



## Ruta óptima para conducción de agua desde el embalse san vicente hasta la comuna Salanguillo (Santa Elena - Ecuador)

**MSc. Miguel Efrén Loaiza Espinoza**

[mloaiza@mag.gob.ec](mailto:mloaiza@mag.gob.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-3058-2657>

Ministerio de Agricultura y Ganadería  
Guayaquil - Ecuador

**MSc. Carlos Alberto Nieto Cañarte**

[cnieto@uteq.edu.ec](mailto:cnieto@uteq.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-1817-9742>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo  
Quevedo - Ecuador

**MSc. Carlos Vinicio Sanabria Yépez**

[csanabria@mag.gob.ec](mailto:csanabria@mag.gob.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-5038-3159>

Ministerio de Agricultura y Ganadería  
Guayaquil - Ecuador

**MSc. Byron Andrés Burgos Carpio**

[byron.burgos2015@uteq.edu.ec](mailto:byron.burgos2015@uteq.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-2840-9997>

Universidad Andina Simón Bolívar  
Quevedo - Ecuador

## RESUMEN

En Ecuador en los últimos años se ha evidenciado cada vez más, que el agua aprovechable es más escasa y con una distribución inequitativa, ya que no se encuentra en los sectores de mayor desarrollo agrícola, para esto, se realizan obras de almacenamiento de agua para diferentes usos, como la agricultura, una de estas obras es el embalse San Vicente en la provincia de Santa Elena. Los enfoques utilizados en este documento buscan determinar si las condiciones del área de estudio son aptas para transportar agua desde el embalse hasta un determinado punto el cual puede ser un reservorio en la comuna Salanguillo.

El estudio determinó que la evaluación de la ruta optima es un problema complejo de criterios múltiples con objetivos en conflicto que necesitan equilibrio, utilizando la evaluación multicriterio (EMC) para evaluar los diferentes factores necesarios para encontrar rutas óptimas, y luego se usó el análisis de ruta de menor coste para encontrar la ruta optima, que no es necesariamente la de la distancia más corta.

Bajo los criterios planteados, no existe una ruta óptima para conducir el agua por gravedad desde el embalse San Vicente hasta un punto específico de la comuna Salanguillo, principalmente por factores topográficos del área de estudio.

**Palabras clave:** *reservorio; conduciendo; distribución; almacenamiento.*

Correspondencia: [mloaiza@mag.gob.ec](mailto:mloaiza@mag.gob.ec)

Artículo recibido 15 octubre 2022 Aceptado para publicación: 15 noviembre 2022

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Cómo citar: Loaiza Espinoza, M. M. E., Nieto Cañarte, M. C. A., Sanabria Yépez, M. C. V., & Burgos Carpio, M. B. A. (2022). Ruta óptima para conducción de agua desde el embalse san vicente hasta la comuna Salanguillo (Santa Elena - Ecuador). *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 1767-1778. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i6.3635](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3635)

## Optimal route for conducting water from the San Vicente reservoir to the Salanguillo commune (Santa Elena - Ecuador)

### ABSTRACT

In Ecuador in recent years it has been increasingly evident that usable water is more scarce and with an inequitable distribution, since it is not found in the sectors of greatest agricultural development, for which water storage works are carried out for different uses, such as agriculture, one of these works is the San Vicente reservoir in the province of Santa Elena.

The approaches used in this document seek to determine if the conditions of the study area are suitable for transporting water from the reservoir to a certain point that may be a reservoir in the commune of Salanguillo.

The study determined that optimal path evaluation is a complex multi-criteria problem with conflicting goals that must be balanced, using multi-criteria evaluation (MCE) to evaluate the different factors needed to find the optimal paths and then using analysis of variance. least-cost route to find the optimal route, which is not necessarily the one with the shortest distance.

Under the proposed criteria, there is no optimal route to convey the water by gravity from the San Vicente reservoir to a specific point in the commune of Salanguillo, mainly due to topographical factors in the study area.

**Keywords:** *reservoir; conduction; distribution; storage.*

## INTRODUCCIÓN

En Ecuador la producción agrícola tiene muchos factores que hacen que no se obtengan buenos rendimientos, uno de estos es la variabilidad de precipitaciones en litoral del país (Castro, 2012), teniendo muchos sectores con escasez de agua y otros con excedentes de lluvias, sumado al poco manejo de los recursos hídricos por parte de las instituciones que tienen la competencia.

La provincia de Santa Elena, se ha caracterizado por ser un sector con alto potencial para la agricultura, teniendo como gran limitante para el desarrollo del sector la disponibilidad del recurso hídrico (Troya, 2014). En función de dicha necesidad, la Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del Guayas (CEDEGE), busca satisfacer el recurso agua a este sector mediante obras hidráulicas comprendidas dentro del Plan Hidráulico Acueducto de Santa Elena (PHASE).

Una de estas obras, es el embalse San Vicente, cerca al embalse, se encuentra la comuna Salanguillo, que pertenece a la parroquia Colonche (Lucas, 2014); en donde los agricultores se ven obligados a reducir sus ciclos de siembra y a tener bajos rendimientos debido a la falta de agua para estas actividades pese a la corta distancia del embalse (Segura, 2022).

El trazado de una ruta óptima para conducción de agua entubada por gravedad, desde el embalse San Vicente hasta los territorios cercanos de la comuna Salanguillo (Santa Elena - Ecuador), utilizando herramientas claves como la evaluación multicriterio; permitirá cubrir la escasez hídrica de actividades agrícolas y humanas, propiciando el desarrollo de la comuna Salanguillo.

Dentro de la presente investigación se usaron varias herramientas de análisis espacial, entre las cuales, Super posición ponderada (Weighted Overlay) y herramientas de reclasificación y ruta de coste.

La herramienta Weighted Overlay aplica uno de los enfoques más utilizados en el análisis de superposición para resolver problemas como la selección de sitios, utilizando varios criterios de acuerdo a la investigación o trabajo a realizar (Ordoñez, 2016). Esta es una poderosa herramienta que permite realizar funciones matemáticas, ponderando y combinando los pixeles de diferentes raster para realizar análisis de favorabilidad. Las capas de evidencia son ponderadas en forma relativa a su importancia y luego son sumadas para generar un raster de salida. Este proceso permite clasificar el área en

diferentes niveles de favorabilidad basados en datos de interés vegetal, urbano, etcétera (Gia et al, 2022).

El análisis de ruta de coste (Cost path), es un procedimiento en GIS, para encontrar una ruta óptima entre dos puntos a través de un espacio continuo que minimiza los costos (Chandio et al. 2012), puede tener una serie de connotaciones, incluyendo: gasto monetario, topografía, tiempo u otra, o impactos ambientales negativos. Cualquier trayectoria a través del espacio acumulará estos costes, y las rutas con altos costes asociados son menos favorables que las rutas con un coste más bajo asociado con él (Mitchell, 1999). Muchos métodos como algebra de mapas o superposición ponderada, pueden ser usado para construir una superficie de costo y así establecer la obstrucción del cruce de cada celda individual.

Mientras que la herramienta coste de distancia (Cost distance), calcula la distancia de menor coste acumulativo para cada celda al origen más cercano sobre una superficie de coste (ESRI). La herramienta de distancia de coste es similar a las herramientas de trama de distancia euclidiana, pero en lugar de calcular la distancia real de una celda dada al resto de las celdas, las herramientas de distancia de coste determinan la distancia ponderada más corta (o coste de viaje acumulado) de cada celda a la Ubicación de la fuente más cercana. Estas herramientas aplican la distancia en unidades de coste, no en unidades geográficas (Ubudu y Williams, 2015).

## **METODOLOGÍA**

El presente trabajo se realizó en la zona norte de la Provincia de Santa Elena, en las áreas de la comuna Salanguillo, la cual es una de las comunas más próximas al embalse San Vicente y se encuentra cercana la comuna Manantial de Guangala y Clementina, además se encuentra rodeada por cordillera Chongon - Colonche.

La comuna Salanguillo cuenta con una superficie actual de 155 km<sup>2</sup>, la temperatura promedio ronda los 26 °C, mientras que las precipitaciones se dan entre los meses de enero a mayo, teniendo así los meses de junio a diciembre sin precipitaciones.

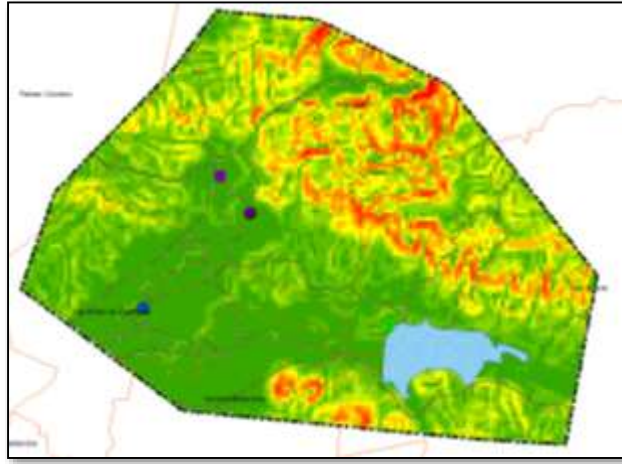
El embalse tiene una superficie de inundación de 600 hectáreas (42 Hm<sup>3</sup>). En los alrededores de la presa la topografía varía con pendientes desde 0% a más del 70% (Santos, 2017). Los suelos son arcillosos a francos con características de poco profundos a profundos. Los agricultores en esta zona intentan por desarrollar una agricultura de alta eficiencia en el uso y manejo del agua, para mitigar la salinidad existente en el suelo.

Figura 1. Área de estudio



Entre los datos necesarios requeridos: una ortofoto de la provincia de Santa Elena a escala pequeña (1: 50,000) para identificar el punto de partida y el destino exacto de la conducción de agua; también información sobre la cobertura vegetal a una escala pequeña (1:100,000) para identificar que zonas pueden ser más a menos aptas para trazar una conducción de riego.

A través de un modelo de elevación digital (ver Figura 2) se obtuvieron las cotas del terreno (en función a un sistema de referencia concreto), con esta información se creó un mapa de pendientes, permitiendo analizar la topografía, además se utilizó otra información base como capas de comunas, embalses, ríos y vías.

**Figura 2.** Modelo de elevación digital

El criterio utilizado al usar la herramienta de Superposición ponderada Weighted Overlay fue la integración de tres componentes entre un número de variables posibles, se asignaron valores a cada criterio en función de su grado de importancia (tabla 1), por ejemplo, en el factor topográfico, recibió menor valoración las zonas con cotas más altas, evitando durante su direccionamiento trazar la conducción por estos sectores, al momento de la cobertura del suelo se evitó el que la conducción atravesara zonas con cultivos, mientras que la utilización de la información de ríos del área de estudio fue aprovechada para que en el trazado de la conducción los mismos no signifiquen un impedimento a la conducción, al integrar toda esta información se obtuvo un mapa de favorabilidad, que sirvió como insumo para la aplicación de la metodología de coste de distancia y ruta óptima.

**Tabla 1.**

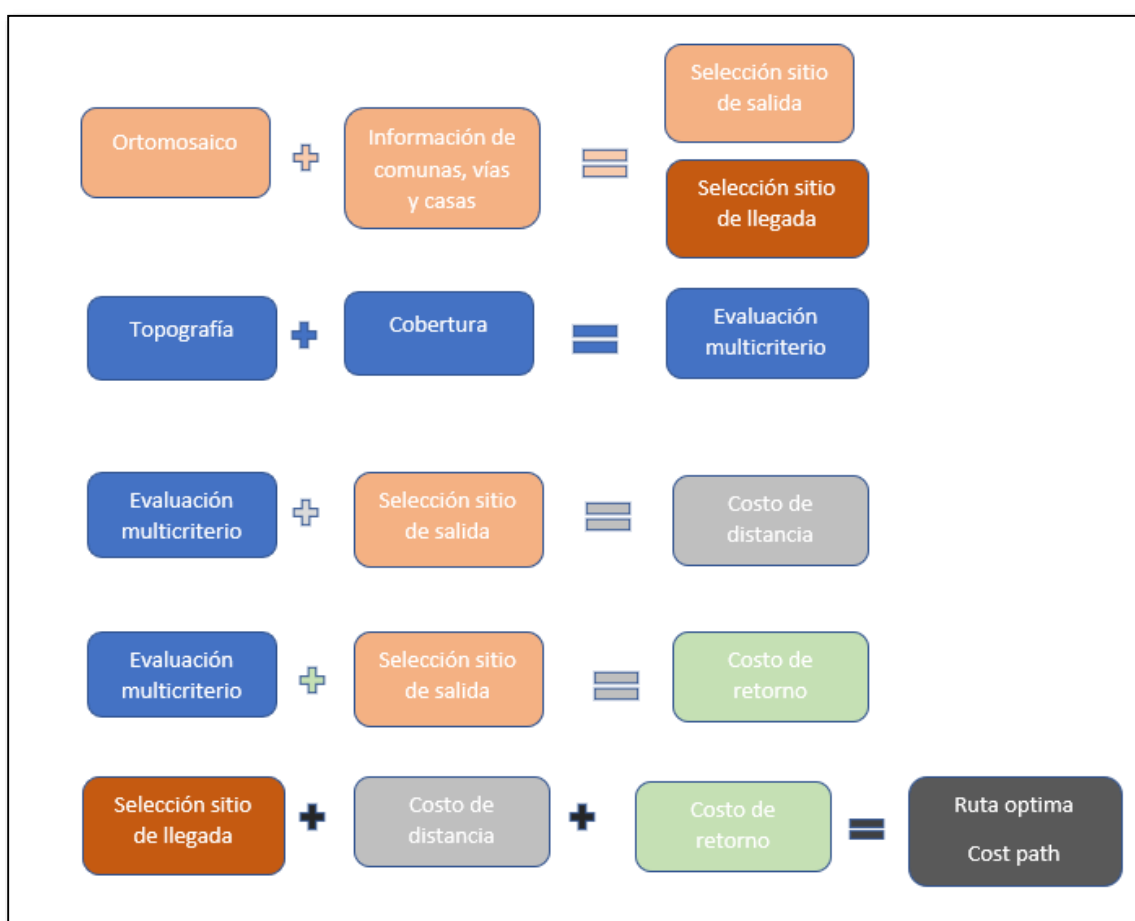
*Ponderación de factores superposición ponderada*

Factor	Ponderación
Topografía	75%
Cobertura vegetal	22%
Vías y ríos	13%

La planificación de rutas, en este caso para una tubería, es una tarea complicada que implica la consideración simultánea de más de un criterio (Amponfi, 2020). Muchas veces

un factor puede restringir este trazado, o siendo menos estrictos, puede restar valor a la consideración (Gamarra, 2014). Por ejemplo, trazar una tubería por sitios protegidos y los grandes cuerpos de agua no son preferidos de ninguna manera para que las tuberías pasen a través de ellos. La figura 3 muestra la metodología de los criterios de superposición ponderada y de ruta óptima.

Figura 3. criterios de superposición ponderada y ruta óptima



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

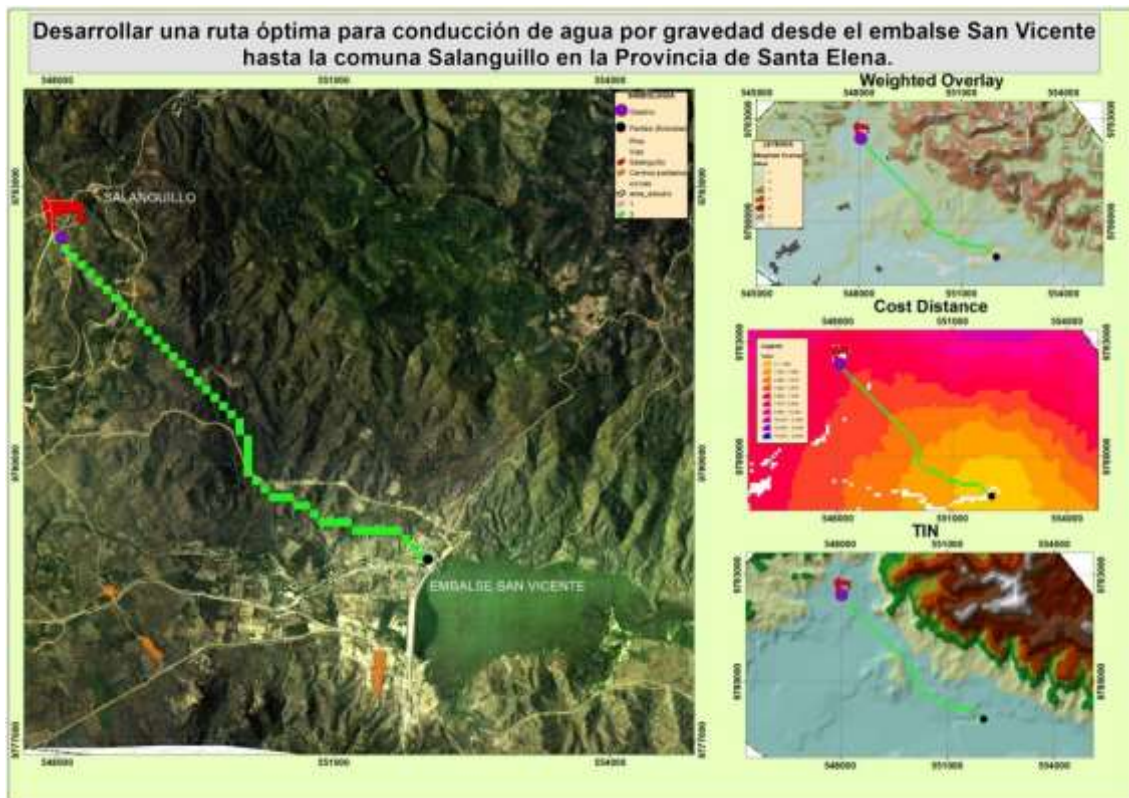
En el estudio se consideraron 19 tipos diferentes de cobertura del suelo, de los cuales cuatro fueron atravesados por la ruta óptima. Vegetación herbácea, maíz, pimiento, y matorrales secos fueron atravesados por las rutas óptimas. Los usos del suelo, como carreteras, centros urbanos y sitios protegidos, no fueron atravesados, ya que contenían una restricción en el análisis.

La ruta óptima presenta una longitud de 5.72 km, desde la zona de captación del embalse san Vicente hasta el punto idóneo del reservorio en la comuna Salanguillo. Se observa en el plano adjunto la ruta óptima desarrollada a través de varias herramientas SIG, se



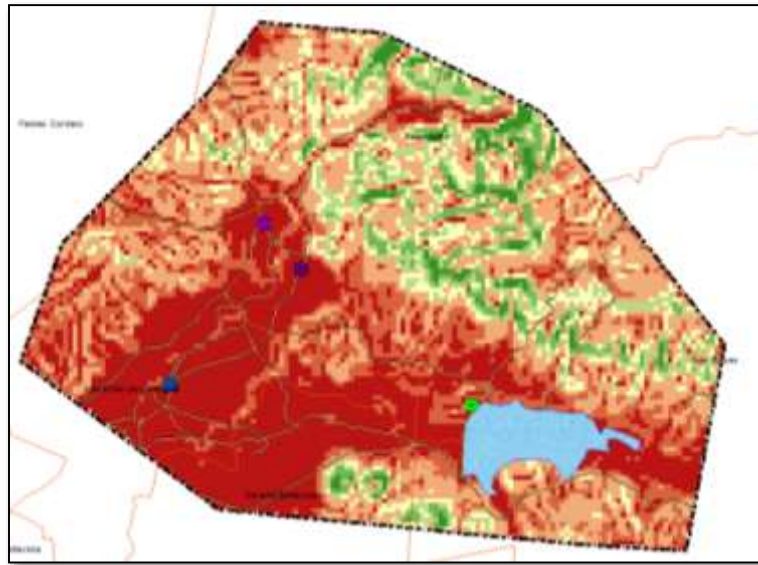
aprecia el trazado de la conducción en color verde, el cual busca las cotas más bajas para llegar a la comuna Salanguillo, se encuentran dentro del plano los productos obtenidos después de aplicar las herramientas de Weighted Overlay y Cost distance, además de un mapa de pendientes para tener una visualización de la topografía del área de estudio.

Figura 4. Potencial ruta óptima



Tal como afirma Bosque y Franco (1996), para un análisis de este tipo (multicriterio y de ruta optima) se debe considerar un conjunto de procedimientos matemáticos que busquen solucionar un problema, en este caso el conocer si se puede transportar agua de un punto a otro, optimizando factores considerados en el análisis.

**Figura 5.** Proceso de Weighted Overlay



Se concuerda con Bagli, S. Geneletti, D. Orsi, F. (2011) en que el análisis de ruta optima es característicamente interesante para el enrutamiento de líneas eléctricas como por el trazado de una tubería, debido a que es un proceso rápido y replicable para otros proyectos, en donde el análisis generalmente se realiza a partir de puntos de inicio y finalización predefinidos.

Yildirim y Tomuralioglu (2001), comparando el trazado tradicional de gas y petróleo con la ruta optima diseñada utilizando sistemas de información geográfica (SIG), demostraron que es un 14% más económico realizarla utilizando herramientas computarizadas, Durante el estudio realizado en Turquía sobre el modelo de optimización para el enrutamiento de tuberías basado en SIG

Si bien es cierto que durante este análisis no se aplicó una zona de amortiguamiento, se comparte el criterio de Ubulu y Williams (2015), quienes mencionan que es importante crear una zona espacial de 200 metros alrededor de los centros urbanos, y en casos como infraestructuras grandes, esta zona de amortiguamiento puede incrementarse.

## **CONCLUSIONES**

En función de la cota inicial y final, se concluye cambiar el punto de destino, a una cota más baja. O cambiar a una conducción impulsada por un grupo de bombeo que permita superar el desnivel topográfico.

Al final de los procedimientos realizados, se puede deducir que no existe una ruta óptima que permita llevar agua a través de una conducción específicamente por gravedad desde el embalse San Vicente hasta la comuna Salanguillo, ya que la cota de salida es la 50, mientras que la cota del punto visualizado como destino es la 60.

Uno de los factores que se debe analizar en estudios similares, es añadir consideraciones de evitar cambios bruscos de dirección ya que en el momento constructivo de este tipo de tuberías de conducción puede causar complicaciones en la obtención de accesorios tipo codos para este tipo de tubería.

Los sistemas de información geográfica permitieron identificar una ruta óptima para trasladar agua desde un punto hasta otro punto por gravedad, analizando el desnivel, además de considerar las coberturas de suelo y factores como la topografía.

#### **LISTA DE REFERENCIAS**

- Aguayo, R (2008). Desarrollo de un sistema de localización de rutas optimas entre dos puntos geográficos. Quito.
- Amponfi, B. (2020). Selection of Optimum Petroleum Pipeline Routes Using A MultiCriteria Decision Analysis and GIS Least-Cost Path.
- Bagli, S. Geneletti, D. Orsi, F. (2011). Routeing of power lines through least-cost path analysis and multicriteria evaluation to minimise environmental impacts.
- Bosque, J. Franco, S. (1996). Modelos de localizacion-asignacion y evaluación multicriterio para la localización de instalaciones no deseables.
- Castro, D. (2012). Clasificación Automática de Unidades de Relieve a partir de Variables Topográficas con fines de Planificación Territorial en la cuenca del Río Napo. Quito, Ecuador.
- Chandio, I. Matori, A. WanYusof, K. Talpur, M. Khahro, S. Mokhtar, M. (2012). Computer Application in Routing of Road using Least-Cost Path Analysis in Hillside Development.
- Gamarra, A (2014). Modelado de idoneidad GIS para respaldar la selección de una ruta de tubería.
- Gia, H. Lyttek, E. Lal, P. Wiczerak, T. Luong, T. (2022). Evaluating loblolly pine bioenergy development potential using AHP integrated weighted overlay and network optimization in Virginia, USA.

- Mitchell, A. (1999). The ESRI guide to GIS analysis. En A. Mitchell, The ESRI guide to GIS analysis. Esri Press.
- Lucas, D. (2014). Estudio de la calidad de agua de la represa San Vicente - Colonche, mediante el uso de índices de calidad de agua (ICA) y macroinvertebrados acuáticos indicadores (MAIA). Santa Elena, Ecuador.
- Ordoñez, P. (2016). Propuesta de metodología Geomática basada en evaluación multicriterio para el trazado de ductos petroleros.
- Santos, M (2017). Participación y Gestión Comunitaria en el uso y aprovechamiento del agua que provee el sistema trasvase Chongón San Vicente al Recinto San Vicente de la Comuna Las Balsas, provincia de Santa Elena.
- Segura, D. (2022). Predimensionamiento de un azud sobre el río Salanguillo, a fin de derivar agua a la comuna Salanguillo provincia de Santa Elena. Ecuador.
- Troya, F. (2014). Determinación de la disponibilidad del recurso hídrico en el área de influencia del plan hidráulico acueducto de santa elena (PHASE) para consumo humano y uso agrícola”. Ecuador.
- Ubulu, D. y Williams, M. (2015). Selección de ruta óptima basada en GIS para oleoductos y gasoductos. Uganda.
- Yildirim, V. Yomralioglu, T. (2011) “NABUCCO pipeline route selection through Turkey comparison of a GIS-based approach to a Traditional route selection approach,” Oil Gas.