

# APLICACIÓN DE UN SIG EN LA LOCALIZACIÓN PRELIMINAR DE POTENCIALES EMPLAZAMIENTOS PARA EMBALSES CON FINES DE RIEGO Y GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA

*Fernando Oñate-Valdivieso, Néstor Ágreda Orellana*

Área de Hidrología UGC-SIG, Universidad Técnica Particular de Loja. Campus San Cayetano, C/. Marcelino Champagnat S/N, 1101608 Loja, Ecuador. [www.fronate.pro.ec](http://www.fronate.pro.ec), [fronate@utpl.edu.ec](mailto:fronate@utpl.edu.ec)

## RESUMEN

En el presente trabajo se emplea un Sistema de Información Geográfica (SIG) para localizar preliminarmente posibles embalses que permitan regular la disponibilidad del recurso hídrico, con fines de riego o de generación eléctrica. Además definimos la ubicación inicial de los embalses según las características topográficas de la zona de estudio. Capas temáticas del uso de suelo, tipo de suelo, geología y asentamientos urbanos fueron elaboradas. Las cuencas aportantes fueron estudiadas hidrológicamente, determinándose el potencial hidroeléctrico y el área regable de cada emplazamiento. Según estos criterios se identifican los embalses con las mejores condiciones para los fines planteados.

**Palabras clave:** Localización de embalses, SIG.

## ABSTRACT

In the present work a Geographic Information System (GIS) is used to preliminarily locate possible reservoirs that could regulate the availability of water resource, with watering or for electric generation ends. We also define the initial location of the reservoirs according to topographical characteristics of the studied area. Thematic layers of soil use, soil type, geology and urban settlements were elaborated. The adding basins were studied hidrologically, being determined the hydroelectric potential and the watering area of each location. According to these approaches the reservoirs with the best conditions for the outlined ends are identified.

**Key words:** Locate reservoirs, GIS

## SOBRE EL AUTOR PRINCIPAL

**Fernando Oñate-Valdivieso:** Es Ingeniero Civil por la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL). Obtuvo su DEA en Cartografía, SIG y Teledetección en la Universidad de Alcalá (España) y actualmente es Doctorando en la misma Universidad. Desde 2000 se desempeña como Docente Investigador en la Universidad Técnica Particular de Loja en el Área de Hidrología de la Unidad de Ingeniería Civil Geología y Minas (UCG) y del Grupo de Sistemas de Información Geográfica. Es miembro de la IEEE Geoscience and Remote Sensing Society y de la Red Latinoamericana de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Ha participado en el Proyecto Mutinacional Andino de la Agencia Canadiense de Cooperación Internacional y en el Proyecto TWINLATIN de la Unión Europea. Ha publicado varios artículos sobre la temática de la Hidrología y las Tecnologías de la Información Geográfica en revistas científicas y congresos internacionales

## INTRODUCCIÓN

La precipitación media anual en el Ecuador es de 2 274 mm. Para 1997 la extracción de agua se estimaba en 16,98 Km<sup>3</sup> de los cuales el 12.3% se dedicaba al uso doméstico, el 5.6 % al industrial y el 82 % restante a los usos agropecuarios (FAO, 2002). Hasta el momento, la alta disponibilidad de recursos hídricos ha evitado la competencia entre sectores productivos. La superficie potencial de riego se estima en 3 136 085 ha, considerando la aptitud de los suelos para el riego y los recursos hídricos disponibles. Si se tienen en cuenta todos los proyectos que en la actualidad se encuentran en fase de prefactibilidad, factibilidad, ejecución y operación en el sector público, así como la superficie puesta en riego en el sector privado, se estima una superficie total regable en un medio y largo plazo de 1 185 000 ha. Concluidas las obras de puesta en riego pendientes en el sector público, se beneficiarían 117 300 familias (FAO, 2002). De los sistemas hidroeléctricos en operación, el 88.32% de la energía proviene de grandes centrales hidroeléctricas, el 9.22% de medianas aprovechamientos; y, el 2.46% de pequeñas centrales (Galárraga, 2001).

En la provincia de Loja, la escasez de agua es cada vez más preocupante ya que en ella se registran niveles de precipitación que son generalmente bajos si se comparan con otras provincias del Ecuador. Anualmente se presenta una precipitación media del orden de 800 mm, que se concentra mayoritariamente en la época lluviosa entre los meses de enero y abril, por lo que es muy limitada la regulación anual del agua disponible. Una alternativa de regulación es la construcción de grandes reservorios o embalses que permitan almacenar el agua de la época lluviosa para su utilización en la temporada seca en la que la demanda de agua es mucho más considerable.

Un embalse puede definirse como un depósito artificial que permite almacenar agua de origen superficial o subterránea, para satisfacer diferentes necesidades (Materon, 1991). Esas necesidades pasan por el almacenamiento de agua para riego, usos domésticos e industriales. Para la generación hidroeléctrica aprovechando la carga hidráulica que el embalse es capaz de producir. Para el control de inundaciones, por su cualidad de atenuar la

creciente de un río. Se han utilizado para la retención de sedimentos, prolongándose de esta manera la vida útil de reservorios principales. Para piscicultura con fines industriales y para el mejoramiento de la ecología vegetal y animal.

Desde el punto de vista técnico, la ubicación de un embalse debe realizarse en el cauce de un río en un lugar que reúna ciertas características imprescindibles para su óptimo funcionamiento. En dicha locación la fuente de abastecimiento debe suministrar el volumen de agua requerido para satisfacer la demanda con una variación estacional poco acentuada. El cauce debe presentar condiciones topográficas que permitan la formación del vaso de almacenamiento luego de la construcción de la presa de cierre. El volumen real de almacenamiento estará supeditado al volumen de transporte de sedimentos que la fuente de abastecimientos esté en capacidad de transportar y de la altura óptima de la estructura de cierre que es escogida en base a criterios técnico económicos. Adicionalmente si se trata de un embalse destinado a proveer agua para consumo humano, riego o usos industriales, el punto de toma debe estar a una distancia económicamente viable de la zona de aprovechamiento. Geológicamente, un embalse debe estar ubicado en zonas que aseguren un volumen mínimo de pérdidas por infiltración.

Ambientalmente, la localización del embalse debe producir el mínimo impacto ambiental negativo, aunque en varios casos, la pérdida de vegetación y la alteración del hábitat de varias especies animales con la construcción de un embalse, es compensado en cierta forma, con la creación de un nuevo ecosistema que posibilita el desarrollo de nuevas especies animales y vegetales en su área de influencia.

En términos sociales, un embalse debe ubicarse de forma tal que afecte en forma mínima los asentamientos y las actividades humanas, debiendo evitar adicionalmente la afectación a zonas con valor histórico y cultural.

Conjugar todos esos criterios para una evaluación preliminar de posibles ubicaciones de embalses puede realizarse mediante la aplicación de un sistema de información geográfica (SIG) que permita estudiar la ocurrencia espacial de cada uno

de los condicionantes y en base a la superposición de los mismos, jerarquizar la viabilidad de las posibles ubicaciones.

En el presente trabajo se pretende localizar de forma preliminar, zonas que reúnan características que las hagan considerables para la construcción de un embalse, conjugando criterios técnicos, ambientales y socioeconómicos mediante un sistema de información geográfica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La provincia de Loja se encuentra ubicada en la región sur del Ecuador entre los 79° 0' y los 80° 30' oeste y entre los 3° 18' y los 4° 40' sur. Es una zona caracterizada por un relieve muy irregular con elevaciones que varían entre los 200 msnm y los 3800 msnm, con pendientes que varían entre los 0 y los 70°. Por su orografía posee pocas zonas que pueden ser aprovechadas con fines de riego, encontrándose las mayores extensiones en el extremo sur occidental de la provincia. Los totales anuales de precipitación varían entre los 2500 mm en la zona centro norte de la provincia (cantones de Paltas y Puyango) hasta los 500 mm anuales en la zona sur occidental (cantones Zapotillo y Macará).

### Localización de potenciales ubicaciones

Se elaboró un modelo digital de elevación (DEM) a partir de cartografía digital del Instituto Geográfico Militar del Ecuador a una escala 1:50 000 con una equidistancia altitudinal entre curvas de 40m. En el DEM generado se localizaron varios puntos en los cuales se producía un estrechamiento no mayor a 100 m de las paredes montañosas que rodean el cauce, y aguas arriba de este posible cierre se producía una ampliación de las mismas. Adoptando una altura media de presa de cierre de 100m se procedió a delimitar el espejo de agua de cada posible embalse y a calcular su correspondiente volumen de almacenamiento. Con el espejo de agua de cada embalse se elaboró una capa temática que luego fue intersecada con capas temáticas de centros poblados, vías, usos de suelo a fin de jerarquizar las posibles ubicaciones en base a su afectación ambiental, social y económica. Con esta primera

jerarquización se procedió a desechar aquellas locaciones que presentaban mayor grado de afectación.

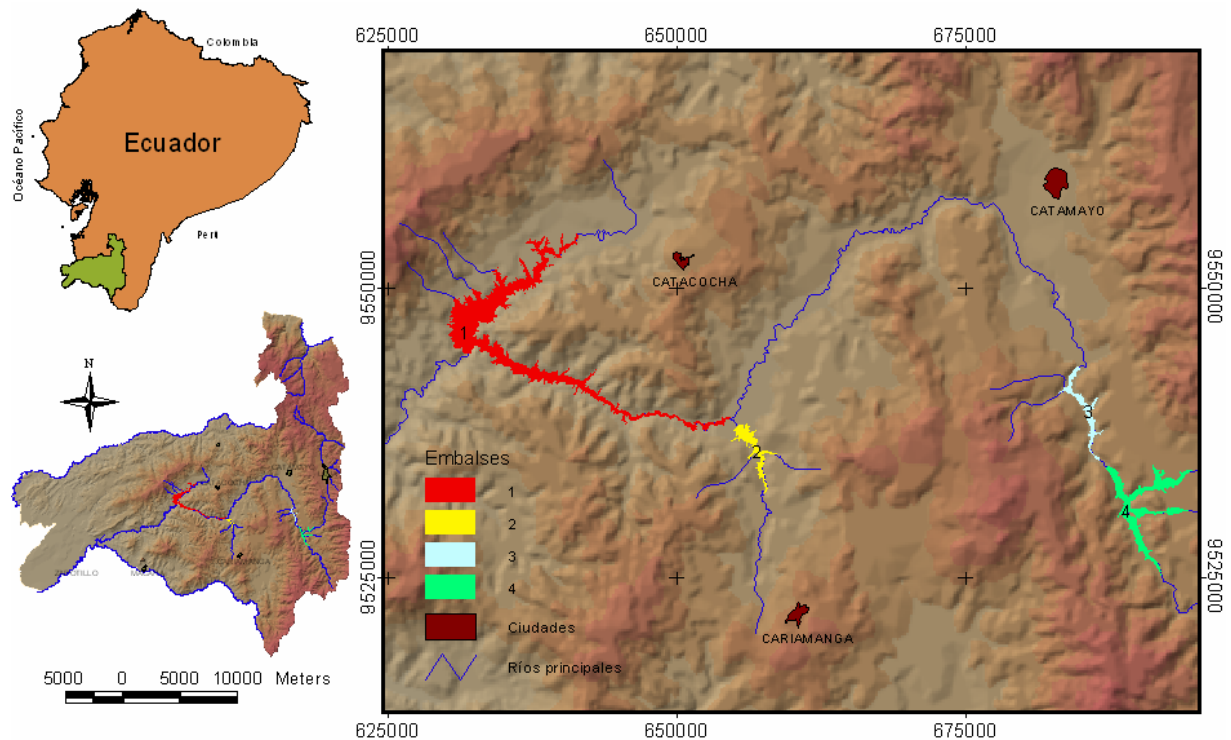
En base a la información geológica obtenida de la cartografía publicada por la Dirección Nacional de Geología (DINAGE, 1970), y la descripción de la misma realizada por Soto y Tamay se realizó un mapa geológico a escala 1:100 000 de la provincia de Loja. Se obtuvo las características geológicas de cada uno de los embalses mediante el cruce de un mapa geológico de la zona de estudio con el mapa temático de los espejos de agua a fin de evaluar las capacidades de infiltración en las zonas de ubicación de los embalses. Combinando la caracterización geológica con la capacidad de almacenamiento se procedió a realizar una nueva discriminación que permitió identificar las ubicaciones que reunían las características requeridas para la ubicación de un embalse. Se estudió hidrológicamente las cuencas aportantes de los embalses seleccionados a fin de determinar la disponibilidad hídrica de las fuentes de abastecimiento y su variación estacional. La generación de caudales en el estudio hidrológico, se realizó en base a una relación entre áreas de las cuencas aportantes ya que se poseía el registro de 30 años de caudales mensuales en las estaciones hidrométricas Puente Boquerón y Santa Rosa cercanas a los posibles puntos de cierre. La relación empleada fue la siguiente:

$$Q_2 = Q_1 \frac{A_2}{A_1} \quad (3)$$

En donde  $Q_2$  es el caudal en el sitio de interés,  $Q_1$  es el caudal en la estación de aforo más próximo al punto de cierre,  $A_2$  es el área de drenaje de la cuenca abortante cerrada hasta el punto de interés y  $A_1$  es el área de drenaje cerrada hasta la estación de aforo.

Adicionalmente se determinó el potencial hidroeléctrico de cada uno de los embalses aplicando la ecuación:

$$Ne = 9.81x\eta_t x \eta_g x Q x H \quad (2)$$



**Figura No. 1 Ubicación de los embalses**

En donde:  $N_e$  es el potencial en Kw.  $\eta_t$  es el rendimiento de la turbina hidráulica (entre 0.75 y 0.90).  $\eta_g$  es el rendimiento del generador eléctrico (entre 0.92 y 0.97)  $Q$  es el caudal turbinable en m<sup>3</sup>/s y  $H$  el desnivel disponible de la presa entre aguas arriba y aguas abajo en metros.

Se determinó las posibles áreas de riego para cada embalse en función de los terrenos que se encuentran aguas abajo de los puntos de toma y que reúnen condiciones de topografía y tipo de suelo suficientes para el desarrollo de la agricultura.

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

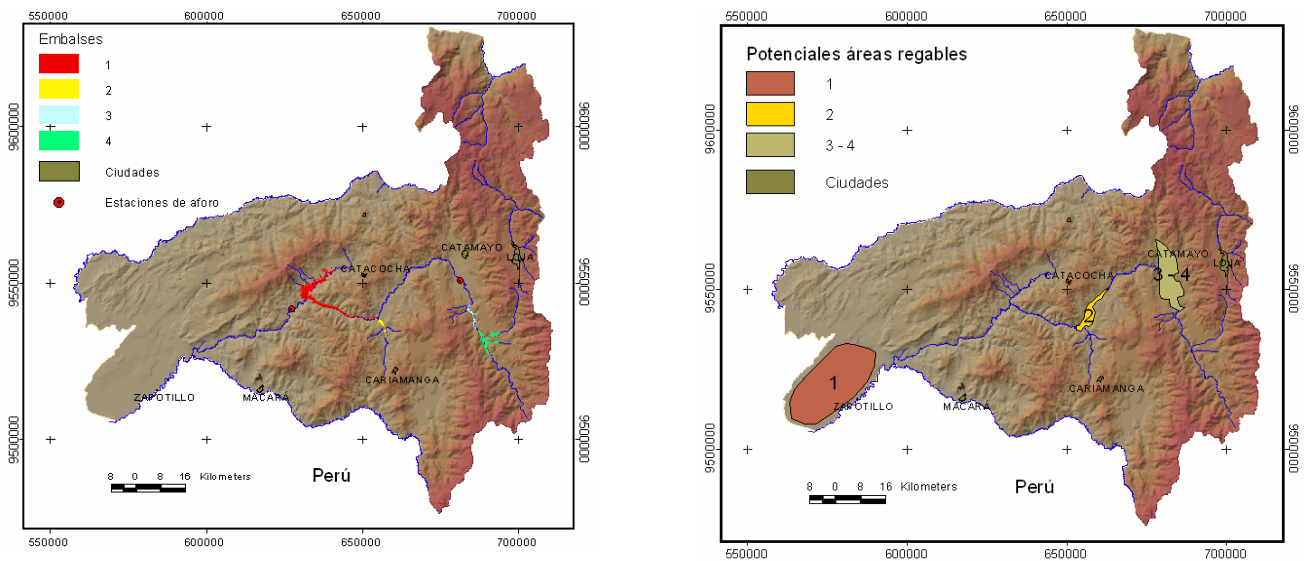
Se identificaron cuatro embalses que reúnen las características necesarias. Su ubicación se presentan en la figura No. 1 y las principales características se resumen en la tabla No. 1.

Puede observarse que el embalse número 1 es el de mayores dimensiones y posee las mejores características geológicas. Su caudal de ingreso es el mayor de los considerados así como el área potencialmente regable. Su principal inconveniente es la distancia a la que se encuentra de las zonas regables ubicadas en la zona sur occidental del área de estudio. El embalse No. 2 posee una menor capacidad, pero se encuentra a muy corta distancia de las áreas regables, lo que hace presumir que un mayor grado de factibilidad. Los embalses No. 3 y 4 se encuentran a corta distancia de las zonas potencialmente regables, como se puede observar en la figura No. 2 y poseen un interesante potencial hidroeléctrico, el que combinado con su ubicación a una distancia relativamente corta de la capital provincial los hace mucho más interesantes para un estudio con un mayor grado de detalle.

Geológicamente los embalses se encuentran sobre zonas relativamente impermeables e incluso las formaciones permeables, de encontrarse con un bajo

**Tabla No.1 resumen de los parámetros obtenidos para los embalses seleccionados.**

Embalse	Volumen (Hm <sup>3</sup> )	Caudal de ingreso P90% (m <sup>3</sup> /s)	Cuenca	Geología Formación/condición	Pot. hidroeléctrico (Kw)	Área regable Ha
1	523.7	29.04	Catamayo	F. Piñón/impermeable Intrusivo/Permeable	21651.062	22000
2	110.0	26.7	Catamayo	Intrusivo/Permeable	15925.16	3000
3	96.0	13.22	Catamayo	Serie Zamora/impermeable F. Purunuma (impermeable)	7885.04	10000
4	447.0	11.28	Catamayo	Serie Zamora/impermeable	8409.9	11000



**Figura No. 2 Estaciones de aforo consideradas y potenciales áreas regables**

grado de alteración poseerían una permeabilidad suficiente que viabilizaría su implementación.

Los caudales disponibles con una probabilidad del 90% en principio permitirían satisfacer las áreas potencialmente regables permitiendo el paso del caudal ecológico que permita las sostenibilidad ambiental de la cuenca.

## CONCLUSIONES

El estudio permitió realizar la localización de 4 potenciales ubicaciones para embalses en el área de estudio. La distancia a las zonas de aprovechamiento es un factor decisivo para la selección de una ubicación óptima. De las ubicaciones obtenidas se considera que los embalses

2, 3 y 4 merecen un estudio a mayor detalle que incluya un prediseño de la obra de cierre que permita evaluar la factibilidad económica de cada uno de ellos. Por tratarse de una zona de frontera deberá incluirse, en un análisis detallado, el estudio de las posibles implicaciones internacionales de la construcción de cada uno de los embalses. Las posibles aplicaciones para generación hidroeléctrica de los embalses 3 y 4 los hacen quizá los más interesantes para fines de un estudio más detallado con fines de aprovechamiento hidroeléctrico.

## **BIBLIOGRAFÍA**

FAO (2002) Perfiles Hídricos por País, El Riego en el Ecuador,  
[www.fao.org/regional/LAmerica/paises/h2o/ecuador.htm](http://www.fao.org/regional/LAmerica/paises/h2o/ecuador.htm)

Galárraga M., (2001). Estado y Gestión de los Recursos Hídricos en el Ecuador, Red Latinoamericana de Recursos Hídricos,

<http://tierra.rediris.es/hidrored/basededatos/docu1.html>

Materón H., (1991), Obras Hidráulicas Rurales, Bogotá, Escuela Colombiana de Ingeniería.

Mapa geológico del Ecuador (1973-1979), Hojas 22, 23, 38, 39, 40, 56, 57, 58, 59, Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Dirección General de Geología y Minas, Quito, IGM

Soto, J., Tamay, J., (2007) Informe geológico, Unidad de Ingeniería Civil y Geología y Minas, UTPL, Loja, Ecuador.