

# Factores que influyen en la implementación de una red de estaciones meteorológicas para desarrollo hidroeléctrico en la cuenca del Río Cahabón, Alta Verapaz, Guatemala

Adriana Aguirre<sup>1</sup>; Luis Rodrigoandrés Morales<sup>2</sup>; Carlos Rodrigo Pacheco<sup>3</sup>; Estuardo Villatoro<sup>4</sup> & Margarita María Vizcaino<sup>5</sup>.

Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle de Guatemala

<sup>1</sup>agu11364@uvg.edu.gt; <sup>2</sup>mor10298@uvg.edu.gt; <sup>3</sup>pac11147@uvg.edu.gt; <sup>4</sup>vil11149@uvg.edu.gt; <sup>5</sup>viz11526@uvg.edu.gt.

**RESUMEN:** Para la toma de decisiones de cualquier proyecto es necesaria la evaluación inicial de la zona donde se desee instalar. Bajo esta premisa y la teoría que fundamenta la gestión integrada de recursos hídricos se evaluó la cuenca del río Cahabón en Alta Verapaz, Guatemala con el objetivo de identificar la posibilidad de implementar una red de estaciones meteorológicas para el desarrollo hidroeléctrico en la zona. Se realizó un análisis de la situación actual referente a sus características geomorfológicas, mediante modelos de elevación, además de características hidrológicas y la cobertura de las estaciones meteorológicas existentes. Debido a su importancia e influencia sobre el uso del recurso hídrico, se evaluó la situación de uso de suelo, cobertura forestal y características socioculturales de la población. Además, se identificaron los principios de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) para su posible aplicación en el área. Finalmente, se realizaron recomendaciones sobre la ubicación de estaciones meteorológicas de acuerdo a la cobertura actual y sobre los requerimientos para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos en el país.

**PALABRAS CLAVE:** Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Modelo Digital de Elevación. Estaciones meteorológicas. Factores sociales. Cuenca del río Cahabón.

**Influential factors in the implementation of a network of weather stations for hydroelectric development in the basin of the Cahabón River, Alta Verapaz, Guatemala**

**ABSTRACT:** A project needs an initial assessment of the area where it will take place for decision-making. Under this statement and based on the theory behind integrated water resources

management, the Cahabón River basin in Alta Verapaz, Guatemala, was considered to identify the feasibility of installing a network of weather stations for hydroelectric development in the area. The current situation of the basin was analyzed based on its geomorphologic characteristics, through digital elevation models, also its hydrological characteristics and the present coverage of existing weather and hydrometric stations. Land use, forest area and sociocultural factors were evaluated because of their importance and influence over the use of water resources. Furthermore, the principles of integrated water resources management were identified for their possible application in the area... Finally, a set of recommendations was made for new locations for weather stations based on the current coverage.

**KEYWORDS:** Integrated Water Resources Management. Digital Elevation Model. Weather stations. Social factors. Cahabón River basin.

## Introducción

Con la declaración de Dublín en 1992, se establecieron 4 principios básicos en los cuales se debe basar toda regulación que se haga para el manejo del recurso hídrico. En estos principios se ejemplifican realidades como la vulnerabilidad que tiene el agua ante las diversas problemáticas que afronta, el papel que tiene el agua para la vida, el valor social y económico que tiene el recurso hídrico, la limitada cantidad de agua disponible en el mundo lo que lo hace un recurso finito y que las soluciones deben incluir la participación de diversos grupos de la sociedad. La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) nace a partir de dichos principios (WMO, s/f).

El manejo integral de cuencas considera a todos los componentes que interactúan en el sistema. Estos comprenden elementos tanto abióticos como bióticos, por lo que se deben considerar ecosistemas, seres vivos, actividades y características físicas de la cuenca para la toma de decisiones. Elementos abióticos tales como el clima, geología y geografía determinan las limitaciones dentro de la cuenca para que se den las interacciones mencionadas (Faustino, 1996). Por ello, el manejo de recursos dentro de la unidad implica el conocimiento de características de los mismos, su estado y disponibilidad. En el caso de las características climáticas e hídricas, la implementación de estaciones, según lo que se desea estudiar, ha sido uno de los métodos más funcionales para la recolección de datos; en donde para el estudio de la información captada de las mismas es considerable solo si éstas cubren un área de influencia ideal por estación de 10 km<sup>2</sup> (INSIVUMEH, 2015). En la actualidad, la tecnología es una herramienta esencial para la recolección de dicha información.

Las características climáticas e hidrológicas dentro de una cuenca se pueden determinar mediante la medición de las distintas variables por medio de instrumentos y sensores que se pueden obtener de diferentes tipos de estaciones, que en este caso, aplica hacer uso de las estaciones meteorológicas, hidrométricas e hidrológicas, ya que son capaces de recolectar datos útiles para analizar el comportamiento de dichas variables en el tiempo. Es importante contar con un registro de datos abundantes para poder hacer varios análisis. Según el proyecto, dichos instrumentos se deben instalar como un conjunto dentro de una estación, la cual se clasifica según su uso (INDE, 2015). Es decir, se debe conocer la finalidad del proyecto para asignar las variables y observaciones a realizar y así instalar los instrumentos adecuados. Las estaciones pueden ser del tipo meteorológicas, hidrométricas e hidrológicas, de carácter privado o público. También es importante conocer el tipo, función y parámetros bajo las cuales son instaladas en base a las necesidades y a la normativa internacional.

En la recolección de datos e información, como en otros tipos de análisis, la importancia del uso de tecnologías para facilitar la realización de tareas repetitivas en diversos ámbitos, tales como la geografía e hidrología, se ha percibido con mayor frecuencia en los últimos años. El uso de técnicas como los modelos digitales de elevación (MDE), para conocer las características físicas de la superficie terrestre, permite ahorrar tiempo y recursos al analizar proyectos (INEGI, s/f). Los MDE son representaciones visuales de los valores de altura del terreno con respecto al nivel del mar. Estos permiten presentar en forma de relieve los elementos y objetos que conforman el mismo. Poseen una amplia gama de aplicaciones relacionadas al uso y manejo de recursos naturales, entre los cuales se encuentran: mejorar y facilitar la planeación y diseño de carreteras e infraestructura, realizar cálculos de perfiles de un terreno y movimiento de tierras. Además, permite el monitoreo de cuencas de drenaje, flujos hidrológicos, simulación de cuencas hidrológicas y monitoreo de inundaciones (INEGI, s/f). Mediante plugins y programas geoespaciales se pueden obtener datos del área representada, lo que permite la extracción de distintos tipos de

información, con lo que se genera valor agregado por los distintos usos que se le pueden dar a un mismo archivo digital (geoparalinux, 2014).

Para el estudio de los elementos bióticos dentro de una cuenca, algunos parámetros para comprender a la cuenca como sistema incluyen al uso de suelo y cobertura forestal, pues representa la interacción de las actividades humanas con los ecosistemas naturales de una zona y cómo las primeras las han modificado en el tiempo. El uso de suelo y la cobertura forestal tienen implicaciones sobre la disponibilidad y calidad de agua al influir en los procesos de escorrentía e infiltración (Faustino, 1996).

Resalta en la gestión integral de recursos hídricos el análisis social de las poblaciones dentro de una cuenca como herramienta indispensable para la toma de decisiones de cualquier tipo de proyecto. Un análisis social incluye la investigación demográfica que a su vez presenta la población del lugar, densidad poblacional, mortalidad, distribución de la población por sexo, edad y área rural o urbana. Además, se deben considerar índices de calidad de vida e índice de desarrollo humano, para complementar los estudios socioeconómicos. Las características sociales de un área pueden o no influir en la generación de conflictividad. Por ejemplo, la conflictividad provocada por la construcción de hidroeléctricas es un tema de suma importancia, ya que puede hacer fracasar un proyecto y llevar a pérdidas materiales o incluso humanas.

## Materiales y Métodos

### MODELOS Digitales de Elevación

Se delimitó y describió la cuenca del río Cahabón a través del uso de un Modelo Digital de Elevación (MDE), utilizando un programa de manejo de información geoespacial (GIS), QGIS. Junto con el sistema de coordenadas guatemalteco (GTM) y el levantamiento de las curvas de nivel a partir de las hojas cartográficas del IGN (2009), se analizó la cuenca de manera digital y se comparó con el método tradicional determinando la validez del uso de un MDE.

El método tradicional de delimitación consiste en trazar una línea siguiendo los puntos más altos de las divisorias que se encuentran alrededor de la cuenca. Para tener una idea de los puntos que se encuentran alrededor es importante contar con la posición del sistema hídrico y las ramificaciones de la cuenca que se vaya a estudiar. La línea de delimitación no podrá ser trazada a forma que se intersecte con ríos ni cuerpos de agua (Monsalve, 1999).

### USO de suelo y cobertura forestal

Para el análisis de cobertura forestal y uso de suelo de la cuenca del río Cahabón, en Alta Verapaz, se basó en los informes de dinámica forestal para las décadas de 1990 y 2000 y las respectivas capas vectoriales para su análisis en el programa QGIS. Además, se extrajo de las capas vectoriales nacionales

publicadas por INAB-CONAP (2015) y GIMBOT (2014) la información respectiva a la cobertura forestal del año 2012 y uso de suelo del mismo año para la cuenca de estudio. Lo anterior se complementó con información en relación a biodiversidad, actividades humanas y problemas medioambientales de la zona, así como literatura en referencia a mejores prácticas de agricultura, clasificación y planificación de uso de tierra, y los efectos de las actividades humanas en las cuencas.

## FACTORES sociales

La investigación se realizó en base a informes, artículos, tesis, libros y material escrito. Se utilizaron los censos nacionales de 1994 y 2002 para calcular la tasa de crecimiento poblacional por municipio y con esto se realizó una proyección de población para el año 2020. Además, se presentan las generalidades de los conflictos y métodos para solucionarlos e incluir a la población en los proyectos. El cálculo de la tasa de crecimiento poblacional se llevó a cabo por medio del Método Geométrico. La tasa de crecimiento poblacional por el método geométrico se obtuvo por medio de la siguiente ecuación:

$$R = \left( \frac{P_f}{P_0} \right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

Donde  $P_f$  es la población final,  $P_0$  la población inicial,  $n$  el número de años entre las poblaciones inicial y final.

## ESTACIONES meteorológicas e hidrométricas

Se obtuvo información de diferentes entidades que trabajan de manera pública como el INSIVUMEH e INDE, y otras privadas como ANACAFE y CEAB-UVG para conocer la ubicación de la mayoría de las estaciones que ellos manejan. Al saber la ubicación de estaciones que manejan las distintas entidades se describió la red de estaciones que existe en el país, pero especialmente en la zona de la cuenca del Río Cahabón. Se realizó un análisis de la cobertura con la que cuentan las estaciones de cada una de las organizaciones y al mismo tiempo de la red que forman todas juntas. Con esto se conoce el área de influencia de cada una de ellas, es decir, la cobertura que generan para que la medición de datos sea válida. Según el INSIVUMEH (2015), el área de influencia ideal por estación es de 10 km<sup>2</sup>. Esto depende también de las condiciones y parámetros de instalación, las cuales están normadas por la Organización Meteorológica Mundial.

Al conocer la ubicación de estaciones existentes, las variables que miden y su área de influencia se observaron las áreas sin cobertura, lo cual impide realizar un análisis completo de toda la cuenca. Por esto mismo se recomendó nuevas ubicaciones para futuras estaciones en base a las curvas de nivel de la zona, que fuesen capaces de tomar datos de diferentes lugares de la cuenca para generar un estudio más completo.

## GIRH enfocada al desarrollo hidroeléctrico

Se recopiló información teórica de diversos aspectos relacionados a la gestión del agua, así como sobre la situación actual del líquido en Guatemala (obtención, tratamiento, reutilización y problemas), de otros recursos naturales y regulaciones pertinentes. Se investigaron también una serie de casos donde se han implementado planes de GIRH en otros países, los cuales sirven de modelo para nuestro entorno. Se menciona la influencia y papel de las corporaciones municipales dentro del manejo del agua, así como el avance que se tiene en materia legal sobre el recurso hídrico y su enfoque en otros países latinoamericanos. Se describe la situación actual de la cuenca del río Cahabón y los planes de acción en ella. Finalmente, se define la GIRH y su aplicación en el desarrollo hidroeléctrico.

## Resultados

### ANÁLISIS de la cuenca del río Cahabón

#### *Modelos Digitales de Elevación*

Mediante el plugin GRASS, r.watershed, se realizó un análisis de la cuenca con base en el modelo digital de elevación. Con ello se generaron los siguientes mapas con información detallada en el software QGIS, para la cuenca del río Cahabón (ver Ilustraciones 1 y 2):

- Mapa raster de cuencas / subcuencas. Mapa de dirección de drenaje. Mapa de segmentos de corriente.
- Mapa de acumulación.

Además, se obtuvo resultados de área, perímetro, longitud, coeficientes de compacidad-forma, y densidad de drenaje para la cuenca de estudio delimitada a partir de curvas de nivel del modelo de elevaciones generado (ver Cuadro 1).

#### *Uso de suelo y cobertura forestal*

En Alta Verapaz y dentro de la cuenca del río Cahabón, la agricultura corresponde al mayor uso de suelo, con 31% y 41% de sus áreas respectivas. Al considerar todos los tipos de bosque, la cuenca del río Cahabón presentaba al año 2012 una cobertura forestal del 32%, equivalente a 84,140 hectáreas (INAB-CONAP, 2015). Entre los años de 1991 a 2010, el ritmo de pérdidas anuales de bosque han ido en aumento, sin embargo también lo ha hecho las ganancias de cobertura forestal, tanto para la cuenca como para el departamento de Alta Verapaz (Regalado et. al, 2012).

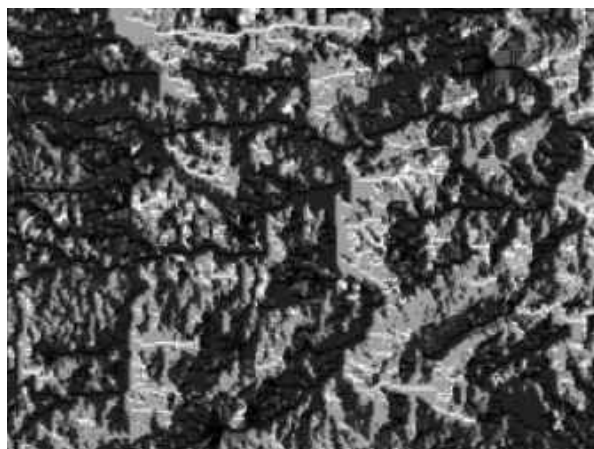
#### *Factores sociales*

A partir del estudio demográfico dentro de los municipios de la cuenca del río Cahabón se estimó que la población al año 2020 alcanzará las 1,545,904 personas a una tasa promedio de crecimiento del 4.5%. Se proyectó que la densidad poblacional



**Ilustración 1.** Ejemplo de mapa de salida plugin r.watershed que representa la delimitación sugerida de subcuencas dentro del MDE utilizado.

Fuente: Elaborado con MDE obtenido de hojas cartográficas IGN, 2009



**Ilustración 2.** Ejemplo de mapa de salida plugin r.watershed que representa la dirección sugerida del paso de los ríos, encontrados en el MDE utilizado.

Fuente: Elaborado con MDE obtenido de hojas cartográficas IGN, 2009

**Cuadro 1.** Comparación de características morfológicas de la cuenca del río Cahabón (IGN, 2009).

| Datos obtenidos            | Método Tradicional       | MDE                      |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Área                       | 2630 km <sup>2</sup>     | 2563.83 km <sup>2</sup>  |
| Perímetro                  | 364.88 km                | 391.76 km                |
| Longitud de la cuenca      | 97.662 km                | 97.495 km                |
| Coefficiente de compacidad | 2                        | 2.18                     |
| Coefficiente de forma      | 0.275                    | 0.27                     |
| Densidad de drenaje        | 0.076 km/km <sup>2</sup> | 0.078 km/km <sup>2</sup> |

en la zona llegará a las 362 personas/km<sup>2</sup>. Se determinó que la etnia predominante es la Q'eqchi' y que en promedio la población indígena es del 93% de los habitantes de la cuenca (SEGEPLAN, 2011). De toda la población, 77% habita las zonas rurales y a nivel de los municipios se estimó un índice de desarrollo humano del 0.506 en promedio (PNUD, 2009).

### **Estaciones meteorológicas e hidrométricas**

Con la información de las distintas entidades se determinó que existe mayor cantidad de estaciones meteorológicas que hidrométricas o hidrológicas debido a la mayor versatilidad en cuanto a instrumentos y las variables que miden. La mayoría de estaciones meteorológicas miden 7 variables principales: temperatura, evaporación, intemperie, evaporación a sombra, humedad relativa, velocidad del viento, insolación y lluvia. Además, se clasifican según la cantidad y complejidad de los instrumentos, ya que si no se requiere de un estudio tan detallado se hace uso de instrumentos más sencillos. Según esto se clasifican por tipo A, B, C o D, en donde una tipo A es la más completa con instrumentos de alta calidad y la D cuenta con una cantidad de instrumentos considerables y más sencillos (SENAMHI, 2015).

Al observar únicamente el área de la cuenca del Río Cahabón, se ve que no se cuenta con la cantidad suficiente para cubrir un área de 2,625.65 km<sup>2</sup>. Según el área de influencia ideal, se requiere al menos 25 estaciones para recolectar información representativa de toda la zona. Actualmente se cuenta únicamente con un total de 12 estaciones dentro de la cuenca por lo que se recomiendan 15 ubicaciones nuevas en base a la topografía e hidrología de la zona, para contar con una red de 27 estaciones. Con esta cantidad se analizó la cobertura que tendrían con áreas de influencia de 10 y 5 km<sup>2</sup>.

### **GIRH enfocada al desarrollo hidroeléctrico.**

Se determinó que el proceso de planeación de la GIRH es aplicable a proyectos de desarrollo hidroeléctrico siempre que se tenga un plan de acción en el cual se incluya las necesidades tanto de los desarrolladores del proyecto, como las de poblaciones que utilizan hoy en día los ríos donde se implementarán los proyectos. En este proceso la participación de las partes es sumamente importante. La evaluación de los programas y de los cambios debe ser realizada por una entidad ajena. La implementación de estos debe realizarse de manera gradual y esperar los resultados a largo plazo.



## Discusión de resultados y conclusiones

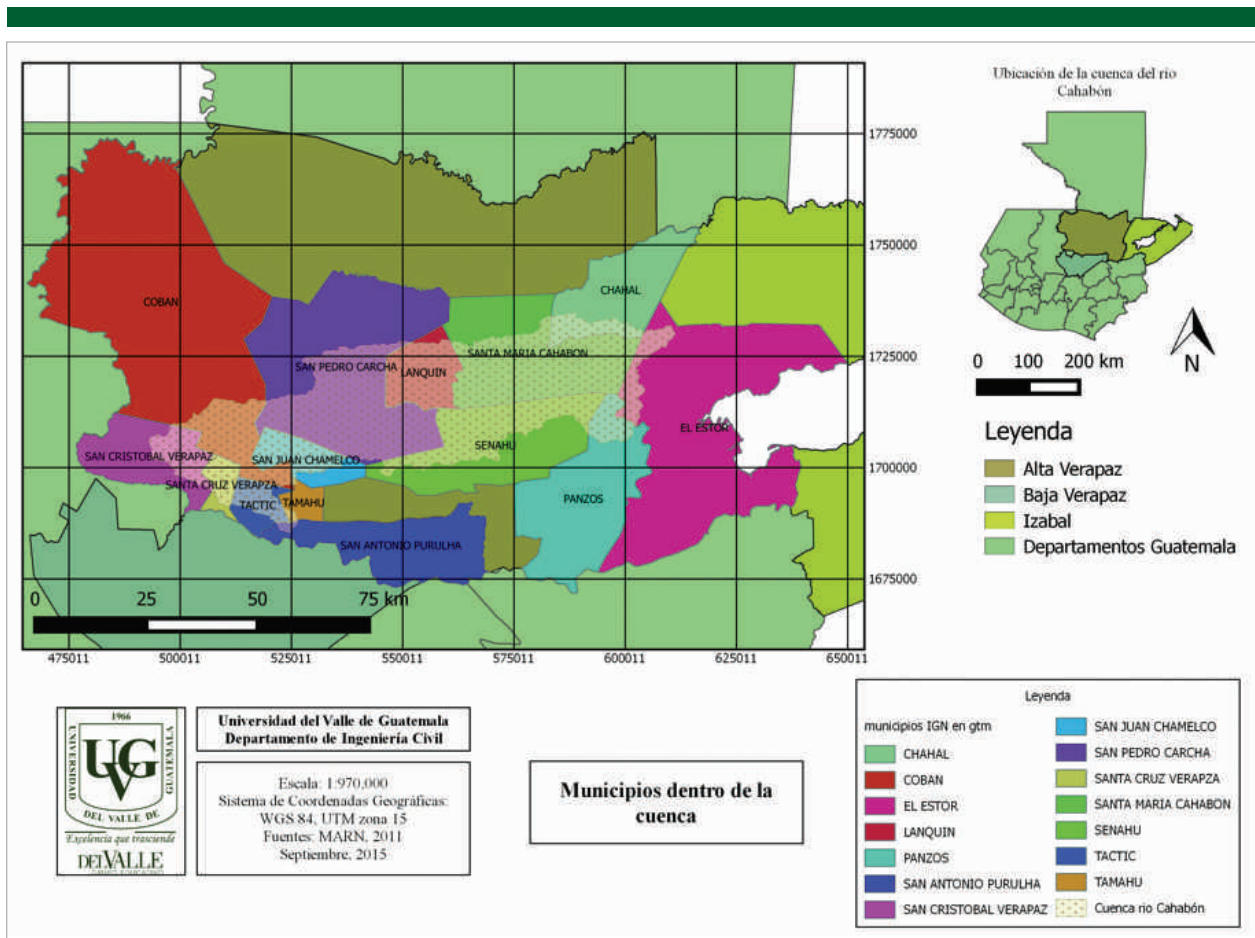
Para el análisis de la cuenca del río Cahabón, los datos de los mapas obtenidos a través del uso de un MDE presentan resultados similares a los obtenidos a través de los métodos tradicionales para analizar cuencas (ver Cuadro 1). Sin embargo, el tiempo para obtener información se redujo al utilizar un MDE. Además, por sus múltiples aplicaciones lo vuelven una herramienta útil para el análisis de cuencas. El uso del método tradicional, MDE y el programa QGIS hicieron posible el análisis de la cobertura de las estaciones existentes, el desarrollo de la cobertura forestal en la zona y los cambios de uso de suelo debidos a la actividad humana generada en la zona.

Las estaciones existentes dentro de la cuenca del río Cahabón son insuficientes para la recolección de datos climáticos e hidrológicos que se puedan considerar representativos. Para la medición de parámetros climáticos, con una red de 27 estaciones meteorológicas se puede tener una cobertura casi completa de la zona de la cuenca del Río Cahabón. A pesar que no se cubre por completo, se puede decir que es suficiente para iniciar a realizar una mejor recolección de datos. Al analizar las estaciones recomendadas con un área de influencia crítica de 5 km<sup>2</sup> (ver

Mapa 3) también cubre gran parte de la cuenca, haciendo que se consideren puntos importantes de la misma.

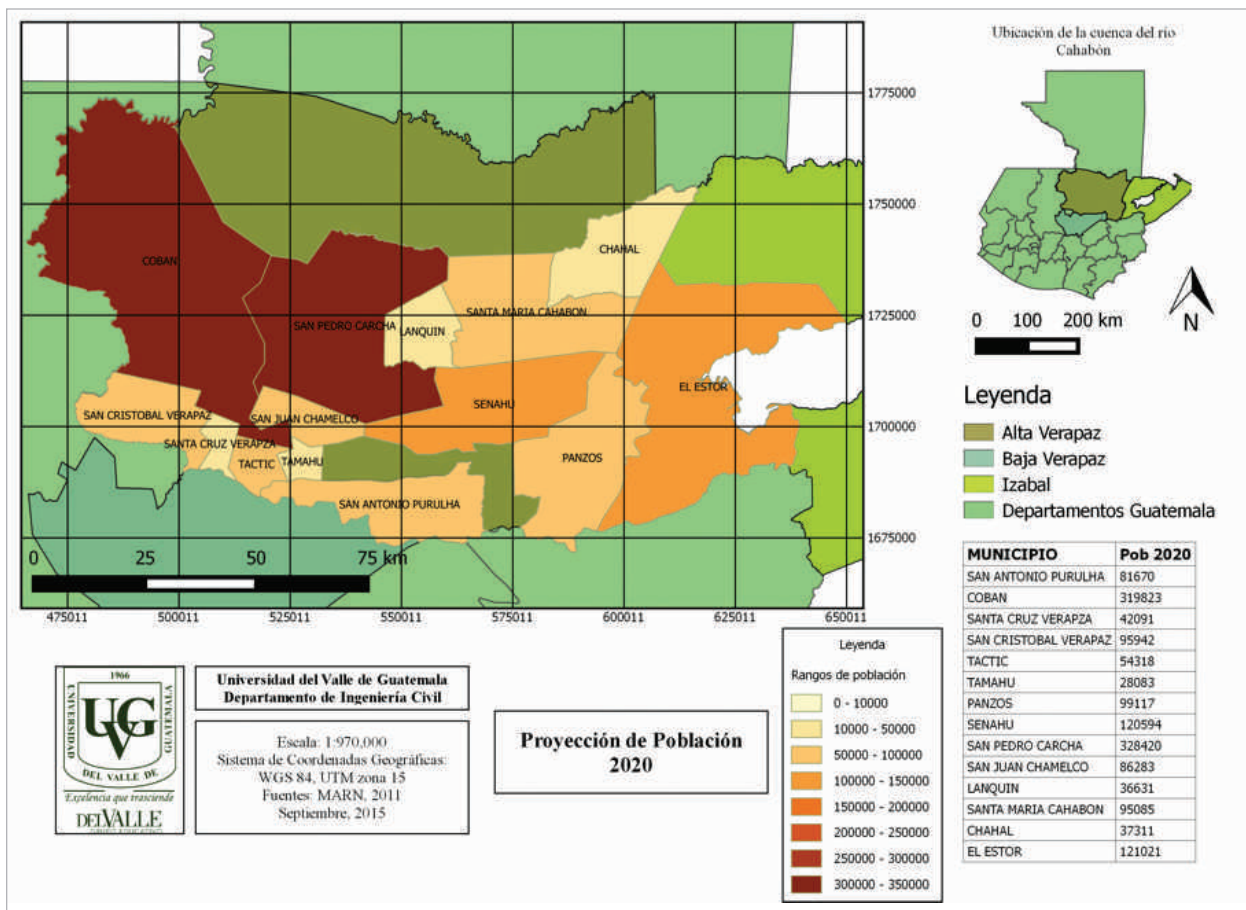
El tipo de estación que se adapta mejor para el tipo de estudio requerido son estaciones meteorológicas, ya que son de las más utilizadas debido a su convencionalidad. Para estudiar el comportamiento del Río Cahabón se puede hacer uso de una estación de este tipo que cuente con instrumentos como: pluviómetro, pluviógrafo, termómetro, termógrafo, evaporímetro piché, higrógrafo, anemómetro, heliógrafo, actinógrafo, barómetro y limnómetro. Una clasificación tipo B con un método de recolección de datos convencional se adapta a las necesidades, ya que mide una cantidad completa de variables. En dichas estaciones se debe medir: precipitación, temperatura, evaporación, humedad relativa, velocidad del viento, insolación, radiación solar, presión atmosférica y caudal; ya que son factores que más pueden influenciar en el comportamiento que puede llegar a tener una hidroeléctrica.

Se determinó que la cuenca del río Cahabón alberga a los principales centro urbanos de Alta Verapaz, por lo tanto a la mayor parte de la actividad económica del departamento. Esto se afirma en que el 78% de la población de Alta Verapaz habita en los municipios que pertenecen a la cuenca del río Cahabón (INE, 2003) (ver Mapas 1 y 2). Además se ve reflejado en el



Fuente: Elaborado con información de Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2011.

Mapa 1. Municipios que forman parte de la cuenca del río Cahabón.



Fuente: Elaborado con información de Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2011.

Mapa 2. Proyección de población para 2020.

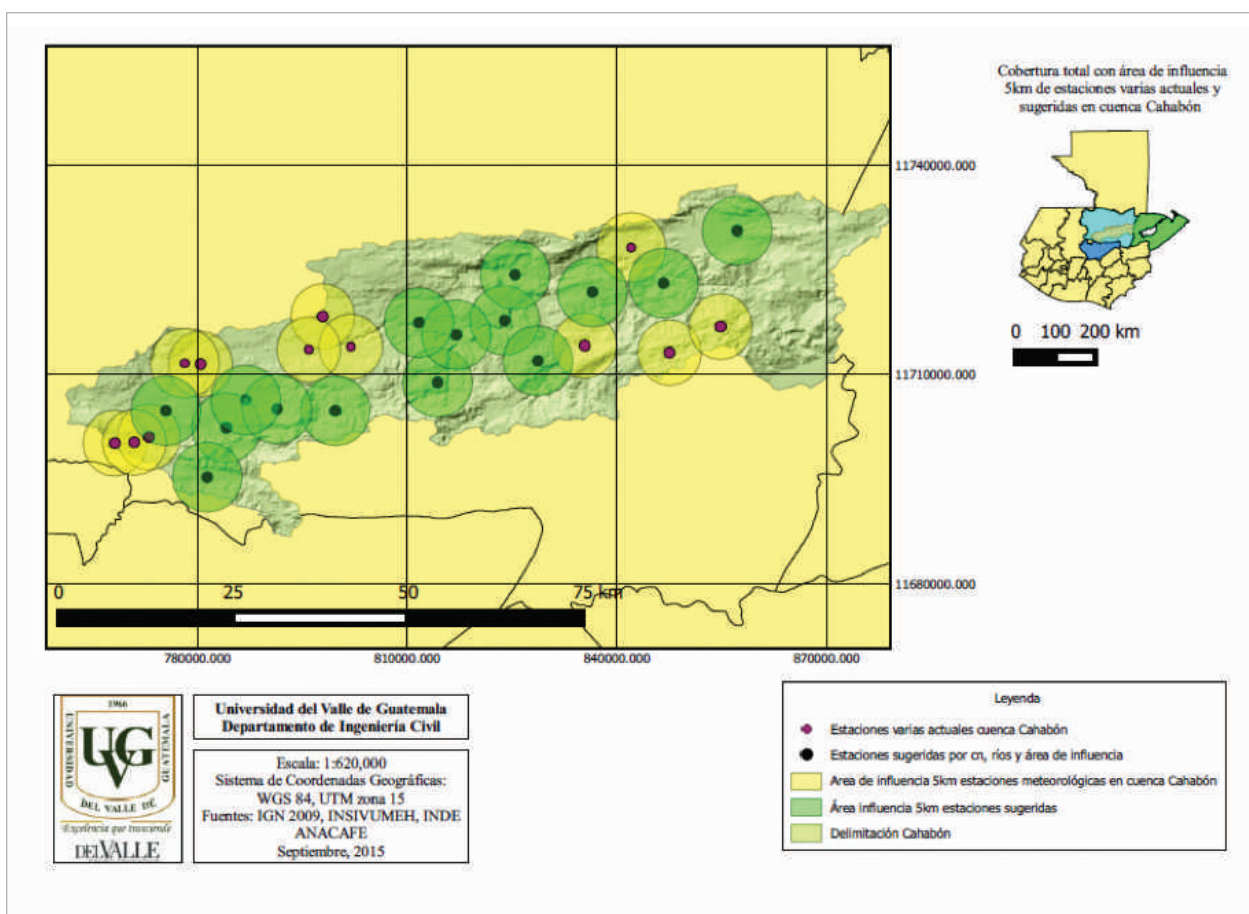
área destinada a la agricultura dentro del territorio. Esa actividad ha ejercido presión sobre los ecosistemas existentes, expuesto en la reducción de la cobertura forestal. Sin embargo, debido a esfuerzos de reforestación y conservación, se ha observado una tendencia al balance entre pérdidas y ganancias de cobertura forestal dentro de la cuenca, mientras que en el departamento ya se han alcanzado ganancias netas de cobertura forestal. Sin embargo, estos hallazgos se limitan al año 2012, correspondiente a los últimos análisis de cobertura forestal y uso de suelo a nivel nacional para dicho año, pero publicados en 2015 y 2014 respectivamente.

Es factible la implementación de medidas para hacer una gestión integral del agua junto con el desarrollo hidroeléctrico y generar las pautas para ello, en base a la comprensión de los posibles problemas. El presente proyecto no comprueba la viabilidad de estas pautas en Guatemala, por lo que se proponen alternativas de acuerdo a lo que ha sido útil en otras regiones. Con ello no se pretendió generar una guía para la implementación de la GIRH en el desarrollo hidroeléctrico. Uno de los obstáculos encontrados en la literatura para la implementación de medidas encaminadas al GIRH para proyectos hidroeléctricos es la existencia de resistencia ciudadana y particularmente de los pueblos indígenas hacia la forma en que se han gestionado y

desarrollado los proyectos hidroeléctricos. Perciben que los proyectos se han realizado de manera excluyente y no han sido contemplados en el marco normativo. Sin embargo, el rechazo no es en sí a los proyectos hidroeléctricos (Chojolan, 2011). Por ello la importancia de la participación de las partes involucradas en cualquier proyecto.

## Bibliografía

- Brenes A., Saborío V. (1995) *Elementos de climatología. Su aplicación didáctica a Costa Rica* EUNED, Costa Rica.
- Cap-Net; Global Water Partnership Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2005) *Planes de Gestión Integrada del Recurso Hídrico: Manual de Capacitación y Guía Operacional* Publicaciones Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional.
- Chojolan C (2011) *Desafíos en el Desarrollo de Proyectos Hidroeléctricos en Guatemala* Guatemala: Asociación de Generadores de Energía Renovable.
- Dourojeanni A., Jouravlev A. (2002) *Evolución de las políticas hídricas en América Latina y el Caribe* Santiago de Chile: Publicación de las Naciones Unidas.
- Echeverría J (2003) *Hacia una Gestión Integrada de los Recursos Hídricos: estudio de caso de la Cuenca del Lago Arenal En: G.W. Partnership, Estudio de Caso: Gestión Integrada del Recurso Hídrico en Centro América* pp. 93-106, San José: Masterlitho, S.A.



Fuente: Elaborado con información de INSIVUMEH, 2015; INDE, 2015; ANACAFE, 2015 e IGN, 2009.

**Mapa 3.** Área de influencia crítica para estaciones actuales y sugeridas.

Faustino, J. (1996) *Gestión ambiental para el manejo de cuencas municipales* Turrialba, Costa Rica, Unidad Técnica de Manejo de cuencas hidrográficas, Área de Cuencas y Sistemas Agroforestales, Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza, Cartago, pp. 3-8.

Gabinete Específico del Agua (2011) *Política nacional del Agua de Guatemala y su Estrategia* Guatemala.

Geoparalinux (2014) *Generar um MDE a partir de curvas de nivel no QGIS* <https://www.youtube.com/watch?v=VLBHd68R4gE&feature=youtu.be>. Recuperado el 12 de marzo de 2015.

GIMBOT (2014) *Mapa de bosques y uso de la tierra 2012 y Mapa de cambios en uso de la tierra 2001-2010 para estimación de emisiones de gases de efecto invernadero* Ciudad de Guatemala: Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra. Documento informativo.

Global Water Partnership-Central America (2003) *Estudio de Caso: Gestión Integrada del Recurso Hídrico en Centro América*. (Y. Astorga, Ed.) San José: Masterlitho S.A.

Global Water Partnership International Network of basin Organizations (2009) *Manual para la gestión integrada de recursos hídricos en cuencas* París: Publicaciones de GWP e INBO.

INAB-CONAP (2015) *Mapa de cobertura forestal por tipo y subtipo de bosque para la República de Guatemala, 2012 Informe Técnico*. Ciudad de Guatemala: Instituto Nacional de Bosques, Consejo Nacional de Áreas Protegidas.

INDE (2015) *Instituto Nacional de Electrificación*, 2013 <http://www.inde.gob.gt/>. Extraído el 06 de septiembre de 2015.

INEGI (s/f) *Modelos Digitales de Elevación (MDE)-Descripción. Para qué sirven los Modelos Digitales de Elevación y quién los puede utilizar* <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx>. Recuperado el 24 de mayo de 2015.

INSIVUMEH (2015) *Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología* Guatemala. <http://www.insivumeh.gob.gt/>. Extraído el 05 de febrero de 2015.

Instituto Nacional de Estadística (2003) *Características de la población y de los locales de habitación censados* Guatemala: UNFPA.

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2011) *Plan estratégico para el manejo sostenible de la subcuenca del río Cahabón* Guatemala: Magna Terra Editores.

Monsalve G. (1999) *Hidrología en la ingeniería* 2da Edición, Alfaomega, Ed.

Colombia Montipedia (n.d.) *Glosario de Montaña y geografía from Humedal*: <http://www.montipedia.com/diccionario/humedal/>. Recuperado el 9 de julio de 2015.

PNUD (2011) *Cifras del desarrollo humano para Alta Verapaz* Guatemala: Naciones Unidas para el Desarrollo.

Regalado O. et al. (2012) *Mapa de cobertura forestal de Guatemala 2010 y dinámica de la cobertura forestal 2006-2010* Ciudad de Guatemala: Instituto Nacional de Bosques, Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Universidad del Valle de Guatemala, Universidad Rafael Landívar.

SEGEPLAN (2011) *Plan de desarrollo departamental de Alta Verapaz* Guatemala: Consejo de Desarrollo Departamental de Alta Verapaz.

- SENAMHI (2015) *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología* Ministerio de medio ambiente y agua. Clasificación de las estaciones meteorológicas e hidrológicas. La Paz, Bolivia.
- [http://www.senamhi.gob.bo/sige/listado\\_estaciones\\_municipios/Clasificacion\\_de\\_estaciones\\_meteorologicas\\_e\\_hidrologicas%20.pdf](http://www.senamhi.gob.bo/sige/listado_estaciones_municipios/Clasificacion_de_estaciones_meteorologicas_e_hidrologicas%20.pdf). Recuperado el 5 de septiembre de 2015.
- Sutuc M., Robles V. (2009) *Hojas Cartográficas de la República de Guatemala, Escala 1:50,000 Ciudad de Guatemala, Instituto Geográfico Nacional "Instituto Alfredo Obiols Gómez"*.
- Università Degli Studi Di Trento (s/f) *Exercises Watershed analysis* [http://www.ing.unitn.it/~grass/docs/tutorial\\_62\\_en/htdocs/esercitazione/dtm/dtm4.html](http://www.ing.unitn.it/~grass/docs/tutorial_62_en/htdocs/esercitazione/dtm/dtm4.html). Recuperado el 5 de septiembre de 2015.
- World Meteorological Organization (WMO) (2013) *Guide to meteorological instruments and methods of observation* WMO-No. 8.
- World Meteorological Organization (WMO) (s,f) *Declaración de Dublín sobre agua y el desarrollo sostenible*. <http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/documents/espanol/icwedecs.html>. Recuperado el 05 de febrero de 2015.

## Bibliografía de consulta

- Abdo J. et al (2015) *Factores que influyen en la implementación de una red de estaciones meteorológicas para desarrollo hidroeléctrico en la cuenca del río Cahabón, Alta Verapaz, Guatemala*. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad del Valle de Guatemala. Megaproyecto.