NO<sub>2</sub>*

Es evidente el incremento en la concentración anual, sin embargo, los resultados máximos NO superan los límites expuestos en la Resolución 2254 de 2017.

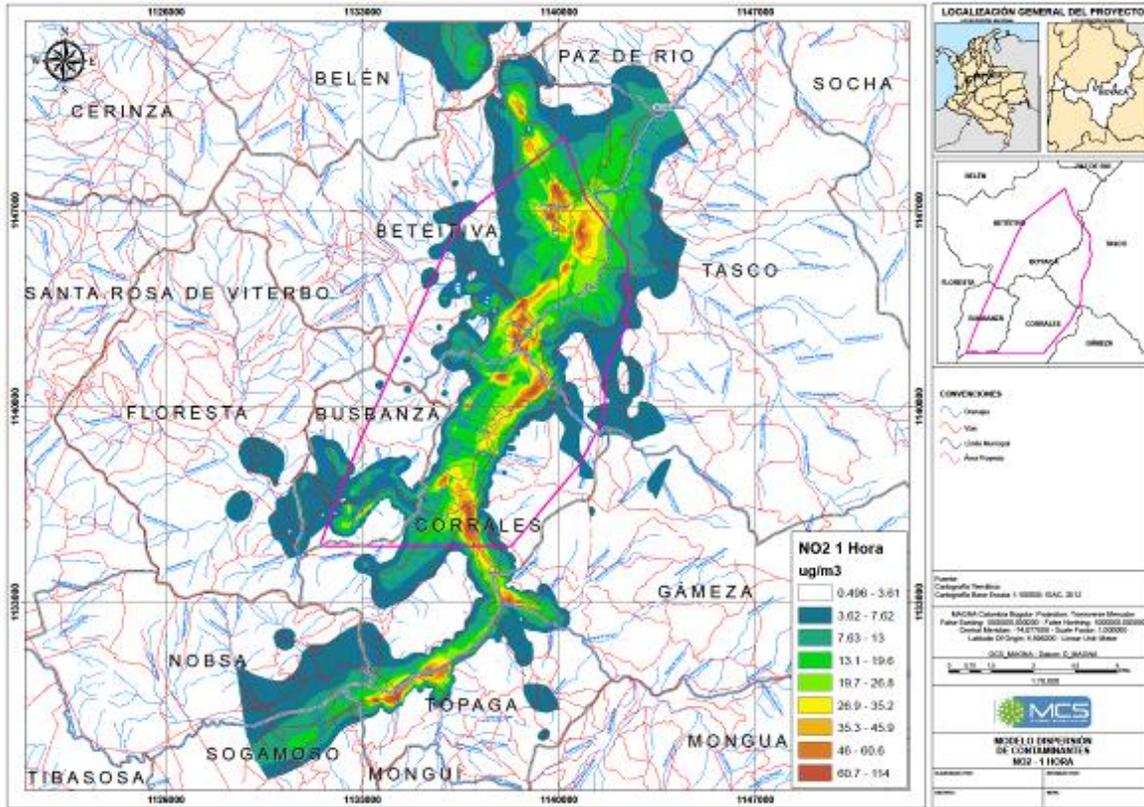
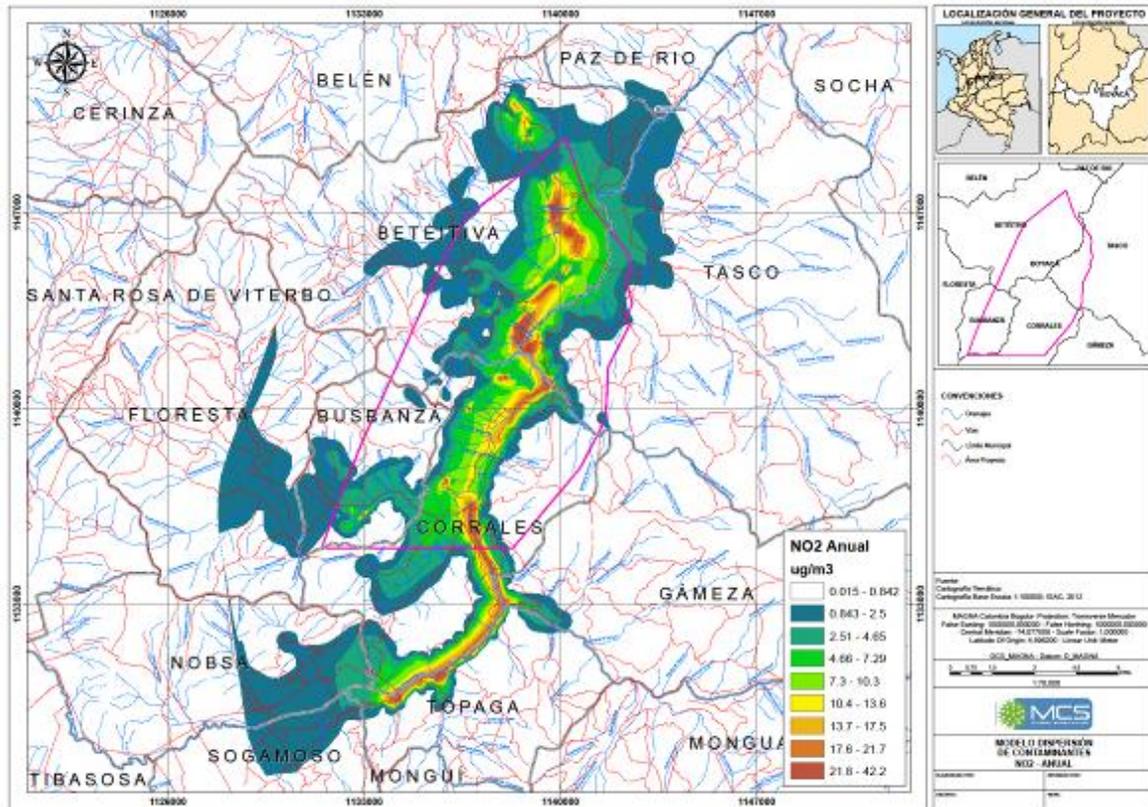


Figura 7-122 Modelo de dispersión de contaminantes NO2 1 hora – sin medidas de control



**Figura 7-123 Modelo de dispersión de contaminantes NO2 anual – sin medidas de control**

- *Dióxido de Azufre SO<sub>2</sub>*

Para este contaminante al igual que para NO<sub>2</sub> el aumento en las concentraciones es mínimo y el resultado NO supera los límites expuestos en la Resolución 2254 de 2107.

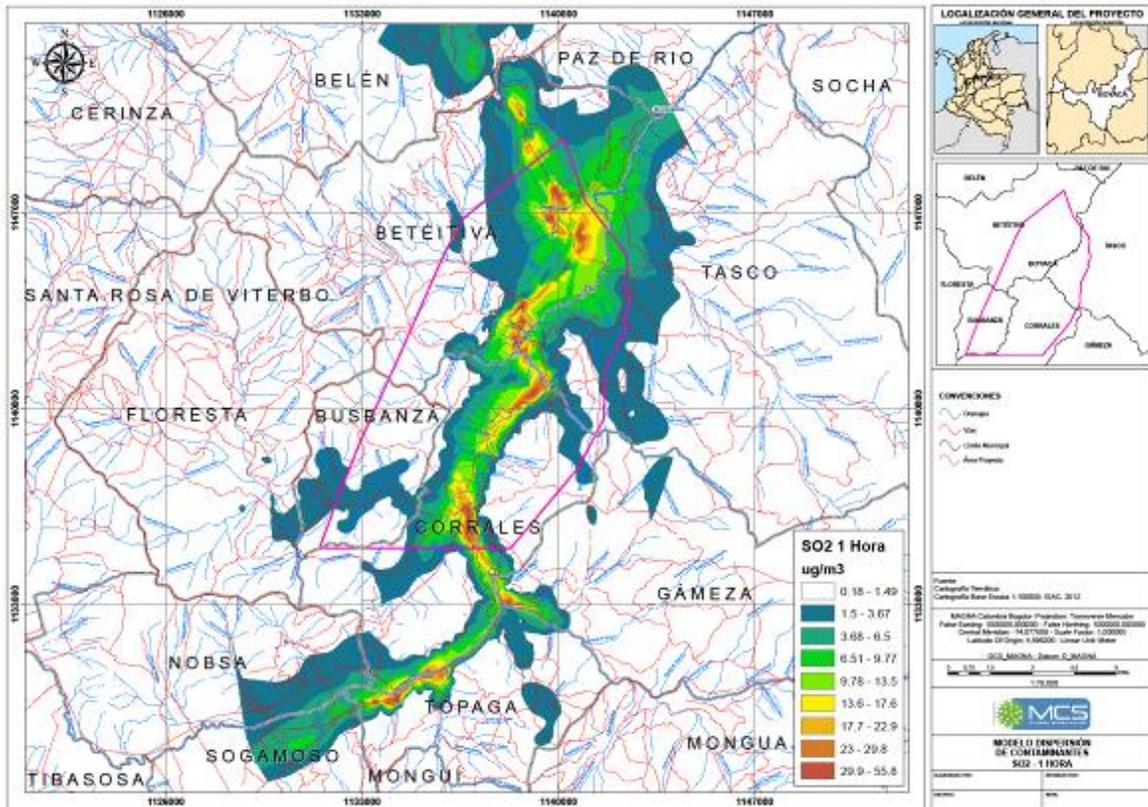


Figura 7-124 Modelo de dispersión de contaminantes SO2 1 hora – sin medidas de control

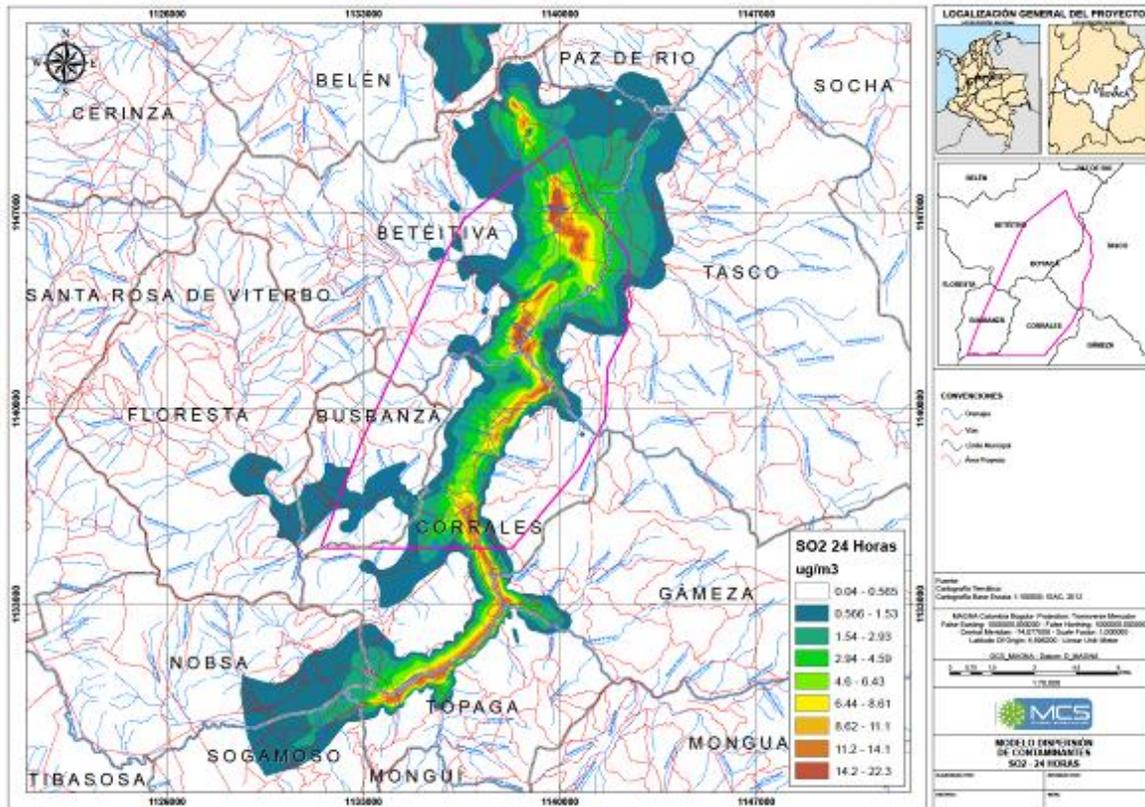


Figura 7-125 Modelo de dispersión de contaminantes SO2 24 horas – sin medidas de control

- Monóxido de Carbono CO

A diferencia de los contaminantes evaluados en este escenario, el aumento de CO respecto a la línea base es considerable, sin embargo, las concentraciones máximas resultantes en el modelo NO superan los límites permisibles expuestos en la Resolución 2254 de 2017.

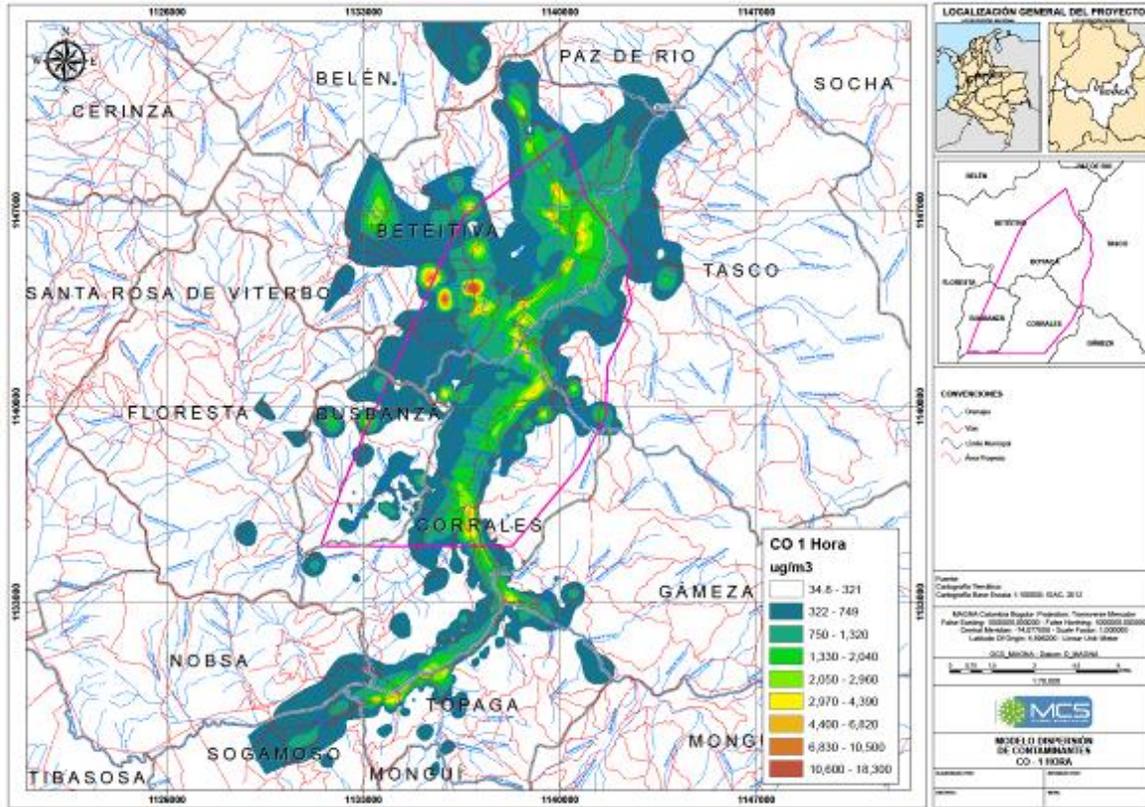
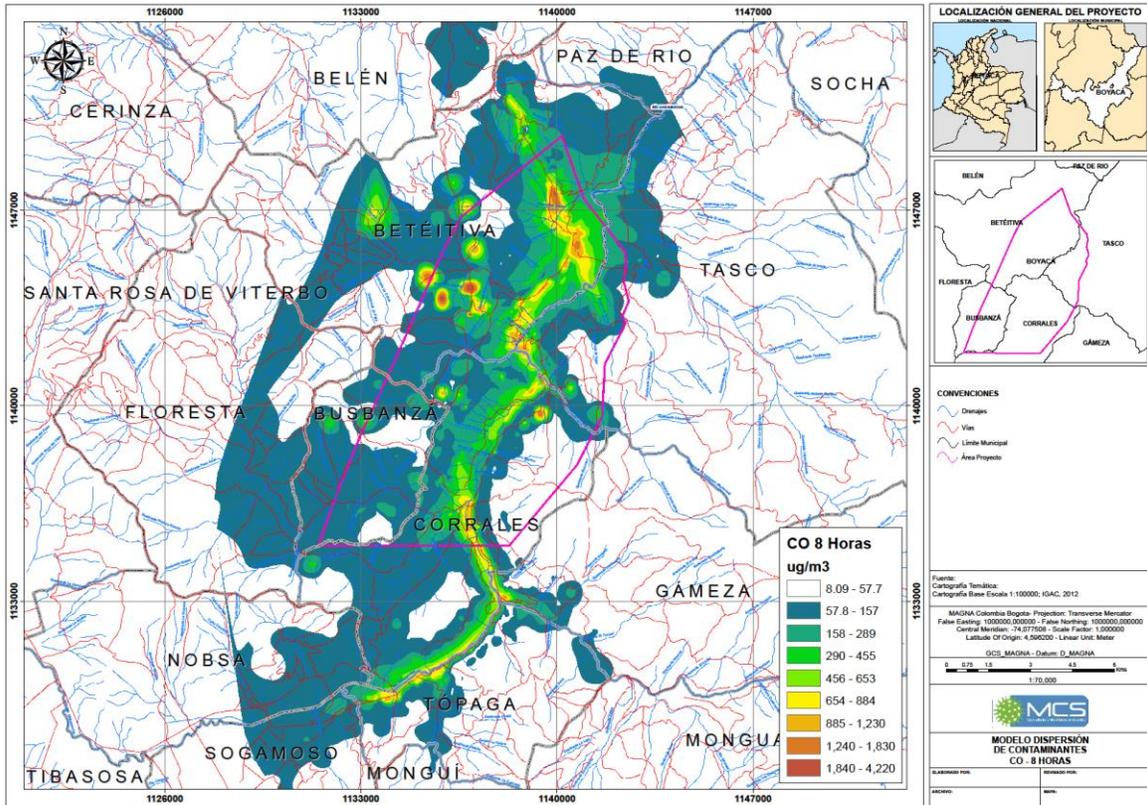


Figura 7-126 Modelo de dispersión de contaminantes CO 1 hora – sin medidas de control



**Figura 7-127 Modelo de dispersión de contaminantes CO 8 horas – sin medidas de control**

➤ **Etapas Construcción y Perforación Con Medidas de Control**

Para este escenario se tuvo en cuenta las mismas emisiones que en el Escenario 2, sin embargo, se restringió el tráfico vehicular de la OPERACIÓN en horas nocturnas, esto conlleva a que los resultados de inmisión disminuyeran, sin embargo, NO en todos los contaminantes, tal como se muestra a continuación:

- *Material Particulado PM<sub>10</sub>*

Para el PM<sub>10</sub> la concentración en tiempo de exposición anual paso de 3.4 ug/m<sup>3</sup> a 3.2 ug/m<sup>3</sup>, debido a la restricción vehicular, valores muy bajo que NO suponen una afectación a las comunidades aledañas.

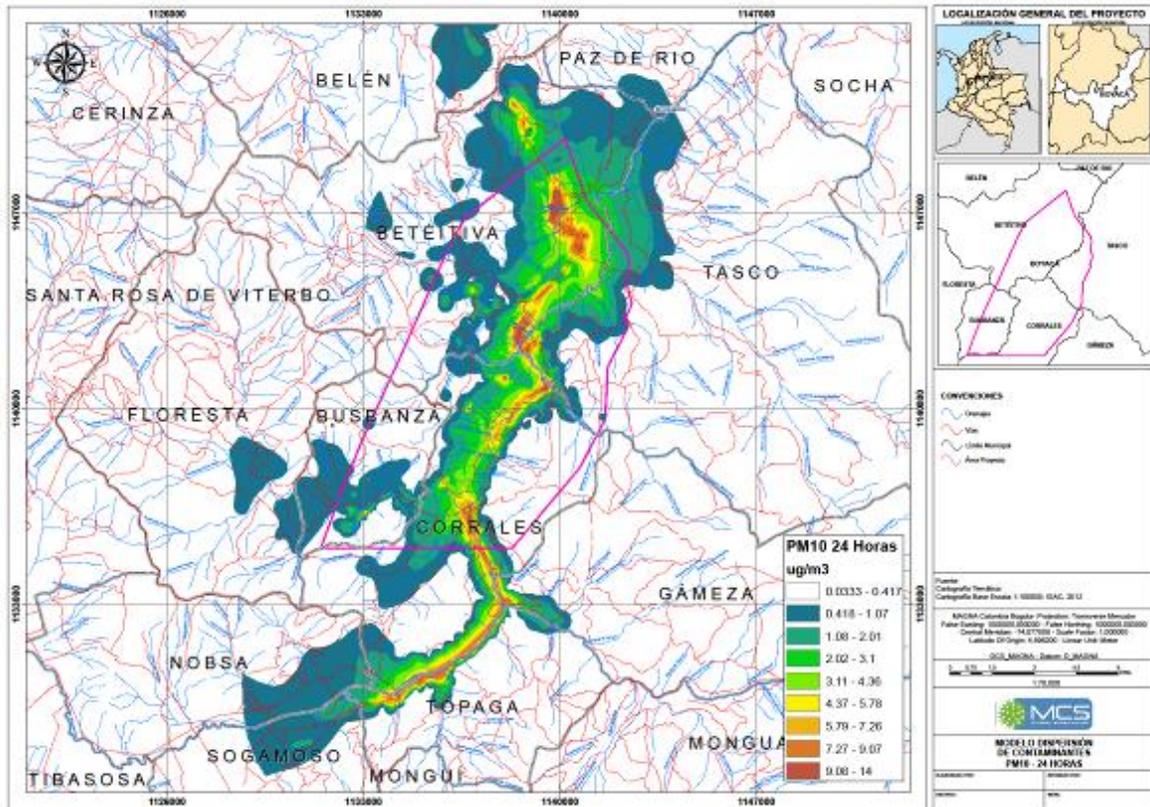


Figura 7-128 Modelo de dispersión de contaminantes PM10 24 horas – con medidas de control

- Dióxido de Azufre  $SO_2$

Para el  $SO_2$  la disminución con la medida de mitigación disminuye la concentración 24 horas de 22.3 a 21.2  $ug/m^3$ .

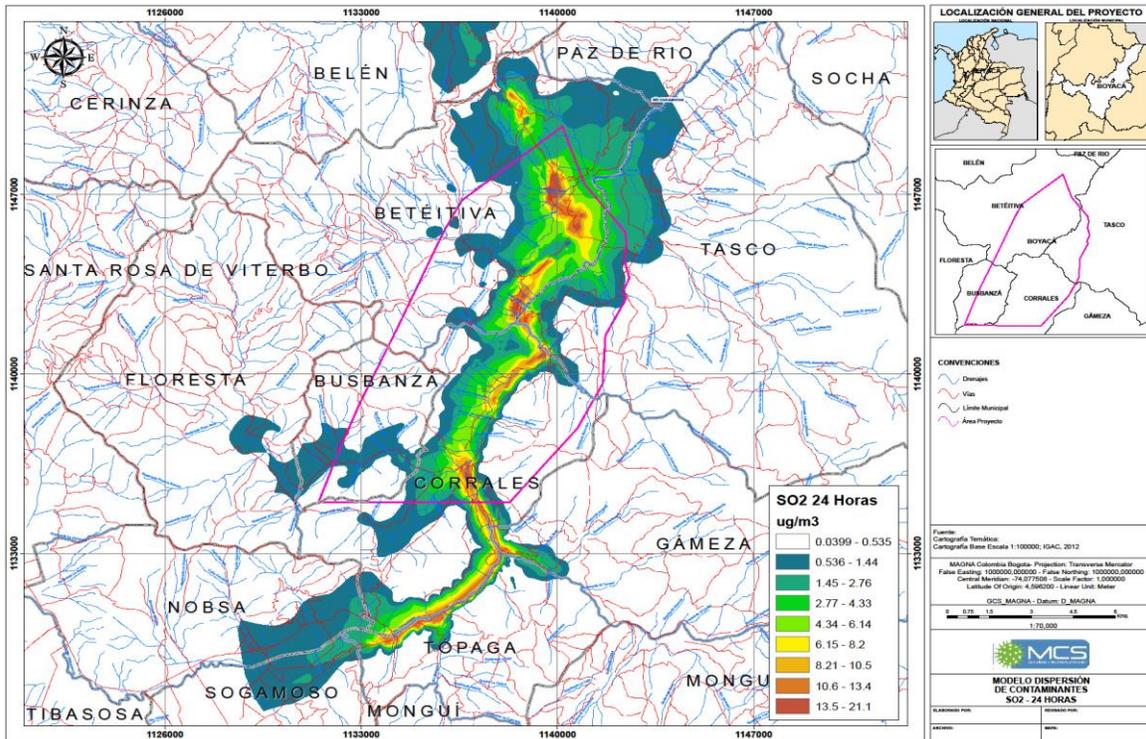


Figura 7-129 Modelo de dispersión de contaminantes SO2 24 horas – con medidas de control

### ➤ Análisis de Resultados

Los resultados de los tres escenarios se resumen en la **Tabla 7-110**.

**Tabla 7-110 Resultados modelación - Concentraciones máximas**

CONT.	T. EXPOSICIÓN	LÍNEA BASE	ESCENARIO SIN MEDIDAS DE CONTROL	ESCENARIO CON MEDIDAS DE CONTROL	LÍMITE NORMA*
		UG/M <sup>3</sup>	UG/M <sup>3</sup>	UG/M <sup>3</sup>	UG/M <sup>3</sup>
PM <sub>10</sub>	Anual	3.1	3.4	3.2	50
	24 horas	13.9	14.8	14	75
PM <sub>2.5</sub>	Anual	0.74	2.46	2.46	25
	24 horas	3.4	10.7	10.7	37
SO <sub>2</sub>	24 horas	21	22.3	21.2	50
	1 hora	55.8	55.8	55.8	100
CO	8 horas	2040	4220	4220	5000
	1 hora	6580	18300	18300	35000
NO <sub>2</sub>	Anual	28.3	42.2	42.1	60
	1 hora	114	114	114	200

Como se puede evidenciar en la tabla anterior, NINGUN ESCENARIO supera los límites expuestos en la Resolución 2254 de 2017, por ende, se asume que la CONSTRUCCIÓN y PERFORACIÓN de las 6 plataformas y la puesta en marcha de las facilidades de producción NO suponen una afectación a las comunidades aledañas.

Al complementar los resultados con la concentración de fondo resultante de las mediciones, se obtiene el siguiente resultado:

Con t.	T. Exposición	Escenario 2 - Sin Medidas de Control	Escenario 3 - Con Medidas de Control	Concentración de Fondo	Escenario 2 + Concentración de Fondo	Escenario 3 + Concentración de Fondo	Límite Norma*
		ug/m <sup>3</sup>	ug/m <sup>3</sup>	ug/m <sup>3</sup>	ug/m <sup>3</sup>	ug/m <sup>3</sup>	ug/m <sup>3</sup>
PM <sub>10</sub>	Anual	3.4	3.2				50
	24 horas	14.8	14	53.4	68.2	67.4	75
PM <sub>2.5</sub>	Anual	2.46	2.46				25
	24 horas	10.7	10.7	17.1	27.8	27.8	37
SO <sub>2</sub>	24 horas	22.3	21.2	19.9	38.9	41.1	50
	1 hora	55.8	55.8				100

Solo se analizan estos tres contaminantes con concentración de fondo debido a que son los únicos con tiempos de exposición 24 horas, que corresponden a la métrica de los monitoreos realizados. Es de aclarar que se midieron otros contaminantes (Ozono, HCT y COV) que no son objeto de modelación debido a su comportamiento en la atmosfera, por ejemplo, el ozono reacciona fotovoltáicamente, lo cual no hace posible su modelación bajo el software promulgado por la EPA.

Como se puede evidenciar, ningún contaminante evaluado adicionando la concentración de fondo, supera los límites permisibles, lo que supone una NO afectación por la construcción y perforación de las plataformas en estudio.

- Se evaluó la vía que conduce de Sogamoso a Corrales como la fuente de emisión más representativa en la zona, sin embargo, esta supone concentraciones elevadas pero que NO sobrepasan los límites normativos expuestos en la Resolución 2254 de 2017.
- Se determinaron las emisiones de 21 fuentes fijas asociadas a la construcción y perforación de 6 plataformas y facilidades de producción, al igual que el aporte de contaminantes de los vehículos de la operación, sin embargo, estas emisiones sumadas a la línea base NO suponen una afectación a las comunidades aledañas en su ESCENARIO MÁS CRITICO, lo anterior debido a que NO sobrepasan los límites expuestos en la Resolución 2254 de 2017.
- Se analizó la disminución de la concentración de la zona de estudio al aplicar una medida de control asociada a la restricción vehicular en horario nocturno, esto disminuye la inmisión, sin embargo, como en el ESCENARIO MAS CRITICO los límites no eran superados, en este escenario tampoco habría afectación a las comunidades aledañas.

### 7.7.13 Solicitud De Permiso

**MAUREL & PROM COLOMBIA B.V.**, solicita permiso de emisiones atmosféricas para la quema del gas generado en las pruebas de producción cortas y extensas en desarrollo del proyecto de perforación exploratoria en el APE COR 15, mediante teas que permitan la combustión completa a fin de controlar la emisión de material particulado y gases contaminantes, cumpliendo con las especificaciones del Artículo 40 del Decreto 02 de 1982, del Decreto 948 de 1995, del Decreto 979 de 2006 y de la Resolución 610 de 2.010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Dichas teas se ubicarán y contarán con la altura mínima, de conformidad con lo establecido en la normatividad vigente en materia de emisiones atmosféricas por fuentes fijas (Resolución 0909 de junio 5 de 2008).