

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/311073250>

Análisis de rutas óptimas para el trazado de ductos petroleros basada en evaluación multicriterio

Article · January 2016

CITATIONS

0

READS

174

3 authors:



Pablo Ordóñez

Universidad San Francisco de Quito (USFQ)

4 PUBLICATIONS 1 CITATION

[SEE PROFILE](#)



Emmanuelle Quentin

Universidad UTE

75 PUBLICATIONS 599 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Pablo Cabrera-Barona

Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales Sede Ecuador

52 PUBLICATIONS 540 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



UV related eye damage [View project](#)



Geoinformática Aplicada a los Estudios Sociales Urbanos y Territoriales [View project](#)

ANÁLISIS DE RUTAS ÓPTIMAS PARA EL TRAZADO DE DUCTOS PETROLEROS BASADA EN EVALUACIÓN MULTICRITERIO

PABLO ORDÓÑEZ¹, EMMANUELLE QUENTIN², PABLO CABRERA BARONA³

¹UNIGIS América Latina, University of Salzburg, Hellbrunnerstrasse 34, 5020, Salzburg, Austria. pablotro25@gmail.com

²Ministerio de Salud Pública, Instituto Nacional de Investigación en Salud Pública – INSPI. emmanuelle.quentin@gmail.com

³Interfaculty Department of Geoinformatics, University of Salzburg, Schillerstraße 30, 5020, Salzburg, Austria. pablo.cabrera-barona@stud.sbg.ac.at

Recibido: 13 de febrero del 2016 / Aceptado: 30 de mayo del 2016

RESUMEN

El presente estudio se enfoca en el análisis de una metodología que identifique el trazado óptimo para un ducto petrolero aplicando Sistemas de la Información Geográfica (SIG) para el análisis de transporte de hidrocarburos integrando criterios de profesionales que colaboran dentro de un equipo multidisciplinario dentro del enfoque de Evaluación Multicriterio (EMC). El estudio busca encontrar una ruta óptima para enlazar la Terminal de despacho de combustibles Pascuales con el Depósito de combustibles Chaullabamba de la empresa EP PETROECUADOR. A partir del resultado de la EMC, se logró el análisis de dos escenarios, uno de conservación ambiental, y otro de enfoque constructivo geológico, en las etapas de pre factibilidad de trazado de ductos petroleros sobre el Ecuador continental. Esto logra definir trazados para comparación de recorridos en distancia y costo no monetario entre los puntos citados. Luego del análisis de las rutas encontradas, el proyecto toma mayor énfasis en determinar aquel trazado que posea la menor distancia al menor costo, analizando capas de fricción que reflejen la dificultad de construir polductos desde la llanura de la costa ecuatoriana, hacia los Andes del Austro del país. Los 20 trazados obtenidos a partir de distintas técnicas multicriterio permitieron discernir entre costos y distancias la factibilidad de construcción, siendo el ducto AF2 el mejor trazado para compensar criterios geológicos, ambientales y sociales con una longitud de 173.48 kilómetros y 0.15719 costo por esfuerzo de traslado entre dos puntos, utilizando el Método de Jerarquías Analíticas – MJA.

Palabras clave: Rutas óptimas, Método de Jerarquías Analíticas, Evaluación Multi-Criterio, Transporte, Petróleo.

ABSTRACT

This study focuses on identifying the ideal route for an oil pipeline by applying Geographic Information Systems to the analyses of hydrocarbons transportation, integrating multidisciplinary experts' criteria and using Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA). The study aims to find the ideal route for the connection between the fuel shipping station located in Pascuales and the EP PETROECUADOR oil warehouse located in Chaullabamba. Two MCDA-based scenarios were analyzed: a first scenario prioritizing environmental conservation and a second scenario prioritizing a geological approach of construction, related to the preliminary feasibility stage for designing petroleum ducts in continental Ecuador. Therefore, this study compares different kinds of routes between the locations mentioned before evaluating distances and non-financial costs. After analyzing twenty MCDA-based routes, and considering friction costs representing the difficulty of constructing pipelines from lowlands to Andean highlands, the route with the lowest distance and the lowest price was set up: the duct named "AF2" satisfied geological, environmental and social criteria. This pipeline has a length of 173.48 kilometers and a transportation cost of 0.15719 based on the Analytical Hierarchy Process (AHP).

Key words: Optimal route, Analytical Hierarchy Process, Multi-Criteria Decision Analysis, Transportation, Oil

1. INTRODUCCIÓN

La problemática de la cadena de distribución de combustibles es diversa, contemplando desde la extracción del crudo de los pozos de perforación, hasta la refinación y comercialización final de materiales refinados. Hoy en día el movimiento de los diferentes productos hidrocarburíferos como las gasolinas, diesel, jet fuel, entre otros, se planifican para la operación de transporte por medio de buques marítimos o trazado de ductos petroleros (gasoducto, poliducto u oleoducto) de forma tradicional y continua (EP PETROECUADOR, 2013).

El presente trabajo contesta la inquietud de emitir directrices cartográficas en la propuesta Geomática para estudios de pre factibilidad de construcción de ductos petroleros, consolidando diversos criterios para ser interpretados en plataformas SIG fusionando conceptos y análisis multicriterio, a través de la valoración de perspectivas del círculo de expertos sobre la matriz de doble entrada de Saaty (Molero, Grindlay, Asensio, 2007, p. 120) y otras técnicas de evaluación para la fase de valoración e interpretación de la mejor o peor ruta de un poliducto definida sobre una cobertura de COSTO, esta capa se genera como una superficie de distancia/proximidad, denominada también como superficie de costes, donde la distancia se mide como el mínimo esfuerzo de movimiento sobre una superficie de fricción según (Romero, 2005), que permitirá unir a la terminal de almacenamiento de combustibles en el punto Pascuales, provincia de Guayas, con la terminal de distribución de derivados de petróleo Chaullabamba en la provincia del Azuay.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada en dos regiones naturales del Ecuador continental, mismo que parte desde el punto A denominado como terminal Pascuales en la Provincia de Guayas, cuya altura de trazado inicial es de 50 m.s.n.m. con una temperatura anual promedio de 26° centígrados, destinada a unificarse con el punto B denominado como terminal Chaullabamba cercano a la ciudad de Cuenca, en la zona Sierra austral del Ecuador, cuya altura aproximada es de 2400 m.s.n.m. su temperatura promedio anual es de 14° centígrados. Ver zona de estudio en Figura 1.

La diferencia al momento de sistematizar y simular a través de modelos cartográficos nuevos criterios de análisis en el presente estudio, difiere de la propuesta planteada por (Keshkamat, 2007) ya que no se cuantifican los beneficios económicos del trazado de un ducto petrolero, dejando para futuros trabajos el análisis estadístico de las n rutas delineadas, así como del estudio financiero por cada uno de los poliductos encontrados.

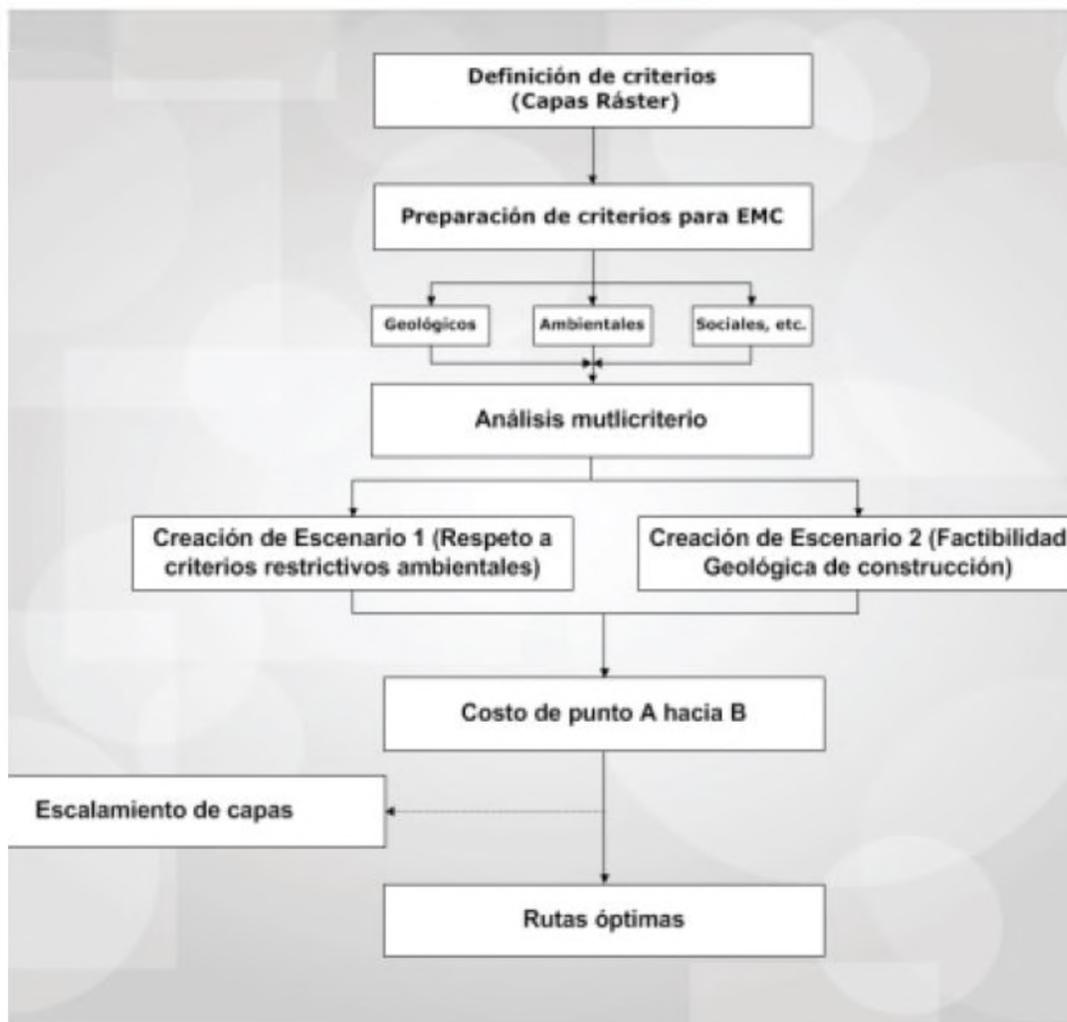


Figura 2. Aplicación de la metodología general de EMC y SIG

Cabe mencionar que, se utilizaron distintas técnicas multicriterio como: Sumatoria Lineal Ponderada (WLC), método de jerarquías analíticas planteadas (AHP) por Thomas Saaty, cuyo marco de apoyo radica en la toma de decisiones multicriterios a gran escala, hasta el uso del método Promedio ponderado jerárquico por sus siglas en inglés (OWA).

- 3.1 Sumatoria Lineal Ponderada (WLC): En este método se pueden utilizar factores como limitantes. El proceso de combinación posee 3 etapas de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$r_i = \sum_{j=1}^n W_j X_{ij} \quad (1)$$

Donde:

r_i es el nivel de adecuación de la alternativa i

W_j es el peso del criterio j

X_{ij} es el valor ponderado de la alternativa i en el criterio j

- 3.2 Método de Jerarquías Analíticas (AHP): permite que el agente decisor estructure un problema multicriterio de forma visual, mediante la construcción de un modelo que contenga tres niveles: meta u objetivo, criterios y alternativas. Una vez construido, se realizan comparaciones por pares entre dichos factores y se atribuyen valores numéricos a las preferencias señaladas por las personas, entregando una síntesis de las mismas mediante la agregación de esos juicios parciales. (Gómez M. y Barredo J., 2005).
- 3.3 Promedio ponderado jerárquico (OWA): permite combinar los factores basados en su posición relativa en cuanto a satisfacer los criterios establecidos por el analista. El nivel de riesgo es controlado por la asimetría relativa hacia el mínimo o hacia el máximo de los órdenes (expresado como pesos relativos). Cuando los pesos están distribuidos equitativamente a lo largo de todas las posiciones se logra el mayor grado de negociación o compensación, (García, M., 2012).

- 3.4 Criterios utilizados para la EMC en proyectos de trazados de ductos petroleros

Todas las metodologías más importantes descritas en la sección anterior y otras, usaron los criterios planteados en la tabla 1, la misma que posee variables de análisis de distinto tipo de dato así como de atributos, pudiendo definirse en 5 grandes grupos de descripción los componentes que se plantean dentro de esta propuesta metodológica.

Tabla 1. Resumen de criterios ocupados para el EMC de trazado de ductos petroleros

COMPONENTES	CRITERIOS	FUENTE	ESCALA	ORIGEN DEL DATO	ORGANISMO PROPORCIONA	AÑO	CONSIDERACION VARIABLES	TIPO VARIABLE
geológicos	geología	infoplan	1:250.000	recopilación dggm bgs imgemm	sin-templades	2012	litología	nominal
	movimientos en masa	imgemm- magap - sgr	1:250.000	imgemm- magap	mzgap-imgemm	2010	ubicación y/o tipología	ordinal
	nec	nec	1:1000000	camara de la construc- cion y epn	nec-epn	2011	aceleraciones gravedad	cuantita- tivo
cartografía base	pendiente	internet	1:250.000	mdt escala 1:50.000 ign fotorestauración	ign	2010	determinación de slope	intervalo
	vías	mtop	1:50.000	fotografía aerea-fo- tointerpretación	mtop-ign	2011	cobertura de distancia a vías	intervalo
	hidrografía	infoplan	1:50.000	<a href="http://sni.gob.ec/cover-
turas">http://sni.gob.ec/cover- turas	ign	2010	buffer de dis- tancia y proxi- midad	intervalo
agrícolas	uso de suelo	internet	1:250.000	<a href="http://sni.gob.ec/cover-
turas">http://sni.gob.ec/cover- turas	templades	2008	uso y cobertura	nominal
	textura	clisen	1:250.000	iee	iee-magap	2002	textura suelo	nominal
	aptitud agrícola	magap-sigar- go	1:250.000	obtenido por procesos de integración de tres factores considerados importantes: suelo, cli- ma y relieve, agrupa- dos en la clase de uso respectivo de acuerdo a la equivalencia de los límites en el desarrollo de los cultivos, en el manejo y conservación de los suelos.	magap	2012	aptitud	nominal
climáticos	precipitación	imagen satelital	1:250.000	www.worldclim.org	www.worldclim ore	2011	milímetros de precipitación	cuantita- tivo
restricción	áreas prote- gidas	mze	1:250.000	pane-mze	mze	2010	restricción - buffer kms	índice
	bosques y veget.protec- tora	mze	1:250.000	mze	mze	2010	restricción - buffer kms	índice
	centros poblados	internet	1:250.000	<a href="http://sni.gob.ec/cover-
turas">http://sni.gob.ec/cover- turas	templades	2010	núms de per- sonas	cuantita- tivo

Estos criterios al ser unificados para la obtención de una capa de EMC y posterior obtención de la cobertura de costo, conforme lo descrito por (Bagli, S. Geneletti D., y Orsi F., 2010), fueron sistematizados a partir de la elaboración de un macro modelo desarrollado en IDRISI Selva, con la finalidad de integrar o eliminar factores (conocidos también como criterios) o restricciones rápidamente; de tal forma, que permitiera facilitar la interpretación de resultados de cada trazado obtenido por distintas técnicas multicriterio, conforme lo verificado en (Hernández, B., 2010), ver figura 3.

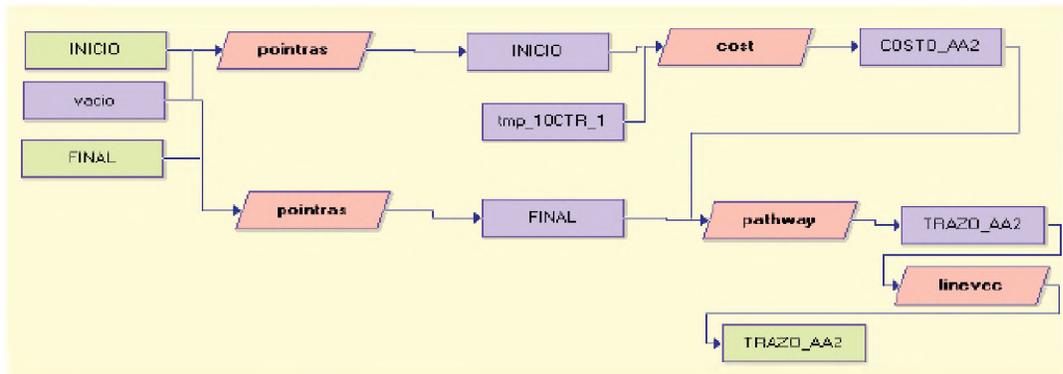


Figura 3. Aplicación de macro modelo elaborado en IDRISI Selva

Donde:

INICIO: es el punto vector de inicio Pascuales

Vacío: Capa ráster vacía que permite guardar temporalmente al vector INICIO

FINAL: es el punto vector de llegada Chaullabamba

Pointras: función de geoprocésamiento para transformar capas vector a ráster

Tmp_10CTR_1: Capa resultado de cualquier técnica EMC luego de aplicar multiplicación de escalares

Cost: Geoproceso para encontrar coberturas de Coste

COSTO_AA2: Capa de costo, resultado de la primera fase del macro

Pathway: Geoproceso para determinar rutas óptimas

TRAZO AA2: Capa ráster, del resultado de trazados de ductos petroleros

Linevec: Geoprocésamiento para transformar capas líneas ráster a vector

TRAZO AA2: Capa vector, resultado del macro proceso completo.

4. RESULTADOS

Unificando las capas de restricciones de áreas protegidas, bosques y centros poblados a cada criterio del círculo de expertos en las ramas de aplicación y conocimiento, se presentan 10 resultados variantes de la aplicación de técnicas multicriterio para el escenario de protección socio ambiental (AA2 al AJ2), así como, 10 más para el escenario geológico constructivo (BB2-BJ2), los mismos que permitieron identificar trazados a partir de la integración de los sistemas de información geográfica con las técnicas de evaluación multicriterio, encontrando longitudes pequeñas o extensas, así como costos no monetarios bajos o muy altos del paso de un ducto petrolero sobre una capa de fricción resultado de la EMC, ver tabla 2.

Tabla 2. Resumen de longitudes y costos de trazados de poliducto Pascuales-Cuenca

ID	NAME_1	PESOS	Longitud (km)	Datos de costo no monetario (adimensional)	Datos escalados entre 0-1
1	TRAZO_AA2	Equal_Weight_0.1	176.57119	168498559.54	0.16849856
2	TRAZO_AB2	Equal_Weight_con_OWA_Max235	173.14520	284683751.39	0.28468375
3	TRAZO_AC2	Equal_Weight_con_OWA_Max532	172.70084	282715223.10	0.28271522
4	TRAZO_AD2	Equal_Weight_con_OWA_Max334	173.14520	279808153.31	0.27980815
5	TRAZO_AE2	Equal_Weight_con_OWA_Max3322	172.78368	266821257.26	0.26682126
6	TRAZO_AF2	AHP (*)	173.48662	157193565.55	0.15719357
7	TRAZO_AG2	AHP-OWA_MAX235	172.90084	280229703.03	0.2802297
8	TRAZO_AH2	AHP-OWA_MAX6211	175.92094	252464869.63	0.25246487
9	TRAZO_AI2	Ingreso_de_pesos_manuales (MW_Manual_Weight)	173.98368	167221825.44	0.16722183
10	TRAZO_AJ2	Ingreso_de_pesos_manuales (MW_Manual_Weight)_OWA_MAX235	173.25231	267787456.49	0.26778746
11	TRAZO_BA2	Equal_Weight_0.1	174.87241	166666384.16	0.16666638
12	TRAZO_BB2	Equal_Weight_con_OWA_Max235	173.14520	284397630.24	0.28439763
13	TRAZO_BC2	Equal_Weight_con_OWA_Max532	172.70084	281624747.32	0.28162475
14	TRAZO_BD2	Equal_Weight_con_OWA_Max334	173.14520	279441274.44	0.27944127
15	TRAZO_BE2	Equal_Weight_con_OWA_Max3322	172.78368	266215988.77	0.26621599
16	TRAZO_BF2	AHP (*)	175.64226	159001874.19	0.15900187
17	TRAZO_BG2	AHP_OWA_MAX235	173.19789	279585126.485	0.27958513
18	TRAZO_BH2	AHP_OWA_MAX6211	175.53515	248521230.56	0.24852123
19	TRAZO_BI2	Ingreso_de_pesos_manuales (MW_Manual_Weight)	174.52926	162524943.32	0.16252494
20	TRAZO_BJ2	Ingreso_de_pesos_manuales (MW_Manual_Weight)_OWA_MAX235	173.19789	277409915.89	0.27740992

(*) El método AHP de color rojo en la tabla2, posee el menor costo no monetario recorrido del punto A hacia el B.

5. DISCUSIÓN

El trazo AC2 y BC2 (172.70 km.) presentan menor recorrido, sin embargo el resultado de costo se cuantifica como los de mayor esfuerzo para la implementación o puesta en marcha de la construcción de un poliducto. Además los trazos de mayor recorrido son los obtenidos para la opción AA2 (176.57 km.) y AH2 (175.92 km.) del primer escenario considerado como el de criterios de mayor conservación ambiental.

Para la consideración de valores de costo, la mejor opción es el trazo AF2, ya que la sistematización del proceso de competencia entre criterios, bajo el manejo del método de jerarquías analíticas de Saaty, revisado en (Jankowski, P., 1994), presenta la consolidación de cada uno de los expertos para el escenario de mayor protección al medio ambiente, no así para el escenario de operatividad constructiva geológica, ya que la opción BF2 sigue siendo una buena opción.

Para consideraciones de visualización el trazado más extenso es el AA2, el más costoso es el AB2, los de menor longitud son los AC2 y BC2 y el de menor costo es AF2 representados en la Figura 4. Manifestándose que, no existe un trazado que posea las dos características principales de menor recorrido y menor costo.

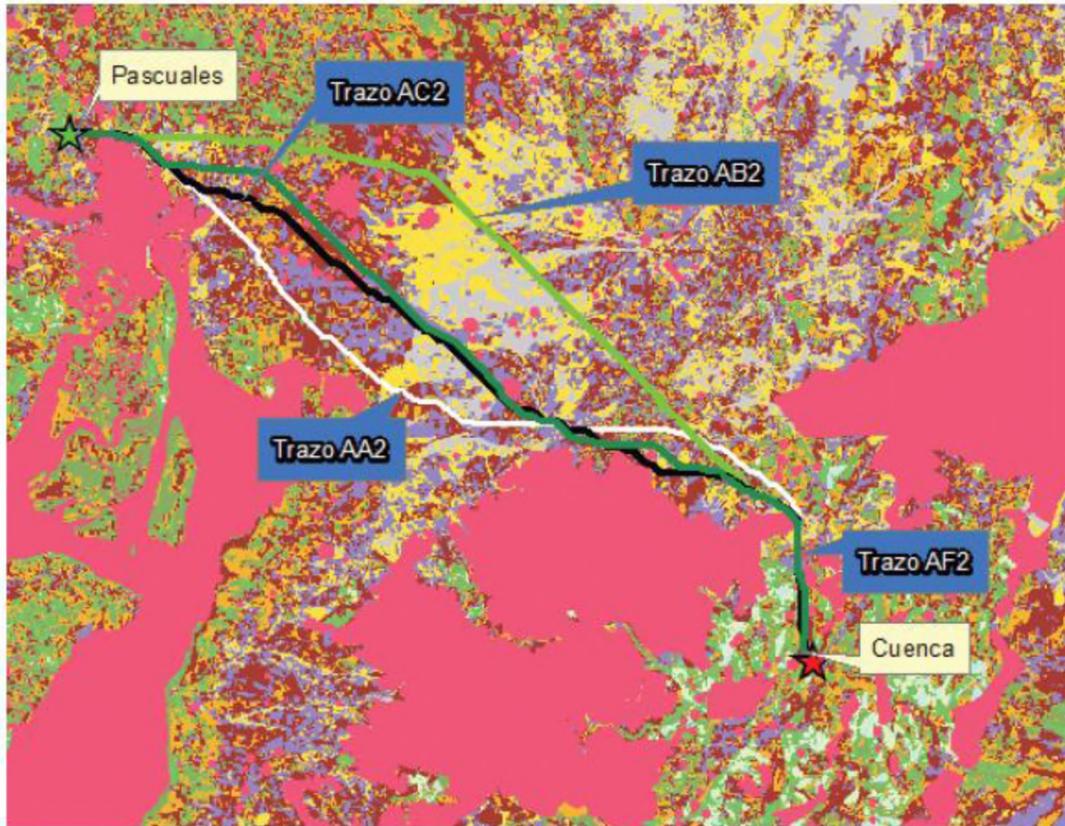


Figura 4. Comparación entre trazados de mayor y menor costo y longitud

6. CONCLUSIONES

El estudio realizado para planificación de trazados de ductos petroleros en el país es una propuesta metodológica que variará de acuerdo a las condiciones geológicas cuanto constructivas y socio ambientales que se desee analizar, si bien contempla variables cuantificables que se encuentran a distintas escalas cartográficas, la fusión entre SIG y la EMC es una fuerte integración que permite guiar proyectos de pre factibilidad para transportar hidrocarburos cuanto derivados dentro del Ecuador continental.

Es por esto que la propuesta metodológica para carácter constructivo como de respeto socio ambiental ha encontrado en la ponderación de los criterios más importantes a los de índole geológico, movimientos en masa y NEC para la creación de rutas determinadas a partir del método AHP y del ingreso manual de iguales pesos.

Ahora cabe mencionar que el trazado más corto es el trazo AC2 producto de la ponderación con iguales pesos compensándose cada uno de los criterios que intervinieron en la evaluación multicriterio, así también el trazado que posee menor costo es el AF2 (color rojo en tabla 2), con un valor de 0.15719357, valor que se desprende de la aplicación del método AHP, método de jerarquías analíticas desarrolladas por Saaty, razón por la cual se concluye que las ponderaciones de expertos, son minimizadas por la aplicación de este método compensatorio aditivo.

Con respecto a distancia de trazados, el trazo AC2 como el BC2 poseen la menor longitud para el trazado que se planea construir, sin embargo el valor del costo es muy elevado de acuerdo a la aplicación de distintos escenarios cuanto ponderaciones que se realizaron en el desarrollo del macro modelo.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bagli, S. Geneletti D., y Orsi F. (2010). Routing of power lines through least-cost path analysis and multicriteria evaluation to minimise environmental impacts. *Environmental Impact Assessment Review* 2011, 31(3):234-239. Elsevier Journal. Italy.
- EP PETROECUADOR. (2013). Reporte anual de gestión de la EP PETROECUADOR, Gerencia de Transporte y Almacenamiento. Quito, Ecuador.
- Fernández, D. (2008). Análisis ráster de rutas de mínimo coste con Geomedia PRO. Proyecto final de Carrera de Ingeniería en Informática. Universidad Oberta Catalunya, España.
- García, M. (2012). Comparación de los métodos de evaluación multicriterio AHP y OWA para el análisis de la vulnerabilidad de un acuífero detrítico. Granada, España.
- Gómez M. y Barredo J. (2005). Sistemas de Información Geográfica y evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio, Segunda Edición RA-MA, Madrid-España
- Hernández, B. (2010). Administración de la integridad en sistemas de transporte de hidrocarburos. (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional. México D.F.
- Jankowski, P. (1994). Integration of Gis-based suitability analysis and multicriteria evaluation in a spatial decision support system for route selection. *Environmental and Planning B: Planning and Design*, 21, 323-340.
- Keshkamat, S. (2007). Formulation & Evaluation of transport planning alternatives using spatial multicriteria assessment and network analysis. (Master Thesis). International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Enschede.
- Molero, E. Grindlay, A. y Asensio, J., (2007). Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio. Granada, España.
- Romero, R. (2005). Cálculo de rutas óptimas mediante SIG en el territorio de la ciudad celtibérica de Segeda. Propuesta metodológica. España.