

ESTUDIO DE LÍNEA BASE DE CUERPOS DE AGUA DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN Y RUTA DEL OLEODUCTO DE PETROZUATA (VENEZUELA)

Fernando Balliache

Ciro Fuenmayor

Grupo Industrial de Protección Ambiental (GIPA) / Grupo Médico MED-INDUST

SINOPSIS

Para activar el Programa de Seguimiento requerido en el Estudio de Impacto Ambiental, se efectuó una caracterización fisicoquímica de las aguas y suelos ubicados en los 29 cursos de agua en la ruta del oleoducto (196,7 km), así como de agua superficial (1 río y tres morichales), agua subterránea (3 pozos de monitoreo y 3 pozos de agua) y substrato edáfico (5 cauces) en el área de producción de Petrozuata (27.520 ha) en la Faja Petrolífera del Orinoco.

Se realizaron dos campañas de muestreo, correspondientes a las temporadas de sequía y de lluvias. Se encontraron valores altos de aluminio, bario, cadmio, cromo, fenoles y hierro en varias muestras de agua del corredor del oleoducto. En el área de producción las aguas superficiales analizadas no mostraron signos de contaminación. En los pozos de monitoreo se encontraron pH ácidos y niveles reducidos de mineralización. Las concentraciones de hidrocarburos superaron la norma venezolana para aguas Tipo 1.

Ninguno de los cuerpos de agua estudiados en la ruta del oleoducto cumple con las normas para aguas Tipo 1. Los análisis de suelos permiten concluir que no hay contaminación de los mismos por hidrocarburos.

1. INTRODUCCIÓN

PETROZUATA, C.A., empresa operadora petrolera, fue fundada por la Asociación Estratégica entre MARAVEN, filial hasta el año 1997 de Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA) y la empresa petrolera norteamericana CONOCO ORINOCO INC., con el objeto de producir, transportar y mejorar el crudo extrapesado de la Faja Petrolífera del Orinoco durante un período de 35 años, y comercializarlo mediante un convenio de suministro, definido como Proyecto VEHOP (Venezuelan Heavy Oil Project).

El Proyecto VEHOP está integrado por cuatro componentes fundamentales, los cuales, de acuerdo con su relación funcional, se pueden ubicar a lo largo del eje sur-norte (en la dirección hacia donde se envía el crudo) del Estado Anzoátegui, de la siguiente manera: Área de Producción, Oleoducto, Área de Mejoramiento y Terminal de Embarque.

Para iniciar las operaciones de extracción, transporte y mejoramiento de crudo del Proyecto VEHOP, la Asociación Estratégica MARAVEN-CONOCO requirió elaborar un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) entregado al Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN), con la finalidad de obtener la Autorización de Ocupación del Territorio (AOT) y la Autorización de Afectación de los Recursos Naturales (AARN). Una vez revisado el EIA, el MARN emitió la Declaratoria de Impacto Ambiental (DIA) el 24 de abril de 1996, durante la vigencia del Decreto 2.213, *Reglamento parcial de la Ley Orgánica del Ambiente sobre Estudios de Impacto Ambiental*, del 23 de abril de 1992 (derogado por el Decreto 1.257, *Normas sobre evaluación de actividades susceptibles de degradar el ambiente*, del 13 de marzo de 1996). En la DIA y en la AARN se establecen las condiciones para su otorgamiento, basadas en el compromiso adquirido por PETROZUATA de ejecutar estudios y proyectos orientados a producir información técnica y científica que complemente la documentación contenida en el EIA, la cual ha de ser de utilidad para establecer los programas de seguimiento y control ambiental de cada componente del proyecto. En el caso específico de los componentes Oleoducto y Área de Producción, las AARN fueron emitidas en el año 1997.

La planificación de estudios y actividades del proyecto VEHOP, propuestos en enero de 1998, se formuló sobre la base de las exigencias del MARN, que deben ser cumplidas de acuerdo con el oficio de la AARN. De esta manera, la ejecución de las actividades de construcción y operación se han de llevar a cabo según los lineamientos exigidos en las normas ambientales vigentes. En la planificación se contemplaron programas de carácter general (PETROZUATA, 1997), algunos de los cuales son obligatorios (consistentes con las solicitudes del MARNR), y otros son considerados “altamente recomendados”.

De acuerdo con el planteamiento anterior, para el oleoducto y el área de producción se estableció la necesidad de realizar un Estudio de Línea Base (ELB), dentro del contexto de Programas Generales, a ser utilizado como insumo o punto “0” para activar el Programa de Seguimiento de la calidad de agua superficial de los cuerpos de agua a ser cruzados por el oleoducto y la calidad del agua superficial y subterránea de los cuerpos de agua del área de producción que fueron propuestos en el EIA. El programa es considerado de categoría obligatoria, según la planificación de estudios y actividades del proyecto.

El estudio centró en la caracterización fisicoquímica de 29 cuerpos de agua lóticos que son cruzados por las dos líneas de flujo del oleoducto (crudo y diluyente) y los cuerpos de agua lóticos y subterráneos del área de producción. El objetivo principal fue establecer claramente cuál era el grado de contaminación de los mismos (en caso de que existiera), antes de la entrada en la fase de operaciones de los componentes mencionados.

Debido a la marcada estacionalidad del área, el estudio se planificó para ser desarrollado en dos fases, correspondientes al período seco y al de lluvias.

2. OBJETIVOS

Los objetivos que se plantearon para la realización del estudio fueron:

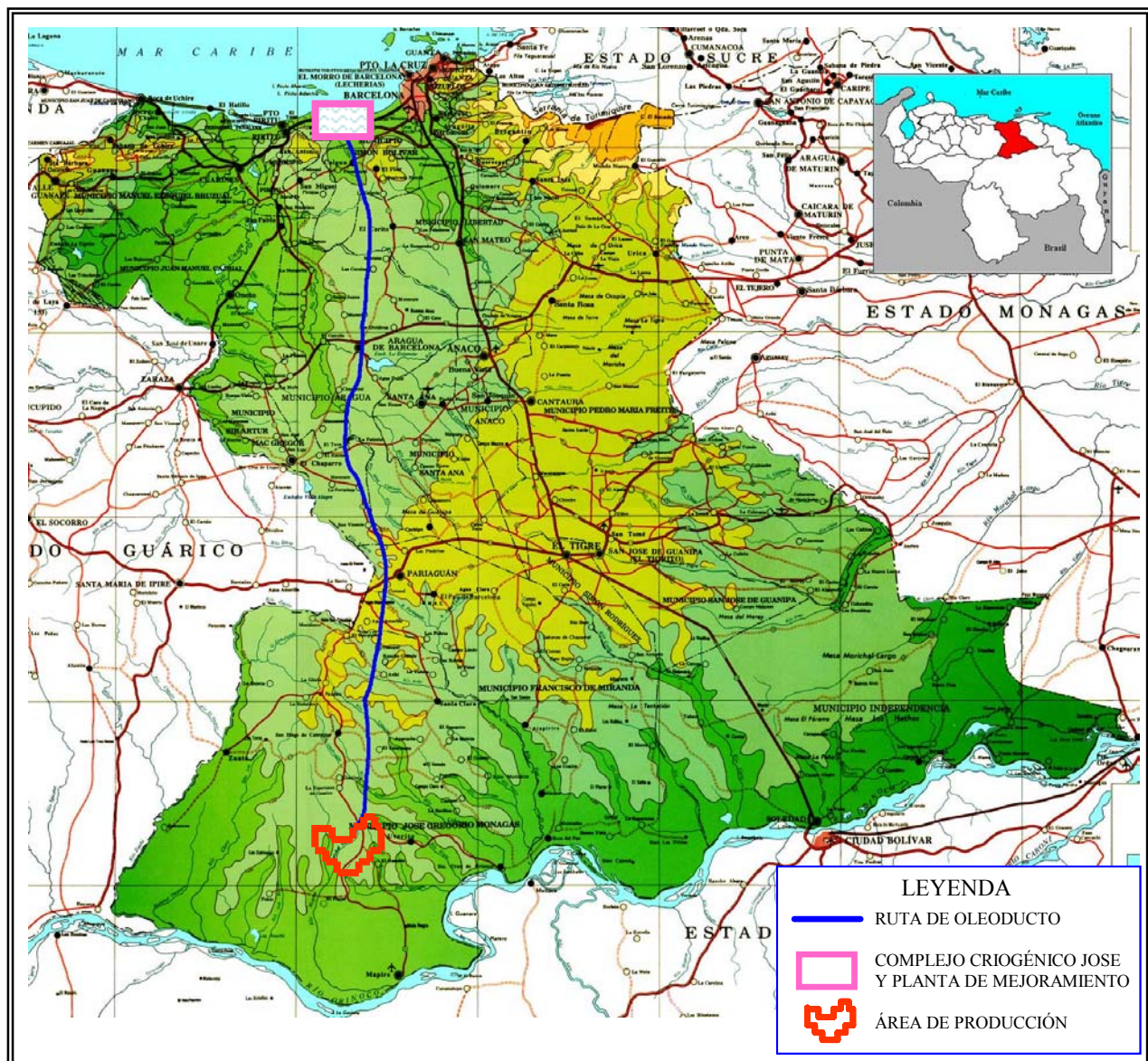
- Proporcionar a PETROZUATA la información sobre la presencia o no de sustancias químicas asociadas al proceso de extracción del crudo y su transporte por las líneas de flujo, así como también las concentraciones de dichas sustancias en las aguas superficiales de cauces de ríos, quebradas y de aguas subterráneas seleccionados y localizados dentro de la poligonal del Área de Producción y los cuerpos de agua que interceptan el oleoducto.
- Establecer la línea base referencial relativa a la calidad fisicoquímica actual de los cuerpos de agua estudiados durante la perforación de pozos y construcción de instalaciones dentro del Área de Producción.
- Descartar la presencia de sustancias químicas contaminantes en el lecho del cauce de los cuerpos de agua superficiales.
- Realizar un análisis comparativo y explicativo del comportamiento fisicoquímico de los cuerpos de agua superficiales en función de la influencia climática o estacional.

3. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de producción está localizada en el Municipio Monagas del Estado Anzoátegui, al sur de la población de Pariaguán y al este de San Diego de Cabrutica, cubriendo una superficie total de 27.520 ha. El oleoducto se origina en el área de producción y, en sentido sur-norte, cruza los municipios Monagas, Miranda, McGregor, Aragua, Libertad, Bolívar y Peñalver del Estado Anzoátegui, en un recorrido de 196,76 km, hasta la Planta de Mejoramiento en el Complejo de Jose, a orillas del Mar Caribe. El oleoducto, que envía crudo a través de una tubería de 26” de diámetro y transporta diluyente para mejorar la viscosidad del crudo desde la planta de mejoramiento hacia el área de producción a través de una tubería de 20”, paralela a la anterior, se encuentra enterrado a una profundidad de 1 m y posee un corredor de unos 30 m de ancho, cubriendo un área de unas 600 ha.

En la Figura 1 se puede observar la ubicación geográfica relativa nacional y regional del área de producción y la ruta del oleoducto.

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio



4. CUERPOS DE AGUA ESTUDIADOS

En el área de producción se evaluaron los morichales Santa Clara, San Antonio y San Antónito, el río Cabrutica y la quebrada Atascosa, los pozos de extracción ubicados en los fundos Los Siete Moriches y Guarenero y el hato Buena Vista, y los pozos de monitoreo P1, P2-1 y P3-2, alrededor del relleno sanitario.

En el trayecto del oleoducto se evaluaron los cuerpos de agua siguientes (sentido sur-norte): río Cabrutica, quebradas Onoto 2 y 1, río Aribí, quebrada Morgao, río Pariaguán, quebrada Guasey, río Malo, quebradas Fortuna y Orejana, río Güere, quebradas Chiquita y Arenal, río Aragua, quebradas Galera, Guacamaya, El Paují, Quintero, Sacacual, Characual, Cambural, La Ceiba, Ceiba, Honda, Paraulata, Cotoperí, El Muerto, El Salado y Hocés.

Las coordenadas geográficas de los puntos de muestreo se determinaron en campo por medio de un posicionador geosatelital (GPS) Magellán 4000.

5. PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS ANALIZADOS

Los parámetros a analizar se establecieron basándose en la norma establecida para aguas Tipo I (aguas destinadas al uso doméstico y uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o subproducto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él), según las define el Decreto N° 883 del 11 de octubre de 1995, *Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos*.

Los análisis fisicoquímicos efectuados a las muestras de agua superficial fueron: pH, aceites y grasas minerales, aldehídos, aluminio, arsénico, bario, boro, cadmio, carbamatos, carbono orgánico total (COT), cianuro, cinc, cloruros, cobre, color, cromo, dureza cálcica, detergentes (surfactantes aniónicos), DBO_{5,20}, DQO, fenoles, fluoruros, hierro, manganeso, mercurio, nitratos, nitritos, nitrógeno total, organoclorados, organofosforados, oxígeno disuelto, plata, plomo, selenio, sodio, sólidos totales disueltos (STD), sulfatos, sulfuros y turbiedad.

Dado que durante el período de sequía la mayor parte de los cursos de agua superficiales de la zona se encuentran secos, se analizaron los suelos superficiales de los lechos de los mismos, debido a que la solubilización o arrastre de materiales presentes en el suelo es un factor que afecta las características fisicoquímicas de los cuerpos de agua estudiados. En este caso los parámetros a analizar se establecieron tomando como referencia los fijados por el MARN en el artículo 50 de Decreto N° 2.635, *Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de desechos peligrosos* del 03 de octubre de 1998, en el que se dictan los lineamientos para el manejo de desechos peligrosos de las actividades de exploración y explotación de minerales, cuando éstos vayan a disponerse por esparcimiento en suelos.

Los análisis seleccionados para las muestras de suelo fueron: pH, aceites y grasas minerales (%), aluminio intercambiable, cadmio, calcio intercambiable, cinc, cloruros, conductividad, cromo, humedad, magnesio intercambiable, sodio, plomo, potasio intercambiable, Relación Adsorción Sodio (RAS) y granulometría.

Las muestras de agua subterránea se analizaron de acuerdo con los parámetros establecidos por el Ministerio de Sanidad y Asistencia Social (MSAS), actual Ministerio de Salud y Desarrollo Social, (MSDS), para agua potable, incluyendo otros relacionados con la explotación de petróleo; se efectuaron análisis de pH, cloruros, cobre, conductividad, dureza, hidrocarburos totales de petróleo (TPH), hierro, níquel, mercurio, STD, sulfatos y vanadio.

A las muestras de aguas superficiales y suelos del área de producción y del oleoducto no se les efectuaron los mismos análisis, ya que los requisitos del EIA para cada área eran diferentes.

6. CONSIDERACIONES AMBIENTALES

El área del proyecto se caracteriza en general, desde el punto de vista del medio físico, por establecerse en un espacio geográfico de gran uniformidad en cuanto a las variables bioclima, geomorfología y suelo. Esta condición permite proyectar la información documental regional al área objeto de este estudio, ya que la condición homogénea de la región de la altiplanicie de mesa así lo permite. De tal manera que la información aquí referida proviene de la consulta de

bibliografía especializada; las publicaciones consultadas fueron: *EIA Proyecto Asociación Estratégica MARAVEN-CONOCO* (Geohidra, 1996); *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas* (González de Juana et al., 1978), *Inventario nacional de tierras* (COPLANARH, 1972), *Inventario nacional de tierras. Región Oriental* (COPLANARH, 1974) y datos de las estaciones meteorológicas del MARN.

6.1. Características climáticas

El área de estudio, por su latitud, se encuentra en plena zona intertropical, lo que desde el punto de vista climático se traduce en que la duración de los días y las noches es casi igual durante todo el año, por lo que la oscilación entre las temperaturas medias del mes más cálido y el mes más frío es inferior a 5° C. La oscilación diaria es más importante que la anual, generalmente superior a 10° C.

Debido a que no existen grandes contrastes altitudinales, la temperatura de los diferentes lugares del área de estudio no muestra variaciones importantes. Tal hecho determina que sólo se alcanza el piso térmico altitudinal caliente, comprendido entre 0 y 800 msnm y de temperaturas entre 22° C y 28° C.

El régimen anual de temperaturas en la zona presenta dos máximas y dos mínimas. La máxima principal ocurre al comienzo del período lluvioso, generalmente en abril. A partir de ésta, las temperaturas descienden, presentándose una mínima durante el mes más lluvioso, generalmente julio. A partir de julio la temperatura aumenta, presentándose un segundo máximo entre septiembre y octubre. Otro mínimo vuelve a ocurrir entre diciembre y enero.

La influencia de los alisios del NE y de la masa de aire ecuatorial, dan origen a un período seco y otro húmedo. Durante el verano del hemisferio norte, la masa de aire ecuatorial se corre hacia el norte hasta los 10° LN y ejerce su influencia durante seis meses, desde abril o mayo hasta septiembre u octubre. Por el contrario, en el invierno del hemisferio norte, dicha masa se ha retirado hacia el sur quedando el área de estudio bajo la influencia de los alisios del NE durante los seis meses restantes.

El período lluvioso, o “invierno”, se extiende generalmente de mayo a noviembre y durante el mismo ocurre más del 80% del total anual de lluvias. Los meses donde se presenta el tope de las precipitaciones son julio y agosto. El período seco, o “verano”, ocurre entre diciembre y abril, siendo febrero y marzo los meses más secos; en estos dos meses por lo general no ocurren precipitaciones en el área.

La evaporación supera a la precipitación durante todo el año, por lo que existe deficiencia de humedad en el área de estudio.

6.2. Características geológicas

El área en estudio se encuentra dentro de la Cuenca Oriental de Venezuela; esta cuenca es la de mayor extensión en el país, abarca una superficie de unos 164.000 km² y se extiende por unos 600 km, desde el Arco de El Baúl, al oeste, hasta el Golfo de Paria, al este. Su límite al sur es el Escudo Guayanés y hacia el norte la Cordillera de la Costa y la Serranía del Interior.

La litología del área de producción está conformada principalmente por arcilitas, lutitas y limolitas compactas; en menor porcentaje se encuentran areniscas medias a muy finas y, finalmente, en cantidades muy limitadas, arenas medias, gravas y conglomerados. En algunas zonas se pueden observar casquetes ferruginosos.

Las lutitas son duras y consistentes, su composición va desde lutitas puras a limolíticas, y arenosas finas a muy finas. El color es gris azulado, pero se observan coloraciones diversas como violetas y marrones. También se identifican intercalaciones de limolitas y lodolitas; este grupo litológico es el más resistente a los procesos erosivos y está presente en farallones y paredes casi verticales.

En cuanto a las areniscas, éstas son casi puras, con bajo contenido de arcilla y limo y están conformadas por cuarzo. Visualmente se presentan manchas producidas por óxidos de calcio de color marrón rojizo. Son relativamente resistentes a la erosión y se ubican en el tope de extensos remanentes de mesa, en zonas muy disectadas. Tienen una alta permeabilidad y absorben gran parte de la escorrentía.

Los conglomerados y gravas se presentan como una mezcla de cantos y granos de cuarzo con un tamaño menor de 5 cm y óxidos de hierro que provienen de núcleos ferruginosos erosionados. Los granos son redondeados evidenciando un material retrabajado; están cementados por óxidos de hierro, otorgándoles gran resistencia a la erosión. Este material cumple una función protectora en los topes de las colinas que están presentes en las inmediaciones de las mesas.

Desde el punto de vista geológico, el oleoducto atraviesa parte la Cuenca Sedimentaria de Los Llanos Orientales. El sustrato está conformado por un material depositado en un ambiente marino somero y deltaico de baja energía (COPLANARH, 1972). La evolución de la Cuenca Oriental de Venezuela se originó en el Cretáceo, período geológico donde se han identificado las formaciones rocosas más antiguas de la región. En dicha era se produjo un movimiento continental en descenso que permitió una extensa transgresión del mar, formándose el geosinclinal de oriente y acumulándose enormes espesores de materiales continentales y marinos. La litología en el sector de mesas está conformada por sedimentos no consolidados o poco consolidados.

Las unidades geológicas atravesadas por el oleoducto se describen a continuación.

Formación La Pica (Mioceno superior)

Originada bajo un ambiente marino somero. Es una unidad del subsuelo, sobre ella se encuentra la Formación Las Piedras (por lo tanto no es atravesada directamente por el oleoducto) y su desarrollo principal se encuentra entre los campos de Jusepín y Pedernales. Litológicamente está representada por una alternancia de lutitas y arenas. Las lutitas son blandas a medianamente duras, oscuras, típicamente limoníticas y frecuentemente inter laminadas con arenas y limos finos. Las arenas son de grano fino a muy fino, no cementadas e intercaladas con limo y arcilla.

La lutita presenta en su composición mineralógica cuarzo, feldespato, minerales arcillosos, óxidos de hierro, carbonatos, otros minerales y materia orgánica. Basándose en esta composición, la posible presencia de hierro en las muestras de agua y suelo, podría atribuirse a las lutitas presentes en esta formación.

Las arenas petrolíferas, incluyen cuarzo y silicatos impregnados de hidrocarburos, por lo tanto es una fuente natural de los mismos. Si se encuentran en las muestras de agua, se podría descartar contaminación por actividades petroleras en la zona, en caso tal de que no existan instalaciones petroleras cercanas al río o quebrada donde se detecten hidrocarburos.

Formación Las Piedras (Mio-Plioceno)

Durante el Mio-Plioceno la Cuenca Oriental de Venezuela recibió sedimentos arcillosos y limolíticos de facies fluviales de baja energía, denominados Formación Las Piedras. Esta unidad es transicional con sedimentos de la Formación La Pica.

La Formación Las Piedras consiste principalmente en sedimentos finos mal consolidados, que incluyen areniscas y limolitas más o menos carbonosas, lutitas arcillosas, arcillitas y lignitos de colores gris claro a gris verdoso, ocasionados por su contenido de clorita. El oleoducto atraviesa superficialmente esta formación en sus progresivas finales dentro del área de producción.

Los minerales integrantes de la litología predominante en la Formación Las Piedras, son arenas, constituidas por cuarzos y feldespatos; lutitas, constituidas por cuarzos, feldespatos, minerales arcillosos, óxidos de hierro, carbonatos, otros minerales y materia orgánica; y lignitos, que generalmente son carbones de bajo rango, normalmente de color café oscuro, con fragmentos vegetales, material arbóreo y alto contenido de agua.

Formación Mesa (Pleistoceno)

Se designa como Formación Mesa a la unidad que cubre las extensas mesas fisiográficamente características de la Cuenca Oriental de Venezuela. Es producto de una sedimentación fluvio - deltaica y paludal, resultado de un extenso delta que avanzaba hacia el este, en la misma forma que avanza hoy el delta del Orinoco.

La Formación Mesa está constituida por arenas de grano grueso y gravas con mucho cemento ferruginoso, que presentan frecuentemente alto grado de cementación y endurecimiento, dando

lugar a conglomerados muy duros de color rojo oscuro, casi negro. Además, está formada por lentes discontinuos de arcillas finamente arenosas y lentes de limolita. El espesor máximo de la formación es de aproximadamente 275 m. La Formación Mesa suprayace discordantemente sobre la Formación Las Piedras.

Es necesario destacar que actualmente la Mesa constituye gran parte de los medios de ablación de los diferentes sistemas deposicionales que se encuentran en los llanos orientales y centro - orientales, tales como las planicies deltaicas de los ríos Guanipa y Tigre.

Gran parte del oleoducto atraviesa la Formación Mesa desde su progresiva 0 hasta las inmediaciones de la ciudad de Pariaguán.

Los sedimentos de la Formación Mesa sufren una gradación, de más gruesos a más finos, al alejarse de las cadenas montañosas del norte hacia el sur y acercarse al Macizo Guayanés, de manera tal que en el área de influencia del proyecto se esperaba la presencia predominante de sedimentos finos.

La Formación Mesa en el área de estudio presenta muy poco espesor, comprendido principalmente entre 10 y 15 m. Debajo de la misma aflora una secuencia de lutitas y lodolitas de varias decenas de metros de espesor, que se ubican en el fondo de las vertientes casi verticales

Los suelos arenosos de la formación están compuestos fundamentalmente por cuarzo y han estado sometidos por mucho tiempo a procesos pedogenéticos, remoción por lavado y traslocación de arcillas; presentan una severa limitación de fertilidad, siendo muy fuertemente ácidos, con pH entre 4 y 5, con baja capacidad de intercambio catiónico (<15 meq/100 g de arcilla), baja saturación con bases ($<30\%$), bajo contenido de materia orgánica, N, P, K y Ca. Asociados a las limitaciones de baja capacidad de retención de agua y a la pobreza de la fertilidad, también presentan problemas debido a su baja estabilidad estructural o a su carencia de estructura, causada principalmente por los bajos contenidos de arcilla y materia orgánica.

Los suelos predominantes, de texturas medias, en general tienen buenas propiedades físicas que les proporcionan adecuada aireación; son generalmente profundos y moderadamente bien drenados, fuertemente ácidos (pH 4 a 5,5), baja capacidad de intercambio catiónico (10 a 16 meq/100 g de arcilla), baja saturación de bases (20-30%), predominancia de la arcilla caolinita, bajo contenido de materia orgánica, N, P, K y Ca, y altos contenidos de sesquióxidos de aluminio. Estos suelos ácidos tienen un alto poder de fijación de fósforo soluble para la formación de fosfatos de hierro y aluminio o por reaccionar con las arcillas silicatadas, y además algunos tienen altos niveles de Al^{+3} intercambiable.

6.3. Vegetación de importancia en el área

El área en estudio cuenta con una vegetación de sabanas de trachypogon, caracterizadas por estar pobladas por gramíneas perennes de los géneros Trachypogon, Axonopus y Andropogon.

Este tipo de vegetación es consistente con sistemas sometidos a un régimen climático caracterizado por una estacionalidad bimodal muy marcada, donde en la época de sequía no existe disponibilidad del recurso hídrico, ya que ni la biomasa vegetal, ni los sistemas radicales presentan una densidad lo suficientemente alta como para permitir la retención del agua en el entramado. Adicionalmente, la textura del suelo donde crecen las gramíneas tiende a ser franco-arenosa, lo que facilita la lixiviación.

Los morichales, como ecosistemas, se ubican en los que se denominan como Palmares de Pantano de Agua Dulce. Su nombre deriva de la presencia de la palma arbórea moriche (*Mauritia flexuosa*), elemento dominante dentro de la comunidad vegetal (González, 1987). Estas comunidades están asociadas a suelos arenosos profundos con baja retención de humedad y pobreza de nutrientes, en un sustrato edáfico permanentemente saturado de agua.

De acuerdo con Pérez (1981), los morichales definen un tipo de corriente fluvial con características particulares, entre las que se destacan: permanente escorrentía, leves magnitudes de pendiente, ausencia casi total de transporte de material suspendido y aspecto límpido de sus aguas, con suelos grises oscuros de alto contenido orgánico.

El agua de las quebradas o ríos que conforman los morichales es muchas veces de color pardo-rojizo, esto debido a la presencia de ácidos húmicos y fúlvicos, está caracterizada químicamente por un bajo contenido de electrolitos y nutrientes, y pH ácido (Medina, 1984). Sioli (1963), citado en Vegas et al. (1988), explica que la fuerte acidez observada en los ríos de aguas negras en Venezuela es debida a la capacidad de intercambio iónico que presentan las sustancias húmicas. El bajo pH observado en las aguas de los morichales podría asociarse entonces, en parte, a la presencia de los ácidos mencionados.

Según González (op. cit.), los morichales de los llanos orientales, correspondientes al área de estudio, reciben su mayor aporte hídrico por medio de procesos de infiltración profunda de gran parte del agua aportada por la lluvia anual, a través del sustrato arenoso de la Formación Mesa, que puede alcanzar hasta los 300 m de profundidad. Se recargan así los acuíferos profundos que descansan sobre el sustrato arcilloso de la Formación Las Piedras. El agua acumulada en estos depósitos se mueve lentamente en forma lateral, hasta alcanzar los puntos más bajos del paisaje de valle (donde se ubican los morichales), manteniendo de esta manera el suministro hídrico de los ríos durante todo el año.

7. MÉTODOS Y MATERIALES DE MUESTREO Y ANÁLISIS

La captación de las muestras de agua superficial se efectuó de forma manual, empleando recipientes adecuados para cada tipo de análisis. Para la toma de muestras en lugares de difícil acceso se dispuso de un captador adaptable, extensible hasta 2 m de longitud, que incorpora un recipiente de vidrio o polietileno, según el tipo de muestra a analizar. Se tomaron un total de siete muestras por sitio, dados los diferentes métodos de preservación para los análisis de laboratorio. En el caso del río Cabrutica, debido a su caudal durante la época de lluvias, se garantizó la representatividad de la muestra utilizando un muestreador tipo *bailer* en la zona central del cauce.

El estudio de las aguas subterráneas se dividió en dos grupos: las procedentes de pozos de monitoreo del relleno sanitario del área de producción y las aguas subterráneas de los pozos de los hatos suscritos a la División de Hidrología del MARN, ubicados en el área de producción de Petrozuata, muestreados durante la ejecución del EIA del Proyecto MCHOP (Geohidra, 1996). En cada caso el procedimiento de muestreo fue diferente, como se detalla a continuación.

Para la captación de las muestras en los pozos de monitoreo se utilizaron muestreadores de PVC (*bailers*). Previo a este proceso, se determinó la profundidad total del pozo y el nivel del agua en cada uno de ellos. Una vez establecido el nivel del agua en cada pozo, y antes de la toma de muestra, se procedió a la purga del pozo. Al concluir el drenaje de cada pozo, éstos se dejaron en reposo aproximadamente durante una hora para permitir la sedimentación de partículas de mayor tamaño, así como para alcanzar la recuperación del nivel de agua en el mismo. Después de transcurrido el período antes mencionado, y utilizando el *bailer*, se procedió a la captación de las muestras.

En los pozos de los hatos, por estar en uso, y dadas sus características de construcción, no se efectuó una purga preliminar, ya que el agua es renovada frecuentemente.

Las muestras de suelo se tomaron en los lechos de los cursos de agua o zonas inmediatamente adyacentes, mediante un barreno con el que se perforó hasta 50 cm, descartándose los primeros centímetros superficiales de tierra. Las muestras fueron homogeneizadas en una bandeja para tener una muestra integrada de la columna de suelo.

En todos los casos las muestras fueron preservadas y etiquetadas, numerándolas y colocándoles fecha y hora de captación, así como el nombre del cuerpo de agua de procedencia. La información también quedó asentada en las planillas de la cadena de custodia. El transporte de las muestras al laboratorio se efectuó, en lo posible, diariamente al final de cada jornada de recolección.

Para los análisis de aguas se siguieron los métodos establecidos en *Standard methods for the examination of water and wastewater* (APHA, 1995). Los análisis de suelos se efectuaron de acuerdo con los métodos descritos en *Test Methods for Evaluating Solid Waste* (USEPA 1982),

Manual de métodos de procedimientos de referencia (Gilabert et al., 1990) y Methods of soil analysis (Am. Soc. Agron., 1965)

8. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La interpretación de los resultados se presenta por separado para el oleoducto y el área de producción, ya que se estudiaron como unidades independientes.

En cada caso se comparan con las normas escogidas como base, es decir, el Decreto N° 2.635, el Decreto N° 883 y las normas del MSAS. Los parámetros no contemplados en las normas anteriores se comparan con valores mencionados en la literatura consultada (Adams, 1995; Ahrens, 1995; Bohn et al., 1993; Brady, 1974; Castillo y Valera, 1994; Castillo y Hernández, 1996; Harte et al., 1995; Medina, 1984; Universidad del Zulia, 1990).

8.1. Oleoducto.

8.1.1. Aguas

En el Cuadro 1 se presentan los resultados de los análisis de las muestras de agua captadas durante la temporada de lluvias. Durante la temporada de sequía todos los cauces se encontraron secos;

Las muestras presentan un pH ligeramente básico, coincidiendo con lo reportado para la mayoría de las aguas naturales (Snoeyink, 1980). El MARN establece un rango entre 6 y 8,5 para aguas Tipo 1, por lo que todas están dentro de los límites establecidos.

En nueve de las muestras analizadas el contenido de aceites y grasas minerales supera el límite de 0,3 mg/l para aguas Tipo 1. Según Castillo y Hernández (1996), los valores típicos en ríos del área son menores que 0,02 mg/l, por lo que los valores entre 0,33 mg/l en Paraulata y 13,6 mg/l en Sacacual podrían deberse a vertidos recientes.

Se encontraron concentraciones de aluminio superiores al máximo permitido por el MARN (0,2 mg/l) en seis de las muestras analizadas, coincidiendo con lo reportado por Castillo y Hernández (op. cit) para otros ríos en la zona. Castillo y Valera (1994) reportan, asimismo, altos contenidos de aluminio en estudios de suelos en áreas cercanas.

Sólo dos muestras presentaron un contenido de bario inferior al límite de 1 mg/l establecido por el MARN. Estos valores son atípicos para aguas de zonas no industriales. Las concentraciones mayores que 0,9 mg/l se consideran señal de contaminación industrial (APHA, op. cit), mientras que Harte (op. cit.) señala que las concentraciones típicas en el agua están entre 0,001 y 0,172 mg/l. No existen en la zona industrias manejen compuestos de bario, por lo que su presencia podría deberse a condiciones naturales en el área.

Las concentraciones típicas de cadmio en aguas en áreas rurales están entre 0,0001 y 0,0012 mg/l (Harte, op. cit.); sin embargo, en cinco de las muestras analizadas se obtuvieron valores entre 0,02 y 0,08 mg/l, superiores también al máximo permitido por el MARN de 0,01 mg/l. No se tiene conocimiento de posibles fuentes de contaminación por este metal en la zona, por lo que se podría suponer que se encuentra naturalmente en los suelos y pasa a las aguas por solubilización.

Una situación similar a los dos casos anteriores se presenta con concentraciones de cromo superiores a los 0,05 mg/l pautados en la norma, encontradas en nueve de las muestras analizadas, con valores que oscilan entre 0,33 y 6,82 mg/l. Estos resultados contrastan con los reportados por Castillo y Hernández (op. cit.) para ríos en el sur de los estados Anzoátegui y Monagas, en áreas con alta contaminación producto de la actividad petrolera; de esta manera, no podría descartarse que los resultados estén afectados por errores en su determinación.

En cuanto a la dureza, la mayor parte de las aguas analizadas podrían calificarse como blandas (<75 mg/l Ca CO₃). Solamente dos muestras clasifican como aguas duras (entre 150 y 300 mg/l CaCO₃).

Se encontraron concentraciones de fenoles superiores al máximo de 0,002 mg/l permitido por el MARN en seis de las muestras analizadas. Castillo y Hernández (op. cit) también reportan contenidos de fenoles superiores a la norma en los ríos Güere y Meria, cercanos al área de estudio.

Cuadro 1. Oleoducto. Resultados de análisis de aguas, temporada de lluvias

PARÁMETROS	LOCALIZACIÓN Y FECHA DE MUESTREO														
	Hoces	El Salado	El Muerto	Cotoperí	Paraulata	Honda	Ceiba	La Ceiba	Cambural	Characual	Sacacual	Quintero	El Paují	Guacamaya	Galera
	22/08/98	22/08/98	17/09/98	08/10/98	15/09/98	17/09/98	04/11/98	04/11/98	08/10/98	15/09/98	15/09/98	26/11/98	21/08/98	21/08/98	17/09/98
pH	7,45	Cauce seco	7,58	7,48	7,42	7,42	Cauce seco	Cauce seco	7,52	7,35	7,55	Cauce seco	7,7	Cauce seco	7,52
Aceites y grasas minerales (mg/l)	<0,02		<0,02	<0,02	0,33	4			<0,02	5,6	13,6		<0,02		9
Aluminio (mg/l)	0,85		0,6	<0,01	0,18	0,24			<0,01	0,2	0,15		0,1		0,15
Arsénico (mg/l)	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01			<0,01	<0,01	<0,01		<0,01		<0,01
Bario (mg/l)	4,16		2,55	0,12	3,4	2,3			0,15	4,2	3,8		4,19		4
Cadmio (mg/l)	<0,01		<0,01	0,01	<0,01	<0,01			0,02	0,05	0,08		0,03		<0,01
Carbamatos (mg/l)	<0,1		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1			<0,1	<0,1	<0,1		<0,1		<0,1
Carbono orgánico total (%)	7,2		4,2	4,2	5	3,8			4,6	5,2	6,4		4,6		4,7
Cinc (mg/l)	1,13		<0,01	0,02	<0,01	<0,01			0,03	<0,01	<0,01		1,14		<0,01
Cloruros (mg/l)	95		44	40	150	101			30	220	148		15		76
Cobre (mg/l)	0,85		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01			<0,01	<0,01	<0,01		0,1		0,65
Color (Unidades Pt/Co)	1.000		225	45	550	100			170	135	1.300		40		400
Cromo (mg/l)	<0,01		1,15	6,82	3,91	1,8			3,9	3,17	3,59		<0,01		3,12
Dureza cálcica (mg/l)	112		50	64	178	82			72	60	36		76		45
Detergentes (mg/l)	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01			<0,01	<0,01	<0,01		<0,01		<0,01
Fenol (mg/l)	0,06		ND	ND	ND	ND			ND	ND	0,03		0,05		ND
Fluoruros (mg/l)	<0,01		0,1	<0,1	0,01	0,06			<0,1	0,03	0,05		<0,01		0,09
Hierro (mg/l)	0,4		<0,01	<0,01	0,26	<0,01			2,76	<0,01	0,81		0,08		0,28
Manganeso (mg/l)	0,1		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01			<0,01	<0,01	<0,01		<0,01		<0,01
Mercurio (mg/l)	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01			<0,01	<0,01	<0,01		<0,01		<0,01
Nitratos (mg/l)	9,6		12,1	7,9	5,7	8,7			10,8	8,7	13,9		3,2		13,1
Nitritos (mg/l)	2,02		1	0,2	1,2	0,7			0,3	0,9	1,5		0,38		0,8
Organoclorados (mg/l)	<0,1		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1			<0,1	<0,1	<0,1		<0,1		<0,1
Organofosforados (mg/l)	2,2		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1			<0,1	<0,1	<0,1		<0,1		<0,1
Oxígeno disuelto (mg/l)	7,5		5,2	5,7	6	5,6			6,7	6,8	6,4		7,7		5,8
Plata (mg/l)	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01			<0,01	<0,01	<0,01		<0,01		<0,01
Plomo (mg/l)	0,02		<0,01	<0,01	0,07	<0,01			<0,01	<0,01	0,48		<0,01		0,07
Selenio (mg/l)	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01			<0,01	<0,01	<0,01		<0,01		<0,01
Sodio (mg/l)	5,9		15	52	22,5	24,6			41,2	6,6	7,2		2		13,5
Sólidos disueltos (mg/l)	210		284	244	270	476			188	272	296		232		332
Sulfatos (mg/l)	62,6		86,3	372	763	87,8			276	42,5	104		46		36,3
Turbiedad (NTU)	2.090		429	85	742	216			385	271	2.650		98		880

Cuadro 1. Continuación

PARÁMETROS	LOCALIZACIÓN Y FECHA DE MUESTREO														
	Aragua	Chiquita	Arenal	Güere	Orejana	Fortuna	Malo	Guasey	Pariaguán	Morgao	Aribí	Onoto 1	Onoto 2	Cabrutica	
	21/08/98	16/09/98	21/08/98	21/08/98	07/10/98	07/10/98	07/10/98	07/10/98	07/10/98	20/08/98	19/08/98		19/08/98	18/08/98	
pH	7,28	Cauce seco	7,32	7,1	7,32	Cauce seco	7,45	7,4	7,38	7,5	7,25	No se muestreó por no ser accesible	7,39	7,32	
Aceites y grasas minerales (mg/l)	0,33		1,6	3,6	<0,02		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02		<0,02	<0,02	1,66
Aluminio (mg/l)	0,1		0,1	0,1	<0,01		<0,01	0,6	<0,01	0,1	0,1		0,81	0,87	
Arsénico (mg/l)	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01
Bario (mg/l)	5,2		5,4	4,86	1,79		5,03	1,81	5,24	3,2	3,8		4,3	4,6	
Cadmio (mg/l)	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	0,02	
Carbamatos (mg/l)	<0,1		<0,1	<0,1	<0,1		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1		<0,1	<0,1	
Carbono orgánico total (%)	8,7		4,3	3,8	4,7		4,8	6,5	5,2	5,6	3,6		4	4,2	
Cinc (mg/l)	1,42		1,49	1,32	0,15		0,16	0,12	0,25	0,87	0,85		0,64	0,028	
Cloruros (mg/l)	66		17	56	20		19,2	60	20	22	60		57	27	
Cobre (mg/l)	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	1,84	
Color (Unidades Pt/Co)	60		50	180	135		75	20	100	120	200		180	75	
Cromo (mg/l)	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01		0,21	<0,01	0,96	<0,01	<0,01		0,33	0,04	
Dureza cálcica (mg/l)	56		32	180	22		50	12,3	4	12	32		28	20	
Detergentes (mg/l)	0,28		<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	
Fenol (mg/l)	ND		ND	0,16	ND		ND	ND	ND	ND	ND		ND	0,11	
Fluoruros (mg/l)	0,2		<0,01	0,18	<0,1		<0,1	<0,1	<0,1	0,04	0,04		<0,01	0,28	
Hierro (mg/l)	0,06		0,11	0,13	11,9		3,5	0,96	4,25	0,1	<0,01		0,33	1,84	
Manganeso (mg/l)	<0,01		0,2	0,1	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		0,1	1,6	
Mercurio (mg/l)	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	
Nitratos (mg/l)	5,3		3	3,3	11,5		0,12	38,4	9,1	1,9	3,3		4	0,4	
Nitritos (mg/l)	0,58		0,68	0,97	0,19		0,19	3	5	0,73	0,78		1,29	0,16	
Organoclorados (mg/l)	<0,1		<0,1	<0,1	<0,1		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1		<0,1	<0,1	
Organofosforados (mg/l)	<0,1		1,7	1,8	<0,1		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1		<0,1	<0,1	
Oxígeno disuelto (mg/l)	7,9		7,3	7,8	7,6		7,9	5,9	7,5	7	7,7		7,25	7,7	
Plata (mg/l)	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	
Plomo (mg/l)	<0,01		<0,01	<0,01	0,14		0,19	0,08	0,25	<0,01	<0,01		<0,01	0,25	
Selenio (mg/l)	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	
Sodio (mg/l)	6,3		4,9	4,6	14,9		19,7	32,6	12,3	2,2	5,2		4,7	2,3	
Sólidos disueltos (mg/l)	248		148	202	188		244	312	227	372	186		140	258	
Sulfatos (mg/l)	75,9		25,9	9,9	86,8		175	74,4	9,9	4,4	4,2		6,2	4,1	
Turbiedad (NTU)	134		118	360	265		160	50	225	251	500		400	326	

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de laboratorio

Se detectaron concentraciones de hierro superiores a la norma de 1mg/l en cinco muestras. Esto coincide con resultados reportados por Castillo y Hernández (op. cit.) para ríos de la zona. Estas concentraciones pueden atribuirse a causas naturales.

El MARN no ha fijado un valor para el contenido de nitratos y nitritos como parámetros individuales en aguas; sin embargo, fija un máximo de 10 mg/l como la suma de ambos para aguas potables. Este valor es superado por ocho de las muestras. Por otra parte, si se comparan los resultados con la norma de la USEPA (1985), que fija un máximo de 10 mg/l de nitratos para aguas potables, se encuentra que seis de las muestras tienen un contenido superior a ésta. Existe la posibilidad de que este alto contenido de nitratos se deba a la presencia de materia orgánica en descomposición.

Ninguna de las muestras analizadas superó el máximo de 0,2 mg/l fijado como límite para la concentración de organoclorados. Sin embargo, el límite de 0,1 mg/l fijado para organofosforados fue superado en tres de las muestras. Esta situación puede atribuirse a su uso por actividades agrícolas en la zona

El contenido de plomo está limitado a un máximo de 0,05 mg/l por el MARN; se encontraron concentraciones ligeramente superiores a esta norma en cuatro muestras. Ya que el elemento es liberado al aire principalmente como dióxido de plomo por la combustión de la gasolina y se deposita desde la atmósfera en suelos, plantas y aguas, es comprensible su presencia en

Las concentraciones de carbamatos, COT, cinc, cloruros, cobre, detergentes, fluoruros, mercurio, plata, selenio y sodio son inferiores a los máximos permitidos en la norma del MARN.

8.1.2. Suelos

En los cuadros 2 y 3 se presentan los resultados de los análisis hechos a las muestras de suelo en las temporadas de sequía y lluvias.

Durante la época de sequía la mayoría de las muestras de suelo presentan un pH ligeramente ácido, con un mínimo de 5,06 en Guasey, sólo seis de las 29 muestras presentan valores superiores a 7, con excepción de la muestra de la quebrada Honda (8,73), todos los valores se encuentran dentro del rango especificado para mezclas de suelo para esparcimiento (entre 5 y 8).

Durante la estación lluviosa los pH observados son todos básicos, con un mínimo de 7,45 en Pariaguán y un máximo de 8,76 en Malo. La mayoría de las muestras (19) superan el pH de 8 especificado como límite superior por el MARN para mezclas de suelos que vayan a ser dispuestas por esparcimiento.

En la temporada lluviosa los suelos se encontraban saturados de humedad debido a las copiosas precipitaciones que tuvieron lugar durante los muestreos. En estas circunstancias el CO₂ desplaza al O₂ y se produce una considerable variación en el pH de los suelos, que generalmente se hacen alcalinos (Bohn, op. cit.). Esto podría explicar la diferencia en los pH medidos en las temporadas seca y lluviosa.

El contenido de grasas y aceites minerales en todas las muestras y en ambas temporadas de muestreo fue siempre menor que el 1% especificado por el MARN para mezclas de suelo para esparcimiento, lo que indica que prácticamente no hay contaminación por actividad petrolera en las áreas estudiadas. De igual manera, hay bajas concentraciones de cloruros en las muestras estudiadas.

Los valores de aluminio intercambiable encontrados en ambas temporadas, varían entre <0,01 meq/100g (Cotoperí, Orejana, Fortuna, Malo, Guasey, Pariaguán y Cabrutica en la temporada de lluvias) y 3,75 meq/100 g (Guacamaya, en temporada seca). Estos valores son característicos del rango de pH de los suelos estudiados e indican que hay baja disponibilidad del metal para su absorción por las plantas, por lo que no se considera que el nivel sea tóxico para las mismas (Brady, op. cit.).

Los valores bajos de RAS detectados indican poca presencia de sodio en los suelos, mientras que la mayoría de los niveles de conductividad medidos indican que éstos son poco salinos, con bajo contenido de electrolitos.

Cuadro 2. Oleoducto. Resultados de análisis de suelos, temporada de sequía

Localización	Fecha	pH	% de humedad	Aceites y grasas minerales (%)	Aluminio Interc. (meq/100 g)	Cadmio (mg/kg)	Cinc (mg/kg)	Cloruros (mg/kg)	Conductiv. (mmhos/cm)	Cromo (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	RAS
Hoces	13/05/98	6,77	31,13	<0,02	1,47	0,13	NA	20	0,803	1,25	1,15	0,56
Salado	13/05/98	6,93	7,49	<0,02	0,68	0,14	NA	10	0,289	<0,01	<0,01	0,59
El Muerto	13/05/98	6,69	15,24	<0,02	2,24	0,12	NA	10	0,71	0,72	<0,01	0,76
Cotoperí	13/05/98	7,35	6,79	<0,02	1,49	0,15	NA	90	1,24	<0,01	2,14	0,87
Paraulata	13/05/98	6,8	19,21	<0,02	1,07	0,05	NA	10	0,504	0,17	1,99	0,84
Honda	25/01/99	8,73	NA	0,02	0,88	0,13	14	20	1,30	1,50	0,25	0,56
Ceiba	13/05/98	6,85	4,07	<0,02	1,41	0,05	NA	10	0,35	0,53	1,93	0,67
La Ceiba	13/05/98	6,72	9,25	<0,02	1,15	0,1	NA	30	73,1(a)	1,53	1,52	1,74
Cambural	13/05/98	6,66	14,59	<0,02	1,08	0,09	NA	20	6,8 (a)	0,74	2,07	0,46
Characual	13/05/98	6,77	11,46	<0,02	2,08	0,04	NA	20	1,36	0,46	1,72	1,29
Sacacual	27/01/99	6,70	NA	<0,02	0,8	0,15	5,78	24	1,4	0,61	0,18	0,6
Quintero	26/01/99	7,90	NA	<0,02	0,9	0,13	6,2	20	0,75	0,62	0,16	0,43
El Paují	26/01/99	7,85	NA	<0,02	0,77	0,16	5,5	22	1,5	0,94	0,18	0,45
Guacamaya	14/05/98	6,64	18,07	<0,02	3,75	0,06	NA	10	0,3	4,58	2,04	0,59
Galera	14/05/98	7,01	17,02	<0,02	2,65	0,02	NA	<0,01	41,8 (a)	2,06	1,16	1,3
Aragua	16/05/98	6,46	21,83	<0,02	2,81	0,08	NA	30	0,15	0,14	1,02	0,34
Arenal	14/05/98	6,85	16,53	<0,02	1,4	0,07	NA	ND	0,34	2,97	1,32	0,66
Chiquita	16/05/98	6,43	24,61	<0,02	3	0,05	NA	20	0,41	3,23	1,66	0,55
Güere	16/05/98	6,21	0,53	<0,02	0,88	0,01	NA	20	0,05	<0,01	1,21	0,31
Orejana	15/05/98	6,00	17,58	<0,02	1,45	0,08	NA	20	0,05	1,1	1,76	1,78
Fortuna	15/05/98	6,01	19,04	<0,02	1,33	0,06	NA	10	0,74	0,54	<0,01	0,66
Malo	15/05/98	5,81	1,31	<0,02	2,14	0,08	NA	20	0,04	0,21	1,4	0,21
Guasey	15/05/98	5,06	6,01	<0,02	1,5	0,01	NA	10	0,12	0,4	<0,01	0,32
Pariaguán	15/05/98	6,59	16,03	<0,02	1,41	0,06	NA	10	0,12	1,82	1,03	0,33
Morgao	15/05/98	5,89	3,68	<0,02	1,49	0,05	NA	20	0,03	0,13	1,26	0,02
Aribí	26/01/99	7,72	NA	<0,02	1,0	0,12	5,4	18	0,34	0,38	0,2	0,3
Onoto 2	15/05/98	5,83	2,19	<0,02	1,61	0,11	NA	10	0,57	9,78	1,15	0,8
Onoto 1	15/05/98	6,33	6,25	<0,02	1,5	0,08	NA	30	0,16	0,14	0,9	0,31
Cabrutica	15/05/98	5,96	6,28	<0,02	1,55	0,11	NA	10	0,03	9,78	1,13	0,24

NA: No se analizó

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de laboratorio

Cuadro 3. Oleoducto. Resultados de los análisis de suelos, temporada de lluvias

Localización	Fecha de muestreo	pH	Aceites y grasas minerales (%)	Aluminio interc. (meq/100 g)	Cadmio (mg/kg)	Cinc (mg/kg)	Cloruros (mg/kg)	Conductiv. (mmhos/cm)	Cromo (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	RAS
Hoces	22/08/98	8,3	<0,02	0,68	0,1	18,6	6	0,38	0,39	0,26	0,24
Salado	22/08/98	8,14	0,05	1,01	0,09	22,3	5,2	0,31	0,36	0,2	0,21
El Muerto	17/09/98	8,2	<0,02	0,57	<0,01	12,3	10	0,49	0,51	0,02	0,28
Cotoperí	08/10/98	7,72	<0,02	<0,01	0,11	2,53	40	4 (a)	1,59	0,61	0,35
Paraulata	15/09/98	8,12	<0,02	0,18	0,04	31,8	30	0,34	0,56	0,2	0,23
Honda	17/09/98	8,12	0,03	0,24	<0,01	28,6	30	0,6	0,3	28,6	0,39
Ceiba	04/11/98	7,95	0,79	0,36	0,36	147	10	13,6 (a)	2,87	37,3	1,78
La Ceiba	04/11/98	7,9	0,26	0,35	0,22	37,6	6	12,8 (a)	1,55	20,6	1,75
Cambural	08/10/98	7,8	<0,02	<0,01	0,12	5,43	20	1,8	1,72	<0,01	0,21
Characual	15/09/98	8,05	<0,02	0,15	0,02	24,3	22	0,53	0,7	0,12	0,25
Sacacual	15/09/98	7,98	<0,02	0,63	0,09	29,6	10	2	0,88	0,19	0,24
Quintero	26/11/98	7,27	<0,02	1,67	0,12	32	40	0,49	8,69	5,11	0,3
El Paují	21/08/98	8,22	<0,02	0,73	0,14	21,3	10	0,34	0,34	0,27	0,26
Guacamaya	21/08/98	8,1	<0,02	0,65	0,69	15,0	6	0,4	6,4	3,1	0,31
Galera	16/09/98	7,87	0,06	0,13	<0,01	22,7	10	0,49	0,72	0,08	0,22
Aragua	16/09/98	8,08	<0,02	0,1	0,54	16,2	4	0,23	1,09	3,3	0,24
Arenal	16/09/98	8,23	<0,02	0,9	0,7	15,3	3,6	0,67	6,14	5,7	0,39
Chiquita	16/09/98	8,16	<0,02	0,91	0,43	17,2	3	0,31	4,6	4,6	0,25
Güere	16/09/98	8,16	<0,02	0,1	0,13	17,5	5	0,9	0,15	0,25	0,15
Orejana	07/10/98	8,66	<0,02	<0,01	<0,01	3,55	20	2	0,66	<0,01	0,17
Fortuna	07/10/98	7,82	<0,02	<0,01	0,02	1,48	60	4 (a)	1,31	0,44	0,21
Malo	07/10/98	8,76	<0,02	<0,01	0,21	2,48	11	1,6	3,24	1,19	0,2
Guasey	07/10/98	8,67	0,02	<0,01	0,01	0,42	40	1,9	1,94	0,07	0,17
Pariaguán	07/10/98	7,45	0,03	<0,01	<0,01	0,36	11	1,4	1,64	0,31	0,17
Morgao	20/08/98	8,25	<0,02	0,81	0,09	18,2	11	0,55	0,1	0,08	0,33
Aribí	19/08/98	8,3	<0,02	0,94	0,88	21,7	10,3	0,56	0,08	2,2	0,34
Onoto 1	No se muestreó por no ser accesible										
Onoto 2	19/08/98	8,38	<0,02	77	0,14	12,6	10,8	0,59	0,15	0,71	0,35
Cabrutica	18/08/98	8,05	<0,02	<0,01	0,9	1,92	20	1,1	1,82	9,5	0,48

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de laboratorio

Las concentraciones de cadmio, cinc, cromo y plomo se encuentran dentro de los rangos considerados como naturales para la litosfera (Bohn, op. cit.), siendo en todos los casos inferiores a los especificados por el MARN para mezcla de suelos para esparcimiento.

Los resultados indican que no hay contaminación en los puntos estudiados por los metales mencionados.

8.2. Área de producción

8.2.1. Aguas

Los cuadros 4, 5 y 6 resumen los resultados de los análisis de aguas superficiales y subterráneas del área de producción.

En los morichales se encontraron pH entre 5,50 y 6,50, coincidiendo con los resultados expuestos en la literatura consultada. El pH del río Cabrutica, medido el 09/09/98, con un valor de 6,40 también se ubica en el rango ácido. Asimismo, en los pozos de monitoreo se encontraron pH ácidos, variando desde un valor de 4,79 hasta 6,69. En los pozos de los hatos también se encontraron valores de pH ácidos, con un mínimo de 5,53 y un máximo de 6,33.

De acuerdo con los resultados, no se observan diferencias significativas entre los pH medidos en época de lluvias (septiembre 1998) y en época de sequía (febrero 1999) en ninguno de los casos.

Durante la época de lluvias las concentraciones de aceites minerales e hidrocarburos en aguas superficiales fueron en todos los casos menores que 0,5 mg/l, mientras que en la época de sequía, en los tres cuerpos de agua muestreados se encontraron valores superiores, entre 0,9 mg/l y 1,4 mg/l. Estos valores difieren significativamente de los encontrados por Castillo y Hernández (op. cit.) en cuerpos de agua cercanos, generalmente menores que 0,02 mg/l.

En los pozos de monitoreo y de los hatos se determinaron TPH. Los resultados obtenidos muestran gran variabilidad para un mismo pozo entre las épocas de lluvia y sequía. Sólo en dos de los pozos muestreados se encontraron concentraciones menores de 0,5 mg/l (Pozo P3-2 en época de sequía y Hato Los 7 Moriches en época de lluvia), mientras que el valor máximo (2,7 mg/l) se encontró en el Pozo P-1 en época de sequía. Con excepción del Pozo P2-1, en todos los demás casos las concentraciones fueron mayores en la época de sequía, coincidiendo con la tendencia de los resultados obtenidos en los cuerpos de agua superficiales.

El aluminio se determinó sólo en aguas superficiales. En el río Cabrutica se encontró un contenido de 5,1 mg/l, bastante superior al límite de 0,2 mg/l pautado por el MARNR, mientras que en los morichales los valores fueron menores que el límite en todos los casos. Los resultados obtenidos en el río Cabrutica coinciden con los de Castillo y Hernández (op. cit.) y los obtenidos en los cuerpos de agua interceptados por el oleoducto en cuanto a los altos contenidos de aluminio de las aguas de algunos ríos de la zona, en muchos casos superiores a los pautados en la normativa para aguas Tipo 1, lo que sería atribuible al contenido del metal en los suelos del área.

Sólo una de las muestras de aguas superficiales analizadas (Cabrutica, el 09/09/98), supera la norma del MARN de 50 unidades Pt-Co para aguas Tipo 1; en las demás muestras, correspondientes a los morichales, se obtuvieron valores inferiores. Es de hacer notar que los valores correspondientes a la época de lluvia son superiores a los de la época de sequía para todos los casos, lo que se explicaría por la mayor cantidad de material transportado por las corrientes en la temporada lluviosa.

Se analizó dureza en las aguas de pozos. Las aguas de los pozos de los hatos, con valores entre menos de 0,1 y 19 mg CaCO₃/l pueden clasificarse como blandas, al igual que la de los Pozos P-1 y P2-1 del relleno sanitario. El agua del Pozo P3-2 del relleno sanitario dio valores entre 236 mg y 91 mg CaCO₃/l, lo que la clasificaría como de moderadamente dura a dura. Esto, además de las diferencias en profundidad, conductividad, contenido de hierro y sólidos disueltos, podría ser evidencia de que los pozos del relleno sanitario están perforados en acuíferos diferentes

Cuadro 4. Área de producción. Resultados de análisis de aguas superficiales

PARÁMETROS	Río Cabrutica		Morichal San Antonio		Morichal San Antoñito		Morichal Santa Clara	
	09/09/98	09/02/99	09/09/98	09/02/99	09/09/98	09/02/99	09/09/98	09/02/99
	Lluvias	Sequía	Lluvias	Sequía	Lluvias	Sequía	Lluvias	Sequía
Aceites minerales e hidrocarburos (mg/l)	<0,5	El cauce se encontraba seco para la fecha del muestreo	<0,5	1,4	<0,5	1,2	<0,5	0,9
Aceites y grasas vegetales y animales (mg/l)	<0,5		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Aldehídos (mg/l)	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Aluminio (mg/l)	5,1		<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Arsénico (mg/l)	0,0001		0,0008	<0,0004	0,0009	<0,0004	0,0012	<0,0004
Bario total (mg/l)	0,4		0,7	<0,3	0,6	<0,3	0,5	<0,3
Boro (mg/l)	<0,008		<0,008	<0,001	<0,008	<0,001	<0,008	<0,001
Cadmio total (mg/l)	<0,003		<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cianuro total (mg/l)	<0,03		<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Cinc (mg/l)	<0,005		<0,005	0,70	0,02	0,30	<0,005	0,14
Cloruro total (mg/l)	7,1		9,9	7,1	9,9	11,3	7,1	7,1
Cobalto total (mg/l)	<0,03		<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Cobre total (mg/l)	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Color real (U Pt-Co)	80		20	5,5	11	5,5	34	11
Cromo total (mg/l)	<0,02		<0,02	<0,02	0,04	<0,02	<0,02	<0,02
DBO5,20 (mg/l)	31,2		39,1	22,7	33,1	22,7	42,5	42,4
DQO (mg/l)	<50,0		<50,0	<50,0	<50,0	<50,0	<50,0	<50,0
Detergentes (mg/l)	<0,1		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Dispersantes (mg/l)	<0,1		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Espuma	Ausente		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Estaño (mg/l)	<0,2		<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Fenoles (mg/l)	<0,5		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Fluoruros (mg/l)	0,25		0,21	0,18	0,23	0,60	0,23	0,18
Fósforo total (mg/l)	0,51		0,26	<0,01	<0,01	<0,01	0,25	<0,01
Hierro total (mg/l)	17,0		0,13	0,84	<0,01	<0,02	0,51	0,89
Manganeso total (mg/l)	0,06		<0,01	<0,02	0,03	<0,02	<0,01	<0,02
Mercurio total (mg/l)	<0,0003		<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Nitrógeno total (mg/l)	1,9		1,9	<0,1	1,2	<0,1	0,7	<0,1
Nitratos (mg/l)	0,11		0,08	<0,01	0,28	<0,01	0,14	<0,01
Nitritos (mg/l)	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
pH	6,40		5,50	5,72	6,50	6,32	6,02	6,15
Plata total (mg/l)	<0,03		<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Plomo total (mg/l)	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Selenio (mg/l)	<0,0003		<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Sólidos flotantes (mg/l)	Ausente		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos (mg/l)	195,4		1,7	3,3	3,1	1,4	4,5	4,0
Sólidos sedimentables (ml/l)	91,5		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Sulfatos (mg/l)	5,3		3,8	1,2	2,5	1,2	5,3	4,0
Sulfitos (mg/l)	<0,5		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Sulfuros (mg/l)	<0,10		<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de laboratorio

Cuadro 5. Área de producción. Resultados de análisis de muestras de agua de pozos de monitoreo del relleno sanitario

PARÁMETROS	Pozo P-1		Pozo P2-1		Pozo P3-2	
	09/09/98	09/02/99	09/09/98	09/02/99	09/09/98	09/02/99
	Lluvias	Sequía	Lluvias	Sequía	Lluvias	Sequía
pH	5,29	5,73	5,64	5,30	4,79	6,69
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /l)	16,0	40,0	8,0	60,0	80,0	16,0
Cloruros (mg/l)	9,9	11,3	14,2	11,3	11,3	9,9
Cobre (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	<0,01
Conductividad (µmhos/cm)	41,0	115	39,0	58	24,0	229
Dureza total (mg CaCO ₃ /l)	68,0	29,0	4,0	31,0	236,0	91,0
Hidrocarburos totales de petróleo (mg/l)	0,56	2,7	1,2	0,7	<0,5	2,4
Hierro (mg/l)	0,19	0,16	0,28	0,24	8,0	2,70
Mercurio (mg/l)	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Níquel (mg/l)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02
Sólidos totales disueltos (mg/l)	2.544	200	889	342	4.974	370
Sulfatos (mg/l)	3,8	5,8	<1,0	5,8	24,3	22,3
Vanadio (mg/l)	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de laboratorio

Cuadro 6. Área de producción. Resultados de los análisis de muestras de agua de pozos de los hatos

PARÁMETROS	Hato Los 7 Moriches		Hato Guarenero		Hato Buena Vista
	08/09/98	09/02/99	08/09/98	09/02/99	09/02/99
	Lluvias	Sequía	Lluvias	Sequía	Sequía
pH	6,33	5,53	5,70	6,12	5,91
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /l)	44,0	36,0	36,0	24,0	20,0
Cloruros (mg/l)	24,1	17,0	5,7	9,9	8,5
Cobre (mg/l)	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01
Conductividad (µmhos/cm)	22,0	74	66,2	50	32
Dureza total (mg CaCO ₃ /l)	19,0	<1,0	2,0	<1,0	<1,0
Hidrocarburos totales de petróleo (mg/l)	<0,5	1,4	0,82	1,5	1,4
Hierro (mg/l)	0,20	0,13	0,92	0,31	0,08
Mercurio (mg/l)	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Níquel (mg/l)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Sólidos totales disueltos (mg/l)	108	82	102	108	40
Sulfatos (mg/l)	<1,0	1,3	<1,0	1,0	<1,0
Vanadio (mg/l)	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de laboratorio

El MARN limita el contenido de hierro en aguas del Tipo 1 a un máximo de 1 mg/l. La muestra proveniente de Cabrutica (17,0 mg/l) supera el valor establecido en la norma, al igual que las captadas en el Pozo P3-2 del relleno sanitario. Todas las demás tienen concentraciones inferiores al límite máximo impuesto por el MARN. Las altas concentraciones de hierro y aluminio encontradas en el río Cabrutica pueden explicarse por el hecho de que la muestra presentó un elevado contenido de sólidos suspendidos (195,4 mg/l), los cuales pueden estar constituidos mayoritariamente por arcillas y materia orgánica que contienen hierro y aluminio; Weibezahn et al. (1990), citan a Meybeck (1977-1981), el cual indica que, en condiciones ácidas, la presencia de hierro y aluminio está íntimamente relacionada con la materia orgánica particulada. Dado que los metales se analizaron como formas totales, al proceder a la digestión de la muestra, éstos son liberados y aparecen como concentración del agua.

En las muestras de los pozos del relleno sanitario se notan grandes diferencias entre las concentraciones de sólidos disueltos obtenidos en diferentes fechas. Así, en el Pozo P-1 se

obtuvieron 2.544 mg/l en temporada lluviosa y 200 mg/l en temporada de sequía; en el Pozo P2-1 se obtuvieron valores de 889 mg/l y 342 mg/l respectivamente y en el Pozo P3-2 la variación es aún mayor, de 4.974 mg/l pasa a 370 mg/l. Las muestras tomadas en época de lluvias presentaron una gran cantidad de sólidos suspendidos de un diámetro muy reducido, las cuales pasaron a través del filtro que, de acuerdo con el método, debe utilizarse para separar las fracciones de sólidos disueltos y suspendidos; por esta causa se obtuvieron los valores altos de sólidos disueltos apuntados anteriormente, ya que dichas partículas, al evaporarse el líquido, quedan como parte del residuo.

El contenido de sólidos suspendidos y sólidos sedimentables medido en los morichales es bastante bajo. Por el contrario, en el río Cabrutica estos valores son altos, es de notar que este río es de carácter estacional y durante la época de lluvias transporta gran cantidad de material arrastrado por efectos de escorrentía superficial de los suelos aledaños. No se encontraron sólidos flotantes en las muestras de aguas superficiales.

En cuanto a la $DBO_{5,20}$, en aguas naturales no contaminadas las concentraciones son generalmente indetectables; el contenido relativamente alto de $DBO_{5,20}$ obtenido en los morichales, puede relacionarse con la presencia de materia orgánica, la cual, como se señaló anteriormente, es alta en este tipo de aguas.

Las concentraciones de aceites y grasas vegetales y animales, aldehídos, arsénico, bario, boro, cadmio, cianuro, cinc, cloruros, cobre, cromo, detergentes, estaño, fenoles, fluoruros, fósforo total, manganeso, mercurio, nitratos y nitritos, nitrógeno total, plata, plomo, selenio, sulfatos, sulfitos, sulfuros en aguas superficiales son inferiores a los máximos pautados en las normas del MARN.

Las conductividades medidas en las muestras de aguas de los pozos son bajas, indicando poca mineralización de las mismas. Asimismo, se obtuvieron valores de alcalinidad bajos, de acuerdo con lo esperado. Dados los pH ácidos medidos, se infiere que ésta es debida a bicarbonatos.

8.2.3. Suelos

En el Cuadro 7 se presentan los resultados de los análisis de suelos.

Las muestras de suelo presentan un pH ácido, con un mínimo de 4,30 en Santa Clara y un máximo de 6,31 en San Antonio. Este resultado coincide con lo señalado en la literatura para suelos de los morichales. Con excepción de las muestras de Cabrutica y Santa Clara (del 09/09/98), todos los valores se encuentran dentro del rango especificado para mezclas de suelo para la aplicación técnica de esparcimiento (entre 5 y 8).

Rodier (1988), señala que los suelos pueden contener entre 0,001 y 0,005% de hidrocarburos de origen natural. Al compararlo con los resultados obtenidos, se aprecia que sólo el morichal San Antoñito (0,0357 mg/l), presenta un contenido de hidrocarburos superior a dichos valores en época de lluvias, mientras que en época de sequía se observa un valor ligeramente superior en el morichal Santa Clara (0,006 mg/l). Sin embargo, todos los resultados son menores que el 1% especificado por el MARN para mezclas de suelos a ser tratadas por esparcimiento, lo que indica que no hay contaminación por hidrocarburos en los suelos analizados.

Se observan variaciones entre los resultados obtenidos en época de sequía y lluvias para el aluminio intercambiable; los casos más notables se encuentran en San Antoñito (2,1 meq/100g en época de lluvias y 0,10 meq/100g en época de sequía) y Santa Clara (1,1 meq/100g en época de lluvias y 2,0 meq/100g en época de sequía). Los altos contenidos de aluminio intercambiable encontrados, concuerdan con lo reportado por González (op. cit.) para ríos de morichal.

Los bajos valores de RAS detectados indican poca presencia de sodio en los suelos. Los valores de conductividad presentan una gran variación estacional, siendo mucho mayores en la estación lluviosa que en la seca. Esto indica que durante la estación lluviosa ocurre una solubilización de las sales que pasan a la solución de suelo.

Las concentraciones de calcio intercambiable encontradas se clasifican como de medianas (Santa Clara) a altas (Cabrutica y San Antoñito), por lo que se puede considerar que no hay deficiencia del mismo en los suelos estudiados.

Cuadro 7. Área de producción. Resultados de análisis de muestras de suelo

PARÁMETROS	Río Cabrutica		Quebrada Atascosa		Morichal San Antonio		Morichal San Antoñito		Morichal Santa Clara	
	09/09/98	09/02/99	09/09/98	09/02/99	09/09/98	09/02/99	09/09/98	09/02/99	09/09/98	09/02/99
	Lluvias	Sequía	Lluvias	Sequía	Lluvias	Sequía	Lluvias	Sequía	Lluvias	Sequía
pH	4,70	5,53	5,17	5,01	5,43	6,31	5,22	5,46	4,30	4,61
Aceites y grasas minerales (%)	0,0033	0,0028	0,0007	0,0035	0,0022	0,0069	0,03575	0,0031	0,0003	0,0060
Aluminio intercambiable (meq/100g)	0,58	0,39	0,50	0,29	0,18	0,38	2,1	0,10	1,1	2,0
Cadmio (mg/kg)	<0,2	1,5	<0,2	2,0	<0,2	2,5	<0,2	2,1	<0,2	3,3
Calcio intercambiable (meq/100g)	1,47	0,98	4,62	3,14	1,42	0,59	1,13	0,29	0,51	0,20
Cloruros (mg/kg)	<28,0	<28,0	<28,0	225,8	<28,0	<28,0	141,8	<28,0	<28,0	<28,0
Conductividad (µmhos/cm)	590	34	1.530	77	998	72	1.062	16	422	38
Cromo (mg/kg)	<2,0	<2,0	7,6	<2,0	27,4	<2,0	8,5	<2,0	<2,0	<2,0
Humedad (%)	11,27	2,4	16,34	5,6	11,64	18,5	12,04	17,7	15,85	23,1
Magnesio intercambiable (meq/100g)	2,00	1,30	3,33	0,86	0,16	1,40	5,69	2,00	0,09	0,40
Plomo (mg/kg)	8,9	4,4	17,6	8,4	15,4	2,0	19,6	9,2	4,1	4,2
Potasio intercambiable (meq/100g)	0,33	0,20	0,71	0,12	0,48	0,27	2,84	0,73	0,23	0,10
RAS	1,35	3,75	0,50	0,77	0,27	2,35	0,47	1,65	1,35	2,86
Sodio intercambiable (meq/100g)	2,43	0,60	0,25	0,36	4,91	0,38	0,75	0,51	0,35	0,64
GRANULOMETRÍA										
Arcilla (%)	5,02	19,22	24,84	46,89	8,70	18,72	24,30	15,23	6,00	24,86
Arena (%)	85,71	74,30	46,28	51,66	66,00	74,42	61,52	84,72	84,93	75,01
Limo (%)	9,27	6,48	28,88	1,45	25,30	6,86	14,18	0,05	9,07	0,13

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de laboratorio

El contenido de magnesio intercambiable varía considerablemente en los suelos analizados, desde 0,09 meq/l en Santa Clara (época de sequía), hasta 5,69 meq/l en San Antoñito (también en época de sequía). No se considera que en ninguno de los casos haya carencia o exceso del metal. Tampoco se halló deficiencia de potasio. El porcentaje de sodio intercambiable con relación a los demás cationes intercambiables en los suelos estudiados es alto, varía desde un 5,9% (San Antoñito, el 09/09/98), hasta 68% (San Antonio, el 09/09/98). Estos valores son característicos de los suelos arenosos, como los presentes en el área.

Se encontraron bajas concentraciones de cadmio, cromo y plomo en todas las muestras, inferiores a los límites pautados por el MARN.

Los análisis granulométricos indican la presencia de suelos mayoritariamente arenosos. El porcentaje de arena varía desde un 46,28% en Atascosa, hasta un 85,71% en Cabrutica. El mayor porcentaje de limos se encontró en una muestra de Atascosa (28,88%) y el menor en una muestra de San Antoñito (0,05%). Por otra parte, el contenido de arcillas varió entre 6,00%, en Santa Clara, y 46,89% en Atascosa. En el Cuadro 8 se muestra una clasificación de los suelos analizados, según su textura.

Cuadro 8. Textura de las muestras de suelo analizadas

	Río Cabrutica	Quebrada Atascosa	Morichal San Antonio	Morichal San Antoñito	Morichal Santa Clara
Clasificación textural	Franco arenoso	Franco	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de laboratorio

Estas texturas pueden considerarse de gruesas a moderadas, lo que hace que en estos suelos exista una mayor posibilidad de lixiviación de nutrientes y contaminantes y baja retención de agua, aspecto éste último que puede ser compensado en cierto grado por la presencia de materia orgánica (no analizada) y de lo cual hace referencia COPLANARH (1994).

9. CONCLUSIONES

9.1. Oleoducto

- Se encontró que el contenido de grasas y aceites en una gran parte de las aguas analizadas supera la norma del MARN para aguas Tipo 1.
- Se observaron altos contenidos de aluminio y hierro en algunas de las muestras de agua examinadas, coincidiendo con otros estudios realizados en el área.
- Se encontraron altos contenidos de bario en casi todas las muestras de agua analizadas, que superan las normas del MARN para aguas Tipo 1. Estos resultados difieren significativamente de otros estudios realizados en ríos de Anzoátegui y Monagas.
- En cinco de las muestras de agua se observaron contenidos de cadmio que superan las normas fijadas por el MARN.
- Nueve de las muestras de agua presentaron contenidos de cromo superiores a la norma del MARN. Estos resultados difieren significativamente de otros estudios realizados en ríos de Anzoátegui y Monagas.
- Hay presencia de fenoles en concentraciones superiores a la norma del MARN en seis de las muestras de agua analizadas.
- Todos los valores de turbiedad superan ampliamente la norma para aguas Tipo 1 y apenas dos cumplen con la norma en cuanto a color.
- En todos los cuerpos de agua se observaron por lo menos tres parámetros que están fuera de la normativa del MARN para aguas Tipo 1.

- En ninguno de los casos se pueden considerar las aguas analizadas como aptas para el consumo humano según las normas del MARN.
- De acuerdo con los resultados obtenidos, las muestras estudiadas corresponden a suelos cuyas características permiten considerarlos como no contaminados en cuanto a los parámetros analizados.
- El área estudiada, correspondiente al corredor del oleoducto, no posee actualmente centros industriales o agrícolas importantes cercanos que pudiesen generar contaminación significativa.
- Sólo el río Güere y sus afluentes tienen origen en áreas donde existe explotación petrolera actualmente (Campo San Roque), por lo que cambios en su composición fisicoquímica aguas arriba del oleoducto (especialmente en lo concerniente a contaminación por petróleo o actividades relacionadas con su explotación), deberán ser analizados considerando esta circunstancia.
- En cuanto a centros poblados, sólo dos de importancia, Aragua de Barcelona y Pariaguán, se encuentran en zonas cercanas. Ya que se tiene conocimiento de que en el río Aragua se vierten desechos provenientes de Aragua de Barcelona, se debe considerar este aporte en futuros estudios.
- En vista de lo anteriormente expuesto, es de esperarse que, de no acontecer imprevistos, se mantengan las condiciones fisicoquímicas actuales de los cuerpos de agua que cruzan el corredor del oleoducto.
- Cualquier alteración de esta situación deberá ser estudiada para establecer su origen y descartar su posible vinculación con la presencia del oleoducto. Un monitoreo periódico (Programa de Seguimiento) de los parámetros estudiados permitirá determinar las posibles alteraciones en los mismos y, de ser necesario, establecer las acciones correctivas adecuadas.

9.2. Área de producción

- Las aguas superficiales analizadas no mostraron signos de contaminación. Las concentraciones obtenidas para los parámetros analizados corresponden a los valores esperados para aguas típicas de morichales, las cuales, por tratamientos convencionales, pueden ser utilizadas para consumo humano o fines agropecuarios.
- Los pozos de monitoreo del relleno sanitario presentaron características fisicoquímicas disímiles, lo que lleva a pensar que están perforados en acuíferos diferentes. En cuanto a los valores de los parámetros analizados, éstos muestran pH ácidos y niveles reducidos de mineralización.
- Los análisis de las muestras de agua de pozos de hatos indican que éstas contienen bajos niveles de sólidos disueltos (poco mineralizadas) y pH ácido, al igual que el agua de pozos del relleno sanitario.
- Los suelos analizados corresponden a los tipos de textura predominantemente arenosa (gruesa a moderadamente gruesa), con cantidades de cationes variables según las muestras, y cuyo limitante primordial para usos agrícolas es su bajo pH. En relación con la presencia de metales e hidrocarburos, los valores obtenidos se encuentran dentro de lo que se considera concentraciones naturales.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Adams, M. 1995. Fundamentos de Química de Suelos. Consejo de Desarrollo Científico e Humanístico. Universidad Central de Venezuela.
2. Ahrens, L.H. 1995. Distribution of the elements in our planet. Mc Graw-Hill. New York.
3. Am. Soc. Agron. 1965. Methods of soil analysis agronomy N° 9. Mad. Wisc.
4. American Public Health Association. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th Edition.

5. Bohn, H. L., McNeal, B. L. y O'Connor, G. A. 1993. Química del Suelo. Grupo Noriega Editores.
6. Brady, N. C. 1974. The Nature and Properties of Soils. 8th Edition. MacMillan Publishing Co., Inc.
7. Castillo, M. y Hernández, I. 1996. Diagnóstico ambiental de las cuencas de los ríos El Caris, Guanipa, Güere, Oritupano, Merias, Patacón, Tonoro, morichal La Pica, y morichal La Puente, ubicados en el área operacional del Distrito Anaco Corpoven S.A. en las estados Anzoátegui y Monagas. Instituto de Zoología Tropical, Laboratorio de Plantas Acuáticas, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela.
8. Castillo, F. y Valera, G. 1974. Estudio de suelos preliminar del valle del río Unare. Sector El Chaparro – Zaraza. Estados Anzoátegui y Guárico. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas. Dirección de Información Básica. División de Edafología.
9. COPLANARH. 1972. Inventario nacional de tierras.
10. COPLANARH. 1974. Inventario nacional de tierras. Región Oriental.
11. Decreto N° 883, Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. 1995. Gaceta Oficial N° 5.021 Extraordinario del 18 de diciembre de 1995.
12. Decreto N° 2.635, Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos. 1998. Gaceta Oficial N° 5.245 Extraordinario del 03 de agosto de 1998.
13. Gilabert, J. de Brito; López, L. de Rojas y Pérez, R. de Roberti. 1990. Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. Manual de métodos de procedimientos de referencia. Ministerio de Agricultura y Cría. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay, Estado Aragua, Venezuela. Serie D. N° 26.
14. Geohidra. EIA Proyecto Asociación Estratégica MARAVEN-CONOCO. 1996
15. González de Juana, C. 1978. Geología de Venezuela y sus cuencas petrolíferas. Ediciones Foninves.
16. González, V. 1987. Los morichales de los llanos orientales. Un enfoque ecológico. Ediciones Corpoven, 56 p.
17. Harte, J., Holdren, C., Schneider, R. y Shirley, C. 1995. Guía de las sustancias contaminantes. Grijalbo
18. Medina, M. 1984. Caracterización fisicoquímica de las aguas de trece ríos del Estado Monagas y Territorio Federal Delta Amacuro. MARN, Serie de Informes Científicos, Zona 12/1C/58. Maturín.
19. MSAS. 1998. Normas sanitarias para la calidad del agua potable. Gaceta N° 36.395
20. Pérez H., D. 1981. Comportamiento hidrogeológico y sensibilidad ambiental de los morichales como sistemas fluviales. MARN, informe mimeografiado.
21. Rodier, J. 1988. Análisis de las aguas. Ediciones Omega.
22. Snoeyink, V. y Jenkins, D. 1980. Water Chemistry. John Wiley & Sons, Inc.
23. Universidad del Zulia, Facultad de Agronomía - Laboratorio de Suelos. 1990. Cuadro para la interpretación de resultados de análisis de suelo.
24. US Environmental Protection Agency. 1982. Test Methods for evaluating solid waste. Method 350, SW-846.
25. US Environmental Protection Agency. 1995. Drinking Water Criteria Document for Nitrates/Nitrites, Final Draft, TR-540-59D, Washington, D.C., Office of Drinking Water.
26. Vegas-Villarrubia, T., Paolini, and Herrera, F. 1988. A physico-chemical survey of blackwater rivers from the Orinoco and the Amazon basins in Venezuela. Arch. Hidrobiol. III N° 4: 491 - 506.

27. Weibezahn, F.; Alvarez, H. y Lewis, W. M. Jr. (Eds.). 1990. El río Orinoco como ecosistema. Editorial Galac. Caracas.