

# Metología para la prospección de agua subterránea utilizando información satelital y datos obtenidos en forma tradicional

Myriam Hernández

*Departamento de Ciencias de los Alimentos y Biotecnología (DECAB)*

myriam.hernandez@epn.edu.ec

## Resumen

**Planteamiento del problema:** Una revisión de la literatura de sensores remotos muestra que se ha hecho muy poco para aplicar esta tecnología en la búsqueda de agua subterránea. El presente trabajo intenta cubrir esta falta mediante el desarrollo de una metodología que procesa información satelital y datos obtenidos en forma tradicional para obtener indicaciones de la posible existencia de reservas de agua subterránea.

La importancia de encontrar estas reservas se entiende por el hecho de que el agua subterránea, que se encuentra normalmente empapando materiales geológicos permeables que constituyen capas o formaciones que se denominan acuíferos, tiene ventajas sobre la superficial pues necesita menos procesos de desinfección y descontaminación para el consumo humano.

**Hipótesis de trabajo:** Es posible desarrollar una metodología que utilice técnicas de teledetección y procesamiento digital de imágenes para alimentar un sistema de información geográfica con el fin de realizar prospección de agua subterránea.

### Metodología:

- Se investigó el uso de información satelital y de otros sensores remotos para procesarla con técnicas especiales en SIG.
- Se desarrolló una metodología para utilizar distintas capas vectoriales de información espacial, utilizar criterios hidrológicos y realizar consultas en bases de datos geo-referenciadas para revelar sitios con mayor posibilidad de presentar cisternas naturales, con la consiguiente probabilidad de presencia de agua subterránea.
- Se planteó la posibilidad de usar los resultados de este trabajo preliminar de investigación en la estructuración de proyectos piloto para la prospección de acuíferos en zonas áridas y semi-áridas del territorio ecuatoriano.

### Resultados alcanzados:

- i) Metodología prospectiva que usa SIG para obtener probabilidad de presencia de agua subterránea usando información obtenida por sensores remotos y métodos tradicionales.
- ii) Perfil de proyecto para aplicación de la mencionada metodología.

**Palabras claves:** teledetección, acuíferos, procesamiento digital de imágenes, agua subterránea, SIG, Sistemas de Información Geográfica.

## Abstract

**The problem:** A review of the literature shows that remote sensing has done little to implement this technology in the search for groundwater. This paper attempts to fill this need by developing a methodology for processing satellite data and data obtained in the traditional way for indications of the possible existence of underground water reserves.

The importance of finding these stocks means that the groundwater, which is usually soaked materials are permeable geological layers or formations called aquifers, has advantages over the surface as it requires less disinfection and decontamination processes for human consumption.

**Working hypothesis:** It is possible to develop a methodology using remote sensing and digital image processing to feed a geographic information system to conduct ground water exploration.

### Methodology:

- To investigate the use of satellite remote sensing and other special techniques for processing in GIS.
- Developed a methodology to use different vector layers of spatial information, using hydrological criteria and query databases to reveal geo-referenced sites with greater prevalence in natural tanks, with the consequent likelihood of the presence of groundwater.

- The possibility of using the results of this preliminary research work in the structuring of pilot projects for groundwater exploration in arid and semi-arid regions of Ecuador.

#### Achievements:

- forecasting methodology that uses GIS for probability of occurrence of groundwater using remote sensing information obtained by classical methods.
- Project Profile for application of that methodology.

**Keywords:** remote sensing, groundwater, digital image processing, groundwater, GIS, Geographical Information Systems.

## 1 Introducción

**Recursos de agua subterránea** El agua subterránea, la parte de todos los recursos hídricos que están debajo de la superficie, constituye más del 95 % de las reservas globales, no heladas de este elemento. Dadas sus vastas reservas y su amplia distribución geográfica, su buena calidad (en general), su resistencia a las fluctuaciones estacionales y a la contaminación, el agua subterránea promete asegurar a las comunidades del planeta, las actuales y las futuras, una provisión segura de este recurso a un costo asequible.

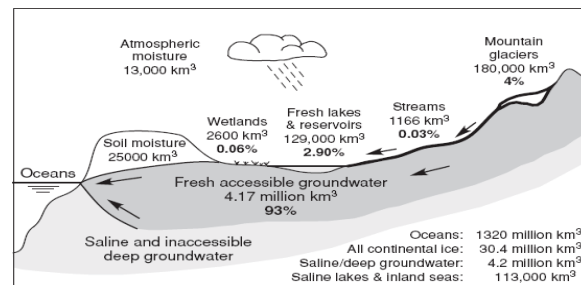
El agua subterránea ha proporcionado grandes beneficios a muchas sociedades en décadas recientes por su uso directo como recurso de agua para beber, para riego agrícola, para desarrollo industrial, e, indirectamente, a través del mantenimiento de los ecosistemas. El desarrollo de las aguas subterráneas, a menudo proporcionan una forma asequible y rápida de alivio a la pobreza y garantizan la seguridad alimentaria. Además, por la comprensión de la naturaleza complementaria de las aguas subterráneas y superficiales, usando estrategias completamente integradas de manejo de los recursos hídricos se puede fomentar un uso eficiente que permita una oferta duradera de este elemento vital.

### 1.1 Recursos de agua en el mundo y en el Ecuador

La superficie total de la tierra es de 510 millones de kilómetros cuadrados, de los cuales 70.8 por ciento en 1960 fue cubierta por los océanos del mundo, 3.4 por ciento por casquetes polares y los glaciares, 0.17 por ciento por los lagos de agua dulce natural, y 0,14 por ciento por naturales lagos salinos (NACE, 1960). La estimación de volumen de agua de casquetes polares y los glaciares de los continentes es de 30.4 millones de  $\text{km}^3$ . El agua dulce de los lagos contiene cerca de  $125.000\text{km}^3$  de agua, lagos salinos y mares interiores y contiene alrededor de  $104.000\text{km}^3$ .

Gran parte de las aguas subterráneas a profundidades mayores a 800m. son económicamente inaccesibles en la actualidad. Por lo tanto, menos del 3 por ciento del suministro de agua dulce del mundo está disponible en los continentes, y sólo poco más del 11 por ciento

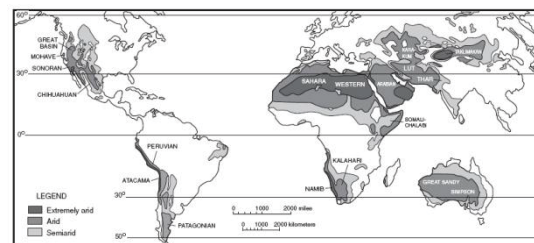
del agua en los continentes, es utilizable o accesible en la actualidad. Además, la renovación anual y la disponibilidad de este relativamente pequeño suministro de agua depende de la precipitación total del vapor de agua en la atmósfera (NACE, 1960). La figura 1 muestra el volumen y el porcentaje de tipos de agua dulce utilizable en los continentes fuera de las regiones polares.



**Figura 1.** Volumen en kilómetros cúbicos y porcentajes de agua dulce disponible en los continentes, fuera de las regiones polares

Aunque las estimaciones anteriores no son completamente precisas, ayudan a definir la magnitud del problema del manejo del agua dulce.

La figura 2 muestra la distribución de las zonas áridas del mundo. Estas zonas en gran parte o totalmente, dependen de los recursos de aguas subterráneas para el riego y el abastecimiento de agua.



**Figura 2.** Distribución de tierras áridas no polares

La Tabla 1 muestra los recursos de agua en el Ecuador de acuerdo a un reporte de la FAO del 2008, se puede observar una subutilización del recurso de agua subterránea.

Tabla 1. Recursos de agua en el Ecuador

Land and Population	Year	Value	Unit
<b>Area</b>			
Country total area	2005	28356	1000 ha
Cultivated area	2005	2562	1000 ha
<b>Population</b>			
Total population	2006	13202	1000
Population density	2006	46.6	inhab/km <sup>2</sup>
Rural population	2006	4712	1000
Total economically active population in agriculture	2006	1177	1000
Renewable Water Resources	Year	Value	Unit
<b>Long-term average annual precipitation</b>			
In depth		2087	mm/year
In volume		592	km <sup>3</sup> /year
<b>Renewable water resources</b>			
Total average annual internal(IRWR)		432	km <sup>3</sup> /year
Total average annual actual external(ERWR)		-7.60	km <sup>3</sup> /year
Total average annual actual (ARWR)		424	km <sup>3</sup> /year
Dependency ratio		0	%
Total actual per capita	2007	32147	m <sup>3</sup> /year
Total dam capacity	1991	7.58	km <sup>3</sup>
Water withdrawal	Year	Value	Unit
<b>By sector</b>			
Agricultural water withdrawal	2000	14.0	km <sup>3</sup>
Municipal water withdrawal	2000	2.12	km <sup>3</sup>
Industrial water withdrawal	2000	0.90	km <sup>3</sup>
Total water withdrawal	2000	17.0	km <sup>3</sup>
Total water withdrawal per capita	2002	1345	km <sup>3</sup>
<b>By source</b>			
Surface water withdrawal		.	km <sup>3</sup>
Groundwater withdrawal		.	km <sup>3</sup>
Total freshwater withdrawal	2000	17.0	km <sup>3</sup>
Desalinated water produced	2000	0.00215	km <sup>3</sup>
Reused treated wastewater	2000	0	km <sup>3</sup>
<b>Freshwater withdrawal</b>			
Total freshwater withdrawal as percentage or ARWR	2002	4.00	%
Agricultural freshwater withdrawal as percentage of ARWR	2002	3.29	%
Irrigation and Drainage	Year	Value	Unit
<b>Area equipped for Irrigation</b>			
Full control Irrigation	1997	863	1000 ha
Surface Irrigation (1997)	863	1000 ha	
Sprinkler Irrigation (1997)	0	1000 ha	
Localized Irrigation (1997)	0	1000 ha	
Equipped lowland areas	1997	0	1000 ha
Spate Irrigation	1997	0	1000 ha
Total area equipped for irrigation	1997	863	1000 ha
As percentage of cultivated area	1997	28.7	%
Actually irrigated	1997	613	1000 ha
Other agricultural water managed area	1997	0	1000 ha
Notes: 1 km <sup>3</sup> = 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> =1000 million m <sup>3</sup> ; 1 hectare=10000 m <sup>2</sup>			

## 1.2 Importancia de la cuantificación de reservas de agua subterránea en cuanto a cantidad y calidad en el Ecuador

Para hacer realidad las inmensas posibilidades que presenta el uso del agua subterránea en beneficio de la humanidad, se necesita un manejo responsable, así como una gestión técnica que tome en cuenta todos los involucrados. Los múltiples aspectos de la sostenibilidad del agua subterránea se abordan en la declaración de Alicante, España, durante el Simposio de sostenibilidad de agua subterránea, International Symposium on Groundwater Sustainability - ISGWAS. La declaración recomienda entre otros puntos que es necesario enfatizar en la necesidad de realizar monitoreo del agua disponible tanto en la superficie como en los acuíferos. Estas recopilaciones constantes de datos deben constituir una parte integral de la definición de estrategias de gestión del agua de tal manera que se puedan adaptar para abordar las condiciones siempre cambiantes en los aspectos socio-económicos, ambientales y climáticos.

El estudio del agua subterránea es importante para la realización de obras de ingeniería, para la ejecución de investigaciones geológicas y muy especialmente para el desarrollo de obras de captación de dicha agua con fines de abastecimiento para satisfacer las necesidades del hombre.

En el Ecuador, en general se presentan problemas de gestión del agua debido a la presencia de muchas instituciones públicas y privadas nacionales, todas ellas trabajan en acciones no necesariamente coordinadas y sin una gestión técnica sistematizada en la que intervengan todos los involucrados. En Ecuador como en todo el mundo, la gestión del agua subterránea debe realizarse con prioridad máxima e incluir temas que van desde su detección hasta su manejo responsable.

## 2 Material y métodos

### 2.1. Introducción

En la investigación del proyecto semilla, luego del análisis de las características de las distintas fuentes de datos y sus costos, se delineó una metodología que combina distintos mapas temáticos obtenidos por imágenes satelitales con imágenes obtenidas por medios tradicionales para delinear zonas con potencial para presentar agua subterránea. Con los resultados de este análisis se sugiere la realización de estudios con radar SAR para determinar con precisión las características subterráneas de las zonas que se califiquen como de alta probabilidad de presentar acuíferos.

Para lograr el acceso a agua de buena calidad, es necesario desarrollar una planificación sistemática de la explotación de agua subterránea usando tecnologías modernas que permiten reducir los costos de prospección de este preciado recurso natural. La metodología que se estructuró extrae información de imágenes satelitales y de mapas realizados con técnicas tradicionales como: re-

sistividad de la tierra para integrarlos en un sistema de información geográfica que defina zonas con alta probabilidad de presentar acuíferos.

Los proyectos pilotos que se pueden planificar con esta metodología incluyen el estudio de áreas en el territorio ecuatoriano que tienen problemas de abastecimiento de agua, como la provincia de Loja. Otras zonas que se podrían beneficiar con la aplicación de esta metodología son áreas con baja precipitación de aguas lluvias: la costa de Manabí, la parte occidental de la provincia de Santa Elena, y algunos sectores de las provincias de Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo, ubicadas en la cuenca alta del río Pastaza.

Como se analiza en la investigación preliminar reportada en el proyecto, la ocurrencia y el movimiento del agua subterránea se gobierna por distintos factores como la topografía, litología, estructuras geológicas, profundidad de meteorización, grado de fracturas, porosidad, condiciones climáticas y la interrelación entre estos factores.

Adicionalmente, parámetros morfométricos de la cuenca de drenaje también desempeñan un papel importante en la evaluación de los de los parámetros hidrológicos, lo que a su vez ayuda a entender la situación de las aguas subterráneas.

En general, los métodos convencionales de exploración tales como la investigación en el campo de resistividad hidrogeológica y geofísica, no siempre toma en cuenta los diversos factores que controlan la ocurrencia y movimiento de las aguas subterráneas. Las regiones o localidades seleccionadas por métodos convencionales no son tan confiables como podrían ser. La teledetección con imágenes satelitales es útil en la búsqueda de zonas con probabilidad de tener acuíferos y proporciona la disposición actual de información básica en geología, formas de la tierra, tipo de suelo, uso de la tierra, cuerpos de agua superficiales, etc. Esto se logra en menos tiempo, en forma más confiable y con costos menores que si se usaran técnicas convencionales. Los datos obtenidos por los satélites proporcionan una herramienta de primera mano para ilustrar las condiciones de la tierra en un momento específico para ayudar a delimitar expresiones superficial y sub-superficial relacionadas con hidromorfología, tectónica (lineamientos, fracturas, juntas, fallas), el uso de la tierra, ocupación del suelo, etc.

Obviamente, las aguas subterráneas no se podrán ver directamente a partir de datos obtenidos por teledetección, de ahí que su presencia será inferida a partir de la identificación de características de la superficie que actúan como un indicador de las aguas subterráneas. Debido a que la delimitación de las zonas que tienen alta probabilidad de presentar agua subterránea se basa en el rol combinado de varios factores, se necesita usar un sistema de información geográfica - SIG. Las zonas prospectivas que se identifiquen guiarán una investigación con otros métodos que incluyen el uso de radar, antes de que se lleve a cabo la perforación para la evaluación cuantitativa exacta y la explotación.

Una vez que esa base de datos de SIG, esté preparada

para todas las clases posibles de perforación, se llevará a cabo la evaluación cuantitativa exacta y la explotación.

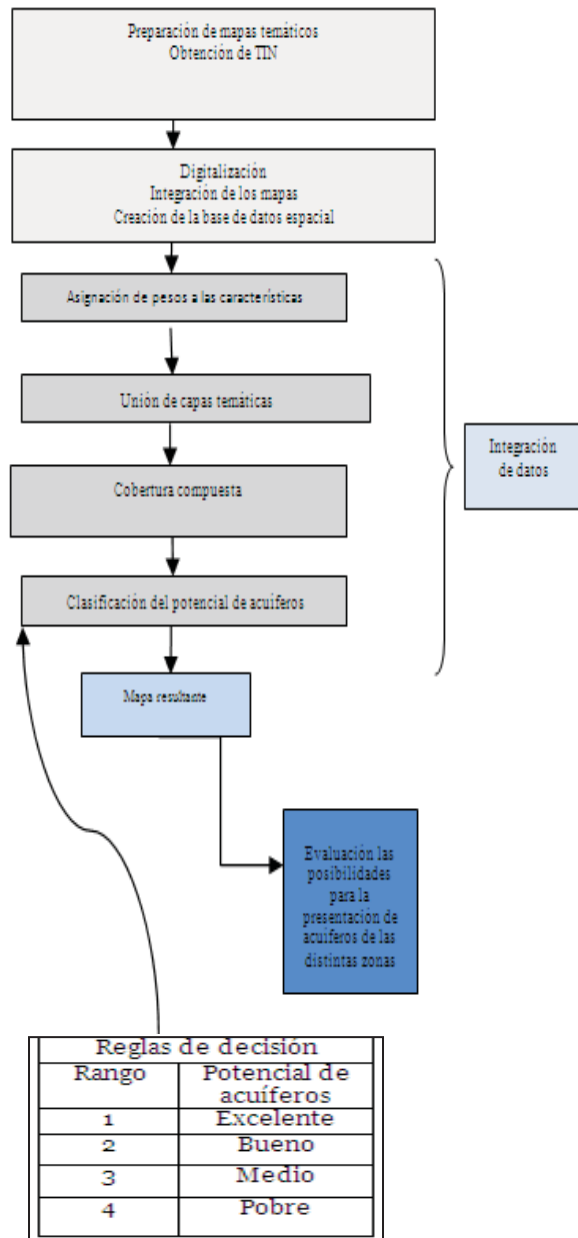


Figura 3. Pasos de la metodología propuesta

## 2.1 Criterios para delinear las zonas con prospectos de agua subterránea

- Generar varios mapas temáticos que tienen relación con la presencia de agua subterránea a través de datos obtenidos con sensores remotos.
- Categorizar las características temáticas basándose en cuánto se relacionan con la presencia de acuíferos.
- Diseñar un modelo SIG basado en la integración de datos con las condiciones lógicas que pueden ser usadas con modificaciones en otras zonas geográficas que tengan características diferentes.

- Obtener las zonas con mayores posibilidades de presencia de acuíferos usando el modelo diseñado en el punto anterior.

Se prepararon mapas temáticos. Estos mapas tienen la información con la que se cuenta para la zona de estudio (actualizados al año 2000). Los mapas que se prepararon son entre otros: forma de la tierra, elevación y cotas, uso de la tierra, cuerpos de agua superficial.

Finalmente se genera un mapa de prospectos de agua subterránea.

En ArcGis se realizó la integración y el análisis de los datos en una base de datos digital. Todos los mapas temáticos tienen formato vectorial y sus valores digitales son editados y etiquetados separadamente. Las características se dividen en polígonos que se califican en categorías de excelente, bueno, moderado y pobre, en términos de su importancia con respecto a la posibilidad de presencia de agua subterránea.

Se asignan pesos a cada característica temática de acuerdo a la incidencia que tenga en las posibilidades de presentar agua subterránea.

## 3 Análisis: Esquemas de clasificación

Luego de que se analice y entienda el comportamiento con respecto a la incidencia de la presencia de agua subterránea de las distintas características consideradas en los mapas temáticos, las diferentes clases se categorizarán en una de las cuatro clases definidas y se asignarán los diferentes pesos.

Un posible criterio de categorización se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Ficha técnica del hidrolizado enzimático de la proteína de chocho

Tema	Base de categorización
Litología	Tipo de roca, características de meteorización, fracturas, cotas, mapa TIN, etc.
Forma de la tierra	Tipo, extensión de área, vegetación asociada.
Tipo de suelo	Permeabilidad, porosidad, textura.
Pendiente	Porcentaje de pendiente.
Uso de la tierra	Estado y condición.
Densidad de drenaje	Valores de densidad de drenaje.

- Como resultado tenemos una tabla completa que contiene los datos de todas las capas de la vista.
- Se puede consultar con SQL para seleccionar posiciones geográficas que contengan valores definidos de pendientes, densidad de drenaje, vertientes y relieves de las cuencas interandinas.



- Dependiendo de los valores que se apliquen de las distintas características tendremos diferentes resultados para la posibilidad de encontrar acuíferos: excelente, bueno, medio, pobre.

## 4 Conclusiones

- Una revisión de la literatura de sensores remotos muestra que se ha hecho muy poco para aplicar esta tecnología en la búsqueda de agua subterránea. El presente trabajo procesa información satelital y datos obtenidos en forma tradicional para obtener indicaciones de la posible existencia de reservas de agua subterránea.
- Se ha comprobado la factibilidad de usar información satelital (LANDSAT) y medios convencionales para definir en una primera instancia las probabilidades de encontrar agua subterránea en un punto determinado. La metodología consiste en la construcción de mapas temáticos: forma de la tierra, elevación y cotas, uso de la tierra, cuerpos de agua superficial, entre otros y combinar sus tablas con el fin de realizar consultas geoespaciales sobre las distintas características y atributos con el objeto de definir su incidencia en la presencia de acuíferos.
- Esta metodología permitirá un primer acercamiento para la ubicación de acuíferos en un territorio de estudio.
- La metodología que se plantea puede ser refinada para categorizar las posibilidades de encontrar acuíferos en distintos sitios. Se plantean a futuro las siguientes ampliaciones:
- Utilizar el cálculo de líneas de drenaje utilizando algoritmos ya desarrollados
- Añadir mapas construidos usando fotografía aérea en el espectro infrarrojo pues algunos estudios demuestran que firmas en el espectro de 8-14 micrones infrarrojo y 13.7-GHz microondas pueden indicar la presencia de agua subterránea en regiones áridas.
- Definir con criterio experto (hidrológico) de los pesos para las características que se aplican en la metodología. Los pesos que se eligen determinan los resultados.
- El enfoque del presente trabajo es prospectivo. Para confirmar la presencia de acuíferos en las zonas que presentan mayores posibilidades, se sugiere la realización de estudios con radar GPR. Este es un método geofísico no destructivo que permite obtener una imagen de lo que se encuentra bajo tierra.
- Esta metodología puede utilizarse en cualquier lugar del que no se disponga información suficiente sobre la presencia de acuíferos.
- Utilizando los resultados del presente proyecto semilla, se recomienda el desarrollo de un proyecto de investigación cuyo objetivo sea realizar la exploración de acuíferos en zonas áridas del territorio ecuatoriano.

## Referencias

- [1] Kim Gyoobum. *Construction of Lineament Density Map with ArcView and Avenue*. ESRI publications.-2004.
- [2] UNEP (United Nations Environment Programme), 2007. *Vital water graphics. An overview of the state of the world's fresh and marine waters*. Disponible en : <http://www.unep.org/dewa/assessments/ecosystems/water/vitalwater/index.htm>.
- [3] [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/factsheets/aquastat\\_fact\\_sheet\\_ecu.pdf](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/factsheets/aquastat_fact_sheet_ecu.pdf)
- [4] <http://aguas.igme.es/igme/ISGWAS>
- [5] *Hydro geological factors: their association and relationship with seasonal water-table fluctuation in the composite hardrock Rovelli terrain*, India. Bhuiyan. Environment Earth Science Journal. 2009.
- [6] Meimeh Basin, Isfahan. *Integrating GIS and DSS for identification of suitable areas for artificial recharge, case study, Iran*. 1998.
- [7] Meimeh Basin, Isfahan. *Integrating GIS and DSS for identification of suitable areas for artificial recharge, case study Iran*. Environmental Geology. 1992.
- [8] Tamil Nadu. *Hydrogeomorphological studies in the Trichirappalli environs, India using Remote Sensing technology*. <http://www.gisdevelopment.net/application/nrm/water/overview/wato011.htm>. 1997.
- [9] *Use of Remote Sensing in Ground Water Modeling*. <http://www.gisdevelopment.net/application/nrm/water/ground/mi03022pf.htm>. 1991.
- [10] Kim Gyoobum. *Construction of Lineament Density Map with ArcView and Avenue*. ESRI publications. 2004.