

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	1
1. GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES	1
1.2.1 Ambientales	1
1.2.2 Sociales	4
1.3 ALCANCE	7
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	9
2.1 LOCALIZACIÓN	9
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO.....	11
3. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL ÁREA	13
3.1 ÁREA DE INFLUENCIA:	13
3.1.1 Área de influencia hidrogeológica	13
3.1.2 Área de influencia socioeconómica.....	16
3.2 MEDIO ABIÓTICO	21
3.2.1 Geología	21
3.2.2 Geomorfología.....	22
3.2.3 Suelos.....	23
3.2.4 Geotecnia	25
3.2.5 Hidrogeología	25
3.2.6 Climatológico	27
3.2.7 Hidrológico.....	29
3.2.8 Calidad del agua.....	33
3.2.9 Hidrobiológicos	54
3.2.10 Recurso aire	55
3.3 ASPECTOS BIÓTICOS	56
3.3.1 Flora	56
3.3.2 Fauna.....	58
3.3.3 Social.....	58
4. DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES.	61
5. EVALUACIÓN AMBIENTAL	63
5.1.1 Análisis de la evaluación de los impactos ambientales en el escenario sin proyecto	63
5.1.2 Análisis de la evaluación de los impactos ambientales en el escenario con proyecto	64
6. ZONIFICACIÓN DE MANEJO AMBIENTAL	66
7. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL.....	68
8. PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO DEL PROYECTO	70
9. ANÁLISIS DEL RIESGO	71
10. PLAN DE ABANDONO Y RESTAURACIÓN FINAL.....	74

11. OTROS PLANES Y PROGRAMAS	75
11.1 PLAN DE INVERSIÓN DEL 1%.....	75
11.2 COMPENSACIONES POR PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla R.1	Actividades autorizadas vs. Actividades objeto de modificación	8
Tabla R.2	Coordenadas Área Multipozos del Área de Pozos Cusiana TA.....	9
Tabla R.3	Área de Influencia socioeconómica del proyecto (cartografía social).....	11
Tabla R.4	Estrategia de Desarrollo objeto de Modificación para el Área de Pozos de Desarrollo Cusiana TA	12
Tabla R.5	Pozos al interior del Área de Pozos Cusiana TA	12
Tabla R.6	Tramos que definen el área de influencia del factor hidrogeología	14
Tabla R.7	Unidades territoriales área de influencia socioeconómica y cultural – cartografía oficial Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT), municipio de Aguazul.....	17
Tabla R.8	Unidades territoriales área de influencia socioeconómica y cultural – cartografía social – Municipio de Aguazul.....	19
Tabla R.9	Unidades Geomorfológicas para el área de influencia	22
Tabla R.10	Unidades de suelo para el área de influencia	24
Tabla R.11	Estaciones meteorológicas empleadas para la caracterización del área del proyecto Pozo TA27	27
Tabla R.12	Zonificación Hidrográfica Área de Influencia.....	30
Tabla R.13	Resumen Caudales Períodos de Retorno.....	33
Tabla R.14	Descripción de puntos de monitoreo. Caracterización de Calidad de Agua Superficial	34
Tabla R.15	Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos analizados incluyendo la comparación con los criterios de calidad permisibles (Decreto 1076 de 2015) para consumo humano, uso doméstico, agrícola, pecuario y preservación de fauna y flora.	36
Tabla R.16	Índice de calidad agua (ICA) y parámetros de calidad	52
Tabla R.17	Índice de contaminación del agua (ICO) y parámetros de calidad	53
Tabla R.18	Veredas área de influencia del Pozo TA-27.....	58
Tabla R.19	Composición por edad y Género.....	58
Tabla R.20	Distribución por área de asentamiento municipio de Aguazul	59
Tabla R.21	Población por rango de edad veredas área de influencia	60
Tabla R.22	Uso y aprovechamiento de los recursos naturales actuales y vigentes	62
Tabla R.23	Fuente de captación superficial autorizada.....	62
Tabla R.24	Tipos de impactos identificados	64
Tabla R.25	Tipos de impactos identificados	65
Tabla R.26	Programas y proyectos de acuerdo a la Resolución 0886 del 11 de septiembre de 1998.....	69
Tabla R.27	Programas y proyectos de acuerdo al Plan de Gestión Social 2014 - 2018.....	70
Tabla R.28	Programas y proyectos de acuerdo a la Resolución 0886 del 11 de septiembre de 1998.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura R.1	Trazabilidad del Plan de Gestión Social Integrado de ECP para los Campos de GDP	6
Figura R.2	Localización del Pozo TA-27	10
Figura R.3	Criterios estructurales para la definición del área de influencia hidrogeológica	14
Figura R.4	Área de influencia hidrogeológica definitiva para el Pozo TA-27	15
Figura R.5	Delimitación del área de influencia pozo Cusiana TA-27 para el medio socioeconómico – cartografía EOT Aguazul	18
Figura R.6	Delimitación del área de influencia pozo Cusiana TA-27 para el medio socioeconómico – cartografía social	20
Figura R.7	Localización de las estaciones meteorológicas empleadas para la caracterización del área del proyecto Pozo TA-27	28
Figura R.8	Área de Influencia Microcuenca Caño Negro	29
Figura R.9	Localización de los Sistemas Lénticos	31
Figura R.10	Localización de los Sistemas Lóticos	32
Figura R.11	Localización puntos de monitoreo de agua superficial	35
Figura R.12	Valores de temperatura reportados en las estaciones de monitoreo	38
Figura R.13	Valores de oxígeno disuelto reportados en las estaciones de monitoreo	39
Figura R.14	Valores de carbono orgánico total reportados en las estaciones de monitoreo	40
Figura R.15	Valores de pH reportados en las estaciones de monitoreo	40
Figura R.16	Valores de acidez reportados en las estaciones de monitoreo	41
Figura R.17	Valores de alcalinidad reportados en las estaciones de monitoreo	42
Figura R.18	Valores de bicarbonatos reportados en las estaciones de monitoreo	42
Figura R.19	Valores de dureza total reportados en las estaciones de monitoreo	43
Figura R.20	Valores de conductividad reportados en las estaciones de monitoreo	44
Figura R.21	Valores de sólidos totales reportados en las estaciones de monitoreo	45
Figura R.22	Valores de turbidez reportados en las estaciones de monitoreo	45
Figura R.23	Valores de sólidos sedimentables reportados en las estaciones de monitoreo	46
Figura R.24	Valores de color real reportados en las estaciones de monitoreo	47
Figura R.25	Valores de aluminio, calcio, hierro, magnesio y sodio reportados en las estaciones de monitoreo	50
Figura R.26	Valores de grasas y aceites reportados en las estaciones de monitoreo	50
Figura R.27	Valores de coliformes fecales termotolerantes reportados en las estaciones de monitoreo	51
Figura R.28	Valores de coliformes totales termotolerantes reportados en las estaciones de monitoreo	52
Figura R.29	Índice de calidad de agua (ICA) en las estaciones de monitoreo	53
Figura R.30	Valores del Índice de contaminación del agua (ICO) en las estaciones de monitoreo	54
Figura R.31	Distribución porcentual de impactos por carácter para el escenario sin proyecto	64
Figura R.32	Distribución porcentual de impactos por carácter para el escenario con proyecto	65
Figura R.33	Distribución porcentual de impactos por medio para el escenario con proyecto	65
Figura R.34	Áreas de reglamentación POMCA Río Cusiana	67
Figura R.35	Procedimientos a seguir para el abandono y restauración final	74

RESUMEN EJECUTIVO

1. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Ecopetrol S.A., pretende en el marco de las estrategias de desarrollo de su operación adelantar las actividades propias del proyecto de Gestión de Agua de Producción Tren Piedemonte – Fase III, cuyo objeto es la adecuación del sistema de reinyección de agua producida procedente de los campos Recetor, Cupiagua, Cupiagua Sur y Cusiana, en los pozos del área de influencia del CPF Cusiana, para tal fin, se proyecta modificar las Licencias Ambientales de los proyectos "Construcción y Operación del Área de Pozos Múltiples denominados Cusiana R y Cusiana V", " Cusiana T (Bloque Santiago de Las Atalayas: Campo Cusiana Y Bloque Tauramena: Campo Cupiagua, Pozos Cusiana 2a, 3, 4 y 5 Cupiagua 1, Cupiagua, Aires 1, 2 y 3 Tamara 1)" y "Área de pozos de desarrollo Cusiana TA", otorgadas mediante la Resolución 0617 del 29 de diciembre de 1994, Resolución 0161 del 09 de marzo de 1993 y Resolución 0886 del 11 de septiembre de 1998 respectivamente, con el objeto de reinyectar aguas de producción del Campo Cusiana (fases I y II), en los pozos Cusiana T3 (PC-T3) CUS TA-27 y CUS R11 en las formaciones Barco, Guadalupe y Mirador.

El plan de desarrollo del campo Cusiana ha llevado hasta la fecha a la construcción de unas 30 áreas de pozo, que involucran la perforación de cerca de 47 pozos y la construcción de numerosas vías y líneas de conducción de fluidos, entre los cuales se encuentran el Área Pozos de Desarrollo Cus TA con el pozo TA-27, con licencia ambiental, Resolución 0886 del 11 de septiembre de 1998, otorgada por el Ministerio de Medio Ambiente, en el municipio de Aguazul – Casanare, que actualmente funciona como pozo inyector de gas y al cual se pretende cambiar el objeto de servicio y convertirlo a inyector de agua de producción, así como los pozos CUS TA-27 y CUS R11. (objeto de otros estudios).

Por lo anteriormente expuesto, Ecopetrol S.A., contrató la elaboración del presente Estudio de Impacto Ambiental para la Modificación de la Licencia Ambiental del Área Pozos de Desarrollo Cusiana TA, para incluir la actividad de inyección de agua de producción en Pozo TA-27, en el Bloque Santiago de las Atalayas.

El Estudio se elaboró y estructuró con base en los Términos de Referencia HI-TER-1-03 para "Estudio de Impacto Ambiental Proyectos de Explotación de Hidrocarburos", emitidos por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y acogidos mediante la Resolución 1543 del 6 de agosto de 2010 y por las Guías Ambientales adoptadas por el mismo Ministerio para este tipo de proyectos.

Para la elaboración del presente documento se realizó trabajo de campo durante los meses de diciembre a enero de 2022 por parte de profesionales en las áreas de Hidrogeología, Hidrología Ingeniería Ambiental, Ingeniería Forestal, Fauna y Sociología. De igual manera, involucró también la participación de laboratorios acreditados en la toma de muestras para analizar la calidad del agua.

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 Ambientales

Mediante la Resolución 0886 del 11 de septiembre de 1998, el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), otorgó Licencia Ambiental a la empresa BRITISH PETROLEUM EXPLORATION COMPANY COLOMBIA LTD, (en adelante BP), al proyecto "Área de Pozos de Desarrollo Cusiana TA", para la

perforación de dos (2) pozos de desarrollo en la locación y la construcción de una vía de acceso de 1,65 km, localizado en jurisdicción del municipio de Aguazul – Casanare.

Mediante Resolución 0284 del 26 de marzo de 1998 el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) otorgó Licencia Ambiental a la empresa BP, para realizar el proyecto “Inyección de Agua Campo Cusiana Etapa II”, que entre otras actividades autorizaba la Construcción y operación de una planta de tratamiento de agua con unidades de tratamiento, área de almacenamiento y bombas de inyección en las instalaciones del CPF Cusiana con una capacidad máxima de operación de 270.000 barriles por día.

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT, mediante **Resolución 1633 del 7 de septiembre de 2007** modificó el numeral 2 del Artículo Tercero de la Resolución 0284 de marzo de 26 de 1998 en el sentido de autorizar la reinyección de aguas de producción del Campo Cusiana (fases I y II) a una tasa de 120.000 barriles por día, en los pozos BA X14 y BA J20.

Por medio de la Resolución 1796 del 6 de septiembre de 2011, (acto administrativo que reposa en el expediente LAM0017), el Ministerio aceptó el cambio de razón social de la sociedad BP por el de sociedad EQUION ENERGÍA LIMITED, (en adelante EQUIÓN).

Mediante comunicación 20160713-671ECUSTA del 13 de julio de 2016 con radicado 2016042636-1-000 del 27 de junio de 2016, las partes (EQUION – ECOPEPETROL SA) solicitaron a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) autorización de cesión total de la licencia ambiental y sus modificaciones del proyecto Cusiana TA, con ocasión de la terminación del contrato de Asociación Tauramena, con el fin de tener a ECOPEPETROL S.A. como único titular de los derechos y obligaciones contenidos en los actos administrativos que obran en el expediente del proyecto LAM1651 teniendo en cuenta que desde el cuatro (4) de julio de 2016, ECOPEPETROL SA. Actúa como operador del campo Cusiana.

Mediante comunicación 20160805-764ECUSTA de agosto 5 de 2016 con radicado No. 2016-09346 del 31 de agosto de 2016, las partes (EQUION – ECOPEPETROL) solicitaron a Corporinoquia autorización de la cesión total de los permisos ambientales y sus modificaciones del proyecto Cusiana TA, con ocasión de la terminación del contrato de Asociación Tauramena, con el fin de tener a ECOPEPETROL S.A. como único titular de los derechos y obligaciones contenidos en los actos administrativos que obran en el expediente del proyecto 97-0080.

Que mediante la Resolución 1156 del 5 de octubre de 2016, la ANLA, autorizó la cesión total de los derechos y obligaciones de la Licencia Ambiental otorgada mediante la Resolución 0886 del 11 de septiembre de 1998, para el proyecto “Área de Pozos de Desarrollo Cusiana TA, localizado en jurisdicción del municipio de aguazul, en el departamento del Casanare y cuyo titular en la empresa EQUION a favor de la empresa ECOPEPETROL S.A.

EQUION, mediante comunicación 2017058-370ECUSTA con radicado 2017- 05412 del 04 de mayo de 2017, y en respuesta al oficio 500.40.17-04125 del 19 de abril de 2017, envió a la Corporación una copia de la resolución 01156 del 5 de octubre de 2016, a través de la cual la ANLA autorizó la cesión total de los derechos y obligaciones originales y derivados de la licencia ambiental del Proyecto Cusiana TA, con el propósito que en adelante cualquier acto administrativo o comunicación relacionados con el expediente 97-0080 sea notificado a la empresa ECOPEPETROL S.A.

Mediante la Resolución 2154 del 23 de noviembre de 2018, la ANLA modificó el artículo quinto de la Resolución 0886 del 11 de septiembre de 1998, en el sentido de incluir como línea general de inversión las acciones de protección, conservación y preservación a través de restauración ecológica, rehabilitación y recuperación, dentro de las cuales se incluye el desarrollo de proyectos

de uso sostenible, para desarrollarse a través de acciones de conservación con proyecto productivo de uso sostenible de Sistemas Agroforestales con Cacao – Forestales o Cacao-Plátano-Forestales en el área del Núcleo Piedemonte.

Por medio de la Resolución 1154 del 20 de junio del 2019, la Autoridad Nacional resolvió un recurso de reposición en contra de la Resolución 2154 de 23 de noviembre de 2018, aclarando y modificando algunas de sus disposiciones.

Mediante el oficio con radicación 2019182784-1-000 del 22 de noviembre de 2019, la Sociedad presentó a la ANLA, solicitud de acogimiento al porcentaje incremental de la inversión forzosa de no menos del 1% señalado en el artículo 321 de la Ley 1955 del 25 de mayo de 2019, relacionado con la Licencia ambiental para el desarrollo del proyecto “Área de Pozos de Desarrollo Cusiana TA.

Mediante oficio con radicado 2019182784-1-000 de 22 de noviembre de 2019 ECOPETROL S.A. presentó solicitud de acogimiento al porcentaje para la actualización del valor de la inversión de no menos del 1% conforme a lo dispuesto en el artículo 321 de la Ley 1955 de 2019, para el proyecto “Área de Pozos de Desarrollo Cusiana TA”, sin embargo, mediante oficio con radicado 2020044412-2-000 de 24 de marzo de 2020, la ANLA solicitó información complementaria relacionada con la solicitud de acogimiento al porcentaje.

Mediante comunicación -2020-031-438 del 19 de marzo de 2020 con radicado de Corporinoquia-2020-03954 del 30 de marzo de 2020, ECOPETROL S.A., en cumplimiento al artículo decimo del Auto 2609 del 10 de septiembre de 2009, remitió a Corporinoquia el Informe de Cumplimiento Ambiental 29 del proyecto Cusiana TA, correspondiente al período de 01 marzo de 2019 al 31 de diciembre de 2020.

Mediante oficio 2-2020-033-871 del 20 de marzo de 2020 con radicado ANLA 2020048302-1-000 del 30 de marzo de 2020, ECOPETROL S.A., en cumplimiento al artículo decimo del Auto 2609 del 10 de septiembre de 2009, remitió a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) el Informe de Cumplimiento Ambiental 29 del proyecto Cusiana TA, correspondiente al período del 01 marzo de 2019 al 31 de diciembre de 2019.

Mediante oficio con radicado 2020044412-2-000 del 24 de marzo de 2020, ANLA requirió información adicional como resultado de la evaluación de la documentación aportada en marco a la solicitud de acogimiento al artículo 321 de la Ley 1955 de 2019. En atención a lo requerido, ECOPETROL S.A. mediante los documentos con radicados 2020078100-1- 000 de 19 de mayo y 2020096979-1-000 de 19 de junio de 2020, presentó cumplimiento parcial a los requerimientos de información del oficio con radicado 2020044412-2-000 del 24 de marzo de 2020.

Como resultado de la solicitud de acogimiento y la evaluación de la información presentada por ECOPETROL S.A., la ANLA mediante la Resolución 01874 de 23 de noviembre de 2020, modificó el artículo quinto de la Resolución 0886 del 11 de septiembre de 1998, en el sentido de aprobar el acogimiento al porcentaje incremental contemplado en el artículo 321 del Plan Nacional de Desarrollo (PND), para el mencionado proyecto.

ECOPETROL S.A., mediante radicado 2020217647-1-000 del 09 de diciembre de 2020 interpuso Recurso de Reposición contra de la Resolución 01874 del 23 de noviembre de 2020 emitida por la ANLA, referente a la inversión del 1% del proyecto “Área de Pozos de Desarrollo Cusiana TA”, respecto a la modificación del artículo quinto de la Resolución 0886 del 11 de septiembre de 1998 y acogimiento al porcentaje incremental contemplado en artículo 321 del Plan Nacional de Desarrollo (PND) (Ley 1955 del 25 de mayo de 2019) del proyecto.

Mediante comunicación con radicado en ANLA 2021053441-1-000 del 25 de marzo de 2021, la sociedad ECOPETROL S.A. presentó a la ANLA información en cumplimiento al Artículo Décimo Quinto de la Resolución 1874 del 24 de noviembre de 2020.

1.2.2 Sociales

Mediante Auto 0085 del 5 de febrero de 2003, el entonces Ministerio de Medio Ambiente (MMA), en su Artículo Primero Numeral 6, con respecto a la Gestión Social requiere a la empresa British Petroleum Exploration Company – BPXC, “*Presentar al entonces Ministerio anualmente (primer mes), la programación de la gestión social a desarrollarse en los municipios de Tauramena y Aguazul y las veredas del área de influencia de cada uno de los pozos de la operación de los bloques Santiago de las Atalayas y Tauramena anexando el cronograma de actividades; para poder realizar seguimiento.*”, constituyéndose en el principal antecedente del proceso de diseño y elaboración del Plan de Gestión Social Integrado de los campos Cusiana, Cupiagua y Recetor.

Mediante Auto 2055 del 2 de agosto de 2007, el entonces MAVDT dispone que la presentación de ICA se realice con periodicidad anual y se dan ocho (8) meses de plazo para la presentación de la actualización del Plan de Gestión Social y se realizan otros requerimientos

Esta solicitud motivó la planeación de las medidas de manejo de los impactos en el componente social de la compañía, en todas las operaciones en el departamento de Casanare, llevando a la propuesta de unificar las acciones en el territorio, mediante un plan que permitiera integrar en sí mismo todas las medidas sociales que la empresa desarrollaba con este propósito. Para ello, BPXC realizó un Diagnóstico Socioeconómico y Cultural en el 2008 que soportó la primera propuesta de Plan de Gestión Social Integrado para los Campos Cusiana, Cupiagua y Recetor, la cual fue remitida a todos los expedientes de las licencias ambientales de las operaciones de la Empresa.

En cumplimiento del Auto 2055 del 2 de agosto de 2007 BPXC mediante comunicación 4120-E1-10085 del 4 de febrero de 2008 remite al entonces MAVDT el Plan anual de gestión social para el año 2008 y el cronograma de ejecución.

Mediante Auto 2077 del 14 de julio de 2009, el MAVDT declara el cumplimiento de unas obligaciones, y hace unos requerimientos a la Empresa BPXC para que complemente y actualice el Plan de Gestión Social presentado mediante radicados 4120-E1-10085 del 4 de febrero de 2008 y 4120-E1-107146 del 18 de septiembre de 2008.

Como resultado de los requerimientos solicitados por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT hoy MADS) a BPXC, se remite una segunda versión del Plan con una temporalidad de 5 años (2009 – 2014), cuya versión se orientó a identificar las actividades en sí mismas, se valoraron los impactos ocasionados por la actividad en la fase vigente de operación y se definieron las medidas de manejo correspondientes, es importante mencionar que esta versión fue acogida mediante los Autos de Seguimiento entre 2009 – 2010 algunos con solicitud de requerimientos que fueron atendidos en el Plan Anual de Gestión Social, 2010.

Mediante Auto 420 del 19 de febrero de 2010, se resuelve el recurso de reposición instaurado por la Empresa al Auto 2077 del 14 de julio de 2009, en el sentido de confirmar unas obligaciones, modificar y aclarar otros requerimientos, tomando como insumo el PGSI presentado por la Empresa mediante comunicación 4120- E1-107146 del 18 de septiembre de 2008 y se estableció mediante este Auto la versión definitiva del PGSI.

Ecopetrol ingresa al área del campo Cupiagua a partir del 01 de Julio de 2010, ya que de conformidad con lo establecido en el Contrato de Asociación de Santiago de las Atalayas (SDLA), las empresas ECOPETROL S.A., BP EXPLORATION COMPANY – COLOMBIA LTD y TEPMA, proceden a su terminación, correspondiéndole a Ecopetrol la operación directa de los Campos Cupiagua y

Cupiagua Sur, y con ello, las cesiones de las respectivas licencias ambientales y de esta forma, también la ejecución del Plan de Gestión Social Integral aprobado para BPXC.

Posteriormente, a partir del 4 de Julio del 2016 se da por terminado el contrato de Asociación Tauramena, recibiendo Ecopetrol S.A. de la Empresa Equion Energía la operación directa del Campo Cusiana. Al recibo de este campo, se evidenció que el PGSI desarrollado desde el año 2014 presenta algunos cambios frente al plan aplicable al Campo Cupiagua (aprobado en los años 2009 y 2010 a BPXC), así como otras inconsistencias, por lo que se deja en firme el Plan aprobado previamente y coincidente con el plan inicialmente aprobado (2009-2013) a BPXC.

Mediante radicado 2017007008-1-000 del 31 de enero de 2017, la Sociedad presentó Cumplimiento numeral 6 del artículo primero del Auto 0085 de 2003, en el sentido de entregar el Plan de Gestión Social Integrado para los años 2014 a 2018.

Mediante radicado 2017028990-1-000 del 24 de abril de 2017, la Sociedad presentó la programación para el año 2017 del Plan de Gestión Social Integrado PGSI para los proyectos Cupiagua A, Unete PAD, Cupiagua XP.

Mediante radicado 2017030364-1-000 del 27 de abril de 2017, la Sociedad presentó la programación para el año 2017 del Plan de Gestión Social Integrado PGSI.

Mediante radicado 2018025162-1-000 del 5 de marzo de 2018, la Sociedad presentó la programación del año 2018 del Plan del Gestión Social Integrado PGSI para los proyectos de los proyectos Buenos Aires A, Buenos Aires B, Cusiana Q, Cusiana T y Cusiana 2ª-LTT.

Mediante radicado 2018029941-1-000 del 14 de marzo de 2018, la Sociedad presentó la programación del año 2018 del Plan del Gestión Social Integrado PGSI para los proyectos Cupiagua A y Cupiagua XP.

Teniendo en cuenta que desde en el año 2017 Ecopetrol implementó las dos versiones del PGSI (2010 y 2014) en un territorio continuo y en algunos casos de algunas veredas con idénticos actores sociales, se evidencia la necesidad por parte de la empresa de contar con una actualización de línea base de las unidades territoriales en donde operan los tres campos (Cusiana, Cupiagua y Recetor) así como realizar un análisis de la tendencia del medio socioeconómico que permita evidenciar los cambios generados en el territorio durante estos 10 años (2009-2019), lo cual permita armonizar las acciones propuestas en el Plan de Gestión Social Integrado de los tres Campos con la naturaleza jurídica de Ecopetrol S.A., su Estrategia de Entorno y con la normatividad vigente, teniendo en cuenta que el plan vigente contempla su temporalidad hasta el año 2018.

Por lo anterior, Ecopetrol, pensando en dar continuidad al sentido inicial de brindar integralidad en la atención al territorio, buscando generar la máxima eficiencia posible en las medidas propuestas frente a la prevención, mitigación, corrección y/o compensación propuestas y aprobadas por la Autoridad, presenta el Plan de Gestión Social Integrado para la Gerencia de Producción Piedemonte de Ecopetrol de los Campos Cusiana, Cupiagua y Recetor, 2019, dicho Plan contiene una actualización de línea base del área de estudio y un ajuste de las actividades contenidas en las fichas de gestión social que permitan armonizar el plan de acuerdo con la naturaleza jurídica de Ecopetrol S.A., la realidad social actual del territorio, su Estrategia de Entorno y con la normatividad vigente, así como con las obligaciones contenidas en los diferentes expedientes de los tres campos.

Para mayor comprensión de la trazabilidad de los cambios del Plan de Gestión Social Integrado que se implementa en el Área (ver Figura R.1).

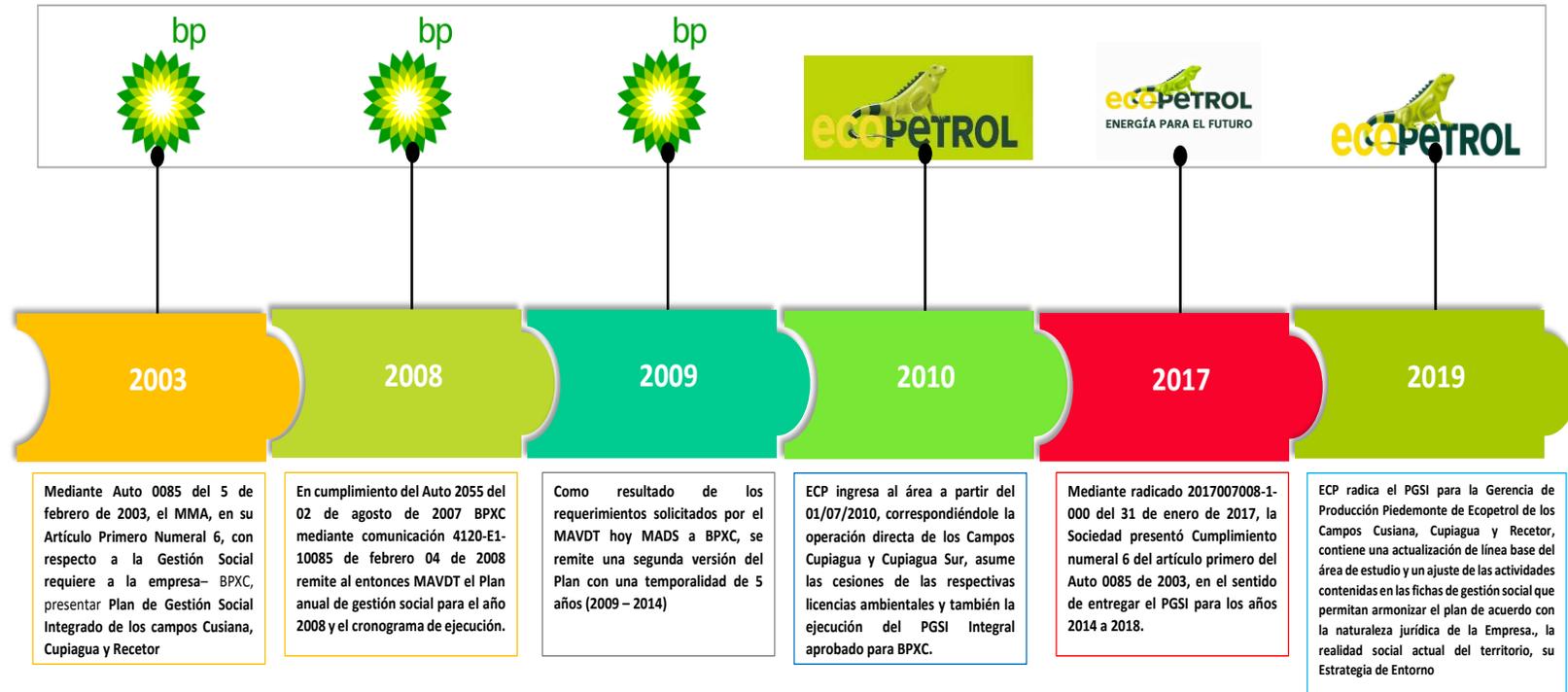


Figura R.1 Trazabilidad del Plan de Gestión Social Integrado de ECP para los Campos de GDP

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

1.3 ALCANCE

El alcance del presente Estudio de impacto Ambiental es presentar la información técnica y ambiental que sustente la solicitud de Modificación de la Licencia Ambiental, otorgada mediante la Resolución 0886 de 11 de septiembre de 1998, por parte del Ministerio de Medio Ambiente, para el Área de Pozos de Desarrollo Cusiana TA y que sirva de soporte para la toma de decisión a la Autoridad Nacional de Licencia Ambientales respecto de viabilizar la actividad de inyección en el Pozo TA-27. En tal sentido, el presente Estudio incluye:

- La descripción de las características técnicas de las actividades objeto de modificación en el marco de las estrategias de desarrollo ya autorizadas para el Área de Pozos de Desarrollo Cusiana TA (Resolución 0886 del 11 de septiembre de 1998).
- Elaboración y actualización de los componentes físico bióticos que pueden proporcionar información de soporte para la elaboración y obtención del modelo hidrogeológico conceptual y matemático, empleando los lineamientos vigentes de la autoridad ambiental para esta actividad.
- Actualización de la caracterización socioeconómica para las unidades territoriales mayores y menores del Área de Influencia del Proyecto.
- La identificación y evaluación de los impactos ambientales para las actividades objeto de modificación, basados en los resultados del modelo hidrogeológico conceptual y numérico.
- Ajuste y complemento del Plan de Manejo Ambiental y de Seguimiento y Monitoreo, identificando las medidas que por ausencia de las actividades potencialmente impactantes ya no aplican y ajustar las fichas con los requisitos de acuerdo con los términos de referencia vigentes e incluir las necesarias para la inyección con fines de recobro mejorado.
- Igualmente, y en congruencia con el ajuste del Plan de Manejo Ambiental, se ajustará el Plan de Seguimiento y Monitoreo de las medidas para las actividades objeto de modificación y las que apliquen.
- Sustentar el Área de influencia propuesta frente a la trascendencia de los posibles impactos ambientales derivados de las actividades de inyección.
- La valoración económica de los impactos ambientales mediante la identificación y cuantificación física y monetaria de los beneficios y costos derivados de los cambios en los bienes y servicios ambientales producidos por los recursos naturales.
- Documentar el debido proceso de Lineamientos de Participación y Comunicación a las comunidades del área de influencia del proyecto.
- Ajustar el Plan de Gestión del Riesgo, que contenga el Plan de Contingencia y Atención de Emergencias, así como el Plan de Gestión para vertimientos. El PGR partirá de la información existente y se realizara de acuerdo con los lineamientos y plantillas que ECP tiene dispuesto para esto con base al Decreto 2157 de 2017.
- Se actualizará y ajustará el Plan de Abandono, teniendo en cuenta el objeto de la modificación.
- Presentar la GDB y metadatos para el Proyecto acorde con la normatividad legal vigente Resolución 2182 de 2016 “Relacionada con el Modelo de Almacenamiento Geográfico”.

En la Tabla R.1 se presenta las etapas y actividades consideradas como Estrategia de Desarrollo del Área de Pozos de Desarrollo TA, con relación a lo autorizado en la Resolución 0886 del 11 de septiembre de 1998, frente al alcance de la modificación.

Tabla R.1 Actividades autorizadas vs. Actividades objeto de modificación

ETAPAS Y ACTIVIDADES AUTORIZADAS VS ACTIVIDADES OBJETO DE MODIFICACIÓN							
ETAPA	SUB- ETAPA	ACTIVIDAD	ACTIVIDADES AUTORIZADAS RES. 0886 DE 11 SEPTIEMBRE DE 1998	ACTIVIDADES EXISTENTES Y APLICABLES PARA LA PRESENTE MODIFICACIÓN	ACTIVIDADES NUEVAS PARA LA PRESENTE MODIFICACIÓN		
PRE CONSTRUCTIVA		Adquisición de predios y derechos de servidumbres	X				
CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO	Construcción de la locación y vía de acceso	Descapote	X				
		Disposición de aguas residuales	X				
		Movilización de maquinaria y tráfico vehicular	X				
		Descoles	X				
	Construcción y adaptación del sistema de captación de agua	Captación de agua	X				
		Contratación de mano de obra local	X				
OPERATIVA	Perforación de pozos	Movilización de maquinaria y tráfico vehicular	X				
		Contratación de mano de obra local	X				
		Operación taladro y equipos de generación y bombeo	X				
		Manejo de cortes tratados	X				
		Pruebas de producción	X				
		Manejo de residuos sólidos	X				
		Manejo de residuos líquidos	X				
		Contratación de mano local	X				
		INYECCIÓN DE AGUA	Actividades Comunes para la Conversión de Pozos	Movilización de maquinaria y tráfico vehicular	X	X	
				Mantenimiento del área de la locación y vías de acceso	X	X	
Manejo de residuos sólidos	X			X			
Manejo de residuos líquidos	X			X			
Captación de agua	X			X			
ADECUACIÓN DE FACILIDADES DE INYECCIÓN	Cambio de tubería, conexión al árbol de válvulas, instrumentación, accesorios					X	
OPERACIÓN DE INYECCIÓN	Pruebas hidrostáticas			X			
	Inyección de agua de producción			X			
DESMANTELAMIENTO Y RECUPERACIÓN DEL ÁREA		Reconformación del terreno, limpieza final y revegetalización	X	X			
		Abandono del pozo inyector			X		

	Actividades Aprobadas Resolución 0886/98		Actividades objeto de solicitud de Modificación de Licencia
--	--	--	---

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1 LOCALIZACIÓN

El proyecto CUSIANA TA pertenece al bloque Santiago de las Atalayas, Campo Cusiana y se localiza en las estribaciones de la cordillera Oriental, en el extremo sur occidental del departamento de Casanare, municipio de Aguazul, vereda Upamena (según cartografía social), en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía (Corporinoquia).

El pozo CUSIANA TA-27 se encuentra localizado geográficamente según las siguientes coordenadas (Origen Nacional): E: 5038861.28, N: 2120110.60; el área de influencia limita al norte con los ríos Seco, Chiquito y la vereda La Unión, al sur con la divisoria meridional del caño Garagoa y la vereda Alto Lindo, al oriente con las veredas Cerrito y Río Chiquito y al occidente con divisorias de aguas de afluentes al Caño El Chupadero y la vereda Upamena. La plataforma se encuentra a una elevación del orden de 540 m.s.n.m., manteniendo una temperatura de 27° C en promedio.

En la Tabla R.2 se relacionan las coordenadas de a plataforma del área de pozos Cusiana TA y en la Figura R.2 se presenta la ubicación general del Pozo CUS TA-27 y el área de influencia del proyecto.

Tabla R.2 Coordenadas Área Multipozos del Área de Pozos Cusiana TA

ID VÉRTICE	COORDENADAS PLANAS ORIGEN NACIONAL		ID VÉRTICE	COORDENADAS PLANAS ORIGEN NACIONAL	
	ESTE	NORTE		ESTE	NORTE
1	5.038.969,65	2.120.249,14	21	5.038.760,72	2.120.153,60
2	5.039.010,56	2.120.225,10	22	5.038.775,73	2.120.172,55
3	5.039.026,51	2.120.207,10	23	5.038.780,76	2.120.192,52
4	5.039.039,47	2.120.187,10	24	5.038.813,73	2.120.196,46
5	5.039.046,41	2.120.159,11	25	5.038.834,73	2.120.212,41
6	5.039.039,39	2.120.142,15	26	5.038.841,73	2.120.215,40
7	5.039.022,35	2.120.107,21	27	5.038.845,74	2.120.222,38
8	5.039.019,35	2.120.101,22	28	5.038.846,74	2.120.223,38
9	5.039.032,28	2.120.071,23	29	5.038.856,75	2.120.234,35
10	5.039.005,26	2.120.042,31	30	5.038.861,74	2.120.234,34
11	5.038.948,29	2.120.023,43	31	5.038.883,75	2.120.252,28
12	5.038.940,30	2.120.020,44	32	5.038.884,75	2.120.254,28
13	5.038.898,31	2.120.003,53	33	5.038.917,73	2.120.265,21
14	5.038.842,37	2.119.997,63	34	5.038.919,73	2.120.266,21
15	5.038.836,37	2.119.997,64	35	5.038.911,70	2.120.241,25
16	5.038.776,45	2.120.001,74	36	5.038.918,67	2.120.227,25
17	5.038.748,48	2.120.006,78	37	5.038.923,66	2.120.227,25
18	5.038.753,58	2.120.068,70	38	5.038.930,66	2.120.229,23
19	5.038.765,60	2.120.089,66	39	5.038.935,65	2.120.230,22
20	5.038.756,63	2.120.099,66	40	5.038.943,67	2.120.244,19

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

En la Figura R.2 se presenta la ubicación específica del Pozo CUS TA-27 con los vértices de la plataforma y veredas del área de influencia social.

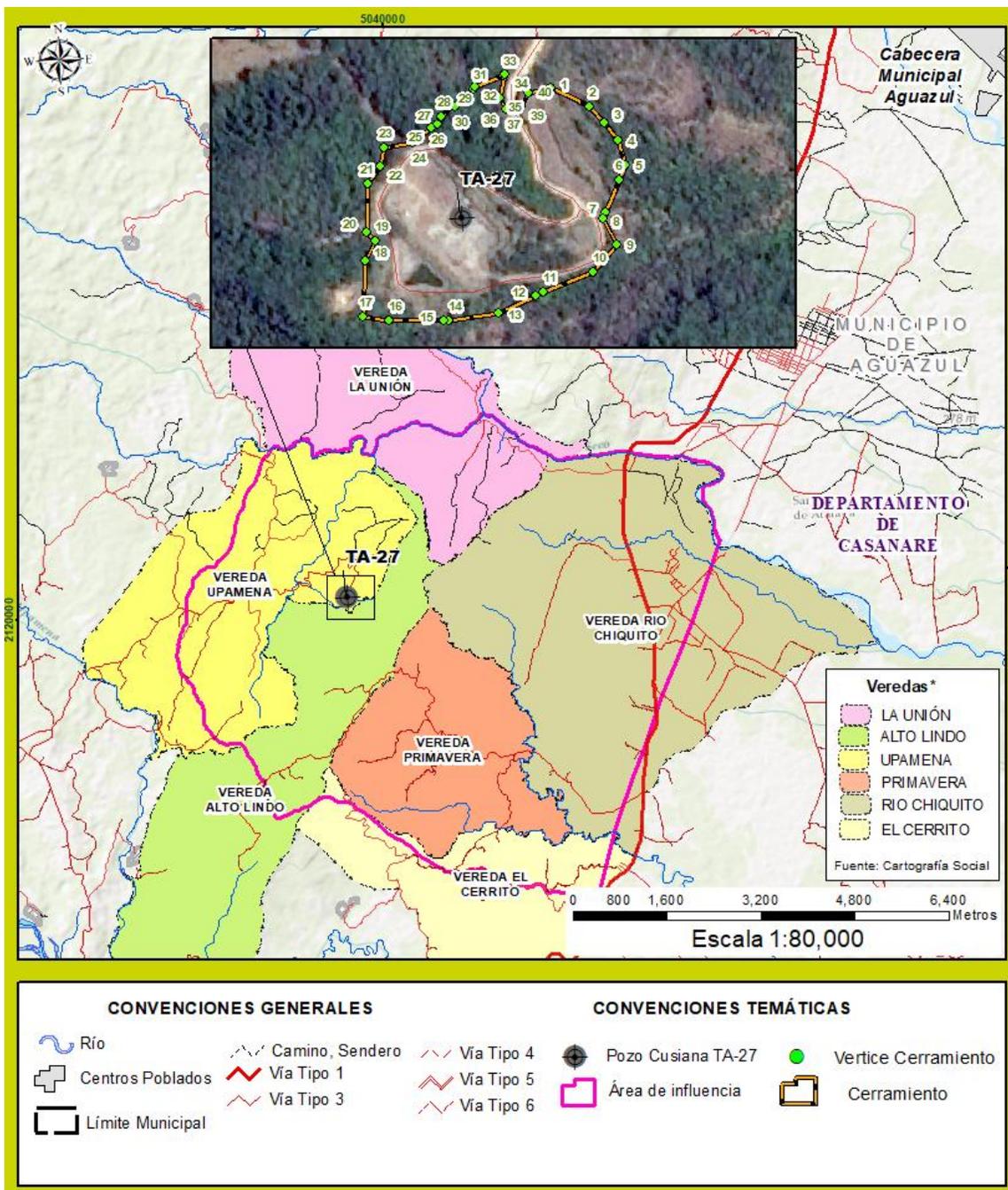


Figura R.2 Localización del Pozo TA-27

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022

En cuanto a la ubicación del área del proyecto en el ámbito político administrativo, se identifica como unidad territorial mayor el municipio de Aguazul y 6 unidades territoriales menores (veredas) (ver Tabla R.3).

Tabla R.3 Área de Influencia socioeconómica del proyecto (cartografía social)

UNIDAD TERRITORIAL MAYOR	UNIDAD TERRITORIAL MENOR (VEREDA)
Municipio de Aguazul	Upamena
	Alto Lindo
	La Unión
	Cerrito
	La Primavera
	Río Chiquito

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

2.2 CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

En el Área de Pozos de Desarrollo Cusiana TA, se ejecutarán diversas actividades encaminadas a la gestión de agua de producción proveniente y manejada en el CPF Cusiana, entre las cuales se encuentra la inyección de agua en el Pozo CUS TA-27, con el fin de mantener la presión del yacimiento y mejorar el recobro en la formación Mirador.

La inclusión de la actividad de inyección de agua de producción en el Pozo CUS TA-27, no requiere la construcción y/o adecuación de vías de acceso, no contempla la perforación de nuevos pozos, sino el cambio de servicio del pozo existente. Los trabajos por realizar en la cabeza del Pozo CUS TA-27 se limitan a la conexión de la línea de flujo existente CPF-M-T con el árbol de válvulas, líneas que permiten la conducción de las aguas de producción, para ser inyectadas a la formación productora, en el Área de Pozos de Desarrollo del Cusiana TA, por tanto, no se requiere la inclusión de líneas de flujo adicionales.

Las actividades relacionadas con el almacenamiento y tratamiento de agua de producción, cambio de sistema de bombeo en el CPF Cusiana, y el reemplazo y reutilización de las líneas de flujo: CPF-KA, CPF-M y CPF-M-T, no hacen parte de la presente modificación de licencia ambiental, ya que estos cambios fueron tramitados mediante la radicación de “Cambios Menores” ante la ANLA, por tanto para la presente modificación de licencia ambiental, no se solicita la modificación de facilidades de producción diferentes al manejo de fluidos, específicamente a la actividad de inyección de aguas de producción, cuyo proceso se explica detalladamente en el Capítulo 4, Numeral 4.3 Vertimientos.

En la Tabla R.4 se presentan las actividades autorizadas, existentes y las actividades nuevas objeto de la presente modificación.

Tabla R.4 Estrategia de Desarrollo objeto de Modificación para el Área de Pozos de Desarrollo Cusiana TA

ETAPAS Y ACTIVIDADES OBJETO DE LA PRESENTE MODIFICACIÓN		
ETAPA	SUB- ETAPA	ACTIVIDAD
INYECCIÓN DE AGUA	ACTIVIDADES COMUNES PARA LA CONVERSIÓN DE POZOS	Contratación de mano local
		Movilización de maquinaria y tráfico vehicular
		Mantenimiento del área de la locación y vías de acceso
		Manejo de residuos sólidos
		Manejo de residuos líquidos
		Captación de agua
	ADECUACIÓN DE FACILIDADES DE INYECCIÓN	Cambio de tubería, conexión al árbol de válvulas, instrumentación, accesorios
		Pruebas hidrostáticas
OPERACIÓN DE INYECCIÓN	Inyección de agua de producción	
DESMANTELAMIENTO Y RECUPERACIÓN DEL ÁREA	Reconformación del terreno, limpieza final y revegetalización	
	Abandono del pozo inyector	

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

➤ **Pozos existentes**

A interior del área de pozos de desarrollo Cusiana TA, se encuentran los pozos CUS TA-27, que actualmente funciona como pozo productor de aceite y el cual se proyecta para la conversión como punto de reinyección de agua de producción. También se encuentra el Pozo abandonado CS TA-22, pozo con fecha de abandono del 26 de septiembre de 2015 según la correspondiente placa que se localiza sobre la plataforma.

En la Tabla R.5 se presenta los Pozos CUS TA-22 y CUS TA-27 con su correspondiente coordenada de ubicación.

Tabla R.5 Pozos al interior del Área de Pozos Cusiana TA

POZO	COORDENADAS PLANAS ORIGEN BOGOTÁ		COORDENADAS PLANAS ORIGEN NACIONAL		ESTADO	FOTO
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE		
TA27	1158383,99	1054433,00	5038858,52	2120100,49	Activo	

POZO	COORDENADAS PLANAS ORIGEN BOGOTÁ		COORDENADAS PLANAS ORIGEN NACIONAL		ESTADO	FOTO
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE		
CS TA-22	1158353,99	1054444,00	5038828,57	2120111,53	Abandonado	

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

Ecopetrol S.A. pretende en el marco de las estrategias de desarrollo de su operación adelantar las actividades propias del proyecto de "Gestión de Agua de Producción Tren Piedemonte – Fase III", cuyo objeto es la adecuación del sistema de reinyección de agua producida procedente de los campos Recetor, Cupiagua, Cupiagua Sur y Cusiana, en los pozos del área de influencia del CPF Cusiana. Para tal fin, se proyecta modificar las Licencias Ambientales de los proyectos "Construcción y Operación del Área de Pozos Múltiples denominados Cusiana R y Cusiana V", " Cusiana T (Bloque Santiago de Las Atalayas: Campo Cusiana y Bloque Tauramena: Campo Cupiagua, Pozos Cusiana 2a, 3, 4 y 5 Cupiagua 1, Cupiagua, Aires 1, 2 y 3 Tamara 1)" y "Área de pozos de desarrollo Cusiana TA", otorgadas mediante la Resolución 0617 del 29 de diciembre de 1994, Resolución 0161 del 09 de marzo de 1993 y Resolución 0886 del 11 de septiembre de 1998 respectivamente, con el objeto de reinyectar aguas de producción del Campo Cusiana (fases I y II), en los pozos Cusiana T3 (PC-T3), CUS TA-27 y CUS R11 en las formaciones Barco, Guadalupe y Mirador. Particularmente, en el caso del Pozo CUS TA-27, se tiene como objetivo mantener la presión del yacimiento y mejorar el recobro en la formación Mirador.

En la Tabla R.4 se presenta un resumen de las estrategias de desarrollo y actividades autorizadas, existentes y nuevas, que son objeto de la presente modificación de licencia ambiental.

3. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL ÁREA

3.1 ÁREA DE INFLUENCIA:

3.1.1 Área de influencia hidrogeológica

De acuerdo con la evaluación ambiental ejecutada, la inyección de agua de producción puede generar alteraciones en la calidad del agua almacenada en la roca receptora mediante la incorporación de sustancias alóctonas a los acuíferos, esto se puede producir considerando el grado de tratamiento primario y secundario del fluido donde se realiza principalmente la separación de crudo y se aplican biocidas y antiincrustantes para control microbiológico; en este sentido, el impacto generado por la actividad se calificó con una significancia ambiental negativa **Media**, teniendo en cuenta, entre otros aspectos que la configuración geológica del pozo TA-27 muestra la presencia de fallas. Sin embargo, es importante considerar que la profundidad de la unidad receptora es mucho mayor (aproximadamente 12800 pies o sea 3920 m) que la de las unidades acuíferas identificadas en la primera sección (aproximadamente 500 m), además que entre estas unidades existen sellos potentes prácticamente inexpugnables que previenen la migración de fluidos hacia superficie, que justamente son los responsables del entrapamiento estratigráfico y estructural del yacimiento La plataforma del pozo TA-27 se localiza al oeste de la falla de Yopal en la vertiente derecha de la

subcuenca del río Seco y caño Negro principalmente. No obstante, la primera sección del pozo se encuentra atravesando inicialmente la parte basal de la Formación Charte (correlacionable con la Formación Diablo), la potencia completa de la Formación León (correlacionable con la Formación San Fernando) y gran parte de la Formación Carbonera; posteriormente, al este de la Falla de Yopal atraviesa nuevamente la potencia completa de las formaciones León y Carbonera, hasta atravesar la formación Mirador y llegar hasta la parte superior de la Formación Los Cuervos.

La estructura principal a nivel de la formación Mirador se localiza entre el footwall de la Falla de Yopal y la Falla de Cusiana, y corresponde a un anticlinal asimétrico elongado en dirección noreste-suroeste de 25 kilómetros de largo por 5-6 kilómetros de ancho aproximadamente limitado al este por la falla de Cusiana (ver Figura R.3). La cresta anticlinal se encuentra cortada por fallas menores intra-reservorio. Por estas condiciones estructurales y estratigráficas es necesario considerar la extensión del área de influencia hasta el dominio de la Falla de Cusiana, la cual limita el flanco oriental del yacimiento conformado por la Formación Mirador.

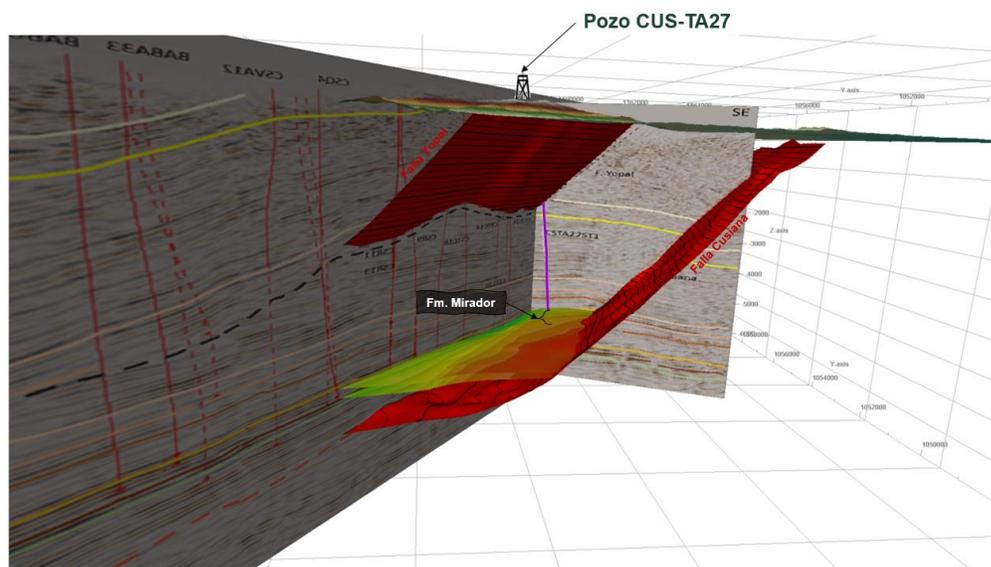


Figura R.3 Criterios estructurales para la definición del área de influencia hidrogeológica

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

El área de influencia establecida está delimitada por los tramos descritos en la Tabla R.6, y se muestra en la Figura R.4.

Tabla R.6 Tramos que definen el área de influencia del factor hidrogeología

TRAMO	COORDENADAS PLANAS ORIGEN NACIONAL		DESCRIPCIÓN
	COORDENADAS DE INICIO (ESTE, NORTE)	COORDENADAS DE FIN (ESTE, NORTE)	
1-2	5038357, 2116716	5036925, 2121023	Intercuenca en la zona de cabecera de la quebrada La Turueña, incluyendo la zona de nacimientos comunitarios de la vereda Altolindo.
2-3	5036925, 2121023	5037734, 2122714	Divisoria de aguas de la quebrada La Barrosa, hasta su desembocadura en el caño Las Vueltas.
3-4	5037734, 2122714	5041300, 2123077	Intercuenca del Caño El Arenoso (Afluente del río Upamena).
4-5	5041300, 2123077	5045273, 2120744	Divisoria de aguas de las microcuencas del Caño Negro y del Caño El Chupadero (afluente del río Seco).
5-6	5045273, 2120744	5042857, 2114772	Intercuenca del Caño El Chupadero (afluente del río Seco).

TRAMO	COORDENADAS PLANAS ORIGEN NACIONAL		DESCRIPCIÓN
	COORDENADAS DE INICIO (ESTE, NORTE)	COORDENADAS DE FIN (ESTE, NORTE)	
6-7	5042857, 2114772	5037221, 2117126	Margen izquierda del río Seco (área de descarga general en zona de montaña).
7-8	5037221, 2117126	5036198, 2118612	Margen izquierda del río Chiquito (área de descarga general en zona de llanura).
8-9	5036198, 2118612	5035986, 2118960	Proyección estimada del alineamiento de la falla Cusiana, la cual está cubierta por depósitos aluviales recientes y subrecientes.
9-1	5035986, 2118960	5038357, 2116716	Divisoria de aguas que separa las microcuencas con redes de drenaje subparalelas presentes en el piedemonte.

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

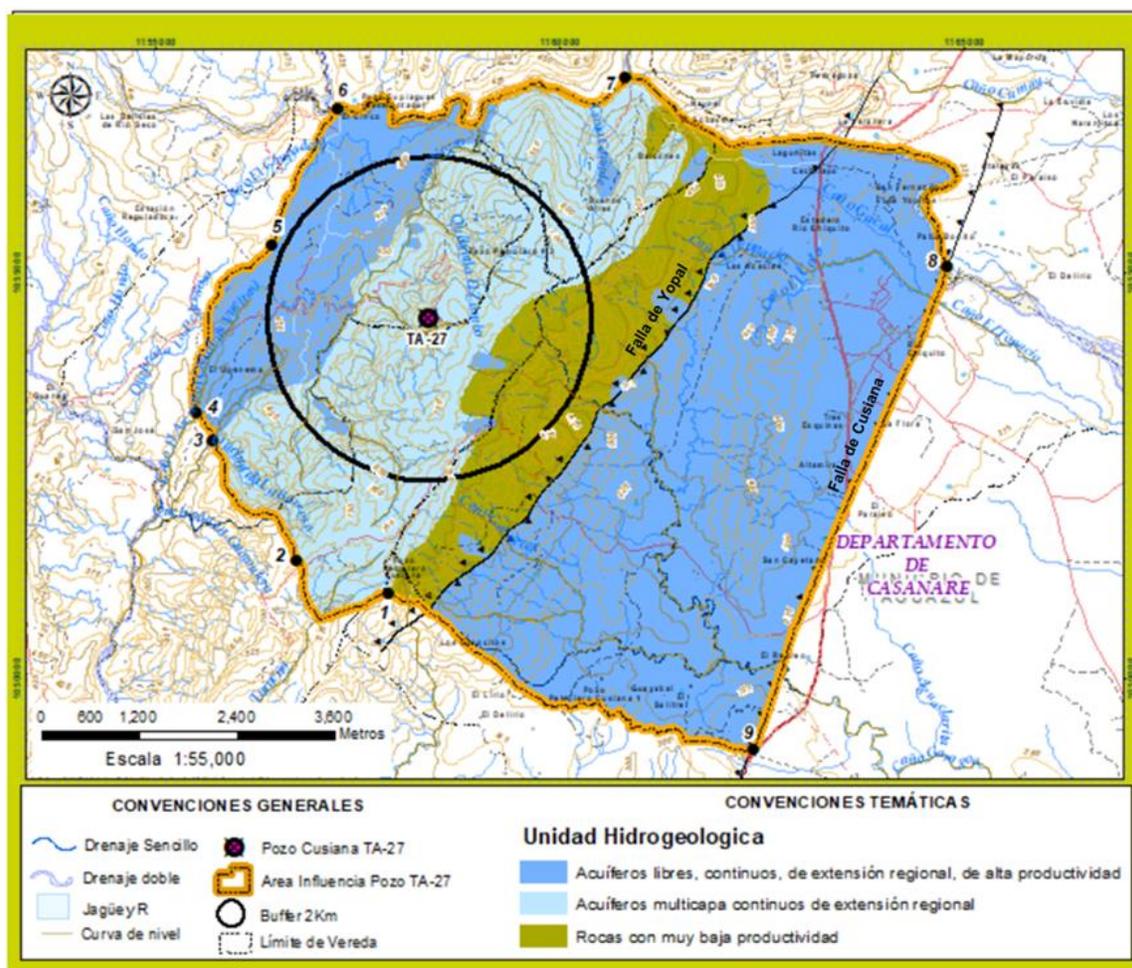


Figura R.4 Área de influencia hidrogeológica definitiva para el Pozo TA-27

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

Finalmente, el área de influencia del factor hidrogeológico se localiza sobre las veredas: Upamena, La Unión, Cerrito, Alto lindo, Primavera y Río Chiquito del municipio de Aguazul - Casanare, con una extensión del orden de 4.250 ha.

De acuerdo con la cartografía geológica de superficie e información estratigráfica y estructural descrita en el Capítulo 3.2, el modelo hidrogeológico conceptual en superficie agrupa las unidades: Depósito Aluviales de Cauce Actual (Q1-ca), Depósitos aluviales plano de inundación (Q1-lla), Depósito de Abanico Aluvial Subreciente (Q1-ca), Formación Corneta (Q1-Sc), Depósitos Coluviales (Q2-c) y Formación Caja (n4Q1-Sct) como un grupo de acuíferos libres, continuos, de extensión regional, de alta productividad y capacidad específica alta, conformado por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvial y glaciofluvial. Asimismo, se clasifica para la Formación Diablo (n1n3-Stm) (Correlacionable con la formación Charte) como acuíferos multicapa continuos de extensión regional, de mediana productividad, conformados por rocas sedimentarias del neógeno, y finalmente, para la Formación San Fernando – E7n1-Stm (Correlacionable con la formación León) un complejo de sedimentos y rocas con muy baja productividad, considerada acuífero. Otras unidades como las formaciones Carbonera, Mirador, Cuervos, Barco, Guadalupe y Gacheta no afloran en el área de influencia, pero se integran en el modelo hidrogeológico definido a profundidad.

La secuencia estratigráfica para el área se ve afectada por la dinámica andina desde el Cretácico temprano, en el sector de Campo Cusiana se podría dividir en tres bloques estructurales principales, siendo el bloque más occidental el hangingwall de la falla de Yopal, afectando principalmente las unidades de la Fm. Carbonera, León (San Fernando), Charte (Diablo) y Guayabo (Caja), siendo estas dos últimas las formaciones que afloran en superficie. Mediante la interpretación de secciones sísmicas, se observa un despegue en la Formación Carbonera Unidad 6, pero se interpreta como un flat a través de una unidad dúctil que precede un despegue mucho más profundo, seguramente en unidades del Cretácico Inferior. La sección entre el footwall de la Falla de Yopal y la Falla de Cusiana es donde se encuentra ubicada la estructura del campo Cusiana, un anticlinal asimétrico con vergencia al este, afectado por fallas de backthrust hacia el oeste que lo delimitan y por fallas de forethrust (Falla de Buenos Aires) al este que lo compartimentalizan y deforman con altos ángulos de buzamiento. En esta zona se ven afectadas las formaciones desde el Cretácico Inferior, en donde se encuentra el despegue de la falla Cusiana, que involucra todas las unidades hasta la superficie. Por último, el bloque más al este corresponde al footwall de la falla Cusiana, el denominado Foreland de Cusiana, en donde se observa poca o nula deformación del Cenozoico y solo quedan algunos relictos de fallas normales asociados al rift pre-cretácico.

El Pozo Cusiana TA-27 al oeste de la falla de Yopal se encuentra atravesando inicialmente la parte basal de la formación Charte, la potencia completa de la formación León y gran parte de la formación Carbonera; posteriormente, al este de la Falla de Yopal atraviesa nuevamente la potencia completa de las formaciones León y Carbonera, hasta atravesar la formación Mirador y llegar hasta la parte superior de la Formación Los Cuervos. La estructura principal a nivel de la formación Mirador en sección entre el footwall de la Falla de Yopal y la Falla de Cusiana corresponde a un anticlinal asimétrico elongado en dirección noreste-suroeste de 25 kilómetros de largo por 5-6 kilómetros de ancho aproximadamente limitado al este por la falla de Cusiana. La cresta anticlinal se encuentra cortada por fallas menores intra-reservorio. Estas condiciones estructurales y estratigráficas permiten concluir que los procesos de inyección a nivel de la Formación Mirador están asegurados por varios sellos que aíslan los acuíferos superiores, conformados inicialmente por los niveles impermeables de la formación Carbonera, subunidades identificadas con nomenclatura par (C2, C4, C6 y C8) que están constituidas por facies principalmente arcillosas, y posteriormente por la potencia completa de la Formación León (secuencia arcillosas prácticamente inexpugnable), la cual cruza el pozo en dos tramos, antes y después de atravesar la Falla de Yopal.

3.1.2 Área de influencia socioeconómica

La definición del área de influencia preliminar socioeconómica, parte de la revisión de la cartografía oficial que para el caso de Aguazul, la fuente oficial es el EOT, utilizando esta cartografía se identifica que, el área de influencia socioeconómica para TA27, la conformarían 6 veredas (ver Tabla R.7), allí

se listan las unidades territoriales menores. En la Figura R.5 se presentan, las veredas según la cartografía del Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Aguazul.

Tabla R.7 Unidades territoriales área de influencia socioeconómica y cultural – cartografía oficial Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT), municipio de Aguazul

MUNICIPIO	VEREDA
Aguazul	La Unión
	Cerrito
	Upamena
	Alto Lindo
	Primavera
	Rio Chiquito
	Turua

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

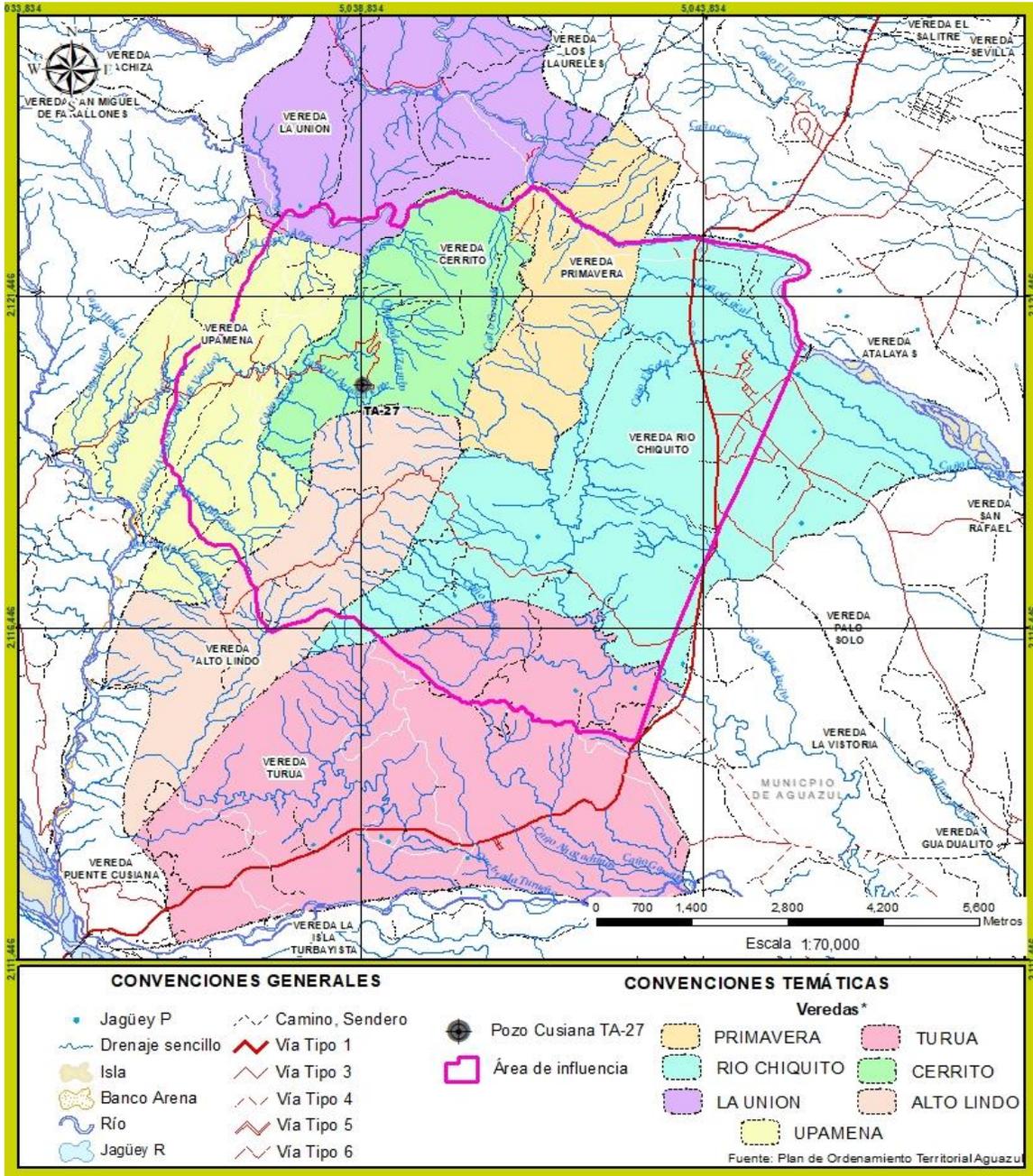


Figura R.5 Delimitación del área de influencia pozo Cusiana TA-27 para el medio socioeconómico – cartografía EOT Aguazul

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

Una vez consultadas las fuentes oficiales y habiendo realizados los momentos de socialización es importante mencionar que el EOT del municipio de Aguazul y su cartografía, se encuentra desactualizada, haciendo evidente las diferencias en la ubicación, límites y distribución de las veredas identificadas de manera preliminar como área de influencia para el pozo TA-27, estas diferencias son reconocidas tanto para la administración municipal, como para las comunidades del

área, quienes manifiestan la necesidad de realizar desde la administración municipal un trabajo de actualización de cartografía veredal. En la actualidad el municipio está adelantando el proceso de actualización del instrumento de ordenamiento territorial (ver Anexo AX 1_COMUNICACIONES, 1.2 Respuestas Entidades). Esta revisión, validación y proceso iterativo con los resultados del componente hidrogeológico permitió establecer que la vereda Turúa definitivamente no hace parte del Área de Influencia del proyecto.

Considerando el trabajo de campo realizado con las comunidades a través del taller de cartografía social y de los recorridos efectuados por la zona, la definición del área de influencia socioeconómica para el pozo TA-27, considera las unidades territoriales reconocidas e identificadas por las comunidades del área, según la cartografía social, las veredas que se encuentran en el área del pozo TA-27 son 6 (ver Tabla R.8 y Figura R.6).

Tabla R.8 Unidades territoriales área de influencia socioeconómica y cultural – cartografía social – Municipio de Aguazul

MUNICIPIO	VEREDA
Aguazul	La Unión
	Cerrito
	Upamena
	Alto Lindo
	Primavera
	Rio Chiquito

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

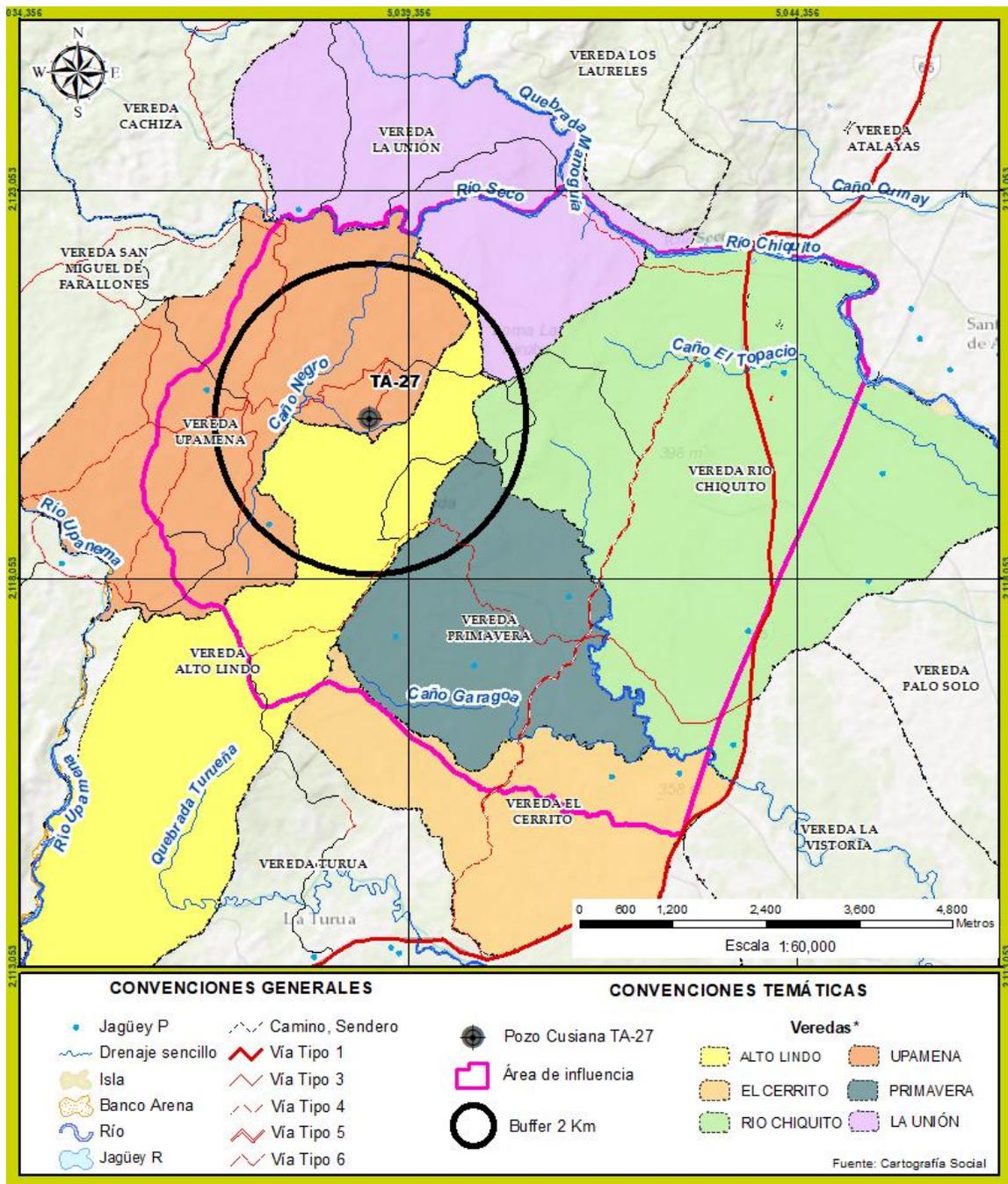


Figura R.6 Delimitación del área de influencia pozo Cusiana TA-27 para el medio socioeconómico – cartografía social

3.2 MEDIO ABIÓTICO

3.2.1 Geología

La evaluación del marco geológico está dirigido a la formulación y obtención de los modelos geológico, estratigráfico y geomorfológico del área de interés; y ser de esta manera un insumo importante tanto para la elaboración de la línea base del sector, así como insumo básico para la obtención del modelo hidrogeológico del área de influencia.

La generación de los modelos geológicos, tanto estratigráfica como estructural, son derroteros de primer orden para poder diferenciar el comportamiento de y entre las unidades litológicas sometidas a diferentes grados de esfuerzos tectónicos que han sido comunes a lo largo no solo del área de estudios sino del piedemonte llanero.

Para su desarrollo, se recurre a revisión de la información secundaria existente de la zona, para esto se recurre a la búsqueda de informes, diagnósticos y estudios en entidades del estado como el Servicio Geológico Nacional (SGC antes INGEOMINAS), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Corporinoquia e informes existentes en la compañía.

El entorno geológico regional y local se funda sobre rocas sedimentarias del terciario, estas son litologías de tipo areniscas, arcillolitas y conglomerados; además se tiene la presencia de depósitos de edad cuaternaria.

Las unidades terciarias forman unas franjas alargadas en sentido NE – SW las cuales se encuentran representadas de base a techo por la Formación San Fernando (*E7n1-Stm*) compuesta por una serie de arcillas y arcillolitas grises con intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano medio a grueso; la Formación Diablo (*n1n3-Stm*) compuesta por areniscas con intercalaciones de arcillolitas, siendo los bancos de arenas las que predominan la unidad; la Formación Caja (*n4Q1-Sct*), compuesta por arcillolitas abigarradas y areniscas de grano fino a medio, con intercalaciones de areniscas de grano medio a conglomeráticas.

Como materiales dispuestos durante el cuaternario, se tienen los depósitos de la formación Corneta (*Q1-Sc*), constituida por guijarros, guijos, gránulos y ocasionalmente bloques y gravas redondeadas, litológicamente por areniscas cuarzosas de grano fino; seguido por la depositación de abanicos aluviales subrecientes (*Q1-ca*), depósitos coluviales (*Q2-C*), los cuales se encuentran asociados a las partes de pendientes altas que en su gran mayoría corresponden a suelos residuales las formaciones terciarias San Fernando y Diablo; depósitos aluviales de plano de inundación (*Q2-a/2*) y depósitos aluviales de cauce actual (*Q2 – a/1*).

Toda la franja del piedemonte llanero se encuentra afectada por las fuerzas compresionales que se generan entre la cordillera oriental y el cratón. Las diferentes líneas sísmicas que se han realizado para la exploración de hidrocarburos a lo largo de la cuenca de la Orinoquía y piedemonte sugieren la presencia de fallas normales de gradientes casi verticales, convergencia al este y rumbo NE-SW, las cuales eventualmente pueden afectar los sedimentos del paleozoico de manera severa y parcialmente a los sedimentos del Oligoceno y Mioceno. Las estructuras presentes en el área de estudio corresponden a:

Falla Yopal: Es una falla inversa de extensión superior a los 200 km, el plano de falla tiene un rumbo N35°E, con buzamiento de 30°W, con variaciones a N10°E al norte del área de estudio. Pone en contacto rocas neógenas sobre el cuaternario de los llanos orientales. A esta falla se une la Falla de Cusiana al Sur.

Falla de Cusiana: Falla Inversa de bajo angula asociada al sistema de fallas del borde llanero, presenta una extensión en superficie de 50 km y en el área de estudio se encuentra cubierta por depósitos cuaternarios y fue definida por sísmica realizada por la industria petrolera. El plano de falla tiene un rumbo N30°- 35°E con buzamiento 30°W.

Sinclinal de Zapatosa – Nuchia: Es una estructura normal, amplia, simétrica, un eje con dirección N50°E, la estructura se encuentra limitada en su flanco occidente por la Falla Guacáramo y en su flanco oriental por la Falla Yopal; el área de estudio se presenta como una sucesión monoclinial correspondiente al flanco oriental de este sinclinal.

3.2.2 Geomorfología

La geomorfología es la ciencia de la tierra que estudia de manera sistemática las formas del terreno, su origen y la evolución a través del tiempo, como respuesta a los diferentes procesos naturales, que se encargan de esculpir y modelar la superficie terrestre, unas veces de manera lenta, casi imperceptible para el hombre y en otras rápida, que causa catástrofes.

Es así, como las unidades geomorfológicas identificadas en el área de influencia, son el resultado a nivel regional de la interacción de procesos estructurales - erosionales, denudativos, acumulativos y climáticos asociados con el levantamiento de la Cordillera Oriental y la posterior depositación en la cuenca de los Llanos Orientales, que sumados a la composición litológica en superficie determinaron las geofomas que actualmente predominan en el área de influencia.

En el área de influencia se presentan geofomas que han sido modeladas por diversos movimientos tanto endógenos como exógenos, de tipo estructural y denudativos, los relieves fuertemente inclinados a fuertemente escarpados, son el resultado de los procesos tectónicos que imperan en el área y que conforman los paisajes de montaña y lomerío, respectivamente; los relieves a nivel a moderadamente inclinados han sido producidos por la acumulación de material proveniente del Piedemonte de la Cordillera Oriental, arrastrados por los principales ríos que disectan el área de estudio. Para la descripción geomorfológica, se utilizó la metodología descrita Sistema de clasificación geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos, elaborada por el IGAC (2017). En la Tabla R.9.

Tabla R.9 Unidades Geomorfológicas para el área de influencia

PAISAJE	AMBIENTE MORFOGENÉTICO	TIPO DE RELIEVE	MATERIAL GEOLÓGICO	FORMA DEL TERRENO	NOMENC.
Montaña	Estructural	Espinazo	Areniscas con intercalaciones de arcillolitas.	Cima	MEe
				Ladera estructural	
				Escarpe	
	Crestas paralelas	Arcillolitas y limolitas de tonos grises y moteados alternando con areniscas grises y gris - verdosas.	Ladera estructural	MEcp	
			Ladera erosional		
			Escarpe		
Deposicional	Manto coluvial	Bloques, y cantos de arenisca predominantemente, angulares en matriz areno limosa con algún contenido de arcillas.	Cuerpo	MDmc	
			Valle estrecho	Cantos, bloques y gravas de composición arenosa	Vega
Lomerío	Denudacional	Loma	Arcillolitas principalmente, con presencia de niveles arenosos de forma lenticular, en menor proporción	Cima y ladera	LDI

PAISAJE	AMBIENTE MORFOGENÉTICO	TIPO DE RELIEVE	MATERIAL GEOLÓGICO	FORMA DEL TERRENO	NOMENC.
Lomerío	Denudacional	Cerro Residual	Gravas con cantos de arenisca y cuarzo de hasta 80 cm de diámetro.	Cima y ladera	LDcr
Piedemonte	Deposicional	Abanico subreciente	Bloques, cantos y guijos de arenisca en una matriz areno – limosa. Se presentan matriz – soportados y tienen formas angulares	Ápice	PDas
				Cuerpo	
Valle	Deposicional	Plano de inundación de río meándrico activo	Cantos, bloques y gravas de composición arenosa	Vega	VDvg
				Sobrevega	VDsv

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

3.2.3 Suelos

La caracterización agrologica de los suelos para el área de influencia, se realizó a partir del análisis de la información secundaria, la cual corresponde al Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Casanare - IGAC, 2014 e información inherente al presente estudio como lo es: fotointerpretación geológica – geomorfológica, mapas de geología, geomorfología, coberturas de la tierra e información de campo). Dicha información permitió generar los respectivos mapas de: suelos y uso actual del suelo como insumo para el modelo hidrogeológico del área de estudio. La descripción de las unidades de suelo encuentra consignada en la Tabla R.10.

Tabla R.10 Unidades de suelo para el área de influencia

CARACTERÍSTICAS DEL RELIEVE	CARACTERÍSTICAS DE LOS PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS	CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS	CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS SUELOS	COMPONENTES TAXONÓMICOS	PERFILES DE SUELO	SIMBOLOS SUELO / FASES	Área de influencia TA-27		
							Área (ha)	%	
(Estudio de suelo Casanare, 2014- IGAC)									
Relieve moderadamente escarpado, pendientes entre 50 -75%	Erosión hídrica en grado ligero a severo y deslizamientos en áreas donde se ha desprovisto de vegetación nativa el suelo.	Bien drenados, muy superficiales, limitados por la presencia de roca, texturas moderadamente gruesas, alta saturación de aluminio, muy fuertemente ácidos, muy baja fertilidad	Tipo B	Consociación Lithic Udorthents MVC 80% - Afloramiento rocoso 20%	CN-66	MVCf2	1491,56	28,08	
Relieve ligeramente escarpado, pendientes entre 25 - 50%.	Erosión hídrica ligera a moderada y movimientos en masa como solifluxión y terracetas.	Bien drenados, profundos y muy superficiales, limitados por la presencia de fragmentos gruesos, texturas moderadamente gruesas y finas, alta saturación de aluminio, muy fuertemente ácidos, de baja y muy baja fertilidad	Tipo B	Asociación Typic Dystrudepts MVA 55%	CN-61	MVAd1	743,05	13,99	
Relieve ligeramente inclinado, pendientes de 3 - 12%, abundante pedregosidad	Erosión hídrica ligera a moderada.	Bien a excesivamente drenados, moderadamente profundos, texturas gruesas, muy fuertemente ácidos, alta saturación de aluminio y muy muy baja fertilidad.	Tipo A	Asociación Typic Udorthents MVG 35%	CN-66	MVGbp	81,32	1,53	
Relieve fuertemente inclinado, pendientes de 12-25%.	Alta susceptibilidad a la erosión	Bien drenados, muy superficiales a moderadamente profundos, de texturas moderadamente gruesas a finas, muy fuerte a extremadamente ácidos y fertilidad baja y muy baja	Tipo B	Asociación Typic Udorthents LVA 35%	CN-42	LVAe3	1002,13	18,87	
Relieve ligeramente escarpado, pendientes entre 25 - 50%.			Tipo A	Asociación Inceptic Hapludox LVA 15%	CN-125	LVAe2 LVAe3	568,56 732,24	10,70 13,79	
Relieve ligeramente plano, pendientes menores a 3%, abundante pedregosidad.	Erosión hídrica laminar en grado ligero a moderado	Bien a pobremente drenados, profundos a muy superficiales, de texturas medianamente finas y finas, muy fuertemente ácidos y fertilidad muy baja a moderada	Tipo C	Asociación Oxyc Dystrudepts PVB 40%	CN-43	PVBa	447,74	8,43	
Relieve ligeramente plano, pendientes menores a 3%, abundante pedregosidad.	Frecuentes inundaciones.	Bien drenados, superficiales, texturas gruesas, alta saturación de aluminio, fuerte y muy fuertemente ácidos, fertilidad muy baja y moderada	Tipo A	Asociación Typic Udifluvents VVB 55%	CN-31	VVBb	12,79	0,24	
		Bien y pobremente drenados, moderadamente profundos y muy superficiales, texturas moderadamente gruesas y finas, alta saturación de aluminio por sectores, extremada y moderadamente ácidos, fertilidad moderada y baja.		Asociación Typic Fluvaquents VVC 40%	P-11	VVCap	175,25	3,30	
						Cuerpo Agua	Ca	56,56	1,06
TOTAL							5311,19	100,00	

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

3.2.4 Geotecnia

Este ítem no se desarrollará para la presente línea base por cuanto no es un insumo para la evaluación y desarrollo del modelo hidrogeológico del presente estudio.

3.2.5 Hidrogeología

La inyección de agua de producción en el Pozo TA-27 para mantener la presión del yacimiento y mejorar el recobro, se encuentra enmarcada en el proyecto de “Gestión de Aguas de Producción Tren Piedemonte” dentro de las estrategias de desarrollo de operación del campo Cusiana que lleva a cabo Ecopetrol S.A., descripción que hace parte de la modificación de la licencia ambiental del área de pozos de desarrollo del Cusiana TA, en donde se incluye el componente hidrogeológico.

Hidrogeológicamente en el contexto regional, en el área de influencia se han desarrollado diversos estudios hidrogeológicos generales de carácter exploratorio y desarrollo, principalmente por parte de entidades gubernamentales el Servicio Geológico Colombiano (anteriormente INGEOMINAS) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). En el Mapa de Regiones Hidrogeológicas (INGEOMINAS 2002), la zona objeto del presente estudio se encuentra en la provincia hidrogeológica Orinoco; constituida por rocas sedimentarias de edad terciaria de ambiente marino y por materiales cuaternarios de ambiente continental, los sectores permeables de esta provincia se encuentran en sedimentos cuaternarios de origen continental y transicional y en rocas terciarias de ambiente marino. La recarga de los acuíferos tiene su origen en la moderada a baja precipitación y en menor proporción a partir de cuerpos de aguas superficiales, de otra parte en el contexto local, las unidades hidrogeológicas que afloran en el área de influencia desde el punto de vista de su capacidad para almacenar y permitir el flujo de agua subterránea, se clasificaron en tres grupos a saber unidad de acuíferos libres a semiconfinados con flujo esencialmente intergranular, unidad de acuíferos confinados con flujo esencialmente intergranular y acuitardos.

El inventario de puntos de agua subterránea, incluyo un total de 105 puntos, 90 corresponden a nacederos, 8 corresponden a pozos y 7 aljibes, el 86% de las captaciones se encuentran en uso, 7% en estado reserva y 8% inactivas. De los puntos que se encuentran en uso activo, la mayoría se emplean para cubrir necesidades pecuarias, el segundo uso identificado corresponde a la satisfacción de necesidades domésticas individuales, cinco puntos abastecen el consumo humano comunitario, en tres puntos se identificaron usos especiales relacionados con la piscicultura y un galpón y finalmente para uso recreativo individual, a partir de los parámetros *in situ* tomados en estos puntos con el valor del pH se consideran aguas básicas >7,2, la conductividad eléctrica muestra en general valores bajos correspondientes con la clasificación de agua lluvia o recientemente infiltrada, los sólidos disueltos totales muestran aguas clasificadas como frescas en su gran mayoría y finalmente la temperatura de los puntos de muestreo oscila entre 20.7 y 32.2 °C, los valores más altos se registraron en la vereda Río Chiquito y los más bajos en las veredas Upamena y La Primavera.

La evaluación de la recarga se realizó mediante los valores de precipitación media anual, aplicando la fórmula de Cheeturvedi donde se obtuvo una recarga estimada para los acuíferos localizados en el área de estudio de entre 64.6 y 80.9 mm al año, que corresponden a valores aproximados a los 3.952.463,8 millones de metros cúbicos al año. Además, se realizó un análisis de zonas potenciales de recarga a partir de algebra de mapas, donde se distingue que las zonas potenciales de recarga alta se ubican hacia el sector centro-occidental del área de influencia, media hacia el occidente y oriente y baja principalmente hacia el costado oriental en zonas de piedemonte y llanura.

La vulnerabilidad intrínseca a la contaminación es moderada en la mayoría del área de influencia del pozo TA-27, en las zonas ocupadas principalmente por los depósitos recientes y las unidades

neógenas de acuíferos libres y confiados, la unidad de cauce aluvial actual se caracteriza por presentar vulnerabilidad alta y corresponde a un acuífero tipo libre y finalmente la formación San Fernando se clasifica con baja vulnerabilidad ya que corresponde a una unidad acuitardo.

De acuerdo con el análisis de calidad de aguas subterráneas en el área de influencia del Pozo TA-27, las grasas y aceites y los hidrocarburos totales no representan concentraciones que indiquen que estos puntos puedan estar alterados por la actividad petrolera, no obstante, los parámetros de aluminio, coliformes totales y fecales, hierro, potasio, pH y turbidez se encuentran excedidos de acuerdo al límite normativo vigente para consumo humano; la mayoría de aguas corresponden a aguas de calidad media, en menor proporción buena y se clasifican como frescas. Los resultados del diagrama de Stiff y Circular evidencian que las muestras tienen como cationes predominantes al sodio y magnesio y por el lado de los aniones predominan los bicarbonatos, esto indica que son aguas frescas o que tienen una renovación continua, se encuentran cerca de la zona de recarga y su tiempo de residencia en el acuífero es corto, mientras que en el diagrama de Piper la mayoría de las aguas son de tipo sódica potásicas, bicarbonatadas, cloruradas y no dominantes (Región D, E, G y H) y evolucionan a mixtas (9) y sódicas cloruradas (7). Cabe resaltar que la muestra del Pozo Profundo Finca La Felicidad se encuentra desbalanceada con un error del 61.8%, por lo cual no se tuvo en cuenta para estos análisis.

En el área de influencia del Pozo Cusiana TA-27 se identifican principalmente flujos de régimen subsuperficial con aportes principales de agua meteórica por recarga local (corto tiempo de tránsito en el subsuelo); estos flujos son los responsables de alimentar los flujos base de las corrientes perenes que drenan el área, y eventualmente alimentan las bocatomas de acueductos veredales que abastecen a las comunidades. Sin embargo, los procesos de inyección evaluados en el marco del presente estudio suceden en dominios hidrogeológicos más profundos y aislados, por lo que es necesario considerar dos distintos tipos de modelos asociados al análisis de aguas subterráneas, estos se describen a continuación. Las redes de flujo de agua subterránea en el área de influencia del pozo TA-27 tiene dos direcciones preferenciales que están definidas en base a la divisoria de aguas presente al costado oriental del pozo, corroboradas con inventario de puntos de agua subterránea ejecutado en el marco del presente estudio, así, los flujos de agua en los acuíferos más someros tienen dirección en sentido preferencial SE → NW hacia el costado occidental del filo estructural, y dirección en sentido preferencial NW → SE hacia el sector oriental del filo estructural, es decir, sus líneas equipotenciales pierden potencia desde la parte más alta de la montaña hasta las zonas bajas marcadas por las corrientes de agua principales. En cualquier caso, la dirección de flujo general de los acuíferos en la zona de piedemonte llanero sigue la topografía general del terreno en sentido Oeste → Este.

La secuencia estratigráfica para el área se ve afectada por la dinámica andina desde el Cretácico temprano, en el sector de Campo Cusiana se podría dividir en tres bloques estructurales principales, siendo el bloque más occidental el hangingwall de la falla de Yopal, afectando principalmente las unidades de la Fm. Carbonera, León (San Fernando), Charte (Diablo) y Guayabo (Caja), siendo estas dos últimas las formaciones que afloran en superficie. Mediante la interpretación de secciones sísmicas, se observa un despegue en la Formación Carbonera Unidad 6, pero se interpreta como un flat a través de una unidad dúctil que precede un despegue mucho más profundo, seguramente en unidades del Cretácico Inferior. La sección entre el footwall de la Falla de Yopal y la Falla de Cusiana es donde se encuentra ubicada la estructura del campo Cusiana, un anticlinal asimétrico con vergencia al este, afectado por fallas de backthrust hacia el oeste que lo delimitan y por fallas de forethrust (Falla de Buenos Aires) al este que lo compartimentalizan y deforman con altos ángulos de buzamiento. En esta zona se ven afectadas las formaciones desde el Cretácico Inferior, en donde se encuentra el despegue de la falla Cusiana, que involucra todas las unidades hasta la superficie. Por último, el bloque más al este corresponde al footwall de la falla Cusiana, el denominado Foreland

de Cusiana, en donde se observa poca o nula deformación del Cenozoico y solo quedan algunos relictos de fallas normales asociados al rift pre-cretácico.

El Pozo TA-27 al oeste de la falla de Yopal se encuentra atravesando inicialmente la parte basal de la formación Chartre, la potencia completa de la formación León y gran parte de la formación Carbonera; posteriormente, al este de la Falla de Yopal atraviesa nuevamente la potencia completa de las formaciones León y Carbonera, hasta atravesar la formación Mirador y llegar hasta la parte superior de la Formación Los Cuervos. La estructura principal a nivel de la formación Mirador en sección entre el footwall de la Falla de Yopal y la Falla de Cusiana corresponde a un anticlinal asimétrico elongado en dirección noreste-suroeste de 25 kilómetros de largo por 5-6 kilómetros de ancho aproximadamente limitado al este por la falla de Cusiana. La cresta anticlinal se encuentra cortada por fallas menores intra-reservorio. Estas condiciones estructurales y estratigráficas permiten concluir que los procesos de inyección a nivel de la Formación Mirador están asegurados por varios sellos que aíslan los acuíferos superiores, conformados inicialmente por los niveles impermeables de la formación Carbonera, subunidades identificadas con nomenclatura par (C2, C4, C6 y C8) que están constituidas por facies principalmente arcillosas, y posteriormente por la potencia completa de la Formación León (secuencia arcillosas prácticamente inexpugnable), la cual cruza el pozo en dos tramos, antes y después de atravesar la Falla de Yopal.

Finalmente, de acuerdo con la filosofía de operación del pozo TA-27 en periodo de operación temprano (entre 0 y 6 meses aproximadamente), en el cual se inicia la inyección de agua en zonas saturadas con gas remanente de inyección (altamente compresible) y sin alcanzar el llenado de líquido en área de influencia de los pozos en cuestión, el rango de presión en cabeza requerida para manejar la totalidad del agua foco del proyecto es entre 0 y 500 psig, para un caudal de inyección entre 10.150 y 25.000 BWPD. Por otra parte, para un periodo de operación estabilizada (mayor a 6 meses), en el cual se ha completado el reemplazamiento de los fluidos del yacimiento en las inmediaciones del área de drenaje del pozo por agua inyectada y algunos efectos de daño de formación podrían materializarse, el rango de presión en cabeza requerida para manejar la totalidad del agua foco del proyecto es entre 500 y 1.000 psig, para un caudal de inyección entre 16.094 y 25.000 BWPD.

3.2.6 Climatológico

La climatología es la ciencia que estudia los registros medios de los parámetros meteorológicos de un punto geográfico determinado incluyendo cambios que ocurren en periodos de décadas o siglos, así mismo, estudia el estado físico medio de la atmósfera y su variación en el tiempo y el espacio. A continuación, se presenta la descripción de las condiciones climáticas del área del proyecto para la perforación del Pozo TA-27, bloque Santiago de las Atalayas.

Para la caracterización climatológica se utilizaron las estaciones representativas en el área de estudio que se muestran en la-Tabla R.11.

Tabla R.11 Estaciones meteorológicas empleadas para la caracterización del área del proyecto Pozo TA27

CÓDIGO	TIPO*	ESTACIÓN	MUNICIPIO	COORDENADAS ORIGEN NACIONAL	
				ESTE	NORTE
35195020	CO	TAURAMENA	TAURAMENA	5014422	2113505
35190070	PL	SAN JOSE	AGUAZUL	5059987	2120674
35195030	CO	AGUAZUL	AGUAZUL	5050140	2130077
5190030	PV	CHAMEZA	CHAMEZA	5010757	2133077

CÓDIGO	TIPO*	ESTACIÓN	MUNICIPIO	COORDENADAS ORIGEN NACIONAL	
				ESTE	NORTE
35190050	PV	PAJARITO	PAJARITO	5033012	2143974
35195050	CO	CORINTO	PAJARITO	5031314	2155502
35085050	CO	CAMPOHERMOSO	CAMPOHERMOSO	4988513	2114305

CO – Climatológica Ordinaria, PM – Pluviométrica, AM-Agrometeorológica. (Fuente: Base de datos IDEAM)
Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

Aplicando el Método de los Polígonos de Thiessen para verificar el área de influencia de las estaciones, donde se identifica la cercanía de la estación AGUAZUL al área de la microcuenca del Caño Negro, por lo cual no es necesario ponderar los datos de precipitación de las demás estaciones, ya que esta presenta cubrimiento total del área de influencia, como se presenta en la Figura R.7.

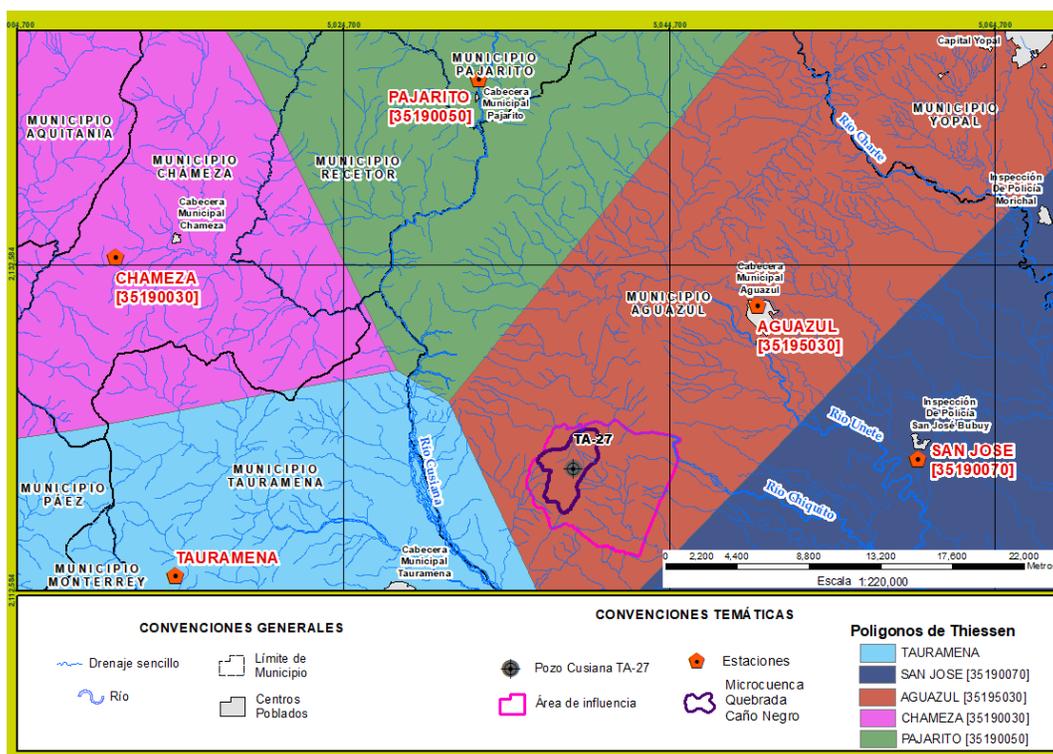


Figura R.7 Localización de las estaciones meteorológicas empleadas para la caracterización del área del proyecto Pozo TA-27

Fuente: GEOTEC INGENIERIA, 2022.

Una vez recopilada la información de parámetros climáticos de los últimos años se procedió a verificar las series mensuales, valores totales anuales, se eliminaron los valores que contenían datos erróneos y se complementaron las series anuales con el fin de obtener un valor más representativo y para evaluar la homogeneidad de la serie temporal de los datos de acuerdo a la disponibilidad de la información de las estaciones meteorológicas del período de análisis, siendo este superior a 10 años, se tomaron los datos correspondientes al periodo comprendido entre el 01/01/2000 hasta 20/06/2021, para datos de precipitación y temperatura.

3.2.7 Hidrológico

Para este proyecto el componente se incluye como insumo para el modelo hidrogeológico (ver Anexo AX 3_TECNICO, 3.4 Hidrológico) y solo se analiza la microcuenca del caño Negro, debido a que se localiza dentro del Buffer de 2 km generado para la caracterización ambiental teniendo en cuenta la ubicación del pozo TA-27, es pertinente aclarar que las intervenciones del proyecto son puntuales y no generan impacto sobre el recurso hídrico superficial, La delimitación de la microcuenca del Caño Negro, se realiza con base en las divisorias de aguas usando la cartografía base del IGAC escala 1.25.000, se utiliza además el DEM con una resolución espacial de 12.5 x 12.5 m, Alos Palsar, publicado por la Universidad de Alaska (ver Figura R.8).

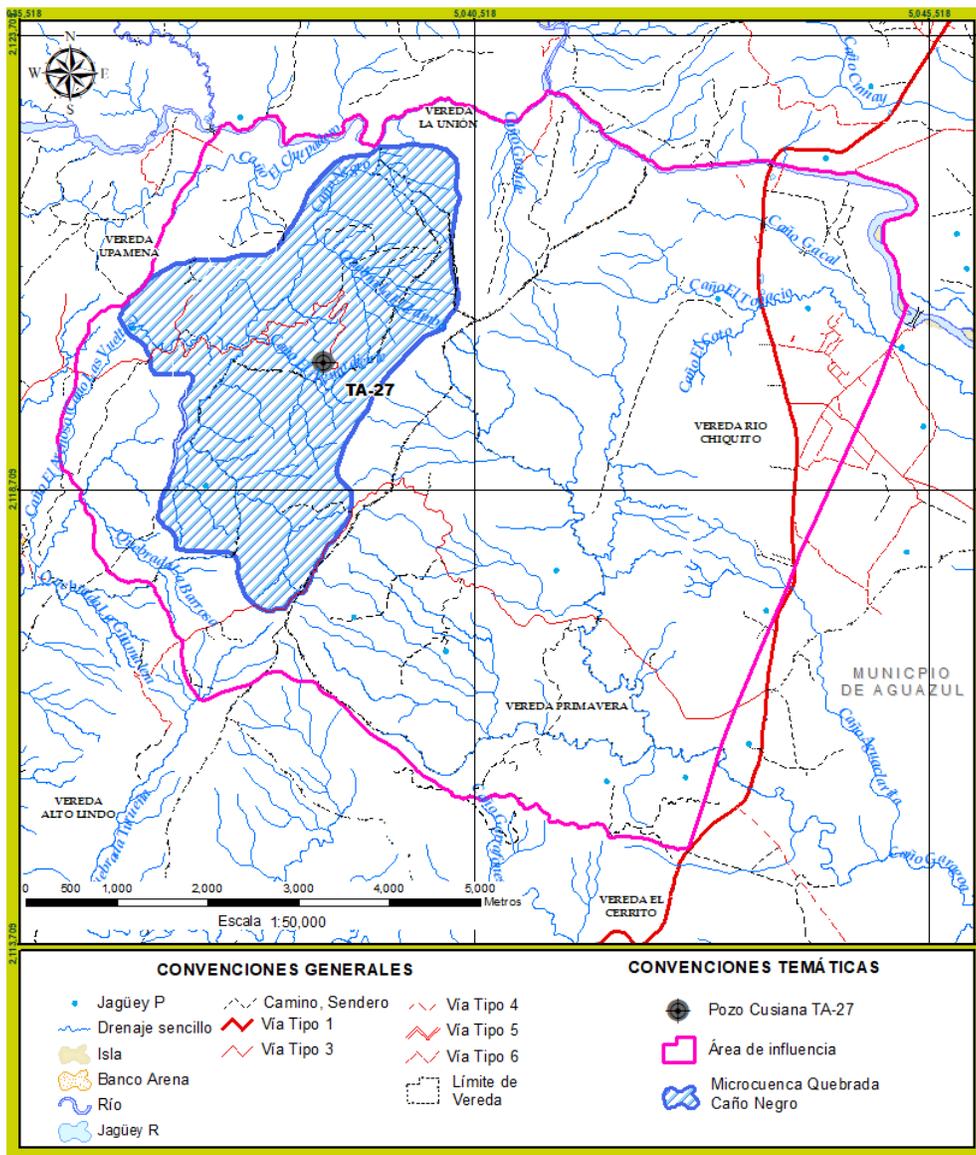


Figura R.8 Área de Influencia Microcuenca Caño Negro

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

3.2.7.1 Zonificación Hidrográfica

En la Tabla R.12, se observa la zonificación hidrográfica para el área de influencia del proyecto, que en este caso corresponde a la microcuenca del Caño Negro, que es un afluente del Río Chiquito, el cual aporta sus aguas al Río Unete¹ que hace parte de la cuenca del Río Cusiana, el cual cuenta con POMCA

Tabla R.12 Zonificación Hidrográfica Área de Influencia

AH	ZH	SZH	UNIDAD HIDROGRÁFICA NIVEL I	UNIDAD HIDROGRÁFICA NIVEL II	UNIDAD HIDROGRÁFICA NIVEL III
Orinoco (3)	Meta (35)	Río Cusiana (3519)	Río Unete (351902)	Río Chiquito (35190206)	Caño Negro (3519020601)

Fuente: Zonificación y codificación de cuencas hidrográficas. IDEAM, 2013.

3.2.7.2 Identificación de Sistemas Lénticos y Lóticos

En el área de influencia del proyecto para el componente hidrológico, se encuentran sistemas lénticos correspondientes a piscinas para cultivo de la cachama y jagüeyes principalmente (ver Figura R.9)

¹ Corporinoquia, Corpoboyaca, POMCA del Río Cusiana, Documento Diagnostico, Gobernación del Casanare, 2018.

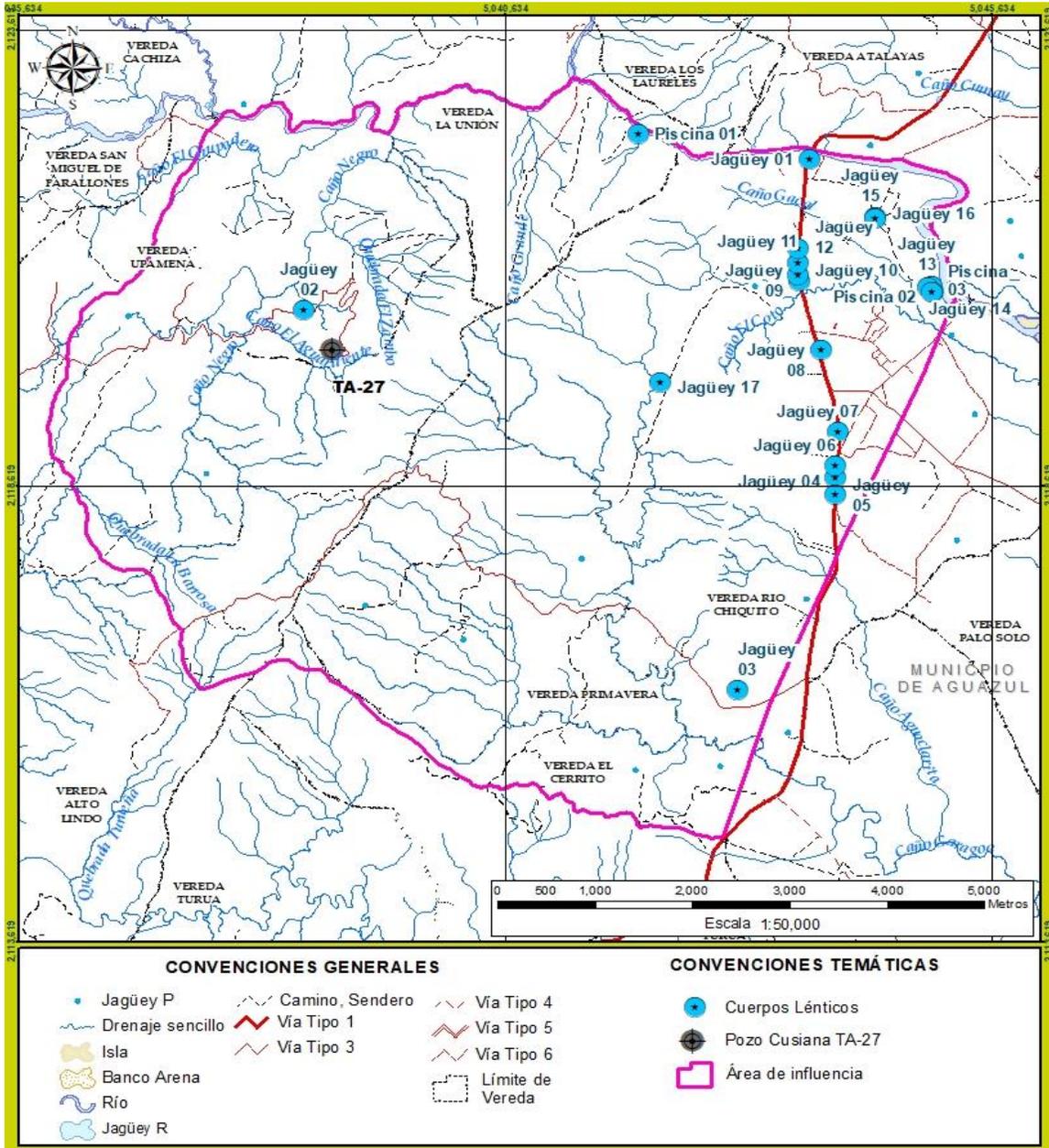


Figura R.9 Localización de los Sistemas Lénticos

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

Teniendo en cuenta el sistema hidrográfico a continuación se presenta una descripción de los principales drenajes que se encuentran colindando con el área de influencia del proyecto, sobre los cuales se hace una descripción y se presenta su localización (ver Figura R.10).

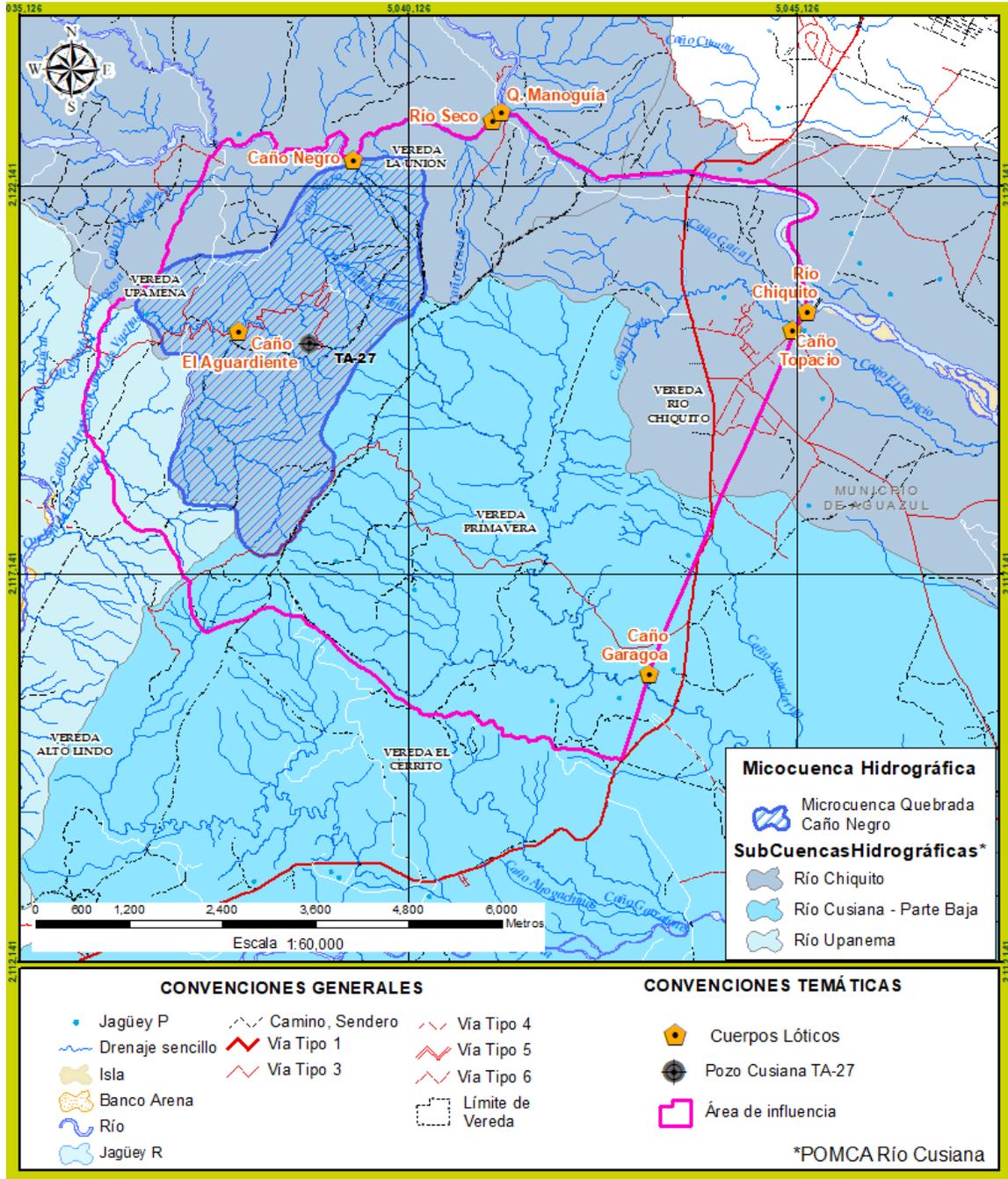


Figura R.10 Localización de los Sistemas Lóticos

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

3.2.7.3 Régimen Hidrológico

3.7.1.3.1. Modelación de Caudales

La modelación de caudales, debido a que la microcuenca objeto de estudio el Caño Negro no cuenta con un sistema de registro hidrológico de caudales, no está instrumentada, se realiza el modelamiento a partir de los valores de precipitación de la estación Aguazul que se encuentra inmersa en el área de la microcuenca, a partir de esta información se realiza un modelo lluvia escorrentía mediante el uso del software Hec HMS y el análisis de la información cartográfica correspondiente al uso y cobertura del suelo.

En la Tabla R.13 se presenta el resumen los caudales de diseño para diferentes periodos de retorno.

Tabla R.13 Resumen Caudales Períodos de Retorno

PERIODO DE RETORNO	CAUDAL DE DISEÑO
2 años	33.8 m3/s
3 años	39.1 m3/s
5 años	46.7 m3/s
10 años	58.7 m3/s
20 años	73.0 m3/s
25 años	78.2 m3/s
50 años	96.0 m3/s
100 años	116.7 m3/s

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

3.2.8 Calidad del agua

A continuación, se presenta la caracterización de calidad de agua y la comparación multitemporal de los estudios de calidad de agua a lo largo de 12 campañas de monitoreo (mayo - septiembre de 2017, enero - mayo - septiembre de 2018, enero - mayo - septiembre de 2019, enero - junio - septiembre de 2020 y febrero de 2022) adelantadas en las estaciones aguas arriba de CUS TA-27 y aguas debajo de CUS TA-27 en el caño Aguardiente y aguas arriba del CUS TA-27 y aguas abajo de CUS TA-27 en el caño Negro. Esto se realiza en el marco del EIA para la modificación de la licencia ambiental del Área de Pozos de Desarrollo TA para incluir la actividad de inyección de agua de producción en el Pozo TA-27 - Bloque Santiago de las Atalayas.

El trabajo de campo correspondiente al monitoreo en época seca se realizó los días 21 y 23 de enero de 2022, fechas que coincidieron con la época seca alta donde según Bustamante, *et al.*, (2013²) las temperaturas más altas de la época seca se registran enero. La caracterización de calidad de agua se llevó a cabo en las estaciones Caño Aguardiente aguas abajo de CUS TA (Mon-4), Caño Negro aguas arriba de CUS TA (Mon-1) y Caño Negro aguas abajo de CUS TA (Mon-2) es importante resaltar que el punto Caño Aguardiente aguas arriba de CUS TA (Mon-3) se encontró seco durante la campaña de monitoreo, esto como consecuencia de la época seca en la que se adelantó el estudio.

Los monitoreos fueron ejecutados por el laboratorio Ambius S.A.S., se realizó la toma de mediciones in situ y toma de muestras de calidad de agua para sus posteriores análisis fisicoquímicos y

² BUSTAMANTE, A., MARTÍNEZ, A., ESPITIA, J., CÁRDENAS, E. Análisis de datos meteorológicos para identificar y definir en clima en Yopal, Casanare. Revista de medicina veterinaria. No. 25. Bogotá. Enero de 2013.

bacteriológicos, los cuales fueron adelantados por los laboratorios ambientales Chemilab S.A.S y AGQ Colombia.

En la Tabla R.14 se describen las condiciones de campo de cada una de los sitios y campañas de monitoreo que hacen parte del análisis del presente documento. En la Figura R.11 se muestran los sitios de muestreo considerados para la presente caracterización.

Tabla R.14 Descripción de puntos de monitoreo. Caracterización de Calidad de Agua Superficial

NOMBRE	ID	pH (unidades)	Conductividad (µs/cm)	Temperatura muestra (°C)	OD (mg O/L)	COORDENADAS PLANAS ORIGEN NACIONAL		FECHA DE MONITOREO
						Este	Norte	
Caño Aguardiente aguas arriba de CUS TA (Mon-3)	CAGUARDIENT_AARCUSTA	Punto seco				5039194,097	2120052,327	23/01/2022
Caño Aguardiente aguas abajo de CUS TA (Mon-4)	CAGUARDIENT_AABCUSTA	5,8	28,8	24,9	7,13	5038257,716	2120319,222	21/01/2022
Caño Negro aguas arriba de CUS TA (Mon-1)	CNEGRO_AARCUSTA	6,38	39,3	26,2	6,06	5037916,533	2120184,235	23/01/2022
Caño Negro aguas abajo de CUS TA (Mon-2)	CNEGRO_AABCUSTA	5,38	41,9	24,8	6,49	5037945,285	2120288,117	23/01/2022

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2021.

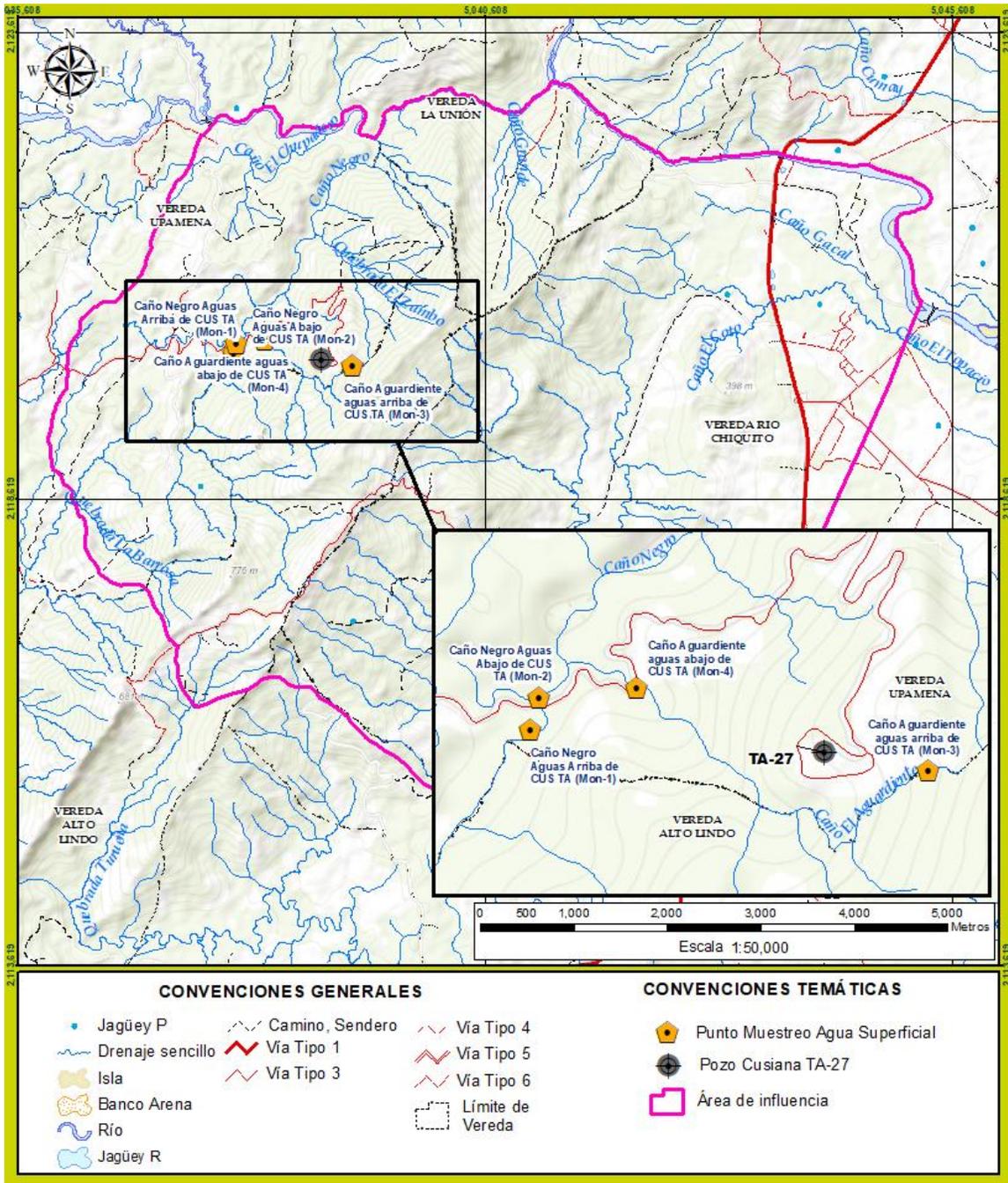


Figura R.11 Localización puntos de monitoreo de agua superficial

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

Los límites de comparación que se incluyen en el presente documento, corresponden a los establecidos en el Decreto 1594 de 1984, ya que a la fecha todavía no se han definido los criterios de calidad para el uso de las aguas y actualmente se considera el régimen de transición establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.1. del Decreto 1076 de 2015 (Capítulo 3 – Sección 9) (ver Tabla R.15).

Tabla R.15 Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos analizados incluyendo la comparación con los criterios de calidad permisibles (Decreto 1076 de 2015) para consumo humano, uso doméstico, agrícola, pecuario y preservación de fauna y flora.

PARÁMETRO	UNIDADES	CAÑO AGUARDIENTE AGUAS ABAJO DE CUS TA (MON-4)	CAÑO NEGRO AGUAS ARRIBA DE CUS TA (MON-1)	CAÑO NEGRO AGUAS ABAJO DE CUS TA (MON-2)	DECRETO 1076 DE 2015 MADS		
					Artículos: 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 Consumo humano / Uso doméstico	Artículos 2.2.3.3.9.5 y 2.2.3.3.9.6 Uso agrícola / pecuario	Artículo 2.2.3.3.9.10 Flora y Fauna
Acidez Total	mg CaCO ₃ /L	<5,0	8,95	14	N.E.	N.E.	N.E.
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	9,97	18,8	24,4	N.E.	N.E.	N.E.
Aluminio Total	mg Al /L	<0,10	<0,10	<0,10	N.E.	5.0	N.E.
Antimonio Total	mg Sb/L	<0,050	<0,050	<0,050	N.E.	N.E.	N.E.
Arsénico Total	mg As/L	<0,050	<0,050	<0,050	0,05	0,1/0,2	N.E.
Bario Total	mg Ba/L	<0,050	<0,050	<0,050	1.0	N.E.	N.E.
Bicarbonatos	mg CaCO ₃ /L	9,97	18,8	24,4	N.E.	N.E.	N.E.
Cadmio Total	mg Cd/L	<0,010	<0,010	<0,010	0.01	0.01/0.05	N.E.
Calcio Total	mg Ca/L	2,91	2,06	2,16	N.E.	N.E.	N.E.
Carbono orgánico total	mg COT/L	0,58	1,83	1,97	N.E.	N.E.	N.E.
Cianuro Total	mg CN-/L	<0,010	<0,010	<0,010	0,2	N.E.	N.E.
Cloruros	mg Cl-/L	<9,9	<9,9	<9,9	250.0	N.E.	N.E.
Cobalto Total	mg Co/L	<0,050	<0,050	<0,050	N.E.	N.E.	N.E.
Cobre Total	mg Cu/L	<0,050	<0,050	<0,050	1,0	0,2 / 0,5	N.E.
Coliformes Fecales Termotolerantes	NMP/100 mL	93,4	18,3	30,3	2.000*	1000/N.E.	N.E.
Coliformes Totales	NMP/100 mL	1986	1414	1733	20.000*/1.000**	5000/N.E.	N.E.
Color Real (436 nm)	NM	0,667	0,741	0,944	N.E.	N.E.	N.E.
Color Real (525 nm)	NM	0,413	0,37	0,503	N.E.	N.E.	N.E.
Color Real (620 nm)	NM	0,296	0,227	0,274	N.E.	N.E.	N.E.
Conductividad	µS/cm	28,8	39,3	41,9	N.E.	N.E.	N.E.
Cromo Total	mg Cr/L	<0,050	<0,050	<0,50	N.E.	N.E.	N.E.
DBO ₅	mg O ₂ /L	<5,0	<5,0	<5,0	N.E.	N.E.	N.E.
DQO	mg O ₂ /L	<5,0	<5,0	<5,0	N.E.	N.E.	N.E.
Dureza Total*	mg CaCO ₃ /L	12,4	14	11,2	N.E.	N.E.	N.E.
Fenoles totales	mg Fenol /L	<0,10	<0,10	<0,10	0,002	N.E.	N.E.
Fósforo Hidrolizable (inorgánico)	mg P/L	<0,07	<0,07	<0,07	N.E.	N.E.	N.E.
Fósforo Hidrolizable (fosfatos)	mg P/L	<0,07	<0,07	<0,07	N.E.	N.E.	N.E.
Fósforo orgánico	mgP/L	<0,07	<0,07	<0,07	N.E.	N.E.	N.E.
Fósforo total	mg P/L	<0,07	<0,07	<0,07	N.E.	N.E.	N.E.
Grasas y Aceites	mg AyG/L	<4,0	12,61	5,95	Sin Película Visible	N.E.	N.E.

PARÁMETRO	UNIDADES	CAÑO AGUARDIENTE AGUAS ABAJO DE CUS TA (MON-4)	CAÑO NEGRO AGUAS ARRIBA DE CUS TA (MON-1)	CAÑO NEGRO AGUAS ABAJO DE CUS TA (MON-2)	DECRETO 1076 DE 2015 MADS		
					Artículos: 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 Consumo humano / Uso doméstico	Artículos 2.2.3.3.9.5 y 2.2.3.3.9.6 Uso agrícola / pecuario	Artículo 2.2.3.3.9.10 Flora y Fauna
Hidrocarburos Totales	mg/L	<4,0	<4,0	<4,0	N.E.	N.E.	N.E.
Hierro Total	mg Fe/L	0,423	0,245	0,316	N.E.	5,0/N.E.	N.E.
Magnesio Total	mg Mg/L	2,08	1,67	1,7	N.E.	N.E.	N.E.
Manganeso Total*	mg Mn/L	0,072	<0,050	<0,050	N.E.	N.E.	N.E.
Material Flotante	Presencia / Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausente	0.002	N.E./0.01	N.E.
Mercurio Total	µg Hg/L	<0,002	<0,002	<0,002	N.E.	0,2 / N.E.	N.E.
Níquel Total	mg Ni/L	<0,050	<0,050	<0,050	10.0	N.E.	N.E.
Nitritos	mg NO2/L	<0,00608	<0,00608	<0,00608	1.0	-/10.0	N.E.
Nitratos	mg NO3/L	<0,226	<0,226	<0,226	N.E.	N.E.	N.E.
Nitrógeno amoniacal (Amonio)	mg/L NH3-N	<1,0	<1,0	<1,0	N.E.	N.E.	N.E.
Nitrógeno orgánico	mg N/L	<3,0	<3,00	<3,0	N.E.	N.E.	N.E.
Nitrógeno total	mg N/L	<3,0	<3,00	<3,0	N.E.	N.E.	N.E.
Oxígeno disuelto	0,05 mg O2/L	7,13	6,06	6,49	N.E.	N.E.	5.0
pH	Unidades de pH	5,8	6,38	5,38	5.0 - 9.0*/6.5 - 8.5**	4.5-9.0	4.5- 9.0
Plomo Total	mg Pb/L	<0,050	<0,050	<0,050	0.05	5.0/0.1	N.E.
Potasio Total	mg K/L	<4,0	<4,0	<4,0	N.E.	N.E.	N.E.
Selenio Total	mg Se/L	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,02 / N.E.	N.E.
Sodio Total	mg Na/L	<4,0	<4,0	<4,0	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	34	48	52	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos sedimentables	ml/L	<0,1	<0,1	0,1	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	<10	<10	<10	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos totales	mg/L	32	50	54	N.E.	N.E.	N.E.
Temperatura muestra	°C	24,9	26,2	24,8	N.E.	N.E.	N.E.
Turbidez	NTU	2,9	4,5	7,3	10**	N.E.	N.E.
Vanadio Total	mg V/L	<0,050	<0,050	<0,050	N.E.	0.1/N.E.	N.E.
Zinc Total	mg Zn/L	<0,050	<0,050	<0,050	N.E.	N.E.	N.E.

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

➤ Temperatura

Los distintos niveles de temperatura hallados en las estaciones de monitoreo se relacionan con la época climática (seca) y la hora del día en el que fue evaluada esta variable. En general, se reportaron temperaturas entre 24,8 °C y 26,2 °C (ver Figura R.12) donde la estación localizada aguas arriba de CUS TA27 en el caño Negro fue la que reportó la mayor cantidad de energía calórica. Con base en los resultados descritos para este parámetro se determina que no existe algún tipo de

alteración del recurso, teniendo en cuenta que el rango de temperatura hallado en las distintas estaciones de monitoreo es adecuado para el establecimiento de las comunidades hidrobiológicas que normalmente se desarrollan en este tipo de ecosistemas.

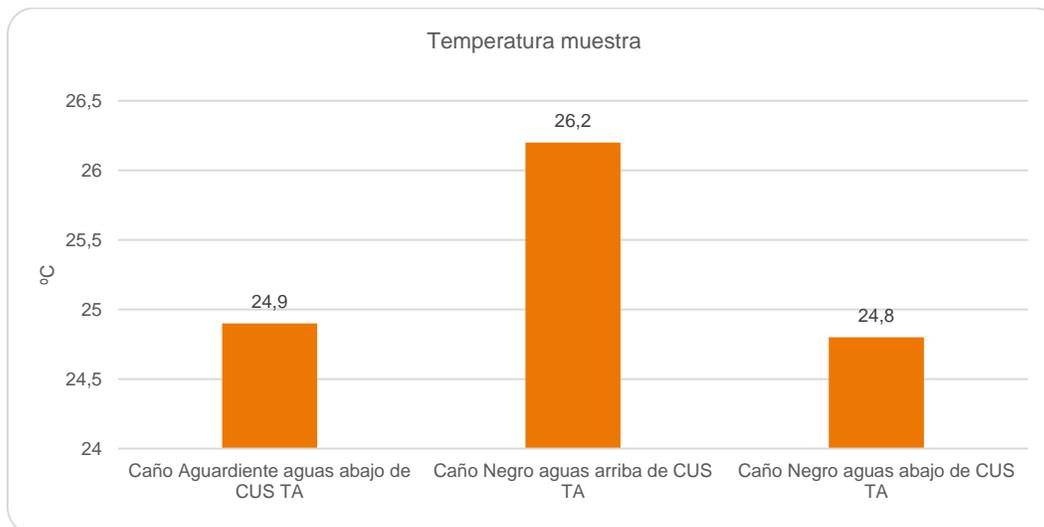


Figura R.12 Valores de temperatura reportados en las estaciones de monitoreo

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

➤ Oxígeno Disuelto

La disponibilidad de oxígeno disuelto reportado en los distintos puntos de monitoreo revela un adecuado intercambio gaseoso en la interfase del sistema, permitiendo la oxigenación del agua en niveles adecuados. Los valores que se registraron durante la campaña de monitoreo estuvieron entre 6,06 mg/L y 7,13 mg/L, donde la estación localizada aguas abajo de CUS TA-27 sobre el caño Aguardiente fue la de mayor concentración de oxígeno disuelto (ver Figura R.13). De acuerdo a la normatividad ambiental vigente donde se referencia un valor de 5,0 mg/L como límite para la preservación de flora y fauna, todas las estaciones de monitoreo evaluadas se encuentran por encima de este criterio por lo que se considera el absoluto cumplimiento para tal fin.

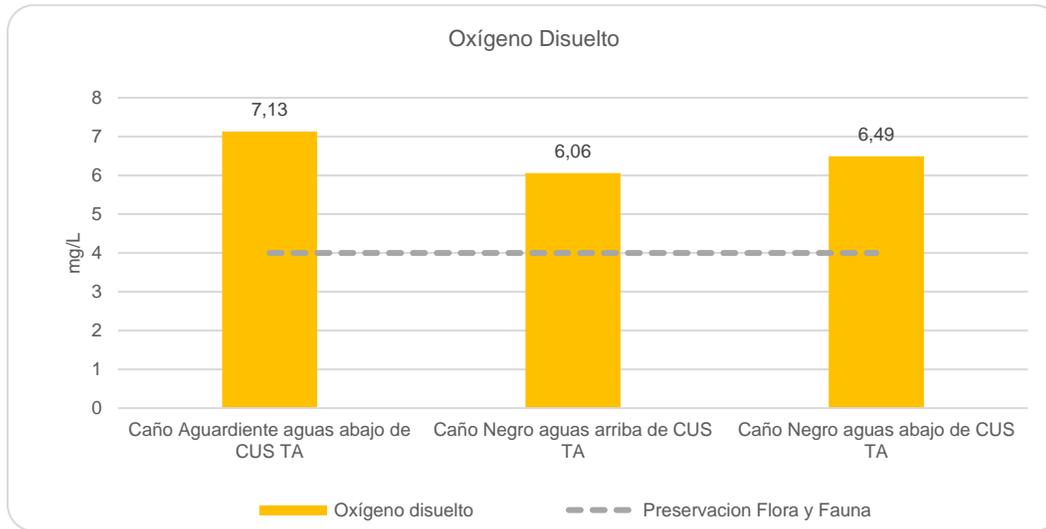


Figura R.13 Valores de oxígeno disuelto reportados en las estaciones de monitoreo

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

➤ **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)**

Todas las estaciones presentaron niveles de DBO bajos que estuvieron por debajo del límite de cuantificación de la técnica de análisis empleada para su evaluación, lo que sugiere un bajo contenido orgánico en las aguas superficiales de los puntos de monitoreo evaluados.

➤ **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Al igual que la DBO₅, la DQO fue muy baja y no fue cuantificada de acuerdo a la técnica de análisis empleada para su evaluación, lo que reafirma un bajo contenido orgánico en las aguas de los puntos.

➤ **Carbono orgánico total (COT)**

Acorde con lo antes indicado, el **carbono orgánico total**, que corresponde a la materia orgánica disuelta y suspendida en el agua (el componente mayor de carbono orgánico en las aguas naturales habitualmente son los hidratos de carbono, aunque también están presentes otro tipo de sustancias como proteínas, y aldehídos, cetonas y ácidos carboxílicos de bajo peso molecular (Baird, 2001)³), reveló valores entre 0,58 mg/L en la estación Calo Aguardiente aguas abajo de CUS TA27 y 1,97 mg/L en la estación Caño Negro aguas abajo de CUS TA27; cabe resaltar que las contracciones halladas en los dos puntos analizados sobre el caño Negro fueron muy cercanas entre sí, lo que sugiere que el contenido orgánico en esta fuente hídrica se mantiene (ver Figura R.14). Según Sierra (2011)⁴ en sistemas naturales el carbono orgánico total se halla con valores entre 1 y 20 mg/L, siendo acorde con lo encontrado en el presente estudio. De acuerdo a lo anteriormente descrito y sumado a los bajos niveles de DBO₅ y DQO, el contenido de materia orgánica en las aguas de los sistemas superficiales evaluados es bajo, lo que descarta procesos de eutrofización en los ecosistemas acuáticos.

³ BAIRD, C. Química ambiental. Reverté, 2018, pp. 285.

⁴ SIERRA, C, Op cit., p. 18.

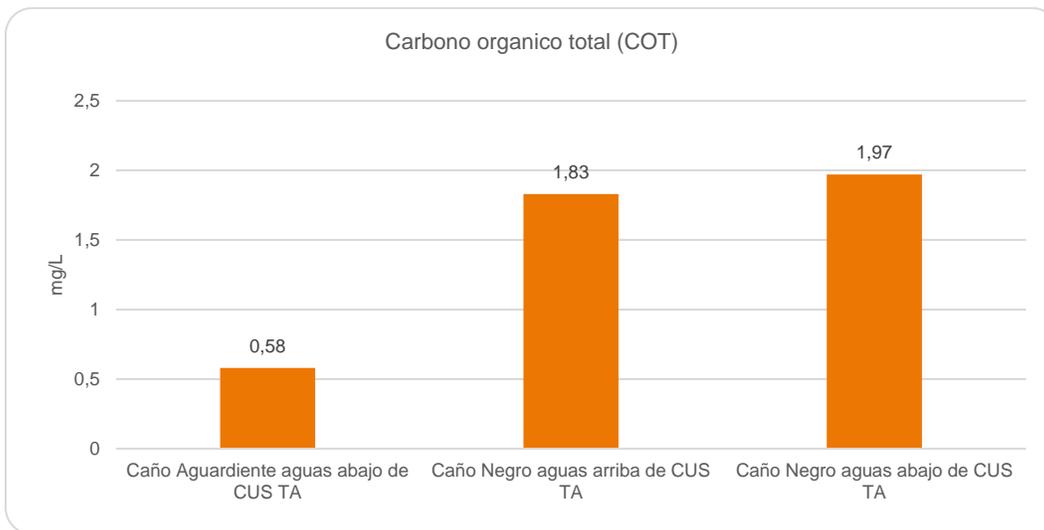


Figura R.14 Valores de carbono orgánico total reportados en las estaciones de monitoreo

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

➤ **pH**

El pH de las aguas superficiales analizadas se encuentro con niveles de tendencia acida lo que muy posiblemente se relacione con la naturaleza geomorfológica de la zona de estudio y la presencia de hojarasca en el lecho de los sistemas evaluados, ya que la degradación de este material puede liberar ácido carbónico que reduce un poco el pH del agua. Los valores identificados en las estaciones de monitoreo estuvieron entre 5,38 Unidades y 6,38 Unidades, ambos valores pertenecientes al caño Negro (ver Figura R.15). En general estos resultados estuvieron acordes con lo establecido en el Decreto 1076 del 2015 por lo que se descarta cualquier tipo de alteración del recurso por criterios definidos por el pH.

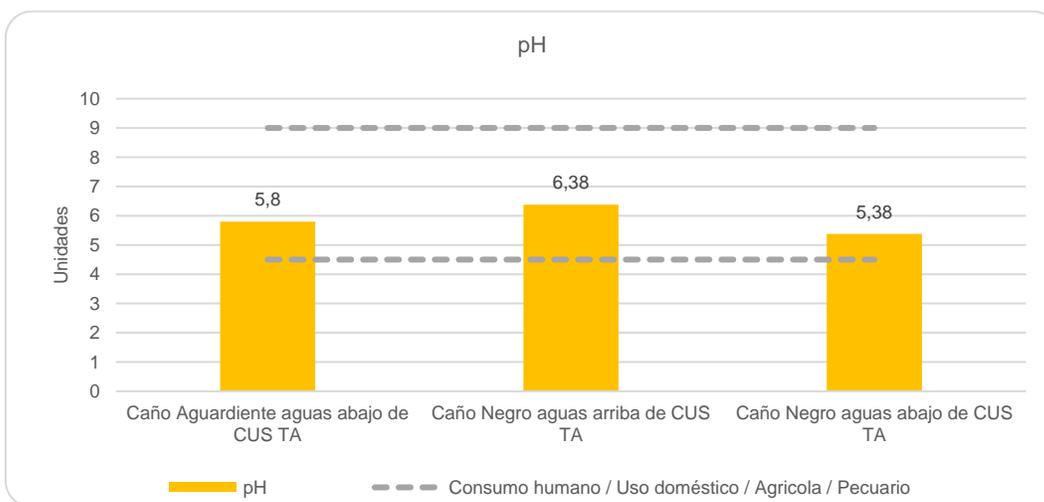


Figura R.15 Valores de pH reportados en las estaciones de monitoreo

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

➤ **Acidez**

En los puntos evaluados se obtuvieron valores de acidez entre <5,0 mg/L (valor no cuantificable mediante la técnica de análisis empelada para su evaluación) y 14 mg/L, siendo este último valor detectado en la estación Caño Negro aguas abajo de CUS TA-27 (ver Figura R.16). Los resultados de acidez antes mencionados son considerados producto de la presencia de CO₂ en el medio, siendo una característica normal de los cuerpos de agua en general, teniendo en cuenta que autores como Sierra (2011)⁵ manifiestan que esta condición se da en valores de acidez moderados con niveles de pH entre cinco (5) y ocho (8) unidades.

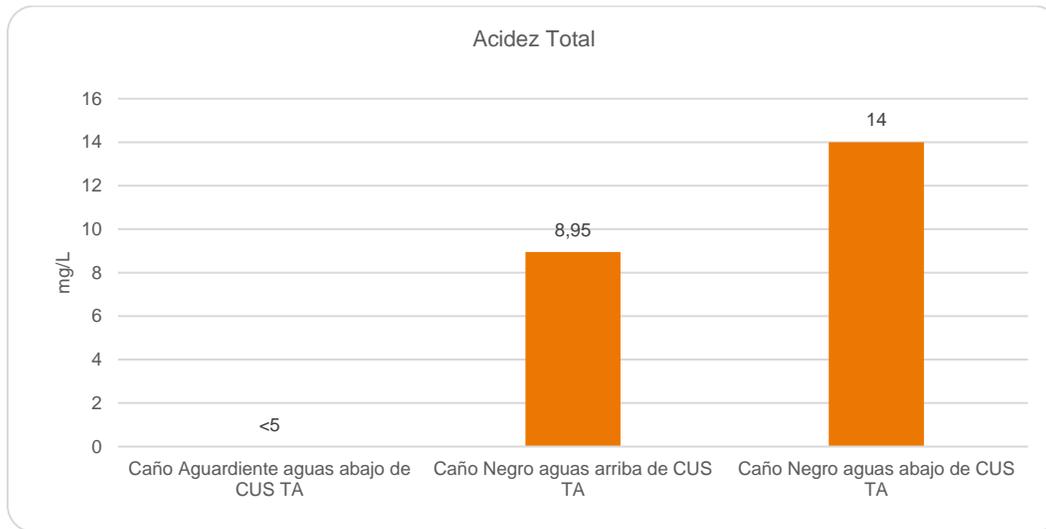


Figura R.16 Valores de acidez reportados en las estaciones de monitoreo

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

➤ **Alcalinidad**

Los valores de alcalinidad estuvieron entre 9,97 mg/L y 24,4 mg/L, valores que indican, especialmente en las estaciones el caño Negro que el pH es estable ya que genera un efecto buffer sobre este criterio (ver Figura R.17). En general estos valores son acordes con lo que se encuentra en sistemas hídricos de montaña, al presentar concentraciones inferiores a 25 mg/L en todos los casos (Nisbet y Verneaux en MOPT, 1992)⁶.

⁵ SIERRA, C, Op cit., p. 18

⁶ NISBET, M. et VERNEAUX, J. "Composants chimiques des eaux courantes." Ann. Limnol., 6(2): 1992. pp. 161-190.

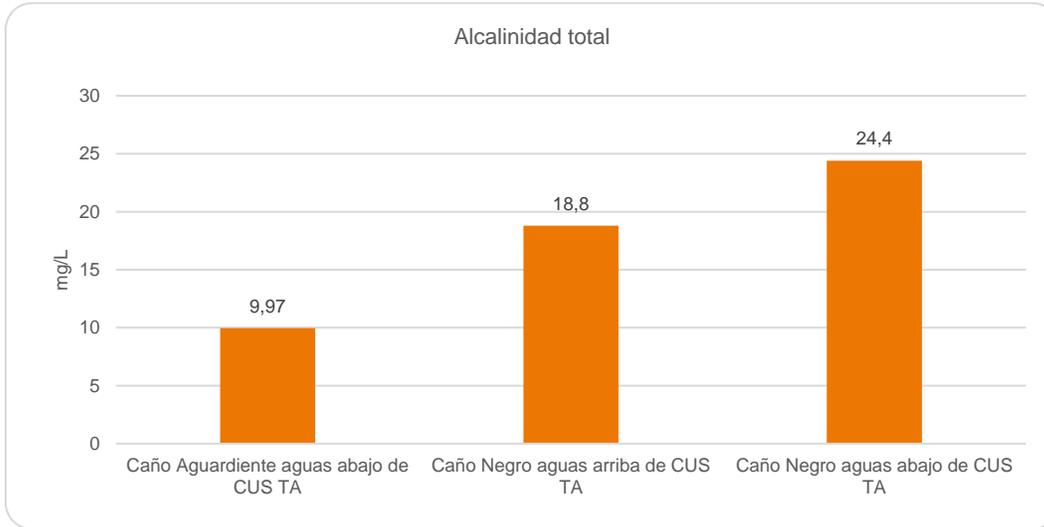


Figura R.17 Valores de alcalinidad reportados en las estaciones de monitoreo

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

➤ **Bicarbonatos**

Como complemento a la alcalinidad el análisis de **bicarbonatos** fue correspondiente a este parámetro, con lo cual se corrobora que en los cuerpos de agua evaluados la alcalinidad se da por la presencia de estos compuestos y por ende la concentración de otras variables asociadas a esta misma variable como carbonatos y otros hidróxidos es nula o de muy bajo aporte (ver Figura R.18).

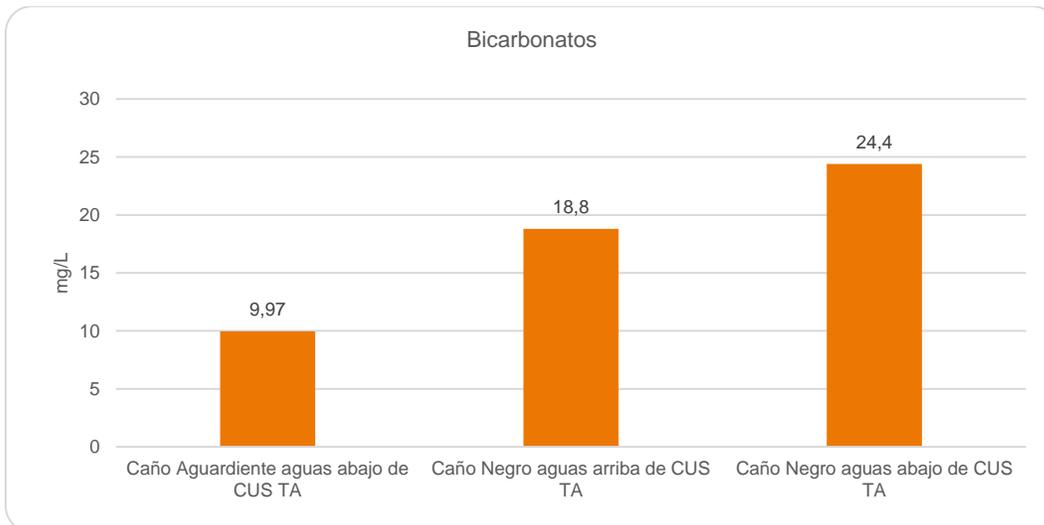


Figura R.18 Valores de bicarbonatos reportados en las estaciones de monitoreo

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

➤ **Dureza Total**

En el caso de la **dureza total**, está determinada por la presencia de cationes bivalentes en el agua, principalmente Ca_2 y Mg_2 y cuyo proceso se da naturalmente en el agua con el ingreso de dichos iones producto del proceso de disolución de las formaciones rocosas presentes en el suelo (Sierra, 2011)⁷. Este parámetro osciló entre 11,2 mg/L y 14,0 mg/L para las estaciones evaluadas, teniéndose valores muy similares entre estaciones de monitoreo lo que indica que posiblemente los contenidos de calcio y magnesio son semejantes (ver Figura R.19).

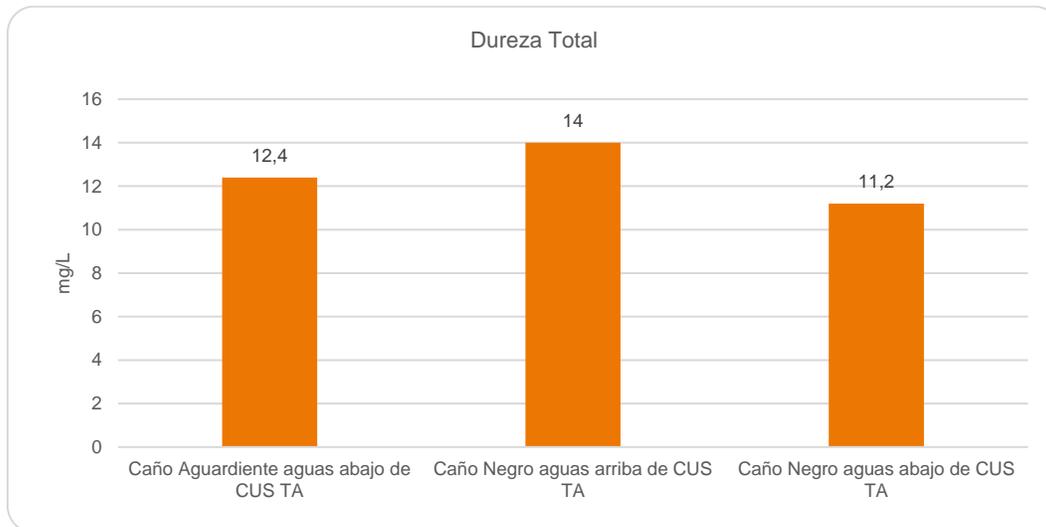


Figura R.19 Valores de dureza total reportados en las estaciones de monitoreo

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

➤ **Conductividad**

Los niveles de conductividad del agua fueron muy cercanos entre estaciones de monitoreo, sin embargo en el Caño Aguardiente aguas abajo de CUS TA-27 la conductividad fue levemente inferior lo que sugiere un menor contenido iónico en las aguas de este sistema hídrico (ver Figura R.20).

En términos generales la conductividad fue normal, esto teniendo en cuenta lo descrito por autores como Roldan y Ramírez (2008) quienes describen valores entre 15 μ mhos/cm y 100 μ mhos/cm, valores muy próximos a los hallados en el presente estudio.

⁷ SIERRA, C, Op cit., p. 18.

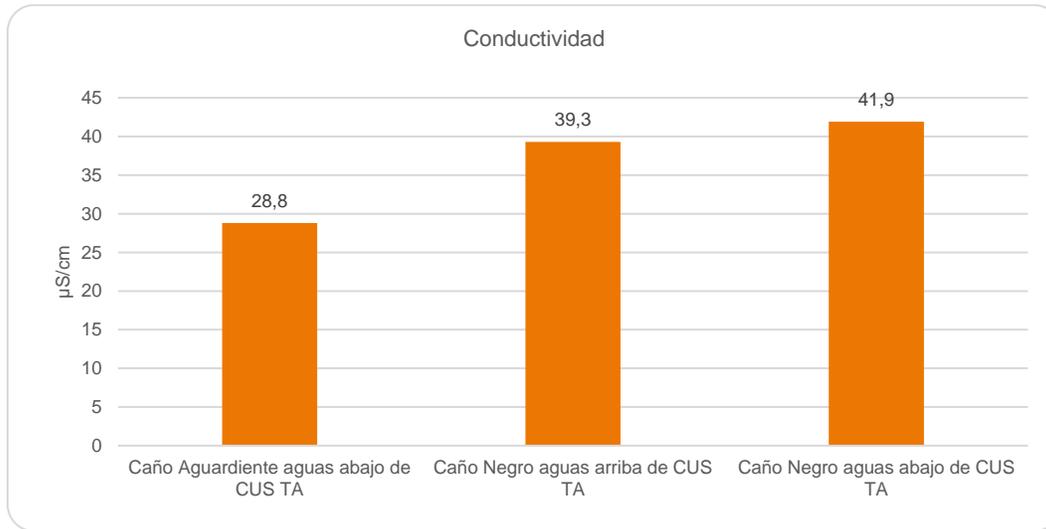


Figura R.20 Valores de conductividad reportados en las estaciones de monitoreo

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

➤ **Sólidos disueltos totales**

Los valores de conductividad son acordes con los obtenidos para los **sólidos disueltos totales**, que representan la concentración de sustancias o minerales disueltos en las aguas naturales y para los cuales los registros estuvieron en un rango de 34 mg/l a 52 mg/L, siendo la estación Caño Negro aguas abajo de CUS TA-27 la de mayor contenido de este tipo de solidos (ver Figura R.21). Dentro del porcentaje promedio de la composición química de las aguas dulces los carbonatos son los más representativos (Clarke, 1924)⁸, en este orden de ideas, el nivel de bicarbonatos sumado a una alcalinidad y un pH superiores suponen un mayor contenido de este tipo de aniones que adjudican una mayor conductividad y por ende una mayor presencia de sólidos disueltos.

➤ **Sólidos suspendidos totales y sólidos totales**

Los **sólidos suspendidos totales** que corresponden al material particulado que se mantiene en suspensión en el agua (este tipo de sólidos junto con los sedimentables, tienen incidencia sobre la turbidez del agua en general) se fueron indetectables mediante la técnica de análisis empleada para su evaluación (<10 mg/L) lo que indica un bajo o nulo contenido de este tipo de partículas en los sistemas de aguas superficiales analizados.

➤ **Sólidos totales**

Los **sólidos Totales** corresponden a la materia sólida que está suspendida, disuelta, o asentada en el cuerpo de agua y que permanecen luego de la evaporación y secado de la muestra, este parámetro reporto valores bajos que oscilaron entre 32 mg/L y 54 mg/L, siendo la estación Caño Negro aguas abajo de CUS TA-27 la que presentó el mayor valor. Con esto, los sólidos totales se encuentran directamente relacionados con los sólidos disueltos totales, ya que la concentración de sólidos suspendidos totales es prácticamente nula.

⁸ CLARKE, F.W. "The composition of River and Lake waters of the United States", U.S. Geol. Survey Profess., N° 135. 1924. pp 224.

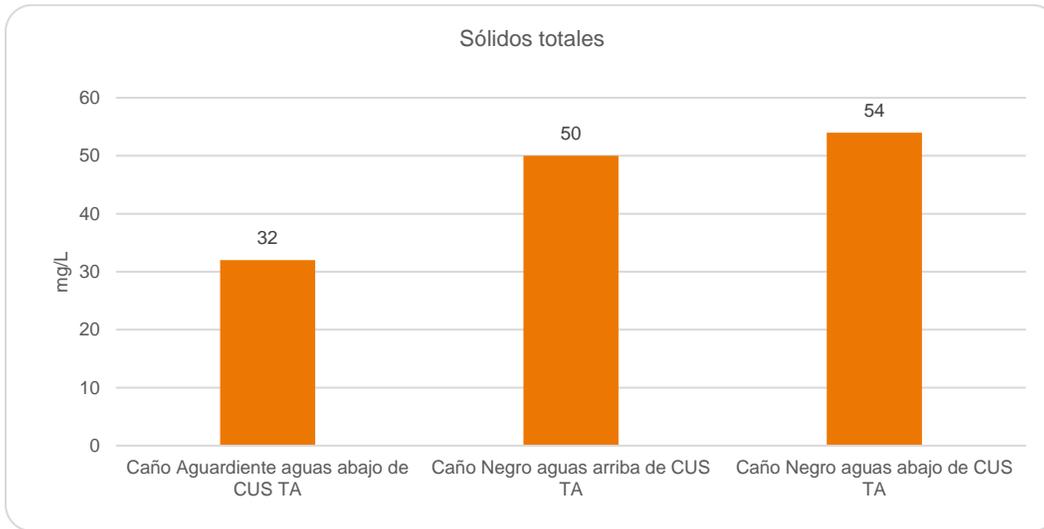


Figura R.21 Valores de sólidos totales reportados en las estaciones de monitoreo

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

➤ **Turbidez**

Con relación a la normatividad ambiental vigente todas las estaciones presentaron valores inferiores a lo descrito en la normatividad ambiental vigente (10 NTU) con valores de 2,9 NTU a 7,3 NTU (ver Figura R.22), lo que garantiza un adecuado estado del recurso proveniente de estas fuentes respecto al grado de opacidad del agua.

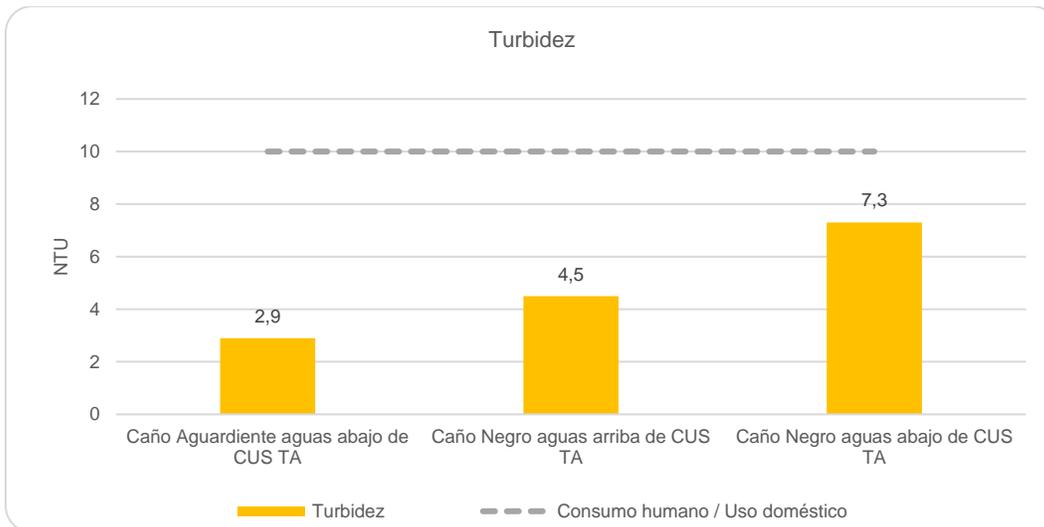


Figura R.22 Valores de turbidez reportados en las estaciones de monitoreo

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

➤ **Sólidos sedimentables**

Considerando los demás sólidos evaluados, en el caso de los **sólidos sedimentables** su presencia en los cuerpos de agua evaluados fue indetectable ($<0,1$ ml-L/h) en la mayoría de las estaciones a excepción de la estación Caño Negro aguas debajo de CUS TA-27 donde se reportó el mínimo cuantificable de $0,1$ ml-L/h (ver Figura R.23). Esta condición de ausencia o mínima cantidad de sólidos sedimentables se relaciona con el bajo contenido de partículas presente en el agua lo que obedece al bajo o nulo aporte de material que a su vez se relaciona con la época climática de sequía que se presentó en la zona durante la campaña de monitoreo.



Figura R.23 Valores de sólidos sedimentables reportados en las estaciones de monitoreo

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

➤ **Color real**

En cuanto al **color**, se analizó en tres frecuencias de onda distintas (436, 525, 620 nm), observando valores levemente superiores en la estación Caño Negro aguas abajo de CUS TA-27 (ver Figura R.24). En este mismo sentido los mayores valores se registraron a una longitud de onda de 436 nm lo que sugiere una leve coloración amarilla de las aguas analizadas. En general las distintas longitudes de onda analizadas para el color real sugieren que las tonalidades del agua están determinadas por agentes naturales (húmicos) y no por agentes antrópicos.

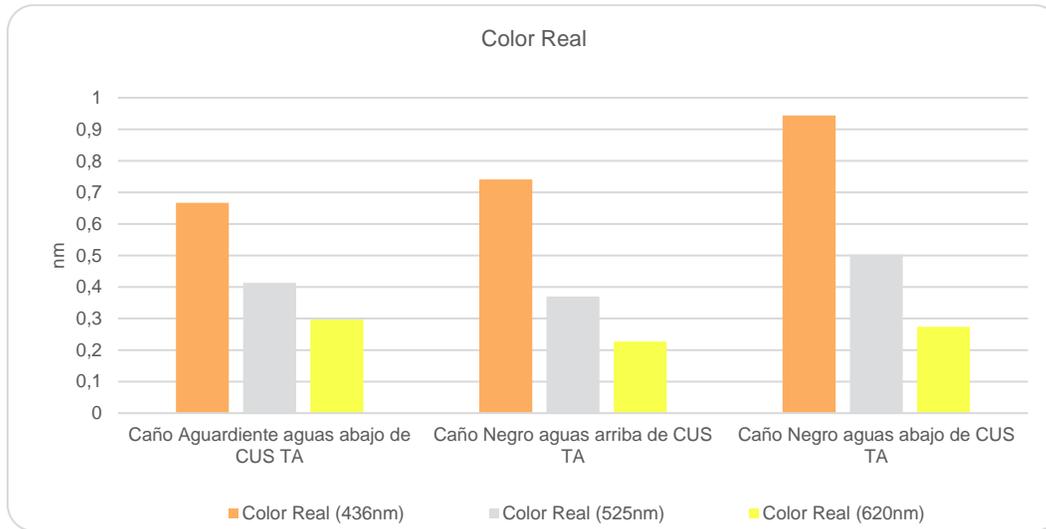


Figura R.24 Valores de color real reportados en las estaciones de monitoreo

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

➤ Cloruros

La concentración de cloruros fue mínima en los puntos de monitoreo evaluados, con concentraciones no cuantificables (<9,9 mg/L) mediante la técnica de análisis empelada para su evaluación en todas las fuentes hídricas. El comportamiento de este parámetro fue correspondiente con lo previamente indicado para la conductividad y sólidos disueltos, existiendo correspondencia entre las tres (3) variables que como generalidad fueron bajas. Para los cloruros los niveles obtenidos estuvieron por debajo del límite máximo permisible de 250 mg/L establecido en la normatividad ambiental vigente, por lo que no supone un factor de riesgo para el medio ambiente ni tampoco es una limitante para el uso del recurso con fines domésticos y/o de consumo humano.

➤ Fósforo y nitrógeno

Considerando el **fósforo orgánico**, **fósforo hidrolizable (inorgánico)**, **fósforo hidrolizable (fosfatos)** se obtuvieron datos indetectables (<0,07 mg/L para cada uno) en todas las estaciones de monitoreo, lo que indica un bajo contenido de este oligoelemento que restringe el afloramiento algal y condiciones de eutrofia en los sistemas evaluados.

Por otro lado, el **fósforo total** es un nutriente esencial utilizado por todos los organismos para el transporte de energía y crecimiento (Benítez, 2000)⁹. El fósforo proviene de minerales como rocas y suelos y se encuentra en forma de ion inorgánico como ortofosfato (PO₄⁻) liberado por el decaimiento de las rocas que se disuelven en el agua y regresa nuevamente al ciclo por acción de las bacterias descomponedoras (NEBEL et. al 1999)¹⁰. Este parámetro, al igual que los anteriores, fue indetectable mediante la técnica de análisis empelada para su evaluación (<0,07 mg/L), lo que reafirma el bajo o nulo contenido de fósforo en las aguas de los sistemas de aguas superficiales analizados descartando procesos de eutrofización.

⁹ BENITEZ-NELSON C.R. The biogeochemical cycling of phosphorus in marine systems. School of Ocean, Earth Science and Technology, University of Hawaii. Earth-Science Reviews 51 2000. pp 109-135.

¹⁰ Nebel, B. J. y Wright, R. T. Ciencias Ambientales: Ecología y Desarrollo Sostenible. 6th ed. México: Pearson-Prentice Hall. 1999, pp. 698.

Respecto al nitrógeno, elemento que junto con el fósforo es esencial para el desarrollo de protistas, se obtuvieron en términos generales reportes bajos en todos los puntos evaluados. Es de mencionar que el nitrógeno total está compuesto de nitrógeno orgánico, amonio, nitritos y nitratos (Sierra, 2011)¹¹. Los **nitratos** y **nitritos** fueron indetectables <0,226 mg/L y <0,00608 mg/L en todos los puntos. La ausencia o bajo contenido de nitritos se alinea con lo manifestado por Wetzel (2001)¹², quien afirma que la presencia baja de este nutriente en aguas naturales puede ser del orden de 0 a 0,01 mg/L; así mismo, en el caso de los nitratos este mismo autor establece que las concentraciones van de valores indetectables a 10 mg/L en aguas dulces no contaminadas. Esto permite indicar que, estas últimas variables, en general no representan una alteración del recurso en ninguna de las estaciones evaluadas. Es de mencionar que respecto a los nitritos y nitratos se da cumplimiento a los límites definidos en la norma ambiental vigente en todos los puntos de monitoreo.

En el caso del **nitrógeno total**, **nitrógeno amoniacal (Amonio)** y **Nitrógeno orgánico**, fueron igualmente indetectable mediante la técnica analítica empleada para su evaluación (<3,00 mg/L, <1,0 mg/L y <3,00 mg/L respectivamente).

Los resultados obtenidos para nitrógeno amoniacal en los cuerpos de agua evaluados estuvieron dentro del rango de aguas superficiales que define Sierra (2011)¹³, quien indica que para esta forma del nitrógeno las concentraciones son típicamente menores a 0,02 mg/L con valores que pueden llegar a 2 o 3 mg/L, lo cual se asemeja a lo indicado por Wetzel (2001)¹⁴, quien establece que el nitrógeno amoniacal se encuentra entre 0 y 5 mg/L en aguas superficiales no contaminadas, con valores del orden de 10 mg/L en casos de eutrofia. Por otro lado, los valores reportados para el nitrógeno total, aunque fueron indetectables, no descartan la presencia de nitrógeno en las aguas de los hidrosistemas, lo que revela un bajo contenido de este nutriente que descarta algún tipo de intervención sobre el recurso, que pueda incrementar el contenido de nitrógeno.

➤ **Cianuro**

El **cianuro** es un grupo químico que consiste en un átomo de carbono conectado a un átomo de nitrógeno por tres enlaces (C≡N). Pueden ocurrir en forma natural o ser manufacturados; la mayoría son venenos potentes y de acción rápida. Muchos de los cianuros en el suelo o el agua provienen de procesos industriales. Las fuentes principales de cianuro en el agua son las descargas de algunos procesos de minado de minerales, industrias de sustancias químicas orgánicas, plantas o manufactura de hierro o acero y facilidades públicas para el tratamiento de aguas residuales (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2006). En todas las estaciones de monitoreo fue indetectable (<0,01 mg/L) mediante la técnica analítica empleada.

➤ **Metales**

En el caso del **hierro**, se detectaron bajas concentraciones entre 0,245 mg/L y 0,423 mg/L siendo levemente superior en la estación Caño Aguardiente aguas abajo de CUS TA-27 (ver Figura R.25). De acuerdo con la normatividad ambiental vigente la cantidad de hierro presente en las aguas de los hidrosistemas es adecuada ya que se establece un límite de máximo 5 mg/L para uso con fines pecuarios. Hay que recordar que el hierro es un elemento de particular interés para la vida en el agua ya que constituye el elemento esencial para la síntesis de pigmentos respiratorios y además hace parte de numerosas enzimas (Roldán, *et al.* 2010)¹⁵.

¹¹ SIERRA, C, Op cit., p. 18.

¹² WETZEL, R.G. Limnology: lake and river ecosystems (3th ed.). Philadelphia: San Diego: Academic Press. 2001.

¹³ SIERRA, C, Op cit., p. 18.

¹⁴ WETZEL, R.G, Op cit., p. 29.

¹⁵ ROLDAN F, MALDONADO C, GUEVARA C, CUBILLOS A. Op cit., p. 29.

Respecto al **magnesio**, al **calcio** y al **manganeso**, en las estaciones de monitoreo evaluadas se hallaron concentraciones bajas que se relacionan con los niveles de pH, alcalinidad y bicarbonatos presentados en cada una de las estaciones de monitoreo. El magnesio que hace parte del grupo de cationes más importantes del agua se encontró con valores entre 1,67 mg/L y 2,08 mg/L (ver Figura R.25), siendo la estación Caño Aguardiente aguas abajo de CUS TA-27 la que registro la concentración superior. De acuerdo con los valores de magnesio se establece que la concentración de este catión es baja, esto teniendo en cuenta que en sistemas de montaña se encuentran concentraciones de 3,0 mg/L y en ríos como el Cauca y el Magdalena se tienen valores de 12 mg/L y 15 mg/L, respectivamente (Roldán *et al*, 2010)¹⁶.

El manganeso por su parte se halló con concentraciones bajas que estuvieron en una escala desde una concentración no cuantificable mediante la técnica de análisis empleada para su evaluación (<0,05 mg/L), hasta una concentración de 0,072 mg/L detectada en la estación Caño Aguardiente aguas abajo de CUS TA-27 (ver Figura R.25). El manganeso es un elemento que se comporta en forma muy similar al hierro. Constituye un elemento esencial para activar ciertas enzimas y estimula el crecimiento del plancton (Roldán *et al*, 2010)¹⁷. Según Esteves (1998)¹⁸ en ecosistemas lacustres de Brasil las concentraciones de este elemento están en el orden de los 0,03 mg/L hasta 9 mg/L lo que en comparación con el presente estudio está acorde con los rangos que posiblemente se encuentran en aguas naturales.

Respecto al **calcio**, se hallaron concentraciones moderadas que se relacionan con los niveles de alcalinidad y bicarbonatos reportados en cada una de las estaciones de monitoreo evaluadas. Las concentraciones oscilaron entre 2,06 mg/L y 2,91 mg/L encontrando que la estación Caño Aguardiente aguas abajo de CUS TA-27 presentó la mayor concentración tal como se encontró para los elementos anteriormente descritos (ver Figura R.25). Como se mencionó estos resultados son congruentes con los niveles de bicarbonatos y alcalinidad ya que en la estación Caño Aguardiente aguas abajo de CUS TA-27 fue donde se registraron los mayores niveles para este conjunto de variables. De acuerdo a lo anterior es muy probable que la presencia de calcio en las aguas de esta estación sea el responsable de la alcalinidad del hidrosistema, ya que el aporte de este tipo de aniones eleva las propiedades en este sentido. Es de mencionar que en aguas naturales es frecuente encontrar este elemento debido a la disolución de rocas calcáreas, como las que posiblemente hacen parte de la cuenca.

¹⁶ ROLDAN F, MALDONADO C, GUEVARA C, CUBILLOS A. Op cit., p. 29.

¹⁷ ROLDAN F, MALDONADO C, GUEVARA C, CUBILLOS A. Op cit., p. 29.

¹⁸ ESTEVES, F.A.. Fundamentos de limnología, 2ª ed. Rio de Janeiro. Editora Interciencia Ltda. 1998.

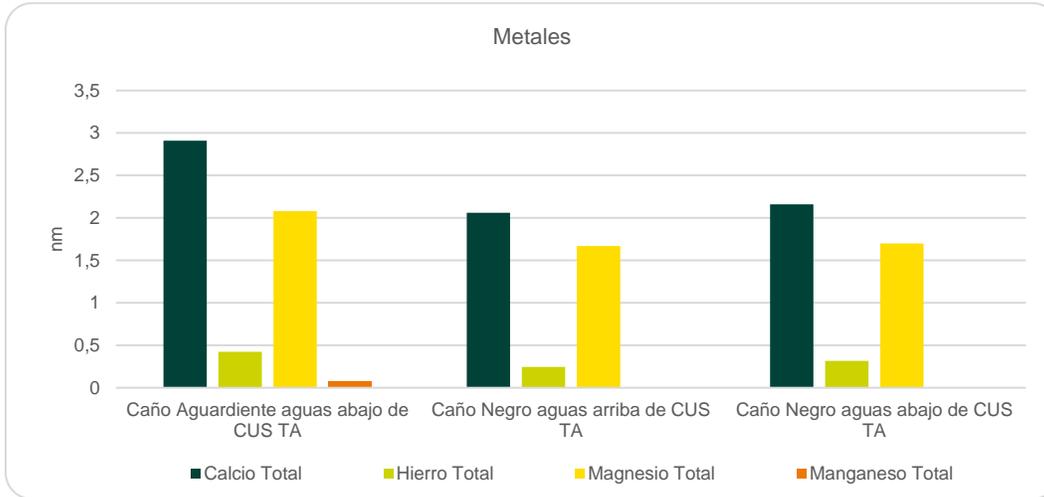


Figura R.25 Valores de aluminio, calcio, hierro, magnesio y sodio reportados en las estaciones de monitoreo

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

➤ **Grasas y Aceites**

La presencia de **grasas y aceites** puede ser consecuencia de una condición natural asociada a la descomposición de materia orgánica que se da en los cuerpos hídricos de forma natural. En este caso particular la presencia de estos compuestos orgánicos estuvo entre <4,0 mg/L (valor indetectable) y 12,61 mg/L donde la estación Caño Negro aguas arriba de CUS TA-27 fue en la que se halló el mayor contenido de este compuesto orgánico, lo que se puede relacionar con aportes naturales debidos a la liberación de ácidos grasos de origen vegetal principalmente. En general no se observó capa visible de grasas sobre en las estaciones evaluadas, de modo que los valores detectados en las pruebas realizadas en el laboratorio pueden deberse a una condición natural del medio gracias a la degradación natural de estos compuestos (ver Figura R.26).

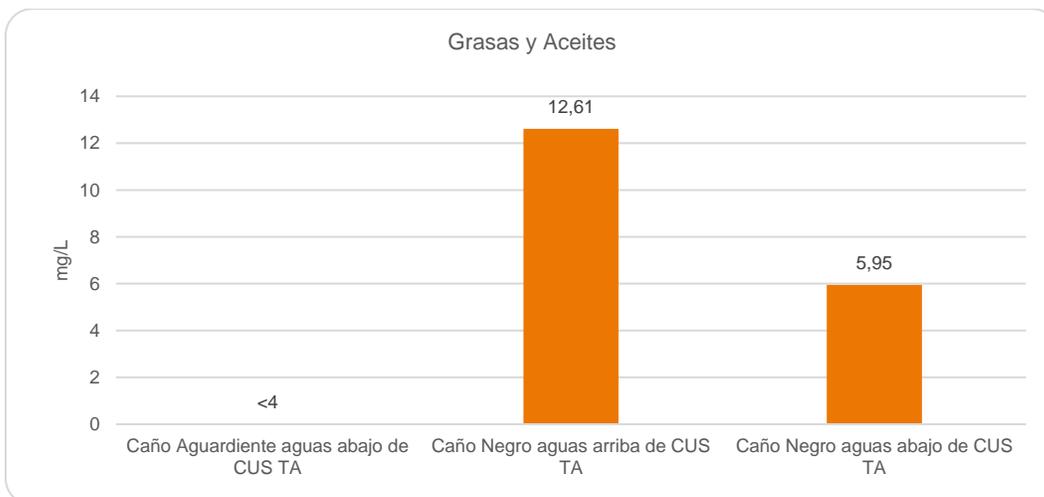


Figura R.26 Valores de grasas y aceites reportados en las estaciones de monitoreo

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

➤ **Hidrocarburos totales, fenoles y material flotante**

En cuanto a los **hidrocarburos totales**, fueron indetectables en todos los puntos evaluados (<4,0 mg/L), lo que descarta la presencia de este tipo de compuestos orgánicos. Otros compuestos como los **fenoles totales**, fueron igualmente indetectables mediante la técnica analítica en todos los puntos monitoreados (<0,1 mg/L), por otro lado, el **material flotante** fue ausente en todas las estaciones de monitoreo.

➤ **Coliformes fecales Termotolerantes**

Los **coliformes fecales termotolerantes** presentaron concentraciones entre 18,3 NMP/100 mL y 93,4 NMP/100 mL, teniéndose en general valores intermedios que se pueden relacionar con la actividad ganadera que actualmente se desarrolla en la zona de estudio (ver Figura R.27). La estación Caño Aguardiente aguas abajo de CUS TA-27 fue a que registró la mayor concentración de este tipo de microorganismos, mientras que las estaciones Caño Negro aguas arriba de CUS TA-27 fue la de menor cantidad; esta dinámica se puede asociar posiblemente a la influencia ganadera sobre los cuerpos de agua evaluados, en especial el Caño Aguardiente donde se observó una mayor interacción entre el ganado y el cuerpo de agua. En adición a lo anterior, se establece que los resultados estuvieron por debajo de los límites establecidos en la normatividad ambiental para fines domésticos y/o de consumo y agrícolas (2000 NMP/100 mL y 1000 NMP/100 mL respectivamente), no obstante, si se quiere utilizar el recurso con fines de consumo humano y/o uso doméstico es necesario realizar un tratamiento convencional previo a su uso, esto debido a la sola presencia de este tipo de coliformes.

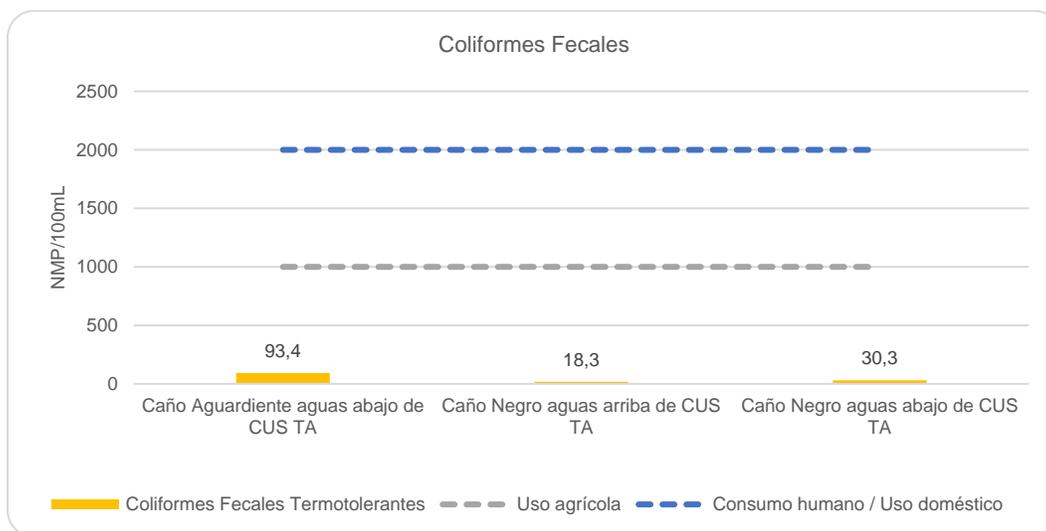


Figura R.27 Valores de coliformes fecales termotolerantes reportados en las estaciones de monitoreo

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

➤ **Coliformes Totales**

En referencia a los **coliformes totales** se registraron concentraciones entre los 1414 NMP/100 ml y 1986 NMP/100 ml (ver Figura R.28). La estación Caño Aguardiente aguas abajo de CUS TA-27 fue la que nuevamente alcanzó la mayor concentración de coliformes de este tipo, posiblemente como consecuencia de la interacción del ganado con el cuerpo de agua, lo anterior coincide con lo dicho

por Sierra, 201119 quien define que la presencia de las coliformes totales en el agua son producto de la contaminación por materia orgánica de origen fecal ya sea de origen animal o por humanos.

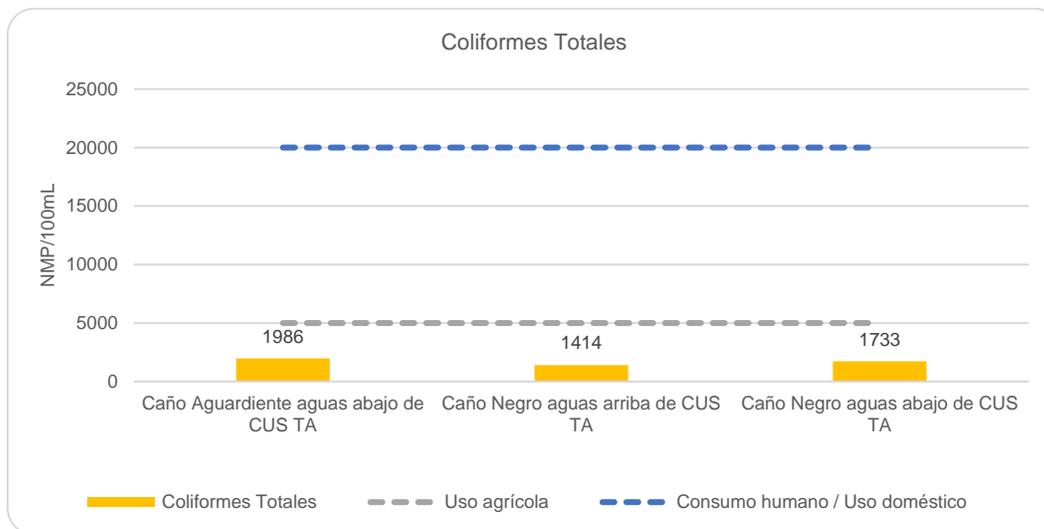


Figura R.28 Valores de coliformes totales termotolerantes reportados en las estaciones de monitoreo

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

3.2.8.1.1 Índices de calidad y Contaminación del agua

➤ Índice de calidad del agua ICA

Los resultados obtenidos para el índice ICA en todas las estaciones monitoreadas corresponden a aguas de calidad Aceptable a Buena, teniéndose la mejor condición del recurso hídrico en la estación de monitoreo Caño Negro aguas arriba CUS TA-27.

Tabla R.16 Índice de calidad agua (ICA) y parámetros de calidad

ESTACIÓN DE MUESTREO	ICA	INTERPRETACIÓN
Caño Aguardiente aguas abajo CUS TA-27	0,89	Muy Mala: 0,00 – 0,25 Mala: 0,26 – 0,50 Regular: 0,51 – 0,70 Aceptable: 0,71 – 0,90 Buena: 0,91 – 1,00
Caño Negro aguas arriba CUS TA-27	0,94	
Caño Negro aguas abajo CUS TA-27	0,89	

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

En términos generales la calidad del agua de los puntos evaluados es Buena, esto basado en niveles de oxígeno disuelto adecuadas, con saturaciones superiores al 80%, bajo contenido de nutrientes y de sólidos suspendidos principalmente. Lo anterior en adición a una baja conductividad y valores de DQO muy bajos o nulos permite indicar que las fuentes superficiales evaluadas se hallan en un estado de calidad adecuado lo que se corrobora con valores de ICA que se relacionan con aguas de condiciones de calidad Aceptable y Buena (ver Figura R.29).

¹⁹ SIERRA, C, Op cit., p. 18.

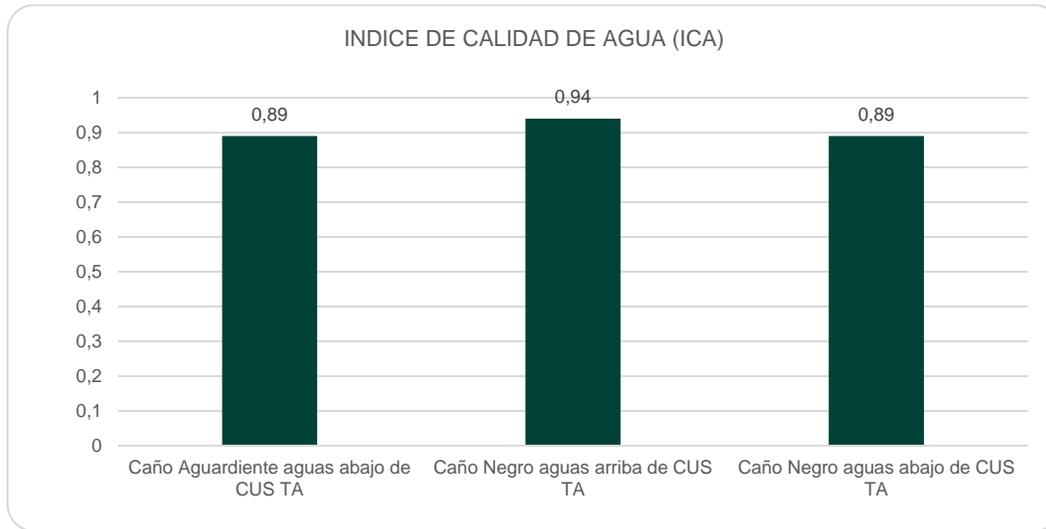


Figura R.29 Índice de calidad de agua (ICA) en las estaciones de monitoreo

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

➤ **Índice de contaminación del agua ICO**

La presencia de materia orgánica evaluada mediante el ICOMO, fue el índice con los mayores valores, encontrando niveles entre 0,31 y 0,33 donde las estaciones del Caño Negro fueron las que exhibieron el mayor valor como consecuencia de una leve reducción en la saturación de oxígeno disuelto. No obstante lo anterior, los niveles de contaminación a los que hace referencia este índice son bajos y no determinan algún grado de contaminación por materia orgánica.

En cuanto al ICOSUS se encontraron resultados muy bajos de 0,01. Esto indica que no existe contaminación por presencia de sólidos en suspensión lo que se relaciona con la baja o nula presencia de sólidos de este tipo en las aguas superficiales analizadas. Por su parte el índice de contaminación por mineralización (ICOMI) fue igualmente muy bajo lo que se traduce en un bajo contenido iónico en todas las estaciones de monitoreo.

Finalmente, en el caso del índice de contaminación por trofía (ICOTRO) este valor está relacionado con la concentración de fosforo. De acuerdo a los resultados hallados, este nutriente fue indetectable mediante la técnica analítica empleada para su evaluación (<0,07 mg/L), por lo tanto, el índice de contaminación por trofía es muy bajo lo que determina que las estaciones de monitoreo presenta condiciones adecuadas bajo este criterio (ver Figura R.30).

Tabla R.17 Índice de contaminación del agua (ICO) y parámetros de calidad

ESTACIÓN DE MUESTREO	ÍNDICES ICO				INTERPRETACIÓN
	ICOMO	ICOSUS	ICOMI	ICOTRO	
Caño Aguardiente aguas abajo CUS TA27	0,31	0,01	0,02	<0,07	ICOMO – ICOSUS- ICOMI: Baja contaminación: Cercano a 0 Alta contaminación: Cercano a 1 ICOTRO: <0,01 = Oligotrófico >1 = Hipereutrófico
Caño Negro aguas arriba CUS TA27	0,33	0,01	0,03	<0,07	
Caño Negro aguas abajo CUS TA27	0,33	0,01	0,03	<0,07	

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

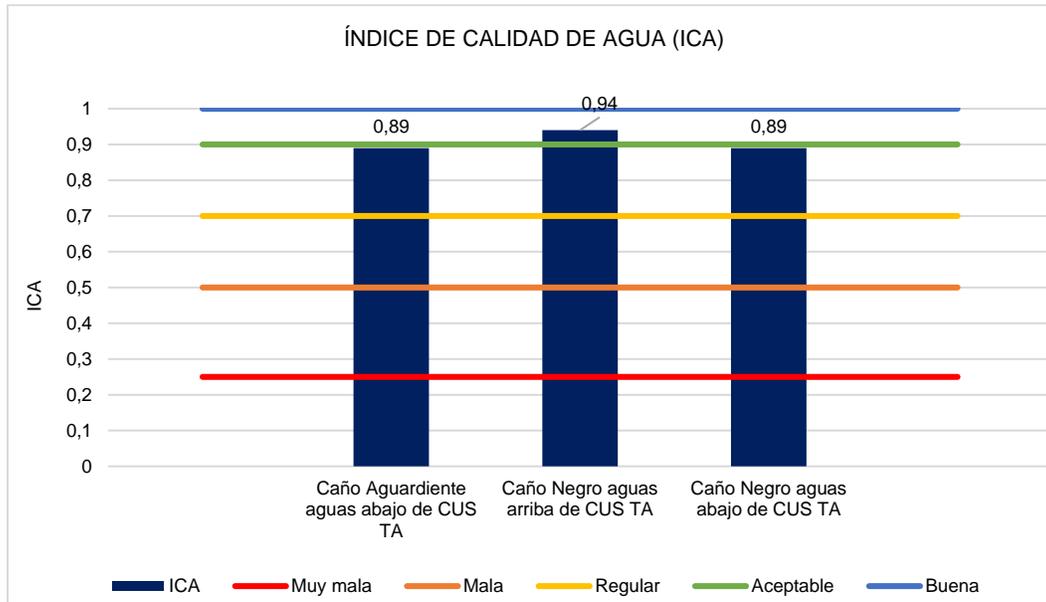


Figura R.30 Valores del Índice de contaminación del agua (ICO) en las estaciones de monitoreo

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

3.2.9 Hidrobiológicos

Para las algas del perifiton se reporta la dominancia de las Bacillariophyceae, en cuanto a riqueza de especies, en esta clase se agrupan las diatomeas, siendo las algas más abundantes en los ecosistemas acuáticos, pueden proporcionar información de cambios físicos y químicos en el agua, ya que a lo largo del tiempo revelan modificaciones en la composición de la comunidad. Los géneros más representativos fueron Eunotia y Gomphonema, para los cuales se reportaron tres especies, estos géneros son solitarios, son de agua dulce y viven adheridos a diferentes sustratos. Por otra parte, los géneros con mayores abundancias fueron: Eunotia sp3 y Navicula sp2.

En cuanto a la diversidad para el perifiton se establece que en el Caño Aguardiente aguas abajo y Caño Negro aguas abajo la diversidad y dominancia es baja. Mientras que para el Caño Negro Aguas arriba la diversidad y dominancia es media, debido a que los géneros Nitzschia sp, y Eunotia sp3 registraron altas abundancias. El 63% de las especies reportadas se encontraron en dos o más puntos de muestreo, y el 37% se reportaron en un solo punto de muestreo, lo que refleja que, son géneros típicos de estos cuerpos de agua, con caudales de medios a altos, con aguas bien oxigenadas y baja concentración de materia orgánica.

La presencia de plancton (fitoplancton y zooplancton), en los cuerpos de agua loticos, es generalmente es baja, aun así, en cuanto al fitoplancton se evidencia que en el Caño Aguardiente aguas abajo y Caño Negro aguas arriba se reporta una diversidad media y una baja dominancia, mientras que en el Caño Negro la diversidad de fitoplancton es baja y la dominancia es media, debido a que la morfoespecie Eunotia sp2 registran altas abundancias. Al igual que en el perifiton, las algas diatomeas, registran la mayor diversidad especies. En cuanto al zooplancton en los tres puntos de monitoreo se reporta una diversidad media con baja dominancia, las morfoespecies reportadas son típicas de aguas con bajas corrientes, donde buscan alimento cerca a las macrófitas.

Los macroinvertebrados bentónicos en el Caño Negro aguas abajo se reporta una diversidad baja y dominancia alta, debido a que la morfoespecie Chironominae (Subfamilia) tiene un gran número de individuos, mientras que en el Caño Aguardiente aguas abajo y Caño Negro Aguas Arriba se registra una diversidad y dominancia media, ya que las abundancias se distribuyen equitativamente en la comunidad de macroinvertebrados reportada.

En cuanto a los resultados arrojados por el índice BMWP se establece que Caño Aguardiente aguas abajo, Caño Negro aguas arriba y Caño Negro aguas abajo, se categorizan como aguas muy limpias a limpias, con presencia de familias con bajos niveles de tolerancia a contaminantes como: Gyrinidae, Leptophlebiidae, Gomphidae, Perlidae, Calamoceratidae y Hydropsychidae, además de familias con niveles medios de tolerancia como: Baetidae, Leptohyphidae, Gerridae, Hebridae, Naucoridae, Veliidae y Leptoceridae.

Las macrófitas que se reportan son denominadas anfíbias, ya que habitualmente son terrestres, pero que son capaces de acomodarse a la vida acuática, soportando períodos variables de inundaciones, estas se ubican en la zona de inundación del Caño Aguardiente y Caño Negro, siendo el orden Poales el que registra el mayor número de morfoespecies.

La Ictiofauna reportada registran baja abundancia y diversidad de especies, siendo todas de la familia Characidae, estas especies son de porte pequeño, típicas de aguas cristalinas, con buena oxigenación, se pueden observar solitaria o en pequeños cardúmenes nadando, principalmente en los remansos y pocetas que se forman en los cuerpos de agua.

En general, se puede establecer que no hay diferencias significativas en cuanto a la composición de organismos acuáticos, de los diferentes grupos hidrobiológicos (perifiton, macroinvertebrados bentónicos, fitoplancton, zooplancton, peces y macrófitas) entre los tres puntos de muestreo, la diversidad de especies oscila entre media a baja, con algunas dominancias específicamente de algunos géneros de diatomeas y dípteros, las demás especies tienen una distribución equitativa del número de individuos. Ecológicamente, se resalta la presencia de especies y familias con niveles de tolerancia que van de medios a bajos, por lo que se categorizan como aguas limpias.

3.2.10 Recurso aire

Los contaminantes atmosféricos presentes en el área de influencia que conllevan al deterioro de la calidad del aire son los generados por las actividades comunes y propias de la región, como lo es el metano y gases que provocan efecto invernadero por el estiércol producto de la ganadería, la cual es una de las actividades económicas que se presenta en mayor proporción, así mismo, el material particulado que se presenta por encontrarse una vía de primer nivel (marginal de la Selva) con flujo constante de carros de diferentes tamaños las 24 horas del día, además de la construcción de la vía que se está desarrollando actualmente, otros contaminantes se dan por la quema de todo tipo de residuos realizada por los habitantes, ya que no se cuenta con una cobertura total del servicio de aseo, finalmente, en el área de influencia se caracteriza por ser un sector de actividades petroleras lo cual aumenta el tráfico vehicular y en las áreas donde se encuentran pozos se generan gases contaminantes producto de las teas y actividades propias de la extracción de hidrocarburos, para el caso del Pozo TA-27, por ser una locación que ya se encuentra construida y en la cual no se harán nuevas construcciones sino un cambio de servicio para la reinyección de agua, no se prevén contaminación y/o afectación a la calidad del aire.

3.2.10.1 Ruido

La contaminación por ruido presente en el área de influencia del Pozo TA-27 que puede causar molestia y/o afectación a los habitantes del sector y desplazamiento de especies, se da por el

mantenimiento vial que se está realizando actualmente por el proyecto de ampliación vial por parte del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), que produce altos niveles de ruidos y vibraciones, sin embargo, la vía marginal de la Selva y las vías veredales presentes en la zona llevan varios años en funcionamiento, a lo cual ya existe una adaptación por parte de los individuos a este impacto, para las actividades a desarrollarse en el Pozo TA-27, por ser una locación que ya se encuentra construida y en la cual no se harán nuevas construcciones sino un cambio de servicio a reinyección de agua, no se prevé contaminación y/o afectación por ruido.

3.3 ASPECTOS BIÓTICOS

3.3.1 Flora

Las actividades solicitadas en la presente modificación, se desarrollarán al interior de la locación de los pozos Cusiana TA-27, y por este motivo, no se elaboró una caracterización de los componentes del medio biótico, no se levantaron muestreos de flora o fauna, no se determinaron las características de composición y estructura de cada cobertura, ni se realizó un análisis de fragmentación y tendencias de poblamiento. Sin embargo, a modo informativo se actualiza la descripción de los ecosistemas estratégicos y ambientalmente sensibles, establecidos a nivel nacional, regional y/o local, y se identificaron, sectorizaron y describieron las diferentes formaciones vegetales como; Zonas de vida, Provincias y Distritos biogeográficos, Biomas, Ecosistemas y Coberturas de la tierra.

Para la identificación de ecosistemas estratégicos, sensibles y/o áreas protegidas que se encuentren al interior del área de influencia del proyecto o se traslapen con esta, se pidió concepto a las siguientes Autoridades Ambientales de orden nacional; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Radicado E1-2022-00288 de 2022), Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Radicado 2100-E2-2022-00272 de 2022), Grupo de Gestión del Conocimiento e Innovación de Parques Nacionales Naturales (Radicado 20222400006051 del 18 de enero de 2022), Asociación Colombiana de Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RESNATUR), de las autoridades consultadas, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), informo que el polígono del área de influencia no se traslapa con áreas protegidas, reservas forestales protectoras o protectores - productoras, paramos, humedales RAMSAR, zonas AICAS, reservas de la biosfera, ni zonas de protección y desarrollo de los recursos Naturales renovables y del medio ambiente, registrados en sus bases de datos, sin embargo, si se observa traslape con cerca de 337,94 ha de áreas del ecosistema estratégico de bosque seco tropical y con 64,54 ha de zonas de humedales de tipo permanente y con 266,48 ha, de zonas de humedales de tipo temporal, identificadas en el Mapa Nacional de Humedales de Colombia Versión 3 de 2020 elaborado por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH 2020).

Como complemento se realizó la consulta en línea con la información del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), en dicha consulta se pudo determinar que el Área de Influencia del proyecto no se superpone con áreas protegidas de orden nacional. sin embargo, si se presentan traslape con ecosistemas estratégicos o sensibles definidos en el mapa interactivo Humedales continentales de Colombia y áreas prioritarias de conservación definidas en el documento CONPES 3680.

A nivel regional se consultó la página de la Corporación, <https://www.Corporinoquia.gov.co>, identificando que no se presenta traslape con áreas protegidas definidas por esta autoridad ambiental regional, Para identificar ecosistemas estratégicos y sensibles, se consultaron documentos elaborados por esta autoridad ambiental como el Plan de Gestión Ambiental Regional 2013 – 2025, el Plan de Acción Trienal 2020 – 2023 y los Determinantes Ambientales definidos en la resolución No. 300.41.17.2193 del 26 de diciembre de 2017, los cuales reconocen como áreas de

especial importancia ambiental a Bosques de galería o riparios, las matas de monte, las rondas de nacimientos, quebradas, arroyos, caños, cauces de ríos y cuerpos de agua lénticos como lagos, lagunas y humedales, áreas de infiltración y recarga de acuíferos los sistemas de humedales.

A nivel regional también se consultó la información del Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca Hidrográfica (POMCA) del río Cusiana (Resolución No. 300.36.19.2295 de 2019), cuya zonificación ambiental identifica las siguientes áreas estratégicas en categorías de protección y restauración ambiental: Zonas de Conservación, Zonas de Preservación, Zonas de Restauración Ecológica y Zonas Periféricas de Nacimientos, Cauces de ríos, Quebradas, Arroyos, Lagos, Lagunas, Pantanos.

A nivel local se consultó a la Alcaldía de Aguazul, mediante oficio con radicado No. 144 del 12 de enero de 2022, y, se hizo la revisión y análisis del Plan Básico de Ordenamiento Territorial del municipio de Aguazul en el departamento de Casanare, donde se identifican como áreas de especial importancia ecosistémica; las rondas de protección de cuerpos hídricos: Ríos y humedales (100 m), quebradas (50 m) y Caños (30 m), humedales (Lagos, laguna y esteros), bosques localizados a lo largo de ríos y quebradas, nacimientos y las zonas de recarga de aguas subterráneas.

En el área de estudio, debido a sucesos biogeográficos ocurridos durante la formación de la cordillera de los Andes y a otros de origen natural o antrópico que han aparecido con posterioridad, presenta una variada topografía, una complejidad de suelos, continuos flujos de agua y algunos pisos bioclimáticos, que han derivado en una variedad de ambientes de comunidades vegetales, animales y de microorganismos que interactúan como unidades funcionales únicas. El Área de influencia de la plataforma T se ubica en dos zonas de vida; El Bosque húmedo tropical (bh-T) que ocupa el 65,87% (3498,65 ha) y el Bosque muy húmedo tropical (bmh-T), ocupando el 34,13% (1812,54 ha). se identificaron tres biomas; el Helobioma Casanare (188,13 ha), el Hidrobioma Casanare (55,71 ha) y el Zonobioma Húmedo Tropical Casanare (5067,36 ha), todos pertenecientes al gran bioma del Bosque húmedo tropical. Bajo la clasificación de unidades biogeográficas se observa que el Área de influencia del proyecto de modificación se localiza en las Provincias biogeográficas Norandina (IX) ocupando el 68,01% (3.612,30 ha) y Orinoquia (VI) ocupando el 31,99% (1.698,89 ha).

La identificación y delimitación de las unidades ecosistémicas se realizó a partir de información geopedológica y climática con la que se construyó el mapa de biomas, esta temática a su vez se cruzó con las unidades de cobertura de la tierra, donde se identificaron un total de 21 unidades ecosistémicas, de las cuales se destacan: Pastos limpios del Zonobioma Húmedo Tropical Casanare con 1370,48 ha (25,80%), Bosque de galería y/o ripario del Zonobioma Húmedo Tropical Casanare con 1.078,84 (20,31%), Pastos arbolados del Zonobioma Húmedo Tropical Casanare con 789,41 ha (14,86%), Pastos enmalezados del Zonobioma Húmedo Tropical Casanare con 738,11 ha (13,90%) y Vegetación secundaria baja del Zonobioma Húmedo Tropical Casanare con 694,83 ha (13,08%).

La definición de las unidades de coberturas presentes en el Área de Influencia del proyecto, se desarrolló a partir de la interpretación de una imagen satelital SPOT 7 de 4 bandas, con un tamaño de celda de 1,5 x 1,5, tomada el 13 de febrero de 2020, siguiendo la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia (escala 1:100000), como resultado de este proceso se identificaron 12 coberturas de la tierra, de las cuales el 38,1% corresponde a bosques y áreas seminaturales (1619,63 ha), las áreas agrícolas presentan una ocupación de 58,54% (2449,04 ha); 55,68 ha se encuentran en superficies de agua (1,31%) y 86,17 ha (2,03%) se encuentra en territorios artificializados.

El proyecto de modificación se desarrollará al interior de la plataforma de los Pozos Cusiana TA, sin adicionar o eliminar elementos diferentes a los existentes, por este motivo no se presentó un análisis de fragmentación, transformación o conectividad de ecosistemas; no se presentó un estudio del paisaje, no se identificaron sitios de interés paisajístico en la zona; tampoco se analizó la oferta, usos

y/o beneficios los servicios ecosistémicos de abastecimiento, regulación y culturales que se encuentran en el Área de Influencia.

3.3.2 Fauna

Este ítem no se desarrollará para la presente línea base por cuanto no es un insumo para la evaluación y desarrollo del modelo hidrogeológico del presente estudio.

3.3.3 Social

El medio socioeconómico y cultural, presenta información relacionada con lineamientos de participación, caracterización municipal y veredal en las dimensiones poblacional, espacial servicios públicos y sociales, económica, cultural, así como lo político organizativo y las tendencias de desarrollo de la zona.

Lineamientos de participación, se realizaron cuatro (4) momentos de socialización con las comunidades identificada como área de influencia del Pozo TA-27, durante los cuales se dio a conocer información relacionada con el proyecto, a nivel técnico y ambiental, durante estos encuentros se realizó recolección de información primaria, cartografía social, ficha veredal e identificación de impactos con y sin proyecto.

Tabla R.18 Veredas área de influencia del Pozo TA-27

MUNICIPIO	VEREDA
Aguazul	La Unión
	Cerrito
	Upamena
	Alto Lindo
	Primavera

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

3.3.3.1 Municipio de Aguazul

➤ Dimensión demográfica

En el municipio predomina la población de origen colono, también existe un porcentaje bajo de población de origen étnico, de acuerdo con las cifras que presenta el censo general del DANE 2018, el 0,13% para población se auto reconoce como indígena, el 0.79% como de origen negro, mulato o afrodescendiente y el 0.01% como población palenquera

La población por genero se mantiene para 2005, 2018 y proyecciones 2021 (ver Tabla R.19).

Tabla R.19 Composición por edad y Género

MUNICIPIO	DANE 1993		DANE 2005		DANE 2018		PROYECCIONES 2022	
	H	M	H	M	H	M	H	M
Acacias	6.831	5.925	14.295	14.024	18.537	18.378	19.288	19.319
TOTALES	12.756		28.319		36.915		38.607	

Fuente: CENSO DANE 1993, 2005, 2018 y proyecciones 2022.

Según proyecciones del DANE, para el año 2023, el porcentaje de asentamiento en el área urbana será del 74%, conservando la concentración de población en la cabecera municipal (ver Tabla R.20).

Tabla R.20 Distribución por área de asentamiento municipio de Aguazul

ÍTEM	CENSO 1993			CENSO 2005			CENSO 2018			PROYECCIONES 2023		
	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total
Cabecera Municipal	4.440	4.234	8.674	9.889	10.097	19.986	13.005	13.512	26.517	14.041	14.688	28.729
Centros Poblados y Rural Disperso	2.391	1.691	4.082	4.069	3.388	7.457	5.532	4.866	10.398	5.346	4.753	10.099
Total	6.831	5.925	12.756	13.958	13.485	27.443	18.537	18.378	36.915	19.387	19.441	38.828

Fuente: DANE, 1993, 2005 y 2018, proyecciones 2023.

➤ Servicios públicos y sociales

A nivel de servicios públicos el municipio del área de influencia, cuenta con acueducto, alcantarillado, energía y gas, con mayor cobertura en el área urbana que rural.

La ficha de caracterización municipal del DNP señala que para el 2018, se encuentran vinculados al régimen subsidiado de salud 19.049 (60%) personas, 12.267 al régimen contributivo (39%) y 480 a régimen especial (1%).

➤ Economía

Según la información del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, delegación Yopal, la mayor cantidad de predios de menos de 50 ha. Las actividades realizadas están orientadas a la agricultura, ganadería, turismo y minería y energía.

➤ Patrones culturales

La relación con el entorno y los recursos naturales se ha dado desde los inicios del asentamiento en estos territorios, es así como los primeros pobladores en búsqueda de mejores condiciones, realizaron uso de los recursos de la zona, desde la construcción de viviendas hasta la necesidad de alimentarse, para lo cual aplicaron actividades como la tala, la pesca y la caza, con el tiempo este tipo de actividades se fueron incrementando, por la llegada de más pobladores y por el desarrollo de actividades económicas.

➤ Político organizativo

Los municipios están conformados por alcaldía, concejo y otras instituciones como personería, concejo que velan por el bienestar de sus habitantes.

En el municipio existen diversas organizaciones sociales que contribuyen a la construcción de tejido social, entre ellas se encuentran las juntas de acción comunal que son de orden territorial, también han surgido organizaciones de orden sectorial (ambientalistas, campesinos, comerciantes, etc.).

➤ **En las veredas del área de estudio**

La información relacionada con las veredas fue tomada a través de levantamiento de información primaria, diligenciando la ficha veredal con las líderes de las respectivas veredas.

➤ **Dimensión Demográfica**

La información recopilada a través de la ficha veredal permite identificar el número total de los habitantes que se encuentran en las veredas que hacen parte del área de influencia, de acuerdo con los datos suministrados en estas veredas hay 718 personas, en la actualidad no cuentan con un censo poblacional. De acuerdo con la información suministrada por los presidentes, las familias de las veredas están conformadas por 3 o 4 miembros.

Tabla R.21 Población por rango de edad veredas área de influencia

EDAD	Alto lindo		Cerrito		Upamena		La Unión		Primavera		Río Chiquito		Total	Total %
	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer		
0 a 5	2	4	7	8	11	11	7	5	5	3	14	8	85	10
6 a 17	2	1	20	22	25	20	4	7	5	7	40	32	185	21
18 a 35	6	10	19	24	22	21	11	11	10	10	21	22	187	21
36 a 59	18	18	34	32	26	29	16	12	16	14	50	54	319	36
60 y +	2	6	4	2	8	11	4	5	4	4	38	26	114	13
Total	30	39	84	88	92	92	42	40	40	38	163	142	890	100

Fuente: Ficha veredal, 2022.

➤ **Servicios públicos y sociales**

Las comunidades de las veredas identificadas como área de influencia del proyecto, cuenta con servicio de acueducto veredal, de las 301 viviendas presentes en el área, 270 viviendas tienen este servicio, lo que representa una cobertura del 90%. Se surten de fuentes cercanas como el caño angosturas y nacederos de la zona. A nivel general manifiestan intermitencia en la prestación del servicio, la distribución la realizan a través de manguera.

De acuerdo con la información registrada en la ficha veredal, en el área de influencia del estudio, no se presta el servicio, por lo tanto, las veredas disponen sus aguas residuales a través de pozo séptico y en algunos casos lo hacen a campo abierto.

El servicio de energía eléctrica es uno de los que presenta mayor cobertura en el área, este servicio es prestado por la empresa ENERCA.

El servicio es suministrado por ENERCA S.A. E.S.P. la cobertura de este servicio en las veredas del área de influencia es del 87%, tres de las veredas, Alto lindo, Cerrito, Primavera y Upamena tienen cobertura del 100%, La Unión tiene cobertura del 91% y Río Chiquito del 75%.

En las veredas del área de influencia no hay infraestructura destinada para la prestación del servicio de salud, los habitantes de estas veredas acuden al hospital de Aguazul Juan Hernando Urrego E.S.E. y al hospital del municipio de Tauramena.

El servicio de educación es prestado en tres de las cinco veredas del área de influencia (primavera, Rio Chiquito y Upamena) allí asisten los niños y niñas de cada una de las veredas, la educación impartida es primaria.

➤ **Dimensión económica**

De acuerdo a la Información suministrada en las fichas veredales, se identifica que la principal forma de tenencia en las unidades territoriales de interés es la propiedad de carácter privado con un porcentaje del 79.4%. Seguidamente, se encuentran aquellos habitantes que residen en la vivienda en condición de arrendatarios con un porcentaje del 8.3%, y aquellos que moran en una condición distinta a la de propietario o arrendatario, y que son poseedores, con un porcentaje del 12.2%.

Las veredas del área de estudio desarrollan actividades económicas principalmente relacionadas con la ganadería y agricultura. El sector de hidrocarburos, es otra de las actividades que tienen gran importancia en la zona.

➤ **Patrones culturales**

Como principales usos del entorno por parte de los pobladores, sobresale el uso de los caños como el Garagoa, el Aguardiente, Chupadero y los ríos Seco, Upamena y Negro, y quebradas como La Turua y La Arenosa, y otros cuerpos de agua muy significativo para las comunidades de todas las veredas, puesto que son lugares de recreación y esparcimiento, sobretodo, en época seca (de verano). Aunado a ello, son los lugares donde se capta agua para uso doméstico, y en algunos casos se extienden mangueras para la distribución de agua a viviendas y riego de cultivos.

➤ **Político organizativos**

A nivel veredal la presencia organizacional está representada en Juntas de Acción Comunal constituidas legalmente, con presidente, vicepresidente y conformación de comités que vigilan acciones en temas como salud, educación, trabajo entre otros.

A nivel general las comunidades carecen de espacios como casetas comunales para realizar los encuentros comunitarios. Las reuniones la hacen en los salones de las escuelas veredales o en las canchas deportivas de los mismos.

La presencia de instituciones municipales o departamentales en la vereda, la realizan a partir de proyectos que benefician a la comunidad, en la vereda Upamena hace presencia la administración municipal a través de proyectos de ampliación de servicios como gas y acueducto, otro proyecto es el relacionado con la cancha cubierto

4. DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES

Las necesidades por demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales que demandarán las actividades del Proyecto, en lo referente a aguas superficiales, aguas subterráneas, vertimiento (inyección de agua de producción), ocupación de cauces, materiales de construcción, aprovechamiento forestal y disposición de residuos sólidos

Actualmente, el Área de Pozos de Desarrollo Cusiana TA cuenta con los permisos de uso y aprovechamiento de recursos naturales que se presentan en la Tabla R.22 para la ejecución de sus actividades:

Tabla R.22 Uso y aprovechamiento de los recursos naturales actuales y vigentes

RECURSO NATURAL	DESCRIPCIÓN																																								
Aguas superficiales	<p>El Área de Pozo de Desarrollo Cusiana TA cuenta con permiso de captación sobre el río Upamena, ubicado a una distancia de 8,3 km del pozo y sobre el caño Negro como punto alternativo para época de lluvias. El caudal autorizado es de 5.0 l/s, los usos autorizados son industrial (4,433 l/s) y doméstico (0,567 l/s); el agua para consumo humano está autorizado por botella y suministrado por el contratista.</p> <p>Tabla R.23 Fuente de captación superficial autorizada</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">VEREDA</th> <th rowspan="2">CORRIENTE</th> <th rowspan="2">ID_CAPT_PT</th> <th colspan="2">COORDENADAS PLANAS ORIGEN BOGOTÁ</th> <th colspan="2">COORDENADAS PLANAS ORIGEN NACIONAL</th> <th rowspan="2">PERÍODO DE CAPTACIÓN AUTORIZADO</th> </tr> <tr> <th>ESTE</th> <th>NORTE</th> <th>ESTE</th> <th>NORTE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Upamena</td> <td>Upamena</td> <td>CUSTAUPAME</td> <td>1.153.800</td> <td>1.053.400</td> <td>5.034.277.779</td> <td>2.119.076.24</td> <td>Todo el año</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Fuente: Res. 0886 de 11 de septiembre de 1998, tomado por GEOTEC INGENIERÍA, 2022</i></p> <p>Sin embargo, es importante aclarar que para el desarrollo de las últimas actividades operativas (well testing), como son tan cortas de duración, se han realizado a través de un proceso de ciclo cerrado, por lo que ECP no ha hecho uso del recurso y del permiso de concesión de agua superficial otorgado mediante Resolución 0886 del 11 de septiembre de 1998.</p> <p>El proyecto no prevé necesidad del recurso de agua superficial, sin embargo, en caso de ser necesario y requerirse el recurso, se hará uso del permiso otorgado sobre el Río Upamena, dando cumplimiento con lo establecido en el Artículo Segundo de la Resolución 0886 de 11 de septiembre de 1998</p>	VEREDA	CORRIENTE	ID_CAPT_PT	COORDENADAS PLANAS ORIGEN BOGOTÁ		COORDENADAS PLANAS ORIGEN NACIONAL		PERÍODO DE CAPTACIÓN AUTORIZADO	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	Upamena	Upamena	CUSTAUPAME	1.153.800	1.053.400	5.034.277.779	2.119.076.24	Todo el año																				
	VEREDA				CORRIENTE	ID_CAPT_PT	COORDENADAS PLANAS ORIGEN BOGOTÁ			COORDENADAS PLANAS ORIGEN NACIONAL		PERÍODO DE CAPTACIÓN AUTORIZADO																													
ESTE		NORTE	ESTE	NORTE																																					
Upamena	Upamena	CUSTAUPAME	1.153.800	1.053.400	5.034.277.779	2.119.076.24	Todo el año																																		
Aguas Subterráneas	<p>La actividad de inyección de agua de producción en el Pozo Cusiana TA-27, requerirá del recurso hídrico para diferentes labores de tipo doméstico, para lo cual utilizará el suministro de agua de los pozos profundos ubicados en el CPF Cusiana, los cuales tienen disponibilidad del recurso hídrico suficiente para abastecer al proyecto. Estos pozos están autorizados por Corporinoquia con expediente N° 97-0174- y expediente de seguimiento ANLA N° LAM 0524 – CPF Cusiana. “Ampliación facilidades de producción Campo Cusiana Etapa I – Fase II”</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">NOMBRE DEL POZO</th> <th colspan="2">COORDENADAS PLANAS ORIGEN BOGOTÁ</th> <th colspan="2">COORDENADAS PLANAS ORIGEN NACIONAL</th> <th rowspan="2">CAUDAL (l/s)</th> <th rowspan="2">USO</th> <th rowspan="2">ACTO ADMINISTRATIVO</th> </tr> <tr> <th>ESTE</th> <th>NORTE</th> <th>ESTE</th> <th>NORTE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pozo Profundo N° 2</td> <td>1151407</td> <td>1046250</td> <td>5031849,41</td> <td>2111578,9</td> <td>7 l/s</td> <td>Doméstico e industrial</td> <td>Res. 500.36.18-1265 (24/08/2018) por término de 10 años</td> </tr> <tr> <td>Pozo Profundo N° 4</td> <td>1151337</td> <td>1045623</td> <td>5031798,59</td> <td>2111601,59</td> <td>13 l/s</td> <td>Doméstico e industrial</td> <td>Res. 500.36.18-1266 (24/08/2018) por término de 10 años</td> </tr> <tr> <td>Pozo Profundo N° 3</td> <td>1150995</td> <td>1045217</td> <td>5031872,15</td> <td>2111659,86</td> <td>9l/s</td> <td>Doméstico e industrial</td> <td>Res. 500.36.19-0481 (14/03/2019) por un término de 5 años</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2021</i></p>	NOMBRE DEL POZO	COORDENADAS PLANAS ORIGEN BOGOTÁ		COORDENADAS PLANAS ORIGEN NACIONAL		CAUDAL (l/s)	USO	ACTO ADMINISTRATIVO	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	Pozo Profundo N° 2	1151407	1046250	5031849,41	2111578,9	7 l/s	Doméstico e industrial	Res. 500.36.18-1265 (24/08/2018) por término de 10 años	Pozo Profundo N° 4	1151337	1045623	5031798,59	2111601,59	13 l/s	Doméstico e industrial	Res. 500.36.18-1266 (24/08/2018) por término de 10 años	Pozo Profundo N° 3	1150995	1045217	5031872,15	2111659,86	9l/s	Doméstico e industrial	Res. 500.36.19-0481 (14/03/2019) por un término de 5 años				
NOMBRE DEL POZO	COORDENADAS PLANAS ORIGEN BOGOTÁ		COORDENADAS PLANAS ORIGEN NACIONAL		CAUDAL (l/s)	USO				ACTO ADMINISTRATIVO																															
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE																																					
Pozo Profundo N° 2	1151407	1046250	5031849,41	2111578,9	7 l/s	Doméstico e industrial	Res. 500.36.18-1265 (24/08/2018) por término de 10 años																																		
Pozo Profundo N° 4	1151337	1045623	5031798,59	2111601,59	13 l/s	Doméstico e industrial	Res. 500.36.18-1266 (24/08/2018) por término de 10 años																																		
Pozo Profundo N° 3	1150995	1045217	5031872,15	2111659,86	9l/s	Doméstico e industrial	Res. 500.36.19-0481 (14/03/2019) por un término de 5 años																																		
Vertimientos	<p>El Área de Pozos de Desarrollo TA cuenta con autorización de un área de infiltración de aguas residuales tratadas en un área de 1,1 ha, para verter un caudal de 3,5 l/s de aguas que provienen del sistema de preparación de lodos de aportes de aguas lluvias y del lavado y refrigeración de bombas.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Punto ID</th> <th colspan="4">COORDENADAS PLANAS ORIGEN BOGOTÁ / ORIGEN NACIONAL</th> <th rowspan="2">CAUDAL (L/s)</th> <th rowspan="2">RESOLUCIÓN</th> <th rowspan="2">ESTADO - VIGENCIA</th> </tr> <tr> <th>ESTE</th> <th>NORTE</th> <th>ESTE</th> <th>NORTE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1158155</td> <td>1054480</td> <td>5038629,85</td> <td>2120147,82</td> <td rowspan="5">5.0</td> <td rowspan="5">0886 de 11 de septiembre de 1998</td> <td rowspan="5">Vigente.</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1158275</td> <td>1054429</td> <td>5038749,63</td> <td>2120096,68</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1158329</td> <td>1054527</td> <td>5038803,74</td> <td>2120194,48</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>1158315</td> <td>1054560</td> <td>5038789,81</td> <td>2120227,47</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1158246</td> <td>1054537</td> <td>5038720,84</td> <td>2120204,61</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Fuente: Res. 0886 de 11 de septiembre de 1998, tomado por GEOTEC INGENIERÍA, 2022</i></p> <p>El proyecto no realizará vertimientos a suelo ni cuerpos de agua, realizará la entrega a terceros que cuenten con los permisos requeridos para la recolección, transporte y disposición final de los residuos líquidos domésticos y/o industriales. El proyecto no prevé vertimientos, sin embargo, en caso de ser necesario, se hará uso del permiso otorgado.</p> <p>La solicitud de inyección objeto de la presente modificación no es con fines de disposición de agua residual y/o de producción sino con fines de recubro.</p>	Punto ID	COORDENADAS PLANAS ORIGEN BOGOTÁ / ORIGEN NACIONAL				CAUDAL (L/s)	RESOLUCIÓN	ESTADO - VIGENCIA	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	1	1158155	1054480	5038629,85	2120147,82	5.0	0886 de 11 de septiembre de 1998	Vigente.	2	1158275	1054429	5038749,63	2120096,68	3	1158329	1054527	5038803,74	2120194,48	4	1158315	1054560	5038789,81	2120227,47	5	1158246	1054537	5038720,84	2120204,61
Punto ID	COORDENADAS PLANAS ORIGEN BOGOTÁ / ORIGEN NACIONAL				CAUDAL (L/s)	RESOLUCIÓN				ESTADO - VIGENCIA																															
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE																																					
1	1158155	1054480	5038629,85	2120147,82	5.0	0886 de 11 de septiembre de 1998	Vigente.																																		
2	1158275	1054429	5038749,63	2120096,68																																					
3	1158329	1054527	5038803,74	2120194,48																																					
4	1158315	1054560	5038789,81	2120227,47																																					
5	1158246	1054537	5038720,84	2120204,61																																					

RECURSO NATURAL	DESCRIPCIÓN
Material de Cantera o arrastre	La Resolución 0886 del 11 de septiembre de 1998, no contiene permiso explícito de fuentes de materiales, sin embargo, ECP en la ejecución del proyecto, cuando ha requerido material lo hace a través de canteras con Licencia Ambiental y Título Minero.
Emisiones Atmosféricas	Para el desarrollo de la Estrategia de Desarrollo de Inyección de Aguas de Producción y las actividades asociadas a la misma y que son objeto de la presente Modificación de Licencia Ambiental, no se requiere del uso y aprovechamiento del recurso aire, ya que no se incluirán nuevas fuentes fijas y/o quemas permanentes en el alcance del proyecto, por lo que no se requiere permiso de emisiones.
Ocupación de cauces	Para la ejecución de la Estrategia de Desarrollo de Inyección de Aguas de Producción en el Área de Pozos de Desarrollo Cusiana TA, no se requiere permiso de ocupación de cauces, por cuanto no se intervendrán nuevas áreas.
Aprovechamiento forestal	El volumen total autorizado fue de 11,12 m ³ , 0,79 para adecuación de la vía de acceso y 1,32 m ³ para la adecuación y construcción del área de la locación. Es importante aclarar que no se han realizado aprovechamientos recientes ni remoción de coberturas. El beneficiario del proyecto, deberá realizar como medida compensatoria, la reforestación de 2 ha y la empadricación de 30,879 m ² tal como lo establecen en las fichas A-4 y A-5 del EIA, esta obligación ya fue dada por cumplida mediante Auto 07696 del 5 de diciembre de 2018, el cual establece en su parte motiva que de conformidad con el concepto técnico 3414 del 28 de junio de 2018, se informó que la Sociedad Ecopetrol S.A. dio cumplimiento al aprovechamiento y reforestación, ratificando lo estipulado en el artículo cuarto del Auto 3649 del 4 de agosto de 2016.
Manejo de residuos	Para la gestión de los residuos sólidos generados en el proyecto, el manejo se realizará siguiendo los lineamientos establecidos en la Guía para el Manejo Integral de Residuos en Ecopetrol S.A. (HSE-G-004) 2020 Versión 2 y lo propuesto en el presente Plan de Manejo Ambiental. Los residuos sólidos generados y reportados para el Período el presente informe, son los generados por la empresa SUMMUM ENERGY SAS contratista encargada de las actividades de intervención de pozos y Well Testing y la empresa ADEC LTDA contratista de obra civil. Teniendo en cuenta que las actividades realizadas en la locación Cusiana TA son de corto tiempo los residuos generados son mínimos, por ende el contratista realiza la recolección y almacenamiento temporal hasta la terminación de la actividad y posteriormente la gestión para el transporte y disposición final. El manejo y la disposición final de los residuos orgánicos, ordinarios y reciclables, se realiza con la EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE AGUAZUL ESPA S.A. E.S.P, la cual se encuentra autorizada mediante Resolución No 200.41.08-1507 del 19 de diciembre de 2008 expedida por Corporinoquia En cuanto al manejo y disposición final de los residuos contaminados, se realiza a través de empresa. PROSARC SA E.S.P. autorizada mediante Resolución 0886 del 27 de julio de 2004 del MAVDT y la licencia Ambiental aprobada mediante la Resolución 3077 del 07 Noviembre de 2006 expedida por la Corporación autónoma Regional CAR, los residuos contaminados fueron tratados mediante el proceso de termodestrucción. La Sociedad podrá hacer uso de la zona (botadero) que se encuentra localizada en la margen derecha del Río Chiquito, empleada en la disposición de sobrantes de excavación del pozo Cusiana 5.

Fuente: GEOTEC INGENIERIA, 2022, con información suministrada por ECP.

5. EVALUACIÓN AMBIENTAL

5.1.1 Análisis de la evaluación de los impactos ambientales en el escenario sin proyecto

Una vez efectuada la identificación y evaluación de los impactos que se presentan actualmente en el área de estudio sobre los medios abiótico, biótico y social, se puede establecer el nivel de afectación de cada elemento del entorno, teniendo en cuenta tanto los efectos negativos como los positivos; de igual forma se identifica la cantidad de impactos por tipo de alteraciones sobre cada uno de los componentes.

En total se identificaron 97 interacciones (actividades – impactos) de las cuales 91 corresponden a impactos de carácter negativo, es decir, el 94% de las interacciones causan efecto perjudicial sobre los medios abiótico, perceptual, biótico y social. En cuanto a los efectos positivos que se generan por las actividades que actualmente se desarrollan en el área de estudio, se tienen 6 interacción, que corresponden al 6%, las cuales tiene un efecto benéfico sobre el medio socioeconómico, En la Tabla R.24 y Figura R.31, se presenta el tipo de impactos identificados y su distribución porcentual, respectivamente.

Tabla R.24 Tipos de impactos identificados

MEDIO	SIGNIFICANCIA AMBIENTAL DEL IMPACTO		TOTAL IMPACTOS
	IMPACTOS NEGATIVOS	IMPACTOS POSITIVOS	
ABIÓTICO	55	1	56
BIÓTICO	15	0	15
SOCIAL	21	5	26
TOTAL	91	6	97

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.



Figura R.31 Distribución porcentual de impactos por carácter para el escenario sin proyecto

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

5.1.2 Análisis de la evaluación de los impactos ambientales en el escenario con proyecto

Con respecto al análisis por variables se observa que un total de 17 interacciones, efecto del cruce de un total de 11 actividades identificadas para el proyecto en todas sus etapas y 5 impactos ambientales que corresponden a todos los medios (abiótico, biótico y socioeconómico).

5.1.2.1 Análisis de resultados generales

Una vez efectuada la identificación y evaluación de los impactos que pueden generarse por el desarrollo de las actividades del proyecto sobre los medios abiótico y social, se puede establecer el nivel de afectación de cada elemento del entorno, teniendo en cuenta tanto los efectos negativos como los positivos; de igual forma se identifica la cantidad de impactos por tipo de alteraciones sobre cada uno de los componentes; y finalmente se establecen las actividades más críticas en cada una de las etapas del proyecto.

En total se obtuvieron 17 interacciones (actividades – impactos) de las cuales se identifican 13 con carácter negativo, es decir el 76% de las interacciones pueden causar un efecto perjudicial sobre medios abiótico y social que con ocasión del proyecto podrán generarse (ver Figura R.32), con relación a los impactos de carácter positivo se tienen 4 interacciones con el 22% (ver Tabla R.25).

Tabla R.25 Tipos de impactos identificados

MEDIO	SIGNIFICANCIA AMBIENTAL DEL IMPACTO		TOTAL IMPACTOS
	IMPACTOS NEGATIVOS	IMPACTOS POSITIVOS	
ABIÓTICO	3	3	6
SOCIAL	10	1	11
Total	13	4	17

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

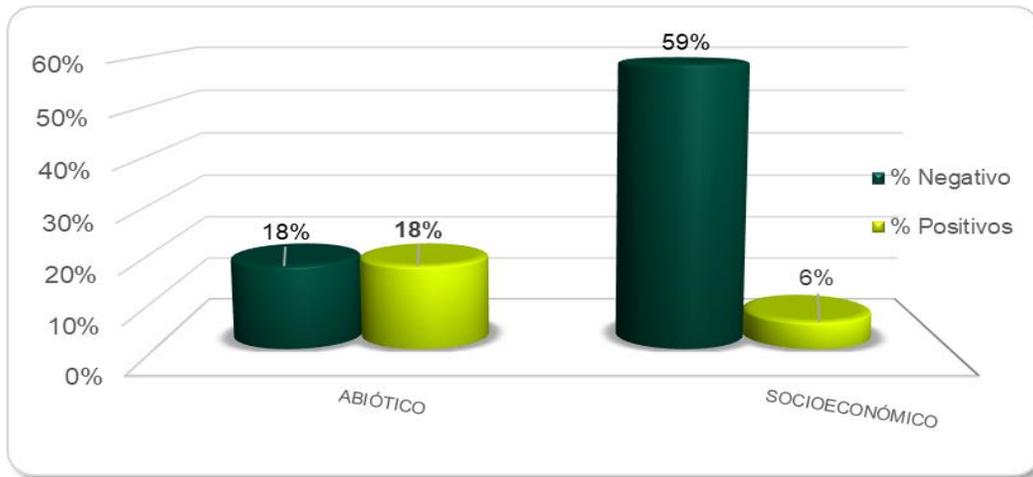


Figura R.32 Distribución porcentual de impactos por carácter para el escenario con proyecto

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

De acuerdo con la evaluación y análisis, el medio socioeconómico reporta la mayor cantidad de impactos con el 65%, seguido por el medio abiótico con un 35% (ver Figura R.33).

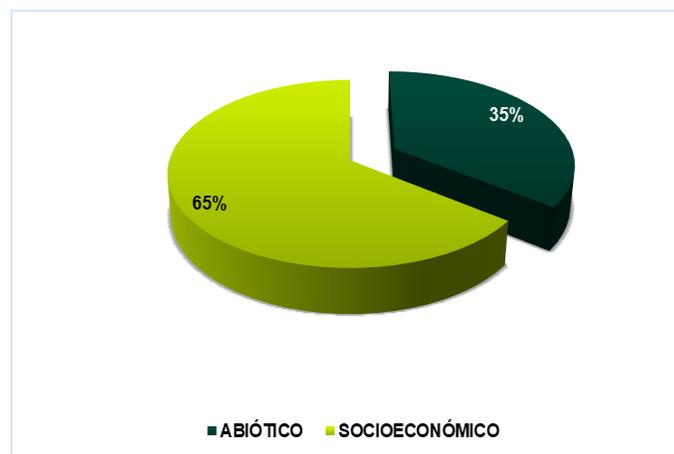


Figura R.33 Distribución porcentual de impactos por medio para el escenario con proyecto

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

6. ZONIFICACIÓN DE MANEJO AMBIENTAL

Teniendo en cuenta que la licencia ambiental del Campo Cusiana fue aprobada en el año 1993, para tal fecha no era exigencia dentro de los términos de referencia presentar una zonificación ambiental específica; por tanto, dentro del histórico del proyecto del Área de Pozos de Desarrollo TA (Res. 0886/98) no existe tal capítulo. Es importante aclarar, que el Decreto 1753 de 1994, Decreto 1728 de 2002, Decreto 1180 de 2003 y Decreto 1220 de 2005, Decretos en los cuales no se reglamentó la exigencia de presentar la Zonificación Ambiental y de Manejo, en el contenido del Estudio de Impacto Ambiental, por lo tanto, esta temática no se incluye en la presente Modificación, por cuanto las actividades de cambio de servicio del pozo (adecuación del pozo ya existente), se realizarán al interior del área intervenida de la Locación, así como la vía de acceso corresponde a la autorizada y que es objeto de mejoramiento permanente por parte de ECP.

En la Figura R.34, se muestra las áreas de reglamentación especial del POMCA Río Cusiana que se traslapan con el Área de Intervención para el Área de Locación de Pozo TA-27 y cuya reglamentación de uso dispuesta en el POMCA Río Cusiana, del cual hace parte esta área, como son:

- **Zonas de conservación:** Reservas Forestales Protectoras, Áreas Protectoras-Productoras, Reservas de la Sociedad Civil, Distritos de Manejo Integrado, Áreas de protección declaradas por los municipios y departamentos, Área natural única, Áreas Amortiguadoras de parques nacionales debidamente reglamentadas, Nacimientos de agua, humedales y esteros (bosques de galería).
- **Zonas de Preservación:** las áreas encaminadas a garantizar la intangibilidad y la no perturbación de los recursos naturales dentro de espacios específicos dentro del área de la cuenca, hacen parte de ellas las Reservas de la Sociedad Civil, Distritos de Manejo Integrado, Áreas de protección declaradas por los municipios y departamentos.
- **Zonas de Restauración Ecológica:** entiéndase por zonas de restauración ecológica las áreas de preservación orientadas al restablecimiento de las condiciones naturales primigenias de la zona, porque han sido degradada en su fauna, flora y suelos (afectados por incendios, inundaciones, derrumbes o tiene un alto grado de erosión antrópica y natural); o que tienen relictos de bosques importantes. En esta zona se puede acelerar los procesos regenerativos con reforestaciones e inclusión de especies de fauna y flora autóctonas del área.
- **Zonas Periféricas de Nacimientos, Cauces de ríos, Quebradas, Arroyos, Lagos, Lagunas, Pantanos:** entendida como una zona de reglamentación específica de protección de 100 metros de franja para los ríos y humedales. 50 metros de franja de protección para quebradas. 30 metros de franja de protección o cota máxima de inundación para caños permanentes

Igualmente, se considera las áreas de Reserva Forestal Hidrográfica y de Patrimonio Ecológico de la Microcuenca Río Unete y el Parque Natural Regional Cerro San Miguel de los Farallones.

De acuerdo con lo anterior, el desarrollo de las actividades objeto de la presente Modificación se darán al interior de la Plataforma T, que corresponde a un área intervenida y autorizada para la actividad industrial de Hidrocarburo, por tanto, no se prevé intervención alguna en áreas con las categorías descritas anteriormente.

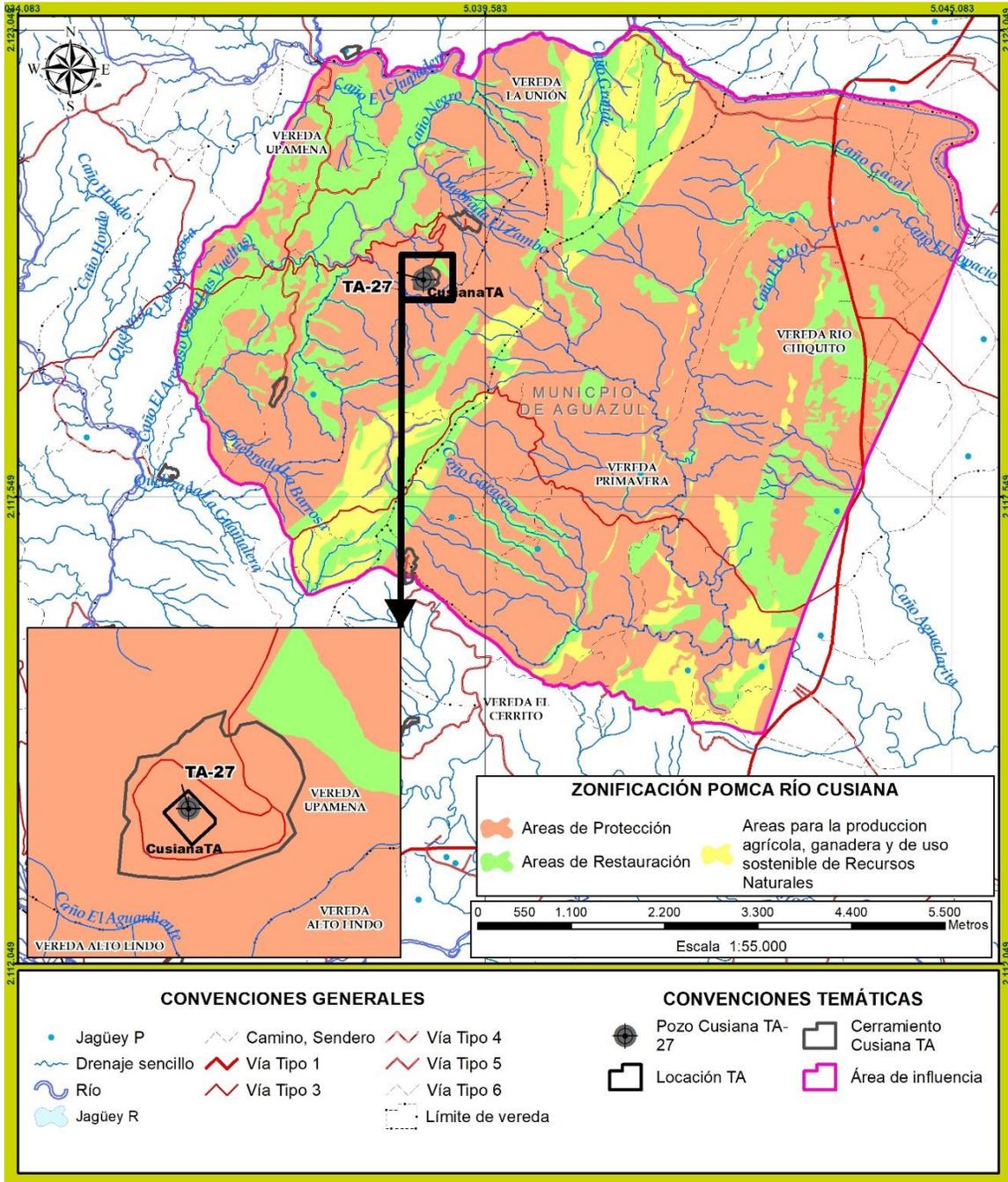


Figura R.34 Áreas de reglamentación POMCA Río Cusiana

Fuente: ECOPEPETROL S.A., ICA 30, 2020

7. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

En el presente capítulo se plantean las medidas de manejo ambiental que permitirán prevenir, mitigar, controlar y/o compensar los impactos que se han generado o se podrían generar por el desarrollo de actividades contempladas en la ejecución del proyecto. En ese sentido, este capítulo es un instrumento para el manejo y toma de decisiones, y permite optimizar el desempeño ambiental de las operaciones que involucren el aprovechamiento y/o utilización de los recursos naturales relacionadas con el proyecto.

En la Tabla R.26 se presenta la lista los programas, proyectos y medidas manejo ambiental acogiendo la numeración del Estudio de Impacto Ambiental del Área de Pozos de Desarrollo Cusiana TA, aprobado por la Resolución 0886 del 11 de septiembre de 1998, así como se presentan las fichas correspondientes al medio abiótico y biótico y se indica cuales fichas son las que aplica para la modificación de licencia. Para el componente socioeconómico se tomó la información presentada en el Plan de Gestión Social Integral (PGSI) correspondiente al quinquenio 2014-2018 (ver Tabla R.27). Las actividades que se busca autorizar con la presente modificación corresponden a la inyección de agua con fines de recobro, iniciando con un área y la inyección para disposición, la cual se desarrollara en el Bloque Santiago de las Atalayas – Campo Cusiana, especialmente en el Pozo TA-27.

Tabla R.26 Programas y proyectos de acuerdo a la Resolución 0886 del 11 de septiembre de 1998

ESTRUCTURA DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL CUSIANA TA-27		APLICA	NO APLICA	SE INCLUYE
1. CÓDIGO	2. DESCRIPCIÓN			
CONSTRUCCIÓN DE INSTALACIONES EN EL ÁREA DE PERFORACIÓN				
FICHA A.1.	PROGRAMA DE DESMONTE LIMPIEZA Y DESCAPOTE			
FICHA A.2.	PROGRAMA DE MANEJO DE MOVIMIENTO DE TIERRAS			
FICHA A.3.	PROGRAMA DE CONTROL DE EROSIÓN Y MANEJO DE AGUAS LLUVIAS	X		
FICHA A.4.	PROGRAMA DE MANEJO PARA CUERPOS DE AGUA Y NACEDEROS			
FICHA A.5.	PROGRAMA DE RECUPERACIÓN VEGETAL			
FICHA A.6.	PROGRAMA PARA MANEJO DE CAMPAMENTOS TRANSITORIOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN			
FICHA A.7.	PROGRAMA DE MANEJO PARA POZOS DE INYECCIÓN			X
MANEJO AMBIENTAL DURANTE LA CONSTRUCCIÓN				
FICHA B.1.	PROGRAMA DE MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS	X		
FICHA B.2.	PROGRAMA DE MANEJO DE CORTES Y LODOS DE PERFORACIÓN			
FICHA B.3.	PROGRAMA DE MANEJO DE RESIDUOS LÍQUIDOS	X		
FICHA B.4.	MANEJO DE PRUEBAS DE PRODUCCIÓN		X	
RESTAURACIÓN FINAL				
FICHA C.1.	PROGRAMA DE CIERRA DE PISCINAS (*)	X		X (*)
FICHA C.2.	PROGRAMA DE LIMPIEZA DEL ÁREA (*)	X		
FICHA C.3.	PROGRAMA DE REVEGETALIZACIÓN FINAL	X		

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

Tabla R.27 Programas y proyectos de acuerdo al Plan de Gestión Social 2014 - 2018

PROGRAMAS DE GESTIÓN SOCIAL 2009 CUSIANA TA-27		APLICA	NO APLICA
PGS-1	INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN A COMUNIDADES Y AUTORIDADES	X	
PGS-2	ATENCIÓN DE QUEJAS Y RECLAMOS SOCIO- AMBIENTALES	X	
PGS-3	CONTRATACIÓN DE MANO DE OBRA NO CALIFICADA DEL ÁREA LOCAL		X
PGS-4	INDUCCIÓN SOCIO- AMBIENTAL A TRABAJADORES	X	
PGS-5	APOYO A LA FORMACIÓN CIUDADANA		X
PGS-5.1	EDUCACIÓN AMBIENTAL A COMUNIDADES	X	
PGS-5.2	EDUCACIÓN PARA LA PARTICIPACIÓN CIUDADANA	X	
PGS-6	APOYO A LA GESTIÓN MUNICIPAL Y REGIONAL	X	
PGS-7	APOYO A LA REAFIRMACIÓN CULTURAL		X
PGS-8	SEGURIDAD VIAL		X
PGS-9	FORTALECIMIENTO A LA ECONOMÍA REGIONAL		X
PSMS	PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO AL PLAN DE GESTIÓN SOCIAL INTEGRADO		X

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

8. PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO DEL PROYECTO

El propósito del programa es generar los lineamientos bajo los cuales se ejecutarán las actividades de seguimiento y monitoreo del proyecto. Este Plan de Seguimiento y Monitoreo se mantiene según lo aprobado por la Autoridad Ambiental.

En este sentido, la Tabla R.28 se presenta la lista de los programas de seguimiento y monitoreo del proyecto, acogiendo la numeración del Estudio de Impacto Ambiental del Área de Pozos de Desarrollo Cusiana TA, aprobado por la Resolución 0886 del 11 de septiembre de 1998 y para el componente socioeconómico se tomó la información presentada en el Plan de Gestión Social Integral (PGSI) correspondiente al quinquenio 2014-2018.

Tabla R.28 Programas y proyectos de acuerdo a la Resolución 0886 del 11 de septiembre de 1998

ESTRUCTURA DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL CUSIANA TA-27		Aplica	No Aplica	Se incluye
1. CÓDIGO	2. DESCRIPCIÓN			
MANEJO INTEGRAL DEL PROYECTO - PROGRAMAS DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL				
FICHA D.4	PLAN FORESTAL DE COMPENSACIÓN		X	
FICHA D.5	PROGRAMA DE INTERVENTORÍA AMBIENTAL		X	
FICHA D.6	PROGRAMA DE MONITOREO Y CONTROL AMBIENTAL		X	
FICHA D.7	PLAN DE EMERGENCIAS Y CONTINGENCIA		X	
FICHA D.8	PROGRAMA DE SEGUIMIENTO PARA POZOS DE INYECCIÓN			X
PROGRAMAS DE GESTIÓN SOCIAL 2009 CUSIANA TA27				
PSMS	PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO AL PLAN DE GESTIÓN SOCIAL INTEGRADO	X		

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

9. ANÁLISIS DEL RIESGO

El **Capítulo 9 Análisis del Riesgo**, se realizó de acuerdo con el Decreto 2157 de 2017 el cual tiene el enfoque de incluir análisis específicos de riesgo tanto en origen natural, socio-natural, tecnológico, entre otros, sobre la infraestructura expuesta y aquellos que se deriven de los daños de a la misma. Se divide en tres partes: Conocimiento del riesgo, Reducción del Riesgo y Manejo del Desastre.

En el conocimiento del riesgo, se encuentra el contexto interno y externo del pozo **Cusiana TA-27** - bloque Santiago de las Atalayas, en donde se identificó los elementos expuestos, las amenazas naturales, antrópicas y operacionales durante las actividades: “Actividades comunes para la conversión de pozos”, “Adecuación de facilidades de inyección”, “Operación de inyección” y “Desmantelamiento y recuperación del área”.

Se establecieron 16 escenarios de los cuales 10 están asociados a amenazas Exógenas (3 amenazas naturales, 6 amenazas de origen antrópico y 1 amenaza de origen socio natural) y 6 amenazas Tecnológicas los cuales fueron evaluados para cuatro grupos que encierran los elementos expuestos previamente identificados, siendo “Personas”, “Ambiente”, “Economía”, “Cliente” y “Reputación” mediante la aplicación de la metodología semicuantitativa “Matriz de consecuencias y Probabilidad” (RAM) en donde se combina calificaciones cualitativas de consecuencias y las probabilidades/frecuencias para producir un nivel de riesgo o una calificación de riesgo. Posterior a dicho análisis se realizó una valoración del “Perfil del Riesgo” para determinar la aceptabilidad o no de los escenarios evaluados, teniendo tres clasificaciones: Aceptable, Tolerable e Inaceptable.

Los resultados más relevantes en temas de análisis cualitativo, a partir del cálculo de los valores de riesgo realizado para cada escenario según su frecuencia y severidad y la construcción de las matrices de Nivel de Riesgo y Perfil del Riesgo para cada uno de los factores de Vulnerabilidad, se presenta de la siguiente manera:

➤ Nivel y Perfil de riesgo – Persona

De los Dieciséis (16) escenarios identificados se ubican Ocho (8) en la categoría de riesgo NULO, lo que permite inferir que la severidad de las personas internas o/y externas expuestas a dichas amenazas naturales, antrópicas o tecnológica es muy baja o la frecuencia e intensidad de ocurrencia de los eventos amenazantes es de baja probabilidad, con un perfil de riesgo TOLERABLE, sin embargo, los E01 y E02 que se ubican en este nivel del riesgo es para la actividad de “Actividades comunes para la conversión de pozos” pues se evaluó el potencial de severidad sobre las personas durante un evento sísmico o remoción en masa y nuevamente se evaluaron estos dos escenarios para las actividades”, “Adecuación de facilidades de inyección”, “Operación de inyección” y “Desmantelamiento y recuperación del área”, dando como nivel de riesgo MEDIO para estos escenarios, pues aumenta la severidad sobre las personas en caso de materializarse un sismo o remoción en masa; otros escenarios dentro del nivel del riesgo MEDIO son E04; E06; E10; E11; E12 y E13 en donde se identificó que la severidad es mayor sobre las personas durante el proyecto, pero con una baja (B) a intermedia (C) probabilidad de ocurrencia, el perfil del riesgo para estos escenarios es de TOLERABLE. Dos escenarios quedaron clasificados con un nivel del Riesgo ALTO y perfil del riesgo INTOLERABLE, asociado a eventos ajenos a la organización como la seguridad pública (E05) y a la frecuencia de ocurrencia de incidentes con vehículos (E09) en la industria, que al materializarse situaciones de atropellamiento o vuelco, la severidad sobre las personas es alta.

➤ Nivel y Perfil de riesgo - Económico

Dos (2) escenarios (E03, E08) se ubican en el nivel de riesgo NULO con un perfil de riesgo TOLERABLE, pues la severidad económica es marginal si se llegaran a materializar, además, se

cuenta con alertas temprana cerámica y protocolos y controles sobre la gestión de residuos. Once (11) escenarios presentan un nivel de riesgo BAJO, se ubican entre una severidad económica para ECP importante y menor alineado a temas de afectación a infraestructura, facilidades, paro de la operación por un tiempo corto; situaciones con probabilidad de ocurrencia baja (B) a intermedia (C), el perfil del riesgo es ACEPTABLE. Solo tres eventos (E05; E09; E14) representa en temas económicos un nivel de riesgo MEDIO y perfil de riesgo TOLERABLE, en donde la compañía podría incurrir en sanciones de la autoridad ambiental (E14), demandas o despliegue de seguros de vida, ARL y demás pólizas (E05; E09).

➤ Nivel y Perfil de riesgo – Ambiente

Los escenarios E03; E06; E07; E08; E11 y E12, no representa riesgo ambiental, se clasificaron con un nivel de riesgo NULO y perfil del riesgo ACEPTABLE, son escenarios de origen natural, antrópicos y tecnológicos de baja severidad y baja probabilidad de ocurrencia. Los escenarios E05; E09; E10 y E13 presentan un nivel de riesgo BAJO, se debe a que la materialización de dichos escenarios puede ocasionar una afectación locativa o menor asociado al derrame de algún elemento contaminante originado como consecuencia de otro escenario, el perfil del riesgo para estos escenarios es ACEPTABLE. Los escenarios E01; E02; E15; E15 presentan un nivel del riesgo MEDIO y perfil del riesgo TOLERABLE, en cuando los E01 y E02 son escenarios detonantes para la afectación de la infraestructura y con ello la contaminación del acuífero, mientras, que los otros escenarios, hacen referencia a la contaminación del acuífero por acción propia de las actividades de “Adecuación de facilidades de inyección”, “Operación de inyección”. Solo un escenario E04 (Incendio forestal), se clasificó con un nivel de riesgo ALTO para el ambiente y su perfil del riesgo es INACEPTABLE, pues la amenaza se identificó como MUY ALTA con una susceptibilidad MUY ALTA, siendo la cobertura predominante pastos limpios.

➤ Nivel y Perfil de riesgo – Clientes

El 94% de los escenarios presenta un perfil de riesgo ACEPTABLE, de los cuales los escenarios E03; E04; E06; E07; E13; E14; E15; E16 presentaron un nivel de riesgo NULO y los escenarios E01; E02; E08; E09; E10; E11; E12 un nivel de riesgo BAJO, pues son escenarios asociados a temas de seguridad pública, propios de la actividad que no afectan la interacción con clientes tanto internos (trabajadores) como externos (clientes y autoridades locales y ambientales). Sin embargo, el E05, presento un nivel de riesgo MEDIO y perfil del riesgo TOLERABLE asociado a la probabilidad de ocurrencia en donde en el campo vecino, Cupiagua, en el año 2018 ingresaron personas de un grupo al margen causando severidades altas en los trabajadores, situación que también causó quejas y reclamos con clientes.

➤ Nivel y Perfil de riesgo – Reputación

El 81% de los escenarios presentan un perfil de riesgo ACEPTABLE, de los cuales los escenarios E01; E02; E03; E06; E07; E08; E10; E11; E12 y E13 un nivel de riesgo NULO y E09; E15 y E16 nivel de riesgo BAJO, escenarios que cuentan con una severidad local a ningún impacto sobre la reputación de la compañía con baja probabilidad de ocurrencia. Escenarios como E04 (Incendio forestal) en donde la severidad es local con afectación sobre el paisaje, podría afectar la reputación de las actividades y controles de operativos y de seguridad ante la comunidad cercana y el escenario E14 (Contaminación de los Acuíferos por fracturación de la roca receptora por sobrepresiones) con baja probabilidad de ocurrencia, en caso de materializarse el evento tendría consecuencias en la imagen de la compañía a nivel nacional por el cubrimiento que podría llegar hacerse y se pondría en valoración los controles y operación de actividades aprobadas en el EIA. Y el escenario E05 (Atentados), se calificó con un nivel de riesgo ALTO y perfil del riesgo INACEPTABLE, por el cubrimiento nacional que obtuvo el evento ocasionado en el campo de Cupiagua.

En el proceso de reducción del riesgo se presentan las estrategias de intervención correctiva, prospectiva y protección financieras alineadas a Plan de Gestión del Riesgo de Desastres de las Entidades Públicas y Privadas (PGRDEPP) Gerencia de Operaciones de Desarrollo y Producción Piedemonte (ECP, 2019) y el Plan de Emergencia y Contingencia PEC Gerencia de Operaciones de Desarrollo y Producción Piedemonte (ECP, 2019). Adicionalmente se plantean procesos de reducción tendientes a reducir los riesgos generales y específicos de los Escenarios identificados con un nivel de riesgo INACEPTABLE.

- Generales:
 - ✓ Responsabilidades en Aspectos HSE.
 - ✓ Procedimientos y Prácticas Seguras.
 - ✓ Salud en el Trabajo.
 - ✓ Control del trabajo.
 - ✓ Planeación y respuesta a emergencias.
 - ✓ Programas de mantenimiento predictivo y preventivo.
- Específicas:
 - ✓ Atentados/ Sabotaje (E05).
 - ✓ Emergencias médicas (E09).
 - ✓ Incendio Forestal (E04).

El Proceso de Manejo del Desastres se estructuró con las estrategias que maneja actualmente Ecopetrol SA en su Plan de Gestión del Riesgo de Desastres de las Entidades Públicas y Privadas (PGRDEPP) Gerencia de Operaciones de Desarrollo y Producción Piedemonte (ECP, 2019) y el Plan de Emergencia y Contingencia PEC Gerencia de Operaciones de Desarrollo y Producción Piedemonte (ECP, 2019), aterrizadas al alcance del proyecto. Se presenta la preparación de la respuesta y respuesta a la emergencia, en donde se expuso el Sistema Comando de Incidentes (SCI), los niveles de emergencia y respuesta específica para algunos escenarios, así como alerta y alarma que se deberán implementar en caso de materializarse algún escenario de riesgo.

Se identificaron tres escenarios (E04; E05 y E09) con perfil de riesgo INACEPTABLE en donde el E04 (incendio forestal) presenta una severidad alta al ambiente, asociado a la susceptibilidad MUY ALTA de la cobertura del AID con dominancia de pastos limpios, para este escenario se propone un control más estricto en temas de prevención durante la ejecución de las actividades, el escenario E05 (Atentados/ Sabotaje) es una amenaza ajena a la organización en donde se deberá apoyar de las fuerza públicas de la región y fortalecer las alianzas con dichas entidades a través de convenios, simulacros y/o simulaciones y el escenario E09 (Incidentes con vehículos en el transporte de equipos, personal y maquinaria) con alta severidad en personas en cuanto se materialice el escenario y probabilidad es intermedia (C), se enfocó su prevención en mantener y mejorar los controles internos sobre la operación. Estos eventos son priorizados para la gestión de reducción del riesgo.

Los escenarios E01*; E02*; E06; E10; E11; E12; E13 para personas, E05; E09; E14 en lo económico, E01; E02; E14; E15; E16 en el ambiente, E05 para clientes y E04; E05; E14 en reputacional presentaron un perfil de riesgo TOLERABLE, en donde se deben desarrollarse actividades para la gestión sobre el riesgo y se ubican con una prioridad de segundo nivel. Se proponen estrategias de intervención correctiva, prospectivas generales y protección financiera.

El resto de los escenarios identificados se ubicaron en perfil del riesgo ACEPTABLE, por lo que se deben mantener los controles actuales.

10. PLAN DE ABANDONO Y RESTAURACIÓN FINAL

En este capítulo se presenta el conjunto de acciones formuladas para la restauración de las áreas intervenidas por las actividades propias realizadas en el Área de Pozos de Desarrollo TA, en el respectivo Plan de Manejo Ambiental, estableciendo así, los criterios a tener en cuenta en el manejo ambiental durante las etapas de abandono y restauración final.

Durante esta etapa del proyecto se adelantan las actividades de reconfiguración del terreno, limpieza final, control de erosión y revegetalización. Todas las actividades están dirigidas a recuperar y mejorar las condiciones ambientales de la locación y su área de influencia local, por lo cual, los impactos que se pueden producir sobre los componentes ambientales son de carácter positivo fundamentalmente.

- Reducción del proceso erosivo.
- Recuperación y mejoramiento de las condiciones físicas y químicas del suelo.
- Recuperación de la cobertura vegetal y reiniciación de los procesos de sucesión.
- Restauración de las cadenas tróficas.
- Recuperación de los ecosistemas acuáticos.
- Producción de empleo y de ingresos para algunos habitantes de la región.
- Retorno a un uso potencial agrario del suelo nuevamente, pero con menor intensidad.

En la Figura R.35 se presenta el procedimiento a seguir para las actividades de abandono y restauración final de las áreas intervenidas por el proyecto.



Figura R.35 Procedimientos a seguir para el abandono y restauración final

Fuente: GEOTEC INGENIERÍA, 2022.

El abandono definitivo y restauración final de todos los sitios intervenidos dentro del Área de Pozos de Desarrollo TA, iniciará una vez cumplida la vida útil del proyecto (finalización de actividades de inyección de agua).

11. OTROS PLANES Y PROGRAMAS

11.1 PLAN DE INVERSIÓN DEL 1%

El Proyecto Campo Cusiana – Campo Cupiagua no está sujeto a la inversión forzosa de no menos 1%, toda vez que la Resolución 0886 del 11 de septiembre de 1998 mediante la cual se otorgó la licencia ambiental al proyecto, fue expedida antes de la Ley 99 del 22 de diciembre de 1993, conforme a lo establecido en el artículo 43°, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental- SINA, el cual fue reglamentado por el Decreto 1900 de 2006, que a su vez fue compilado en el capítulo 3 del título 9 de la parte 2 del libro 2 del Decreto 1076 de 2015, único reglamentario del sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.

11.2 COMPENSACIONES POR PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD

El Proyecto Campo Cusiana – Campo Cupiagua no está sujeto a la implementación del Plan de Compensación por Pérdida de la Biodiversidad, toda vez que la Resolución 0886 del 11 de septiembre de 1998 mediante la cual se otorgó la licencia ambiental al proyecto, fue expedida antes de la Resolución 1517 del 31 de agosto de 2012 mediante la cual se adoptó el Manual para la asignación de compensaciones por pérdida de biodiversidad.