

Sustitución del oleoducto Guafitas-San Silvestre-El Palito sitio de cruce en el río Guanare: identificación, evaluación e impacto

Substitution of the Guafitas-San Silvestre-El Palito oil pipeline, intersection point on the Guanare River: identification, assessment and impact

Carlos Ferrer*

Recibido: febrero, 2004 / Aceptado: junio, 2004

Resumen

Se analizan los posibles impactos generados por la sustitución del puente colgante del oleoducto Guafitas-San Silvestre-El Palito en el sitio de cruce en el río Guanare. Este trazado fue fuertemente afectado por un evento de crecida excepcional ocurrida el año 1981. Después de confrontar las dos alternativas se concluyó que la solución más favorable consiste en remplazar el tramo por una nueva tubería enterrada y su empalme con la existente. A partir de una visión macro se logró detectar un potencial cambio en la tendencia migratoria del río, hecho este que pudiera constituir una seria amenaza para una gran sección de este vital oleoducto, con los consecuentes daños ecológicos y legales. Se hace especial hincapié en la incorporación de los aspectos geomórficos en el estudio de los riesgos y programas de manejo como aspectos vitales en la EIA.

Palabras clave: Evaluación de Impacto Ambiental; oleoducto; amenaza geomórfica; Matriz de Interacción de Leopold.

Abstract

In the present paper, the possible impact generated by the substitution of the hanging bridge of the Guafitas – San Silvestre – El Palito oil pipeline over the Guanare River intersection point is analyzed. This section was gravely affected by an exceptional river peak flood flow in 1981. After viewing the alternatives the conclusion was that the most favorable solution consists of replacing the existing section with a new underground pipeline joining the existing pipeline. A potential change in the migratory tendency of the river was detected from a macro point of view. This could constitute a serious threat for a long section of this vital oil pipeline, with its consequent ecological and legal damages. The incorporation of geomorphic research in risk assessment and management programs as vital matter in the EIA is emphasized.

Key words: environmental impact assessment; oil pipeline; geomorphic hazards; Leopold Interaction Matrix.

* Universidad de Los Andes, Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales, Mérida-Venezuela, e-mail: carlosferrerve@yahoo.com

Introducción

El área de estudio se encuentra ubicada en el estado Portuguesa, municipio Guanare, a unos 12 Km al sur de la ciudad de Guanare y sobre el río del mismo nombre. Específicamente el sitio comprendido entre El Tamarindo, Las Brujitas y La Curva, aproximadamente 4 Km al norte de la confluencia del río Tucupido en el río Guanare. Este sector es atravesado por el oleoducto que proviene de Guafitas (estado Apure) y San Silvestre (estado Barinas), que lleva el crudo hasta la refinería El Palito en el estado Carabobo, constituyendo de esta forma una línea de vital importancia para la economía del país.

El oleoducto Guafitas-San Silvestre-El Palito fue construido el año 1958 y el sitio de cruce en el río Guanare fue enterrado a poca profundidad y a raíz de una crecida excepcional, ocurrida en 1981, resultó parcialmente destruido. A partir de ese fenómeno el cruce actual consta de dos partes: una tubería enterrada a 4 y 5 m de profundidad y otra elevada mediante un puente colgante.

Es objetivo del presente trabajo realizar una evaluación geomorfológica de las condiciones actuales del río Guanare y compararlas, mediante el análisis de fotografías aéreas, con las características del patrón de drenaje antes de la última 'gran crecida' del año 1981. Y con base en esta información, analizar los niveles de riesgo en relación al trazado del oleoducto, presentar un estudio de impacto ambiental, y someter a escrutinio las dos alternativas presentadas en la reubi-

cación de tan importante estructura. La urgencia en la ejecución de estos trabajos correctivos se debe tanto al incremento de los procesos erosivos generados en el cauce del río, el cual ha contribuido con el debilitamiento de la estructura, y la posibilidad cierta de su colapso, así como del progresivo desmantelamiento, vía acción delictiva, de elementos claves del puente colgante.

Como aspecto físico relevante resalta la presencia de un área transicional y, consecuentemente, un importante cambio en las condiciones depositacionales del río Guanare, al pasar de un ambiente del tipo abanico aluvial a llanuras de desborde, caso típico en medios piedemontinos. Esta situación hace altamente probable cambios diversos en la conducta hidráulica de estos cursos y la generación de períodos de inestabilidad geomórfica (Schumm, 1994; 1991; 1988).

El uso de la geomorfología en el estudio de impactos ambientales (EIA) ha sido extensamente tratado y suficientemente demostrada su utilidad (Bollertinari, 1995; Marchetti et al., 1995; Panizza, 1987), mientras que Cavallin et al. (1994) hacen hincapié en el examen del componente natural en términos de amenazas geomorfológicas, el cual puede poner en peligro cualquier proyecto y los activos geomorfológicos (assets), en donde se incluyen aspectos educacionales y herencia cultural del paisaje que pudieran ser dañadas por actividades humanas. Señalan estos autores que estos elementos combinados con la acción antrópica y vulnerabilidad puedan tener una posición activa y

pasiva que, al combinarse entre sí, generan diferentes riesgos e impactos directos o indirectos. Además de evaluar puntualmente las ventajas y desventajas de las dos propuestas correctivas, se analizan a gran escala las posibles limitantes y los riesgos potenciales generados por un probable cambio de cauce del río Guanare.

Este artículo se basa en el Informe Técnico presentado por Ferrer (2000a; 2000b) para la Unidad de Asesoría, Proyectos e Innovación Tecnológica (UAPIT), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Los Andes, a solicitud de Petróleos de Venezuela S.A. (Sur Petróleo y Gas, S.A. División Exploración y Producción. Gerencia de Ingeniería y Construcción, Barinas, estado Barinas).

Materiales y métodos de trabajo

Una intensa campaña de campo realizada durante los meses de enero y febrero del año 2000, así como el estudio de fotografías aéreas (Misión 020578; Escala 1:25.000; del 19/01/1976) y los correspondientes fotoplanos, constituyeron las técnicas fundamentales para el análisis de las condiciones geomorfológicas del sitio de cruce del oleoducto en el río Guanare así como sus áreas aledañas. Con fines comparativos fueron utilizadas imágenes satelitales (Satélite TM-5; 005-064: 1997; composición bandas 4/5 y 7), gentilmente cedidas por la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (sede Guanare). La gran dispersión de la

información cartográfica, desorden de los informes técnicos sobre algunos problemas puntuales y la carencia de planos detallados limitaron los alcances de este estudio.

A partir de los objetivos específicos del Proyecto se decidió aplicar la Matriz de Leopold (Leopold *et al.*, 1971) por considerarlo el método más adecuado; así mismo se consideró prudente ensayar con una Matriz de Comparación de Alternativas con el fin de contrastar las dos propuestas planteadas en el Proyecto de UAPIT-ULA (1999); detalles de la técnica aplicada se desarrollan más adelante.

Breve descripción de las condiciones físico-ambientales

La cuenca del río Guanare abarca parte de los estados limítrofes de Trujillo y Lara; posee una orientación noreste, variando al noroeste a partir del poblado de Biscucuy, dirección esta que conservará hasta su desembocadura en el río Apure. La confluencia de los ríos Sagúas, Chabasquén y Biscuicito forma el río Guanare, cuyo caudal se incrementa por el aporte del río Anus, al unírsele al norte de Mesa Cavaca. Este importante sistema fluvial nace en la sierra de Portuguesa, constituida a su vez por las serranías de Trujillo y Sarare (Figura 1).

Fisiográficamente la cuenca del río Guanare puede ser dividida en tres amplias secciones: vertientes montañosas, en cotas comprendidas entre los 500 hasta 3.000 msnm; el piedemonte propiamente dicho con alturas de 500 a 200

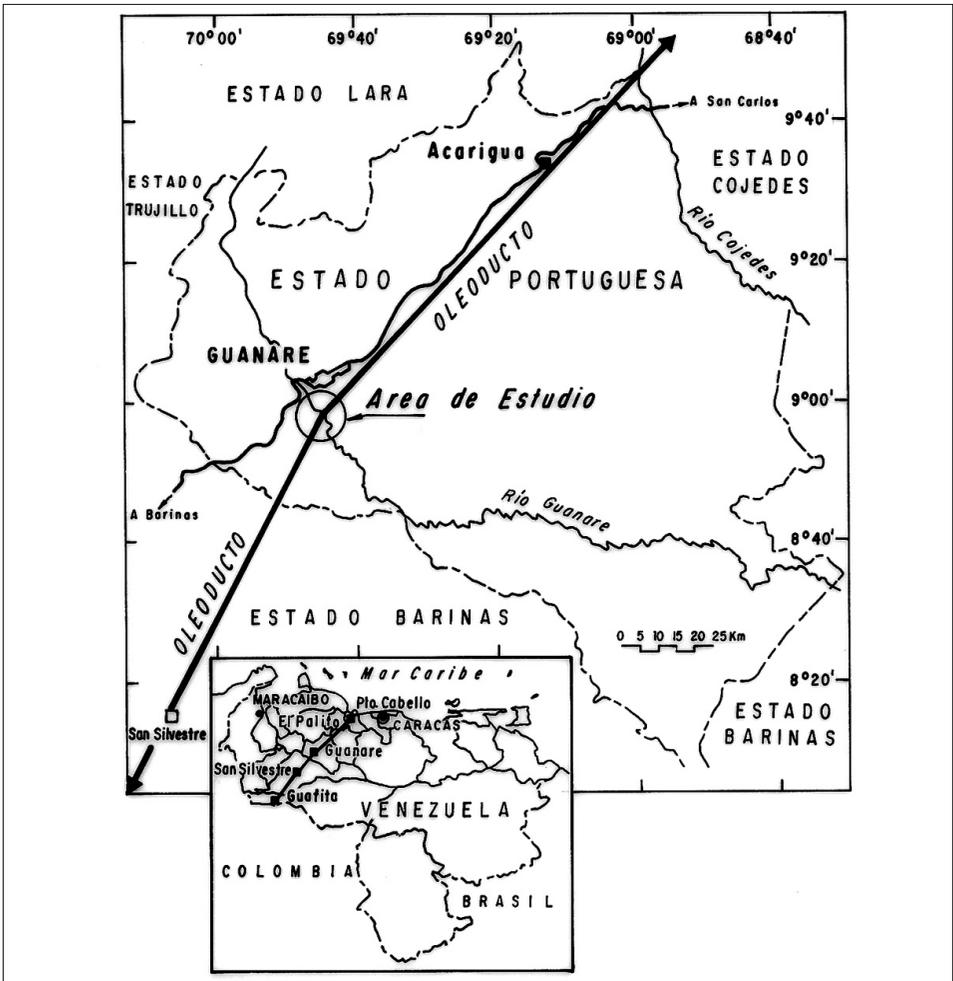


Figura 1. Localización del área de estudio

msnm y, finalmente, las amplias llanuras conformadas por grandes sistemas de abanicos aluviales y planicies de desborde.

La distribución de las precipitaciones muestra un incremento en dirección noroeste del área de estudio desde, aproximadamente 1.500-1.600 mm/anales, hasta un máximo superior a los 3.000

mm en el sector comprendido entre La Concepción y Altamira al oeste, con alturas entre 1.200-2.000 msnm. Estos totales caen abruptamente en la sección central de la cordillera de Los Andes. El promedio de precipitación para la ciudad de Guanare alcanza los 1.628 mm, lo cual puede ser fácilmente extrapolado al área de estudio. En relación a “regis-

tros extremos” de precipitación se tiene que para Guanare (Estación Aeropuerto) se reportó un mínimo de 1.136mm para el año 1974 y un máximo de 2.627 mm para 1981, dato este último muy importante, ya que reflejó un comportamiento hidrológico particular del río Guanare para esa fecha. En detalle, las estaciones ubicadas aguas arribas del área de estudio tuvieron, sin excepción, registros extremos para ese mismo año de 1981: Las Guafas (3.772 mm), Desembocadero (2.817 mm), La Concepción (4.174 mm), Mesa de Cavacas (2.651 mm) y Puente Coromoto (2.494 mm) (UAPIT-ULA, 1999). El régimen de precipitación es bimodal; característica esta observada a todo lo largo del piedemonte, donde dos picos de alta precipitación destacan: uno -el principal- en meses de junio-julio y otro, menor, en septiembre-octubre. (Contreras, 1980; Pouyllau *et al.*, 1989).

Datos de temperatura obtenidos en las estaciones Guanare-Aeropuerto y Mesa de Cavacas dan una media anual de 26,4°C, para la primera y, 29,5°C para la segunda, en el año 1989. Se destaca que para los meses de abril-julio, y a partir de diciembre, la temperatura disminuye; así mismo se detecta un aumento de la media anual a partir de 1987. Incremento este especialmente significativo en Mesa de Cavacas al registrarse 26,1°C en 1986 y 29,5°C en 1989, un diferencial de 3,4°C en tan solo cuatro años. Lo corto del registro no permite adelantar ningún tipo de especulación (UAPIT-ULA, 1999). Debido a la carencia de estaciones fluvio-métricas, en el río Guanare no se cuenta con mediciones de escurrimiento anual.

Basado en hidrogramas (Método de C.O. Clark) neto, UAPIT-ULA (1999) estimó un caudal máximo de 1.465,91 m³/S para un período de retorno de 100 años, en el sitio de paso del oleoducto (duración de lluvia = 20 horas; caudal base estimado = 30 m³/S).

La cuenca alta del río Guanare se caracteriza por poseer una cobertura vegetal densa; ello a pesar de la intensa actividad antrópica. Como ‘zonas de vida’, Ewel y Madriz (1968) destacan el bosque húmedo tropical (bh-T; hasta 800 msmm), bosque muy húmedo premontano (bmh-P; hasta los 1.600 msmm) y bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB; hasta los 2.600 msmm). Al sureste del piedemonte, y a partir de una cota aproximada de 200 msmm, se desarrolla el bosque seco tropical (bs-T), zona de vida esta que incluye el bosque seco denso deciduo o semi-deciduo y que se localiza al norte de la carretera de los Llanos y los chaparrales y sabana, esta última substituta del bosque primario y extensamente desarrollada en los alrededores del área de estudio (Reaud-Thomas, 1989; Rengel *et al.*, 1983). La intervención antrópica ha sido extremadamente intensa en el sector del paso del oleoducto, lo que hace que a ambas márgenes del río Guanare predominen los cultivos irrigados y algunos relictos de matorral-bosque bajo.

La estructura geológica está fuertemente controlada por un conjunto de importantes fallas orientadas predominantemente al noreste y paralelas al accidente mayor, Zona de fallas del Piedemonte; de esta forma destacan desde

noroeste a sureste las denominadas fallas de: La Soledad, La Garza y Guanapa. Los principales sistemas de pliegues (sinclinal La Yuca-Tucupido) se orientan en el mismo sentido del fallamiento. En la cuenca superior del río Guanare afloran las unidades estratigráficas más antiguas (asociaciones Sierra Nevada y Mucuchachí y las formaciones Sabaneta y Volcancito, así como gran parte de la secuencia Cretácica). En las proximidades del sector analizado afloran las unidades del Terciario: formaciones Paguey, Parángula, Río Yuca y Guanapa, esta última con espesores de hasta 200 m y posiblemente del Pleistoceno (Rondón, 1976; 1977). Las secuencias más jóvenes cabalgan sobre unidades más antiguas en un estilo de fallamiento inverso y cuyas formas fueron erróneamente definidas como cuevas de buzamiento.

Condiciones geomorfológicas

La evolución geomorfológica del río Guanare constituye un punto especialmente relevante en este estudio. En líneas generales este importante curso define en el área una zona de transición entre el amplio abanico aluvial y la llanura aluvial propiamente dicha. El cambio en el patrón de drenaje, variación esta bastante abrupta, si se observa la figura 2a, pasa de una red semi-recta a una de meandros de alta sinuosidad lo que marca una importante inflexión en el curso del río. El paso del oleoducto transcurre precisamente en esta área de transición, apenas 800m del importante

viraje del río Guanare de un rumbo a otro de dirección nor-noreste.

Una comparación muy preliminar entre la morfología presentada por este sistema fluvial para el año 1976, tal y como se desprende del análisis de las fotografías aéreas y una ampliación de la imagen satelital correspondiente a 1997 (Figuras 2 y 3), parece mostrar cambios importantes en la conducta hidráulica del río Guanare. Estos cambios parecen tener su origen en el evento de crecida correspondiente al año 1981, cuyos registros de lluvias extremas ya fueron comentados, que trajo como consecuencia la destrucción parcial del tendido en este sector de cruce. Un aspecto que vale la pena hacerle una consideración especial lo constituye el cambio abrupto, un giro prácticamente de 90°, del meandro ubicado al noroeste del tendido (Figuras 2, 3 y 4).

La altura de la ribera puede ser estimada en unos 3-3,5 m y se encuentra sometida a una socavación muy intensa en lo que puede ser considerada un área crítica por coincidir con el cambio de facies. Los riesgos para el oleoducto se relacionan con un posible desplazamiento del cauce como consecuencia de otro evento extremo. ¿Implicaría ello la necesidad de ampliar la zona de protección del oleoducto?

La dinámica del río Guanare en este sitio de paso, a raíz del desequilibrio producido por el evento de 1981, es acentuar el desarrollo del meandro; esta situación se traduce en una ampliación de la sección transversal, incremento de la socavación por migración lateral y depósito

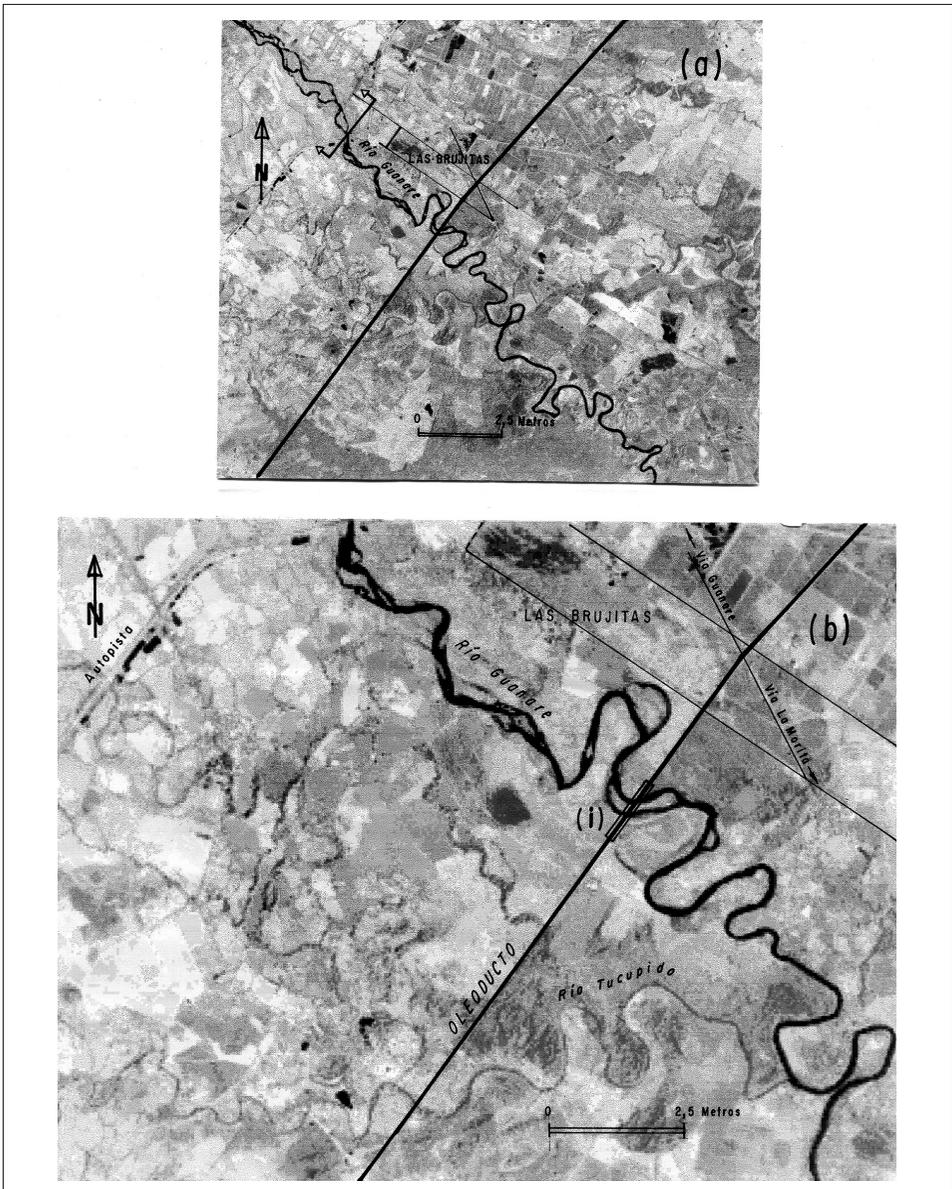


Figura 2. Imagen satelital del área de estudio. (a) El cambio de patrón del río Guanare se marca con el símbolo correspondiente; ello parece corresponder a una facies de transición entre ambientes de abanicos aluviales (sistema de explayamientos) y llanuras aluviales (sistema de desbordes). La ubicación del oleoducto coincide con una variación en la sinuosidad del curso. (b) Detalle del paso de la estructura y evidencias de una posible evolución del meandro situado al noroeste del mismo, especialmente si se compara con la figura 3. (Imagen correspondiente al Satélite TM-5; 005 - 064. 1997)

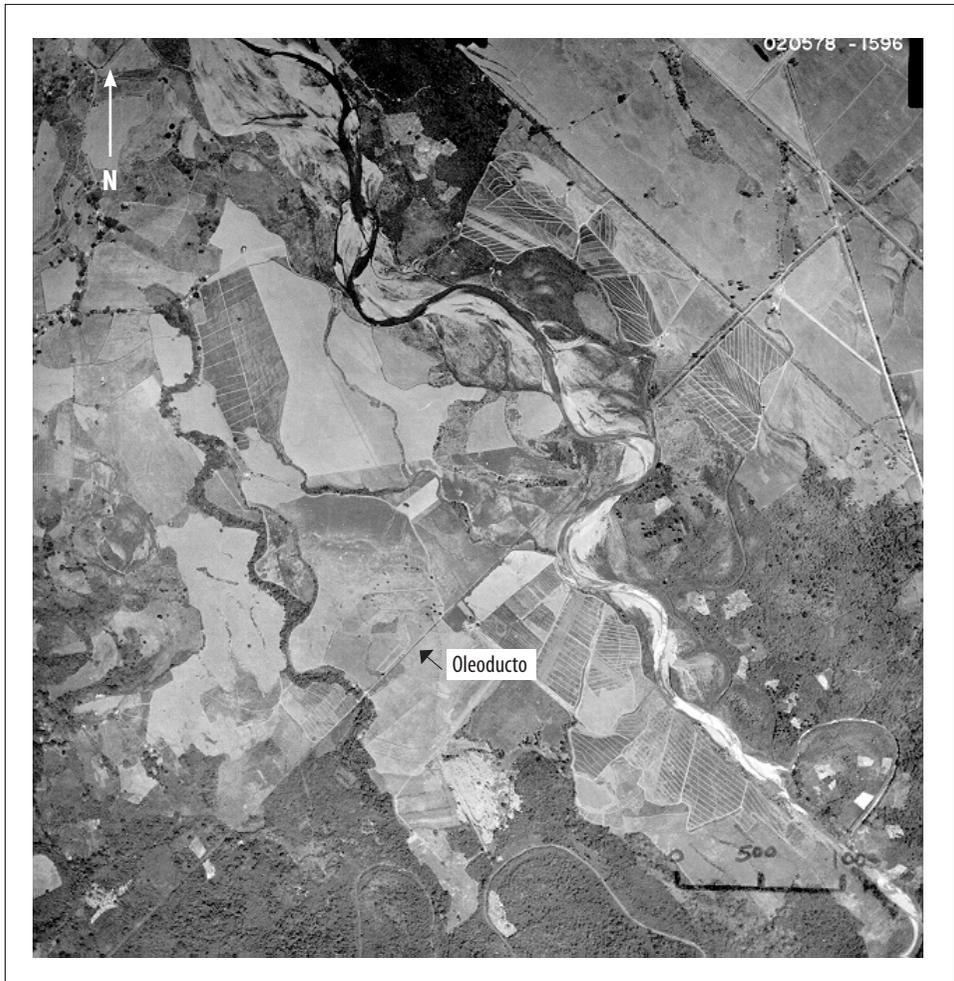


Figura 3. Vista aérea de la sección del río Guanare comprendida entre Las Brujitas y la desembocadura en el río Tucupido. Los cambios de patrón de drenaje y futura evolución en el área de paso del oleoducto (sección inferior de la fotografía) deben ser evaluados cuidadosamente (Misión 020578; 19/01/1976; 1:25.000)

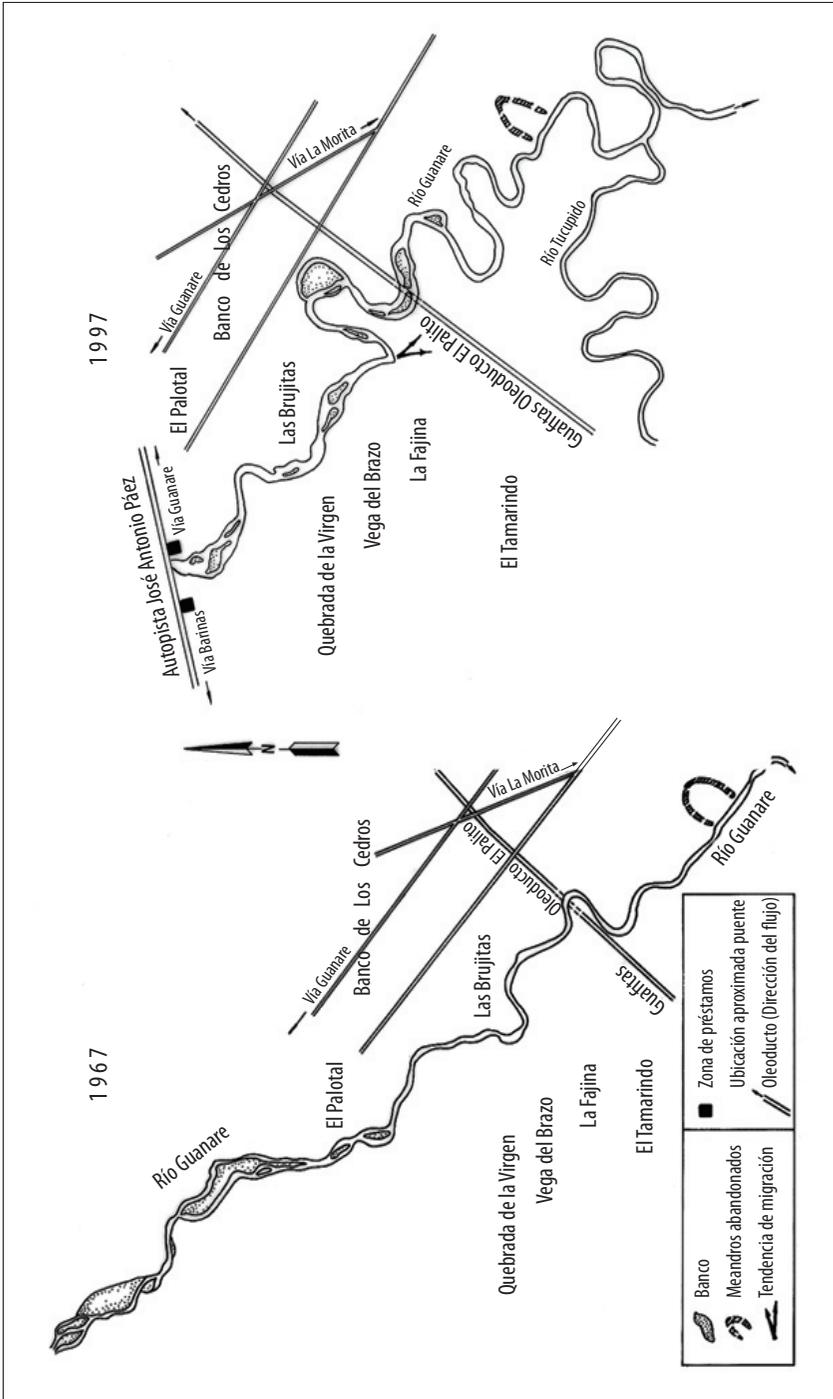


Figura 4. Posible evolución del río Guanare en el paso del oleoducto con base en una comparación preliminar de las figuras 2 y 3. El cambio en la sinuosidad del meandro La Fajina parece haber correspondido con la crecida excepcional del año 1981. La acelerada socavación y una altura de la ribera de 3-3,5 m pudieran dar las condiciones para la aparición de un abanico de ruptura y, de esa forma, afectar la seguridad de esa sección del oleoducto e impactar negativamente los terrenos agrícolas situados aguas abajo

de volúmenes considerables de sedimentos; el banco formado entre los cauces muestra una alta susceptibilidad a ser desestabilizado ante el ataque de las crecidas de este sistema fluvial. La colocación de estructuras de protección, tetrápodos, posiblemente ha generado cambios en la conducta del río (Figuras 5 y 7).

Análisis del proyecto

A raíz del colapso del oleoducto en la sección correspondiente al paso en el río Guanare como consecuencia del evento de 1981, acción esta que produjo, entre otras, una fuerte socavación de la margen derecha a unos 300 m aguas arriba del sitio de paso (Figura 2), que obligó a sustituir el segmento de tubería dañada, se construyó un puente colgante y la sección se empalmó con la existente enterrada (Figura 6). Esta solución duró 20 años hasta que el nivel de deterioro obligó a plantear una respuesta definitiva. Dentro de los paliativos se colocó una barrera de tetrápodos con la finalidad de evitar la socavación en la ribera derecha; a esta situación se le agrega la progresiva erosión del margen izquierdo del cauce principal; esta ribera ha retrocedido unos 10 m en apenas 10 meses (UAPIT-ULA, 1999), (Figuras 8 y 9). Estas condiciones hacen poco recomendable una solución aérea debido a los altos costos, la poca garantía de disminuir los riesgos asociados con variaciones y cambios de cauce observados en esta zona de transición, así como del robo de partes del puente (Figura 10).

Con base en lo anterior, UAPIT-ULA (1999) presentó dos alternativas basadas en: (i) la creciente de diseño a esperarse en el sitio del Proyecto para un período de 100 años es de $1.959\text{m}^3/\text{S}$; (ii) el nivel de aguas máximas es de 1.50 m; (iii) en caso de ocurrir la crecida de diseño, la socavación total estaría en el orden de 3,00 m; (iv) necesidad de cambiar el actual tendido debido a la amenaza de socavación del puente colgante, así mismo la conexión entre el oleoducto elevado y el enterrado es susceptible a ser golpeado por aguas y sedimentos.

Alternativa 1

Se plantea reemplazar un tramo de 376 m del puente colgante, mediante una tubería enterrada a una profundidad promedio de 5 m y empalmar con la existente. El diámetro de la tubería será de 20" o en todo caso *tubería API-5L* grado A con espesor de 8.7 mm; bajo dos condiciones: tubería trabajando en condiciones normales y tubería vacía por lo que se requiere peso adicional para mantenerla en sitio. Se tiene previsto el uso de maquinaria de gran rendimiento, el material de excavación debe ser volcado aguas arriba de manera de conformar un dique de protección, el relleno de la zanja debe ser compactado a densidades superiores al 70% y, finalmente, el material sobrante debe ser trasladado a la orilla.

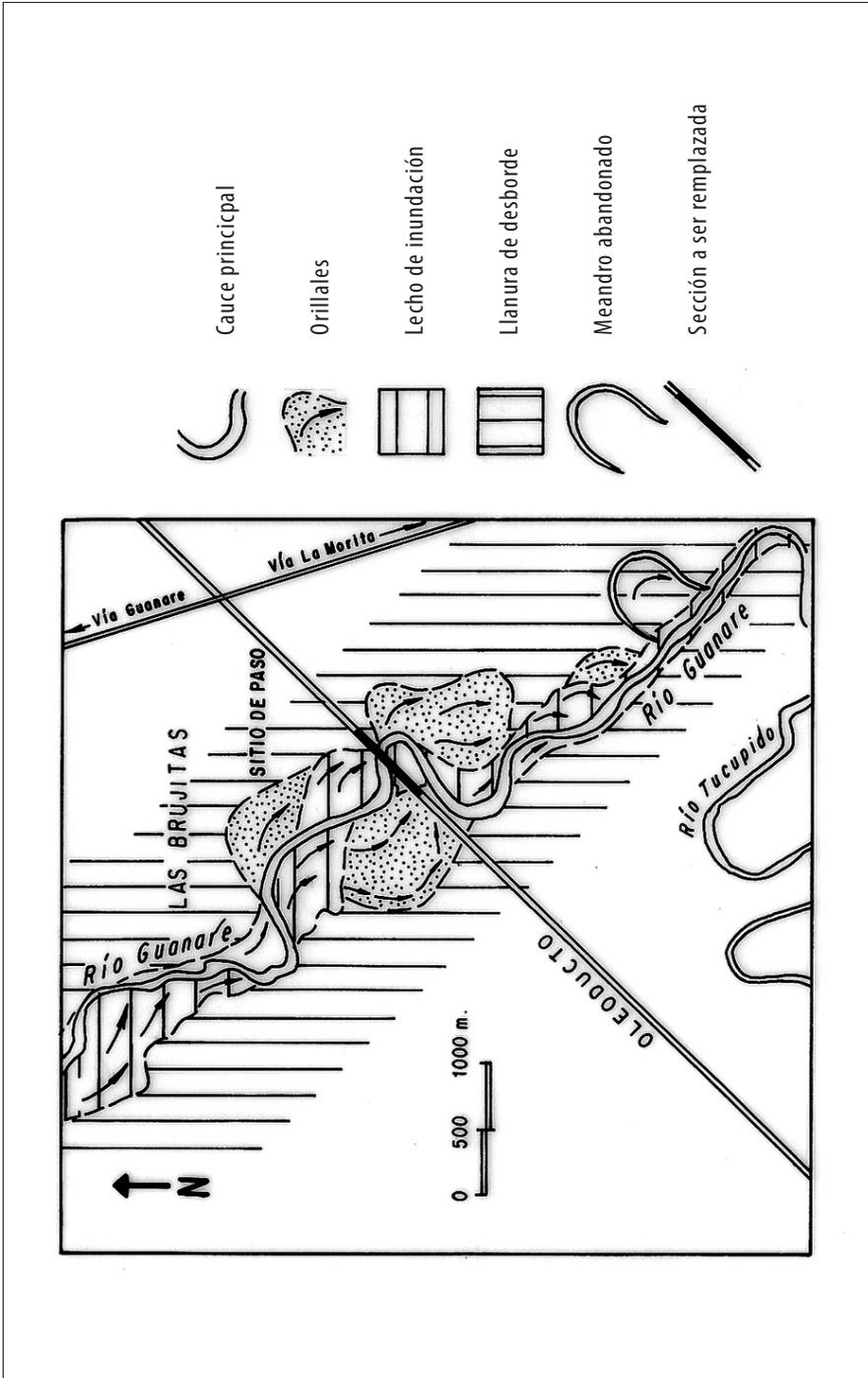


Figura 5. Plano geomorfológico del sitio de paso del oleoducto; este croquis se basa fundamentalmente en la interpretación de las fotografías aéreas del año 1976, lo que hace imperativo su comparación con vuelos tomados en fecha posterior a 1981



Figura 6. Vista del puente colgante y la sección correspondiente del oleoducto; el petróleo fluye de derecha a izquierda en la fotografía



Figura 7.- La colocación de tetrapodos con fines de protección contra la erosión de las riberas parece haber inducido cambios en la conducta hidráulica del río en esta sección; ello justificó su reemplazo y redistribución en otras áreas cercanas del cauce. Vista tomada aguas arriba del sitio de cruce

Alternativa 2

Se trata de sustituir la tubería existente, tanto la que corresponde con el puente colgante como los 407 m entre el sitio de empalme hasta la progresiva 0+783 m, mediante el uso de un equipo de dirección horizontal (se trata de una perforación horizontal ampliamente utilizada por la industria petrolera que permite colocar la tubería de forma rápida y segura), evitando en este caso la excavación a cielo abierto. Esta alternativa implica desechar el tramo anterior por completo (puente colgante más tubería enterrada). Se recomienda iniciar el trazado 15 m aguas arriba del puente, de forma de evitar los tubos viejos existentes. Entre las ventajas de esta segunda propuesta destacan: (i) se reduce hasta un 70% el tiempo de colocación; (ii) al no alterarse el cauce ni exponer los trabajos a crecidas inesperadas, se disminuyen los niveles de riesgos; (iii) se evita la necesidad de colocar bloques de concreto; (iv) se pueden realizar los trabajos independientemente de épocas de lluvias; (v) el hecho de que las obras se realicen fuera del cauce evita las dificultades con el nivel freático, disminuye los problemas relacionados con el tiempo de ejecución de los trabajos e incluso una eventual paralización del bombeo del petróleo y las consecuentes pérdidas económicas.

En ambos casos se tiene previsto el diseño de bloques de concreto para la protección de ambas márgenes, así como la remoción del puente colgante (estructura metálica, base de concreto y tubería), (Figuras 8 y 9).

Estudio de impacto ambiental

Uno de los aspectos más resaltantes del campo de la investigación en la evaluación de impactos ambientales lo constituye la diversidad de técnicas; tan sólo Canter (1977) llegó a registrar 48. Para el caso específico del Proyecto de reubicación de un tramo del oleoducto Guafitas-San Silvestre-El Palito se seleccionó una matriz de interacción de amplio y fácil uso. Se trata de la Matriz de Leopold (Leopold *et al.*, 1971). Esta técnica se consideró la más adecuada para tratar de evaluar los posibles impactos que podrían generarse a raíz de la reubicación de la estructura, especialmente por las ventajas que conlleva el analizar las dos alternativas planteadas en el Proyecto. Se trata de una matriz de asociación que contiene, en su diseño original, un conjunto de 88 factores ambientales ubicados en el eje vertical y 100 acciones en el eje horizontal; un impacto se identifica como consecuencia de la interacción entre un determinado hecho y un aspecto del ambiente.

La clave en el manejo de esta técnica es la descripción de los impactos en función de magnitud e importancia. Las escalas correspondientes a estos dos valores se ubican en la matriz en el lado superior izquierdo e inferior derecho, respectivamente. A ambos se les asignan valores numéricos que varían de uno a diez (10 el valor más alto y el 1 el más bajo); además se evalúan los efectos positivos o negativos. La determinación de estas cantidades debe corresponder a una evaluación objetiva de los factores



Figura 8. La socavación acelerada de los estribos del puente en la ribera derecha del río Guanare produjo deformaciones en la estructura; ella compite contra su estabilidad a corto plazo. La dirección del río transcurre de derecha a izquierda en la fotografía

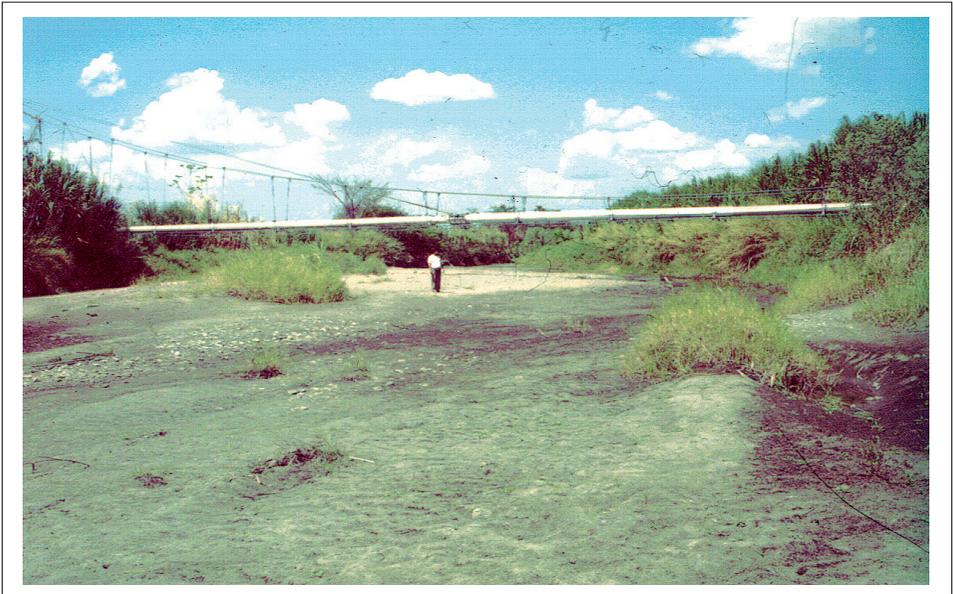


Figura 9. Vista parcial del paso del río Guanare tomada aguas arriba



Figura 10. Uno de los problemas más graves para la seguridad de la estructura colgante lo constituye la continua sustracción de elementos claves para la estabilidad de la misma

involucrados; no obstante, una de las mayores críticas corresponde al peso de las apreciaciones subjetivas así como la minusvalía de los impactos sociales (para detalles de la técnica consultar a Leopold *et al.*, Canter, 1977).

La Matriz de Leopold presenta indudables ventajas para contrastar las dos alternativas ya descritas en el punto anterior; entre ellas destacan: (i) la técnica es de fácil manejo y da una primera visión general de los problemas; ello permite, de ser el caso, recomendar otro instrumento de identificación de impactos puntuales; (ii) la magnitud e importancia de los factores ambientales y de las acciones puedan ser visualizados fácilmente; (iii) se considera que es

un magnífico formato de presentación sumarial y de análisis de resultados. En síntesis, esta técnica matricial fue aplicada, con ligeras modificaciones, para la evaluación del Proyecto de reubicación del oleoducto; de esta forma se perseguía la presentación global del problema y la selección de los parámetros más críticos. En el diseño de la matriz se da más peso a la parte física y biológica, por lo que se subestiman los factores socio-económicos. Como complemento importante se diseñó una matriz de comparación de alternativas (Ferrer, 2000a), donde se evalúan, siguiendo el espíritu de la matriz de Leopold, los efectos sobre 12 acciones puntuales considerados claves en los dos proyectos evaluados.

Resultados de la evaluación

La aplicación de esta técnica, sintetizada en los cuadros 1 y 2, dieron como resultado: cinco factores ambientales negativos para la Alternativa 1, destacándose como la más alta los aspectos relacionados con la “geomorfología” (7), seguidos por “calidad del agua”, “crecidas y desbordamientos”, y, “efectos sobre arbustos, pastos y cultivo” con 4 cada uno, además de “compactación y asentamientos” (3). En cambio, la Alternativa 2 presenta dos factores negativos, de magnitudes e importancia sensiblemente menores: “geomorfología”, “crecidas y desbordes”. Sin duda en la etapa de construcción para la Alternativa 1 se tiene previsto la excavación de una zanja a lo largo de 376 m hasta su empalme con la tubería existente; ello implica el uso de maquinarias de gran rendimiento; así mismo, el material excavado será colocado aguas arriba con fines eminentemente preventivos en caso de caudales inesperados; la profundidad de estas zanjas pueden llegar hasta 7.50 m; además que se tiene previsto el uso de bombas de achique.

En relación a este último detalle vale la pena destacar que mientras para la Alternativa 1 se estiman volúmenes, excavación y rellenos, que alcanzan cantidades de 18.120 y 17.970 m³, respectivamente, para la Alternativa 2 estos valores son de 3.500 y 3.470 m³. En relación a las acciones se detectaron, para el primer caso, 3 negativas (excavaciones y rellenos; alteración de la corbatura del suelo; bote de material) que, al compararlos con la Alternativa 2, que incluye la perforación

con sistema horizontal direccional, los efectos negativos son prácticamente nulos o alcanzan valores muy pequeños por ser demasiados puntuales y temporalmente muy cortos (almacenamiento o disposición de lodos; excavaciones y rellenos). Ambas opciones coinciden en consecuencias afectadas positivamente, no obstante la segunda alternativa la supera con creces.

Obviamente la eliminación del trazo actual, colocado sobre el puente colgante y la reubicación de las medidas de control hidráulico sobre esta sección del río Guanare deben mejorar la respuesta del mismo. En este sentido, los valores positivos más altos corresponden a la alteración del drenaje por medidas bióticas con 7 consecuencias positivas para ambas alternativas (se refiere al repoblamiento de algunos sectores críticos –ver plano 5/7 del Proyecto– con plantas de bambú). Otros 6 de valor positivo se relacionan con rectificación del cauce por medio del reacomodo y reubicación de los tetrápodos; ambas medidas apuntan a disminuir la erosión de algunas riberas (especialmente la ubicada al margen izquierdo cuyos valores parecen haberse incrementado en estos últimos años) y redistribuir la carga de sedimentos sólidos en el cauce (Figuras 7 y 8). Estas observaciones también se reflejan en los valores positivos alcanzados por la “alteración de la hidrología por estructuras de control”.

Vista globalmente, la Alternativa 2 presenta 7 consecuencias positivas en relación a sólo 3 de la primera; en ellas destacan, además de las ya descritas:

Cuadro 1. Resultado de la evaluación de impacto ambiental del Proyecto: Reubicación del Oleoducto Guafitas-San Silvestre - El Palito en el sitio de cruce con el río Guanare. Alternativa 1. Según el método de Leopold *et al.* (1971).

Factores Ambientales	Acciones										Accidentes								
	Modificación del Territorio				Transformación del Territorio y Construcción						Cambio de la Tierra		Riesgos asociados con derrames y filtraciones	Fallas de operación	Nº de efectos positivos	Nº de efectos negativos			
Tierra	Alteración de la cobertura del suelo	5	4	4	-4	-2	3	5											
	Alteración de la hidrología por estructuras de control	6	5	4	4	-2	3	5											
Agua	Materiales de construcción	3																	
	Calidad	4	4	3	4														
Procesos	Crecidas y desbordamientos	2	4	4			5	5											
	Erosión	2	5	6			5	6											
	Sedimentación	2	4	5			5	5											
	Compactación y Asentamientos	2	3	5			5	6											
	Arbustos, pastos y cultivos	2	3	3			3	5											
Condiciones Biológicas	Peces	2	2	2			2	6											
	Pastoreo / Agricultura	2	2	2			2	2											
Estético	Monumentos																		
	Nº de consecuencias afectadas + Nº de consecuencias afectadas -	2 6	5 0	7 0	0 4	1 3	6 0	6 3											

Cuadro 2. Resultados de la evaluación de impacto ambiental del Proyecto: Reubicación del Oleoducto Guafitas-San Silvestre-El Palito en el sitio de cruce con el río Guanare. *Alternativa 2.* Según el método de Leopold *et al.* (1971).

Factores Ambientales	Acciones	Transformación del Territorio y Construcción										Cambio de la Tierra			Accidentes		
		Modificación del Territorio					Transformación del Territorio y Construcción					Mejoramiento panorámico	Riesgos asociados con derrames y filtraciones	Fallas de operación	Nº de efectos positivos	Nº de efectos negativos	
		Alteración de la cobertura del suelo	Alteración de la hidrología por estructuras de control	Alteración del drenaje por medidas bióticas	Bote de materiales	Tuberías sub-superficiales	Rectificación de cauces	Almacenamiento y disposición de lodos	Perforaciones	Excavaciones y rellenos	Estructuras subterráneas	Limpieza y despeje					
Tierra	Geomorfología	2	5	4		-1	3	-2	2	-1	-2	1	4	-2	-1	5	5
		3	6	5		4	5	4	8	2	4	2	7	3	2		
Agua	Materiales de construcción	-1					5	5			3					2	1
		1		4					1	1	4			2	2	3	2
Procesos	Crecidas y desbordamientos	1	4	4			6	-2	4	1	3			-2	2	6	3
		2	5	5			5	3	5	2	3			4	2	2	3
	Erosión	1	4	6			5		1	1	2			4		7	0
		1	5	4			5		2	2	2						
	Sedimentación	-1	3	4			6		-1	-1						3	3
		1	5	5			5		2	2							
Condiciones Biológicas	Compactación y Asentamientos	2	3	3		-2				-1						2	3
		3		3		2		2	2	2						5	2
	Arbustos, pastos y cultivos	1				6		-2	2	1	2	-1					
Usos del Territorio	Peces			2										2		1	1
			2	2			3							3		2	1
Estético	Pastoreo / Agricultura		2				3							2		2	1
													3			1	0
	Monumentos												3				
	Nº de consecuencias afectadas +	6	5	7	0	1	6	0	5	4	4	1	2	3	2		
	Nº de consecuencias afectadas -	2	0	0	1	2	0	3	1	3	1	1	0	2	1		

alteración de la cobertura del suelo, perforaciones, excavaciones y rellenos y estructuras subterráneas.

Como punto importante se debe considerar la tendencia a migrar que posee el río Guanare a unos 1300–1600 m del tendido y señalados en las figuras 2, 3 y 4. Basado en un estudio muy preliminar, fotografías aéreas e imágenes de radar, limitada por la carencia de control terrestre y planos topográficos detallados, se logró detectar lo que parece ser un importante cambio en la morfología del cauce de este río. Por lo demás, el punto analizado define una variación abrupta, lo que debe traducirse en un cambio de las facies aluviales, abanico aluvial en tránsito a llanura propiamente dicha. El codo observado en la imagen, valor de giro 90°, y alturas de riberas de 3-3.50 m (estimado cuidadosamente a partir del análisis de las fotografías aéreas) en una sección de profunda socavación, hace temer que en caso de una crecida, que llegue a superar levemente los caudales de diseño, el curso tienda a migrar y pudiera afectar no menos de 1.000 m del oleoducto. Un análisis detallado de la conducta geomorfológica no se realizó por ser parte de los objetivos concretos de este estudio.

Al analizar en detalle el cuadro 1, correspondiente a las características que pueden ser atribuidas a la Alternativa 1, con base en el estudio físico-ambiental y el análisis del Proyecto se destacan los siguientes aspectos: las acciones de mayor peso negativo y, a la vez, de mayor importancia apuntan a la “alteración de la cobertura del suelo”, “excavaciones

y rellenos” y su impacto poco favorable sobre el relieve y los procesos que en el mismo tienen lugar. Las consecuencias sobre este factor ambiental se concentran mayoritariamente en la fase de colocación y tendido (etapa de construcción); aquí se tiene previsto labores de excavación (18.120 m³), rellenos compactados (17.970 m³), uso de maquinaria pesada, bote de materiales (acción esta negativa también), suministros de materiales de construcción (cuya zona de préstamos deben estar ubicadas en el mismo río, y que pueden causar desequilibrios locales), transporte y colocación de tubería y bloque de anclaje. Todas estas actividades se reflejarán, aunque temporalmente, en las características hidrológicas y geomorfológicas de este tramo del río Guanare. Para el caso de un caudal imprevisto se tiene un impacto negativo más bien bajo y una importancia moderada, si se analizan posibles “fallas de operación” debido a los volúmenes de excavación y relleno descrito con anterioridad, se esperan impactos negativos en la “calidad del agua”, y sobre los procesos.

Los factores “crecidas y desbordamientos”, “erosión”, “sedimentación” y “compactación” y asentamientos deberán “sufrir” algunas modificaciones que alcanzarán su importancia en el momento de la construcción, pero cuyos efectos tenderán a diluirse a medida que pase el tiempo y las condiciones iniciales se equilibren. Arbustos, pastos y en menor cuantía los cultivos resultaran con impactos negativos debido a excavación, remoción de material, botes y transporte; riesgos asociados con derrames y filtra-

ciones fueron evaluados como moderadamente negativos y ello por tratarse de un cruce de operación del oleoducto.

Al desmontar o desincorporar el sistema actual debe mejorar el “ambiente panorámico”, y en general el pastoreo y la agricultura, al disminuir los posibles efectos del río. La “limpieza y el despeje” registran una acción de baja a moderada sobre “arbustos, pastos y cultivos” referidos a la construcción provisional del campamento y a lo largo del eje del tendido (se estiman unos 7.540 m²), actividad esta mucho menor para el caso de la Alternativa 2, por ser el área de afectación más restringida.

En líneas generales, la Alternativa 2 presenta un nivel de impactos negativos muy bajos (valores 1 y 2); obviamente, la técnica de perforación con sistema horizontal direccional presenta numerosas y variadas ventajas en comparación con la excavación de una zanja, colocación de bloques de anclaje y posteriormente el oleoducto, sin contar que se va a remover una larga sección de esta estructura (progresivas 0+000 a 0+783), que cuenta con varias décadas de servicio (42 años). Entre las acciones que podían ser consideradas poco favorables se cuenta el “almacenamiento y disposición de lodos”, el cual estima alcanzar un volumen de 246 m³, con efectos sobre el relieve, posibles consecuencias sobre “crecidas y desborde” por caudales imprevistos y una pequeña área de afectación sobre la vegetación existente, situación esta que cesará al finalizar las operaciones. Las limitadas labores relacionadas con “excavaciones y rellenos” prácticamente

permiten descartar cualquier efecto o consecuencias a ser impactadas negativamente.

Igual consideración que para el caso de la Alternativa 1 debe ser evaluada aquí, los “riesgos asociados con derrames y filtraciones”, ya que se relacionan estrechamente con el nivel de amenazas que pueda presentar el río, cuya magnitud debe ser estimada con un estudio especial. La remoción de la vieja estructura de paso redundará en un “mejoramiento panorámico”, puesto que se elimina un obstáculo a la visión y evita, por otro lado, la acción y el paso de personas indeseables para las comunidades allí asentadas.

La “alteración del drenaje por medidas bióticas” y la “rectificación de cauces” se consideran dos consecuencias que se verán afectadas positivamente, tal y como se adelantó en páginas precedentes. El área afectada alcanza superficies muy modestas y en todo caso altamente puntuales; ello explica la evaluación positiva (6 vs. 2 de la negativa) para el caso de la “alteración de la cobertura del suelo”, lo contrario de la Alternativa 1 (comparar cuadro 1 y 2). La alteración a ser producida por la reubicación de los tetrápodos debe traer consecuencias favorables para el relieve y los procesos ya que se intenta racionalizar la conducta del río mediante una mejora de su conducta hidráulica. La perforación se considera, comparativamente con la otra alternativa, mucho más favorable para la “excavación y relleno”, “estructuras subterráneas” y la misma “perforación” para el paisaje en general.

Análisis de alternativas

En la Matriz de Comparaciones (Cuadro 3) se analizan las dos propuestas mediante la confrontación de toda una serie de efectos. En este sentido, se tiene, por ejemplo, que el “deterioro ambiental”, considerado especialmente en la fase de construcción, ya que en la fase de operación los posibles cambios generados por el Proyecto deben tender a equilibrarse y los impactos negativos deben diluirse con el tiempo, estos valores pueden variar de un efecto moderadamente negativo (2-) a uno pequeño (1-) e, incluso, prácticamente neutro (0) para las alternativas 1 y 2, respectivamente. Si se analizan los cálculos métricos y las especificaciones de ambas propuestas (Capítulo VII del Proyecto UAPIT-ULA, 1999: 51-56) se verá que mientras la Alternativa 1 moviliza un volumen aproximado de 43.898 m³ en comparación con 10.510 m³ de la Alternativa 2, allí se incluyen todos los rubros descritos desde limpieza, despeje, excavación, rellenos, bote de material, suministro de piedra picada y otros.

Obviamente el hecho de trabajar dentro del cauce del río Guanare hace mucho más vulnerable las actividades a ser ejecutadas en la primera de las opciones analizadas ante las posibilidades de “caudales imprevistos”, situación esta completamente descartada en la otra, a lo que se puede agregar que en la Alternativa 2, los trabajos pueden ser realizados durante la época de lluvias por estar los frentes alejados de las riberas.

Para visualizar mejor este problema se sugiere analizar la figura 9 del Proyec-

to UAPIT-ULA (1999: 39) y las figuras 2 y 3 de este trabajo, con el objetivo de tener un cuadro lo más completo posible de la evolución de esta sección del río. Las medidas de control, tanto de socavación de riberas como cambios en el volumen y naturaleza de la sedimentación en el cauce se verán enormemente favorecidos por la remoción de la estructura del puente y la demolición de los apoyos de concreto, así como la reubicación y colocación en la margen izquierda de tetrápodos existentes, sin olvidar la siembra y desarrollo de la plantación de bambú (ver plano 5/7 del Proyecto UAPIT-ULA, 1999). Los efectos positivos son ligeramente mayores para la Alternativa 2, por el hecho que no habrá ningún tipo de perturbación en el cauce.

Impactos negativos altos (3-) generará la Alternativa 1 en relación a la “excavación, remoción y bote de materiales”, en comparación con su efecto neutro generado por la perforación horizontal. La mayor cantidad de maquinaria requerida para el laboreo en el cauce del río marca la diferencia entre una acción negativamente moderada a una pequeña en lo referente al “transporte de maquinarias pesadas”. Los “riesgos asociados con cambios en el patrón del río” fueron evaluados tentativamente como negativo alto para ambas alternativas y específicamente basados en un análisis geomorfológico muy preliminar. Esta posibilidad podría afectar un tramo mucho más amplio que la sección del tendido analizada aquí. Muchos de los aspectos anteriormente señalados permiten argumentar a favor de la poca “alteración del cauce”

Cuadro 3. Matriz de Comparación de Alternativas

Efectos sobre	Deterioro ambiental (fase construcción)	Riesgos por caudales imprevistos	Medidas de control del río y protección de riberas (bloques de concreto / plantaciones)	Excavación, remoción, y bote de materiales	Transporte de maquinarias pesadas.	Riesgos asociados con cambios en el patrón del río	Alteración del cauce	Tiempo de ejecución	Colocación de estructuras en el cauce	Cambios en el tendido: remoción total de tubería existente	Uso de bombas de achique (influencia del nivel freático)	Riesgos operacionales en la fase de construcción	Sumatoria aritmética
Alternativa 1	2 ⁻	3 ⁻	3	3 ⁻	2 ⁻	3 ⁻	3 ⁻	2 ⁻	1 ⁻	1	2 ⁻	3 ⁻	2 10 ⁻ 8 ⁻
Alternativa 2	1 ⁻	0	4	0	1 ⁻	3 ⁻	0	3	0	3	0	1 ⁻	3 4 ⁻ 1 ⁻
Total +	0	0	2	0	0	0	0	1	0	2	0	0	
Total -	2	1	0	1	2	2	1	1	1	0	1	2	

Efecto negativo pequeño 1 ⁻	Efecto positivo pequeño 1
Efecto negativo moderado 2 ⁻	Efecto positivo moderado 2
Efecto negativo alto 3 ⁻	Efecto positivo alto 3
Efecto negativo muy alto 4 ⁻	Efecto positivo muy alto 4
Efecto neutro 0	

que implica la ejecución de la Alternativa 2 (efecto negativo alto vs. efecto neutro). La segunda opción reduce hasta un 30% el tiempo de colocación de la tubería, lo que se traduce en una repuesta altamente positiva en comparación con un impacto moderadamente negativo en costos para la otra alternativa.

En lo referente a “colocaciones de estructuras en el cauce” la evaluación sugiere un impacto negativo pequeño para el caso de la Alternativa 1 y en lo referente al uso de bloques de anclaje en concreto armado aplica para el caso de colocación de la tubería vacía y la necesidad de un peso adicional para man-

tenerla en sitio; situación esta que se descarta para el caso de que la “tubería trabaje en condiciones normales” (UA-PIT-ULA, 1999: 42-44). La valoración baja se explica debido a que el impacto tendrá lugar durante la etapa de construcción; para el caso de la segunda alternativa esta situación es nula. Un efecto positivo alto se califica en el factor “cambios en el tendido: remoción total de la tubería existente” para el caso de la Alternativa 2, por considerar que el reemplazo de una tubería enterrada durante un tiempo tan largo es favorable; la menor calificación de la otra opción se relaciona a que tan solo serán sustituidos 0+000 a 0+0,783 m de oleoducto con tubería nueva.

La influencia del manto freático en la excavación y colocación de la tubería en el lecho del río puede alcanzar situaciones críticas; la misma requiere bombas de achique con todos los problemas que puedan generarse desde alargamiento de las operaciones, fallas mecánicas y en fin situaciones imprevistas. Todos estos detalles conducen a evaluar este efecto como moderadamente negativo, claro está, para el caso de la Alternativa 1. Todas las consideraciones anteriores conducen, en la forma más objetiva posible, a considerar que la primera opción presentada en el estudio de reubicación del oleoducto generará mayores incertidumbres (efecto negativo alto) si se contrasta con la segunda propuesta y en el marco de los posibles efectos a ser producido por “riesgos operacionales en la fase de construcción”.

Discusión

La aplicación de la Matriz de Leopold cuadro 1 y 2, dio como resultado que la Alternativa 1 presente 29 efectos positivos contra 25 negativos, con un total de 29 consecuencias positivas y 27 negativas; si se comparan estas cifras con las obtenidas para el análisis de la Alternativa 2, las cifras arrojan el siguiente resultado: 37 efectos positivos y 21 negativos, pero es tajante al referirse a las consecuencias: 46 positivas contra 17 negativas. En este primer nivel la ventaja es para la opción que sugiere la sustitución de la totalidad de los 783 m de oleoducto (elevado + subterráneo) con la aplicación de la técnica de perforación horizontal dirigida.

Estas diferencias alcanzan un mayor significado si se detallan algunos parámetros mediante el uso de una Matriz de Comparación de Alternativas (Cuadro 3). Para este caso las cifras son tajantes: 8 efectos negativos (8-) en contraste con tan solo 1 negativo (1-) de las alternativas 1 y 2, respectivamente. Las consecuencias donde los impactos ambientales alcanzan los mayores niveles negativos serían: “riesgos por caudales imprevistos”; “excavación, remoción y bote de materiales”; riesgos asociados con cambios en el patrón del río”; “alteración (temporal) del cauce” y “riesgos operacionales en la fase de construcción”. Las consecuencias positivas, que pueden variar de alto muy alto, se refieren a las obras de mejoras en el cauce, planteadas en ambas opciones pero más favorable en la segunda, debido a que todos los trabajos se harán a

distancia del lecho. Esta situación debe traducirse a corto plazo en una drástica disminución de las tasas de erosión en la ribera izquierda (socavación) y la preservación de cultivos de caña, así como en las mejoras de las condiciones hidráulicas de esta sección del río Guanare.

Con base en una interpretación muy preliminar de las condiciones geomorfológicas a raíz del cambio producido en 1981, como consecuencia de una crecida excepcional en el río Guanare, y especialmente por el hecho de haber detectado un área crítica de apenas unos 1.300 a 1.600 m del trazado de la tubería (para detalles ver la Figura 4), se evaluó con un efecto negativo alto los posibles “riesgos asociados con cambios de patrón del río”. Estos cambios deben ser relacionados, obviamente, con otra crecida excepcional y evaluar en detalle la sección considerada a la luz de los caudales máximos esperados y sus respectivos períodos de retorno. El otro aspecto importante es que el segmento de cauce considerado parece ubicarse exactamente en un sitio de cambio de facies: abanico aluvial a llanura aluvial de desborde, lo que podría complicar un poco la situación. Fue imposible profundizar en estos detalles por escaparse a los objetivos inmediatos del trabajo y por carecer de planos y fotografías aéreas actualizadas.

Conclusiones y recomendaciones

El sitio de cruce oleoducto Guafitas-San Silvestre-El Palito en el río Guanare coincide con un importante cambio de las

condiciones geomorfológicas; se trata de un área transicional entre un ambiente netamente de abanico aluvial (dinámica de explayamientos) a llanura o planicie aluvial (dinámica de desbordes cíclicos). Estas son condiciones típicas de regiones piedemontinas. Grandes movimientos de masas, donde predominan deslizamientos y flujos, y sucesivos represamientos /rupturas parecen ser abundantes en la cuenca superior, tal y como es posible verificar en las crónicas históricas. La acción de estos procesos se proyecta en un incremento notable de aportes de sólido en los cauces. En síntesis, una primera aproximación a una escala macro del área de estudio refleja una dinámica fluvial compleja e inestable.

De la confrontación de las dos alternativas propuestas en el Proyecto y después de un detallado análisis entre la opción que consiste en sustituir el tramo del puente colgante (376 m) mediante una nueva tubería enterrada y su empalme con la existente, y la Alternativa 2 que ha sido diseñada para sustituir, a lo largo de 783 m, la totalidad de la estructura y sección de tubería enterrada que tiene una edad de 42 años, en este caso se aplicaría un equipo de perforación direccional horizontal, evitando por tanto cualquier excavación a cielo abierto en el lecho del río. Un análisis muy somero indica la urgencia, debido a los altos niveles de vulnerabilidad como consecuencia del debilitamiento del puente colgante por sustracción de piezas y especialmente la zona crítica de la transición del sistema aéreo al enterrado, de proceder a la sustitución de todo este tramo del tendido del oleoducto.

La evaluación, basada en la aplicación de la Matriz de Leopold y posteriormente en la Matriz de Comparación de Alternativas, dio como resultado una clara ventaja a la Alternativa 2. Opción esta que generará el menor número de impactos negativos, manejables, la mayoría de ellos, con costos razonables, ya que serán producidos, principalmente, durante la etapa de construcción y cuyos efectos serán diluidos con el tiempo. Las mejoras diseñadas para el control de la socavación, la cual alcanza altas tasas en tiempo muy corto, lucen razonables así como las otras medidas de control hidráulico. Con base en los resultados de este estudio se recomienda seleccionar la técnica de la perforación direccional horizontal para la colocación de la nueva tubería que sustituirá la anterior. Visto los problemas de inestabilidad de esta sección del cauce, luce prudente sugerir un estudio que precise las tendencias migratorias del río Guanare y los posibles riesgos que pudiera correr un largo tramo del oleoducto en el caso de producirse un “evento extremo”.

Agradecimiento

El autor desea dejar su constancia por la ayuda prestada por el Profesor Luis Rengel, cuya asistencia en el campo y en las actividades de fotointerpretación fueron de una gran ayuda para la culminación de este trabajo. El intercambio de ideas y la gran experiencia que sobre temas hidrológicos e hidráulicos de la que hace gala el Profesor Eugenio Mora de la

Universidad de Los Andes resultó clave en el análisis de las variables incluidas en la Matriz de Leopold. Un especial reconocimiento a dos revisores anónimos quienes proporcionaron críticas que mejoraron notablemente los alcances del manuscrito. Al técnico José Gregorio Quintero de la Universidad Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (UNELLEZ), por facilitar copia de la imagen satelital, material este que resultó de gran utilidad. Un agradecimiento muy especial a la Fundación para la Prevención del Riesgo Sísmico del estado Mérida (FUNDAPRIS), por el apoyo financiero para la publicación de este trabajo. Reina Albornoz por su alta responsabilidad y eficiencia en la transcripción del manuscrito original. Los dibujos que acompañan el trabajo se deben a la dedicación y diligencia del Geog. Luis Dugar-te, por lo cual su contribución al diseño y cuidado de los mismos se agradece.

Referencias citadas

- BOLLETTINARI, G. 1995. Proposal of a method for qualitative and quantitative evaluation of assets, hazard and impact in the field of geomorphology. En: M. Marchetti, M. Panizza, M. Soldati y D. Barini (Eds.), **Geomorphology and environmental impact assessment**. *Quaderni di Geodinamica Alpina e Quaternaria*, 3:189-197.
- CANTER, L.W. 1977. **Environmental impact assessment**. McGraw Hill, Book Co; New York. 331 p.
- CAVALLIN, A.; MARCHETTI, M.; PANIZZA, M. y SOLDATI, M. 1994. *The role of geo-*

- morphology in environmental impact assessment. Geomorphology*. 9: 143-153.
- CONTRERAS, F.G. 1980. *Estudio integral de las cuencas altas del Programa Guanare-Masparro: Estudio climatológico e hidrológico* (Informe preliminar). Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables; Div. Suelos: 175 p. (Inédito). Guanare-Venezuela.
- EWELL, J. J. y MADRIZ, A. 1968. *Zonas de vida de Venezuela. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico*. Ministerio de Agricultura y Cría; Dir. Investigación. Caracas. 265 p.
- FERRER, C. 2000a. *Evaluación del impacto ambiental: reubicación del oleoducto Guafitas-San Silvestre-El Palito en el sitio de cruce con el río Guanare, estado Portuguesa. Evaluación de impacto ambiental y estudio alternativo*. Unidad de Asesoría, Proyectos e Innovación Tecnológica (UA-PIT), Fac. Ingeniería, Universidad de Los Andes. Informe Técnico, 30 p + Anexos. (Inédito). Mérida-Venezuela.
- FERRER, C. 2000b. El papel de la geomorfología en la evaluación de impactos ambientales: caso río Guanare. *III Jornadas sobre ambiente y desarrollo*. (1-2 junio), (Resumen). Mérida-Venezuela.
- LEOPOLD, L. B; CLARKE, F. E; HANSHAW, B. B. y BALSLEY, J. R. 1971. *A procedure for evaluating environmental impacts*. U.S. Geol. Survey, Circular 645. Washington, D.C.: 13 p.
- MARCHETTI, M.; PANIZZA, M.; SOLDATI, M. y BARINI, D. 1995. (Eds). **Geomorphology and environmental impact assessment. Quaderni di Geodinamica Alpina e Quaternaria**. 1-197 p.
- PANIZZA, M. 1987. Geomorphological hazard assessment and the analysis of geomorphological risk. En: V. Gardiner (Ed.), **International Geomorphology 1986**. Part I. Wiley, New York: 225-229.
- POUYLLAU, D; POUYLLAU, M. y SEURIN, M. 1989. *Piemont et accumulations alluviales dans la région Guanare-Masparro, Contact Andes-Llanos Occidentales, Venezuela*. Venezuela, Environnements et Changements; Tran. Et Doc. De Géographie Tropicale, CEGET-CNRS; 63; 77-135.
- REAUD – THOMAS, G. 1989. *Vegetation et utilisation du sol dans la région Guanare-Masparro, Andes vénézuéliennes*. Venezuela, Environnement et Changements; Trav. et. Doc. de Géographie Tropicale, CEGET-CNRS; 63: 173-201.
- RENGEL, L. A; ORTEGA, F. M. y AYMARD, G. C. 1983. *Dinámica de las variaciones de la cobertura vegetal y la erosión en el piedemonte de Guanare*. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora; Vicerrectorado de Prod. Agrícola. Informe Técnico 98 p. (Inédito). Guanare-Venezuela.
- RONDÓN, L. F. 1976. *Geología de la región Guanare – Ospino, estados Portuguesa y Lara*. Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Informe Técnico, 53 p. (Inédito). Mérida-Venezuela.
- RONDÓN, L. F. 1977. Geología de la región de Guanare, estado Portuguesa. *Cong. Latinoamericano de Geología*, 2, 1973. Mem. Tomo III. **Bol. de Geología**, Pub. Esp. # 7. Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Caracas: 1681-1685.
- SCHUMM, S. A. 1988. *Geomorphic hazards: problems of prediction. Z. Geomorphol. Suppl.* 67: 17-24.

- SCHUMM, S. A. 1991. **To interpret the earth: Ten ways to be wrong.** Cambridge Univ. Press, Cambridge. 133 p.
- SCHUMM, S. A. 1994. *Erroneous perceptions of fluvial hazards.* **Geomorphology.** 10: 129-138.
- UAPIT – ULA. 1999. *Reubicación del oleoducto Guafitas-San Silvestre-El Palito en el sitio de cruce con el río Guanare, estado Portuguesa.* U.L.A. Fac. Ingeniería-PDV-SA-Sur. (Informe Técnico) 81 p. (Inédito). Mérida-Venezuela.