

## **ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA HÍDRICO PARA EVALUAR POTENCIALES APLICACIONES DE ENERGÍA SOLAR EN EL CHACO SALTEÑO.**

**E. López<sup>1</sup>, S. Belmonte<sup>2</sup>, J. Franco<sup>3</sup>**

Instituto de Investigación en Energías No Convencionales (INENCO)  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) – Universidad Nacional de Salta  
Avda. Bolivia 5150 – CP 4400 – Salta  
Tel. 0387 - 4255579- E-mail: [emigem@ yahoo.com.ar](mailto:emigem@ yahoo.com.ar); [silvina\\_belmonte@ yahoo.com.ar](mailto:silvina_belmonte@ yahoo.com.ar)

*Recibido 25/08/13, Aceptado 13/09/13*

**RESUMEN:** Se presenta el desarrollo de un Sistema de Información Geográfica como potencial herramienta para la toma de decisiones que permitan mejorar el acceso al recurso hídrico en la región chaqueña de Salta. El proyecto marco se orienta a definir potenciales áreas prioritarias para la aplicación de tecnologías solares de desalinización de agua. El sistema ofrece la posibilidad de visualizar, consultar y evaluar espacialmente el acceso al agua para consumo humano y la calidad del recurso. La metodología aplicada se basa en la recopilación, sistematización, procesamiento y análisis de información secundaria en un SIG. En la elaboración del mismo se incluyen datos facilitados por entidades provinciales y nacionales vinculadas al estudio y la gestión de los recursos hídricos como así también estadísticas poblacionales y educativas. Entre los resultados obtenidos se destacan la estructuración e integración de información de base y específica en el SIG, y una evaluación general de las fuentes de abastecimiento de agua y contenido salino del agua. El trabajo destaca la importancia de integrar información actualizada y evaluada espacialmente en un único sistema, y la necesidad de promover la coordinación y articulación interinstitucional, para avanzar en la planificación y la gestión del recurso hídrico dentro de la región.

**PALABRAS CLAVES:** SIG, recurso hídrico, destiladores solares, Chaco salteño.

### **INTRODUCCIÓN**

El trabajo presentado se enmarca en los proyectos de investigación PIP N° 00708(2012-2014): “Desarrollo de tecnología solar de desalinización de agua con alta producción para la mejora de condiciones de vida y sistemas productivos”, y proyecto CIUNSA N°2019/3: “Desalinización de agua para mejorar las condiciones de vida usando energía solar”. A partir de estos proyectos se pretende contribuir a la mejora ambiental, social y productiva de los hábitats rurales de Salta a través del desarrollo tecnológico de la desalinización solar masiva de agua y su transferencia. Hasta ahora el desarrollo de tecnologías de desalinización solar en la región ha sido a pequeña escala, destacándose su uso familiar o escolar en áreas rurales. En este caso, se plantea estudiar la combinación de sistemas de concentración solar con los de destilación para obtener una producción masiva de agua. El desarrollo de esta tecnología permitiría cubrir una demanda de mayor escala a nivel de pequeñas comunidades dispersas, centros poblados y/o usos productivos.

En particular en la zona del Chaco salteño, la problemática del agua se encuentra en una situación delicada. El acceso al recurso hídrico es limitado, encontrándose muchos poblados, parajes y puestos aislados con dificultades en cuanto a infraestructura, disponibilidad y/o calidad en el acceso al agua. En este sentido, uno de los principales problemas de la zona, es la presencia en exceso de sales en el agua, lo que en la mayoría de los casos la vuelve no recomendable para el consumo humano. Para el caso del Sistema Acuífero Toba, que se extiende desde el piedemonte subandino hacia la Llanura Chaqueña, existe gran heterogeneidad en la calidad físico-química y en la productividad del agua. Las principales limitantes son los sulfatos y el arsénico, éste último especialmente en el abanico del Río Juramento (Auge et al., 2006).

Diversas alternativas son aplicadas en la zona del Chaco salteño para solucionar este problema, desde el desplazamiento de los propios pobladores a localidades distantes en búsqueda de agua segura para el consumo y/o la asistencia periódica municipal con camiones cisterna, hasta la realización de pozos de agua de gran profundidad (a 200m). Si bien esta última estrategia resulta la más eficiente para resolver de raíz el problema y en los últimos años se han realizado inversiones millonarias para la excavación de nuevos pozos profundos, el alcance de la intervención continúa siendo puntual y limitado. Esto se debe tanto a los elevadísimos costos de inversión que implica esta opción tecnológica, como a la extensión de la zona, densidad y distribución poblacional, lo que dificulta una cobertura completa del área. Por otra parte la radiación solar es elevada en la región, por lo que considerar equipos de desalinización solar resulta una alternativa válida para obtener agua potable.

---

<sup>1</sup> Investigador IBIGEO e IRNED. Universidad Nacional de Salta.

<sup>2</sup> Investigador asistente CONICET. INENCO.

<sup>3</sup> Investigador adjunto CONICET. INENCO.

La necesidad de enfocar los esfuerzos de investigación y extensión en la región del Chaco salteño para resolver el tema del acceso al agua fue detectada en terreno a partir de una consultoría realizada por el INENCO (MR Consultores, 2010-Proyecto "Apoyo al Desarrollo de la Energía Solar Térmica para la Provincia de Salta") de la cual participaron algunos integrantes de los proyectos PIP y CIUNSA que enmarcan este trabajo.

Las propuestas de investigación citadas anteriormente se orientan precisamente en el estudio de alternativas tecnológicas de destiladores solares, a partir del diseño y construcción de prototipos, análisis experimental y apoyo de modelos computacionales. Pero además de esto y superando una visión 'tecnicista' del desarrollo tecnológico, pretenden innovar en el abordaje del proceso complejo que implica la adecuación socio-técnica de las tecnologías (Thomas, 2009; Garrido, Lalouf y Thomas, 2012) y el enfoque territorial en su vinculación a las energías renovables (Belmonte, 2009; Belmonte et al., 2011). En este sentido, proponen avanzar en el desarrollo de metodologías para la evaluación de los recursos disponibles (solar e hídrico), el análisis de la demanda social, de los factores económicos y de los aspectos ambientales vinculados a la potencial transferencia social de estas tecnologías. Experiencias anteriores de transferencias tecnológicas (en general, y de destiladores solares en particular) indican que no siempre la apropiación es exitosa, aunque sí lo sea el desarrollo de la tecnología (probada y eficiente). De ahí la importancia de incluir en los diagnósticos y proyectos, el análisis de las cuestiones sociales, ambientales y político-institucionales que interactúan y condicionan la adecuación real en el territorio de las tecnologías de innovación.

En esta primera etapa, el Sistema de Información Geográfica (SIG) hídrico elaborado se orienta a la evaluación del recurso en cuanto a situación actual en fuentes de abastecimiento y calidad del agua en el Chaco salteño. Esta información será integrada en instancias posteriores de la investigación con relevamientos a campo, consultas a referentes sociales, análisis económicos y de externalidades ambientales, evaluación de infraestructura existente, modelado geoestadístico de variables críticas, entre otros estudios complementarios.

### **Potencialidad de los SIG para la evaluación del recurso hídrico**

Las aplicaciones y potencialidades de un SIG pueden resultar tan múltiples y diversas, como las cuestiones territoriales variadas y complejas. El trabajo con SIG permite al investigador plantearse diferentes escenarios virtuales de un área a través de la elaboración y análisis de capas temáticas, constituyéndose en una herramienta permanente de análisis para la toma de decisiones. En términos generales, un SIG permite: integrar la información disponible en un único sistema organizado, interactivo y georreferenciado -las variables y unidades de estudio referidas a un sistema de posicionamiento espacial-; generar información nueva a través del desarrollo de modelos instrumentales espaciales; visualizar y gestionar eficientemente la información generada (Belmonte, 2009).

Un Sistema de Información Geográfica puede definirse conceptualmente como *“un sistema de hardware, software y procedimientos diseñado para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelización y presentación de los datos referenciados espacialmente para la resolución de problemas complejos de planificación y gestión.”* (National Center for Geographic Information and Analysis – NCGIA-, 1990 en Núñez y García Bes, 2000).

En la evaluación del recurso hídrico para el caso de estudio, los SIG se convierten en una herramienta eficaz para abordar los siguientes desafíos:

- Adquirir, seleccionar, organizar y presentar información<sup>4</sup> de base socio – ambiental y específica del recurso agua para el Chaco salteño. En este sentido se potencia su capacidad para sistematizar información que se encuentra dispersa en diversos organismos públicos de investigación y gestión.
- Relacionar datos espaciales y no espaciales, integrando diversidad de variables, unidades de medida y formatos de registro (por ejemplo, vinculación de bases de datos detalladas a entidades espaciales georeferenciadas: análisis de laboratorio de muestras de agua de pozos, estadísticas poblacionales y educativas, etc.).
- Aplicar y desarrollar modelos instrumentales para la integración, análisis y transformación de los datos (entre otros: interpolaciones y cruce de información socio-ambiental, evaluación de salinidad, modelado digital de agua subterránea, identificación de la demanda, definición de áreas críticas, alternativas y prioridades de intervención).
- Recuperar información de manera integral y temática para el análisis de la situación actual y la evaluación de escenarios. Este análisis puede orientarse a la toma de decisiones para la mejora en el acceso al recurso hídrico y a la potencial transferencia de tecnologías.
- Permitir la revisión y actualización permanente de la información y de los modelos generados, a los fines de asistir en procesos dinámicos de planificación y gestión territorial.

### **Antecedentes**

Existen antecedentes internacionales en relación al desarrollo de SIG como sistemas de soporte para la toma de decisiones relacionados al tema de energías renovables. El uso de SIG se plantea principalmente como herramienta de análisis espacial

---

<sup>4</sup> En este punto es necesario plantear una diferenciación respecto de los términos datos e información. Se entiende por Dato un conjunto de números o símbolos no estructurados que vienen dados en bruto y sin dirigir y por Información a los datos dotados de estructura y finalidad (Moreno y Mata, 1992 en Moreno Jiménez et al., 2001). Por lo tanto es posible generar diferente información a partir de los mismos datos, pero no es factible reconstruir los datos a partir de información ya procesada. No obstante, se aclara que en este trabajo ambos términos fueron utilizados indistintamente.

asociada a la evaluación de los recursos renovables y al desarrollo de procesos de planificación energética, destacándose experiencias en España (Amador y Domínguez, 2005), India (Ramachandra y Shruthi, 2007; Ramachandra, 2009), Grecia (Voivontas et al., 1998) y Colombia (Quijano Hurtado y Domínguez Bravo, 2008), entre otros. En relación al estudio de potenciales fuentes de energía y su combinación con desarrollos tecnológicos, se destacan aplicaciones enfocadas en sistemas solares fotovoltaicos (CIEMAT, 2013); granjas eólicas (Ramírez Rosado et al., 2008); y algunos análisis combinados para múltiples fuentes -sistemas fotovoltaicos, de biomasa y eólicos- (en Brasil, Tiba et al., 2010; en Croacia, Schneider, et al. 2007). A nivel país, entre los principales antecedentes de trabajo con SIG y energías renovables se pueden citar: el atlas de radiación solar para Argentina (Grossi Gallegos y R. Righini, 2007) y la elaboración del SIG eólico nacional (<http://www.eeolica.com.ar/>). En el nivel local y regional, se destacan experiencias anteriores de trabajo con SIG y evaluación multicriterio para el Valle de Lerma –Salta-, basadas en un enfoque territorial para la evaluación de energías renovables (Belmonte et al. 2006; Belmonte, et al. 2008; Belmonte et al., 2009). Por otra parte, el uso de SIG para la evaluación de los recursos hídricos cuenta con numerosos antecedentes a nivel internacional, nacional, regional y local en múltiples aplicaciones ( manejo de cuencas, modelado hidrológico, calidad agua, etc.).

No obstante la diversidad de trabajos y aplicaciones con SIG tanto para el abordaje de las cuestiones energéticas como de las problemáticas hídricas, aún ha sido poco explorada la capacidad de interacción entre las variables energéticas, ambientales y sociales en sistemas integrales para la toma de decisiones. En particular, para la promoción de tecnologías de desalinización solar constituye un desafío en ambos sentidos, por un lado en la identificación de áreas prioritarias de actuación para la implementación de estas tecnologías, y por otro en el desarrollo de las potenciales alternativas tecnológicas como respuesta eficiente y adecuada a demandas territoriales concretas y condiciones reales de contexto.

Como antecedente específico de SIG para desalinización de agua se puede citar el sistema REDES, desarrollado para Grecia en 1996 por Alexopoulou, S. (Domínguez Bravo, 2002). Si bien, fue desarrollado para evaluar tecnologías de desalinización de agua de mar, presenta similitudes en cuanto al enfoque integral adoptado en el proyecto del Chaco salteño y la elaboración del SIG hídrico a escala local. El proyecto REDES incluyó las siguientes etapas: evaluación de las necesidades de agua según su uso, evaluación de los recursos de energías renovables, determinación de los recursos disponibles de agua de mar o salobre y evaluación de los métodos de desalinización y de las posibilidades de las energías renovables. Para el desarrollo del proyecto se elaboró un SIG que incorporaba información sobre las necesidades de agua, su disponibilidad, los recursos energéticos existentes, la experiencia en desalinización, etc. La información así almacenada constituye la base para el desarrollo de un sistema de soporte de decisiones que selecciona la opción más apropiada de desalinización con energías renovables, suministrando agua para varios usos. El sistema posee también un conjunto de datos que le permite cuantificar los impactos ambientales, sociales e institucionales de cada aplicación examinada, y considera además restricciones económicas y financieras (Domínguez Bravo, op cit). Si bien el presente artículo presenta la elaboración del SIG hídrico del Chaco salteño en una primera etapa de implementación, las referencias resultan válidas para contextualizar el alcance esperado de la propuesta.

## **OBJETIVOS**

El presente trabajo plantea:

- Elaborar un Sistema de Información Geográfica que permita evaluar la situación del recurso hídrico y potenciales aplicaciones de desalinización solar en el Chaco salteño.
- Disponer de información georreferenciada acerca de la disponibilidad y calidad del recurso hídrico en la región.

Como objetivos específicos se destacan:

- Diseñar la estructura del SIG y definir las principales fuentes de información.
- Recopilar y digitalizar la información de base y específica de interés para el estudio.
- Incorporar y vincular los datos en un sistema único e interactivo.
- Desarrollar mapas temáticos y modelos digitales para el análisis de las fuentes de abastecimiento de agua actuales y las principales características del recurso.
- Establecer una primera vinculación con grupos de actores e instituciones relacionados a la problemática del agua en el Chaco salteño.

## **METODOLOGÍA**

### **Área de estudio**

Para la evaluación del recurso hídrico en cuanto a situación actual en fuentes de abastecimiento y calidad del agua, se ha definido como área de estudio a la denominada *Llanura Chaqueña* por Nadir A & Chafatínos (1990) que toma como base las unidades del relieve, que se consideran reguladoras de la variación de la hidrografía, el drenaje, el clima, el suelo y por lo tanto de las actividades que el hombre desarrolla a saber: agricultura, ganadería, minería y emplazamiento de industrias y poblaciones (Figura 1).

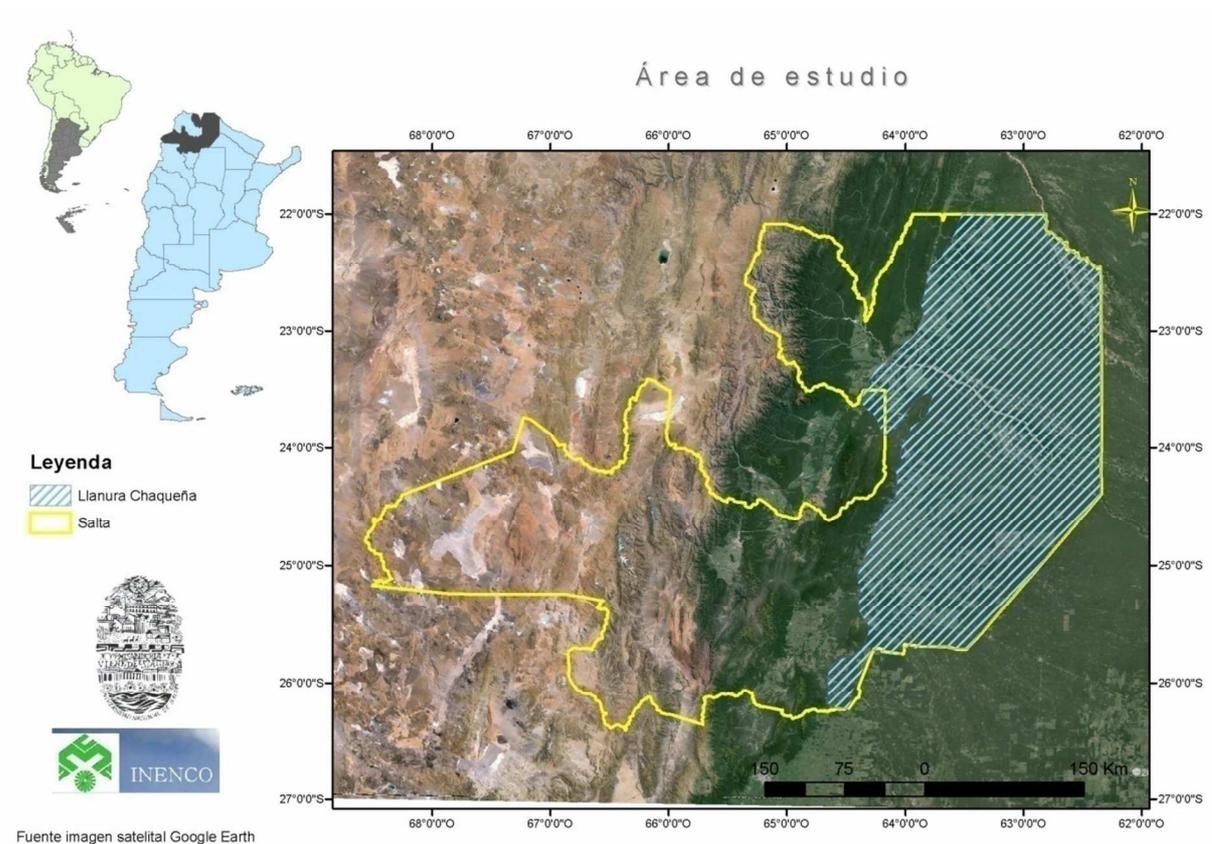


Figura 1. Ubicación del área de estudio

De acuerdo a este estudio existe una interacción dinámica entre todos los factores naturales, que imprimen a cada Unidad Geográfica características particulares que la individualizan. Así, la Llanura Chaqueña constituye una gran planicie que se extiende al oriente de las Sierras Subandinas y limita al norte con el río Pilcomayo, al este con la provincia de Formosa y Chaco y al sur con Santiago del Estero.

La región es atravesada por las cuencas de los ríos Pilcomayo, Bermejo y Pasaje o Juramento en su sector medio. Respecto a las aguas subterráneas, hacia el oeste del Chaco-Salteño existen escasos y potentes acuíferos con material grueso, mientras que en el oriente ellos son numerosos, de poco espesor y representado por material fino. En el sector este, ubicado en la Banda Sur del Pilcomayo, la posibilidad de aprovechamiento del agua subterráneo es de mala a regular, principalmente por limitaciones de calidad, de caudal y excesiva profundidad; no obstante, existe la posibilidad de aprovechar el agua freática para consumo poblacional y para ganadería. El sector ubicado entre las rutas N°34 y N°81 hacia el este hasta la localidad de Morillo, presenta buenas a muy buenas posibilidades tanto en lo que hace a caudal como calidad.

### Diseño del SIG

La metodología propuesta contempla la implantación del SIG hídrico como un proceso evolutivo, es decir la presentación de un proyecto interactivo para definir los requerimientos del proyecto, hasta lograr progresivamente la implantación completa de manera exitosa. Asimismo, es importante tener siempre en cuenta que implantar un SIG implica un período largo de tiempo, en el cual constantemente se incorporan nuevos requerimientos tecnológicos y de información. Es por ello, que la metodología propuesta persigue brindarle un enfoque evolutivo e incremental al proceso de implantación del SIG.

Generalmente en un SIG el análisis de las necesidades de información, tal como lo afirma Guevara (1992) constituye una de las fases más críticas del proceso de implementación, siempre debe tenerse en cuenta que "el usuario es el eje alrededor del cual se diseña el sistema". Tomando en consideración este aspecto, dichas necesidades se traducen en cuáles serían los procesos, aplicaciones, módulos bajo los cuales los usuarios manipularán la información. Adicionalmente, el estudio detallado de las necesidades contempla las fuentes de datos, los procesos de conversión y las toma de decisiones, por lo que debe estar acompañado de un análisis costo/beneficio que considere la factibilidad de dichas necesidades. Asimismo, ésta fase debe contemplar el análisis de las necesidades de información como un proceso evolutivo, en el que la definición del alcance del SIG esté en continuo "feedback" con los nuevos requerimientos de información.

## Fuentes de información

Se recopiló la información disponible en formato analógico y digital en los distintos organismos encargados del manejo del recurso hídrico de la provincia de Salta. Asimismo, se han considerado de interés las publicaciones en eventos nacionales e internacionales sobre la región en estudio y especialmente la contribución de otros Sistemas de Información Geográfica como el SIG 250 del Instituto Geográfico Militar y GeoINTA. Esta primera etapa permitió ajustar mecanismos de generación e intercambio de información, acuerdos con instituciones gubernamentales y establecer las bases para la construcción del sistema de información geográfico definitivo.

La naturaleza variada de la información y los datos relevantes al proyecto, se clasificaron para su procesamiento y se trataron por separado: datos gráficos y datos atributivos. Las fuentes, en su mayoría analógicas, están constituidas por mapas, imágenes, fotografías, planos, documentos, tablas y gráficos entre otras. La información finalmente incluida en el SIG corresponde a variables que describen las características generales de la zona de estudio, coberturas del suelo, condiciones sociales, el uso y acceso al recurso hídrico, análisis físico – químicos de calidad de agua, entre otras.

## Tecnología utilizada y sistemas de referencia

Para el diseño del SIG Hídrico se adoptó el código ArcGIS de ESRI® versión 9.3<sup>5</sup> para cartografía vectorial y MS Access para las bases de datos alfanuméricos, siendo herramientas simples, de fácil aprendizaje e integración, que pueden ser expandidas según las necesidades futuras, complementado con la adopción de IDRISI para el tratamiento de imágenes y modelado digital del terreno. El Sistema de referencias utilizado para el SIG es el **WGS 84** y el sistema de coordenadas geográficas (Latitud, Longitud).

## Estructuración de la información

### *Tipos de datos*

Los datos incorporados al sistema fueron cuidadosamente seleccionados de acuerdo a la relevancia para los objetivos del proyecto, de manera de aprovechar la información existente con incorporación de datos futuros, en formatos digitales georreferenciados de estructura vectorial y/o raster, así como información relacionada a normativas nacionales e internacionales sobre el uso de los recursos hídricos de la región en estudio.

Los sistemas vectoriales presentan ventajas referidas a la adecuación de la representación a la realidad, por sus excelentes capacidades para la cartografía y producción de mapas y adecuadas funciones de gestión de bases de datos y relaciones topológicas entre los componentes, mientras que los sistemas raster se utilizan para facilitar la integración de datos de percepción remota, con gran capacidad de análisis espacial, generación y actualización de mapas temáticos (uso del suelo, vegetación, etc.) y modelado del ambiente natural (Comas y Ruiz, 1993).

La información recopilada, analizada y depurada ha sido organizada en categorías (directorios) según la estructura general que se presenta en la Figura 2. Una organización más analítica en cuanto a variables hídricas específicas, se espera generar en las próximas etapas del proyecto.

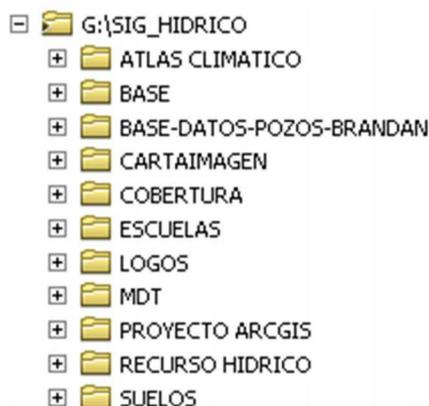


Figura 2: Estructura organizativa de la información

<sup>5</sup> Software provisto por IRNED – Instituto de Recursos Naturales y Ecodesarrollo.

## RESULTADOS

### Diseño lógico del SIG

En la Tabla 1 se ilustra esquemáticamente los temas y entidades incorporados al sistema, con las características de los datos gráficos, observando que las fuentes de información varían en función de las características de los elementos observados. Las entidades espaciales georreferenciadas fueron representadas mediante una geometría básica compuesta de puntos, líneas, polígonos y sus extensiones redes y superficies (Gutiérrez y Gould 2000).

Directorio	Representación gráfica	Tema	Entidades	Fuente de información
Atlas climático	Raster	Mapas de variables climáticas	Precipitaciones. Evapotranspiración	Bianchi & Cravero (2010)
Base	Polígono	Mapa de coberturas	Unidades FAO	SIG 250 IGM
	Línea	Sudamérica	Límites internacionales	SIG 250 IGM
	Línea	Argentina	Límites provinciales	SIG 250 IGM
	Polígono	Salta	Límites departamentales	SIG 250 IGM
	Polígono	Zona de estudio	Llanura Chaqueña	Mapa Suelos INTA
	Punto	Mapa político	Centros poblados	SIG 250 IGM
	Punto	Mapa político	Ejidios urbano	SIG 250 IGM
	Línea	Red hidrográfica	Cursos de agua	SIG 250 IGM
	Polígono	Reservorios	Cuerpos de agua	SIG 250 IGM
	Línea	Red Vial	Rutas y caminos	SIG 250 IGM
Líneas	Mapa Topográfico	Curvas de nivel	SIG 250 IGM	
Carta imagen	Raster	Carta imágenes de satélite	Imágenes satelitales escala 1:250000	SIG 250 IGM
Cobertura	Polígono	Mapa de coberturas	Coberturas del suelo	SIG 250 IGM
Escuelas	Punto	Mapa educativo	Unidad de escuela	Dirección General de Estadísticas de la Provincia de Salta
Logos	Raster	Logotipos institucionales	Imágenes	UNSa INENCO
MDT	Raster	Modelo Digital del Terreno	Áster GDEM	
Recurso Hídrico	Punto	Relevamiento de pozos	Unidad de pozo	Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Salta. Prohuerta – INTA. Investigaciones UNSa. CONHIDRO
	Punto	Análisis Físico – químico	Unidad de pozo	
Suelos	Polígono	Mapa de clasificación de suelos	Unidad de suelo	

Tabla 1: Contenido y capas temáticas del SIG

### Evaluación del recurso hídrico

A fin de evaluar el funcionamiento del sistema diseñado, se muestra información para el área de estudio seleccionada. Su propósito fundamental es verificar y ajustar el modelo realizado con la realidad, y en el caso de este trabajo, mostrar algunos ejemplos. Por otra parte, las pruebas realizadas del SIG permiten incorporar mejoras y nuevos requerimientos para de esa manera garantizar la optimización del sistema e incrementar la productividad del mismo. Como resultado, el SIG que se está implementando demuestra ser un sistema eficaz y exitoso en sintonía con las metas y objetivos del proyecto.

En las Figuras 3 y 4 se visualizan las **fuentes de abastecimiento de agua potable** en dos escalas: departamental (para toda la provincia) y por entidad educativa (para el área del Chaco salteño).

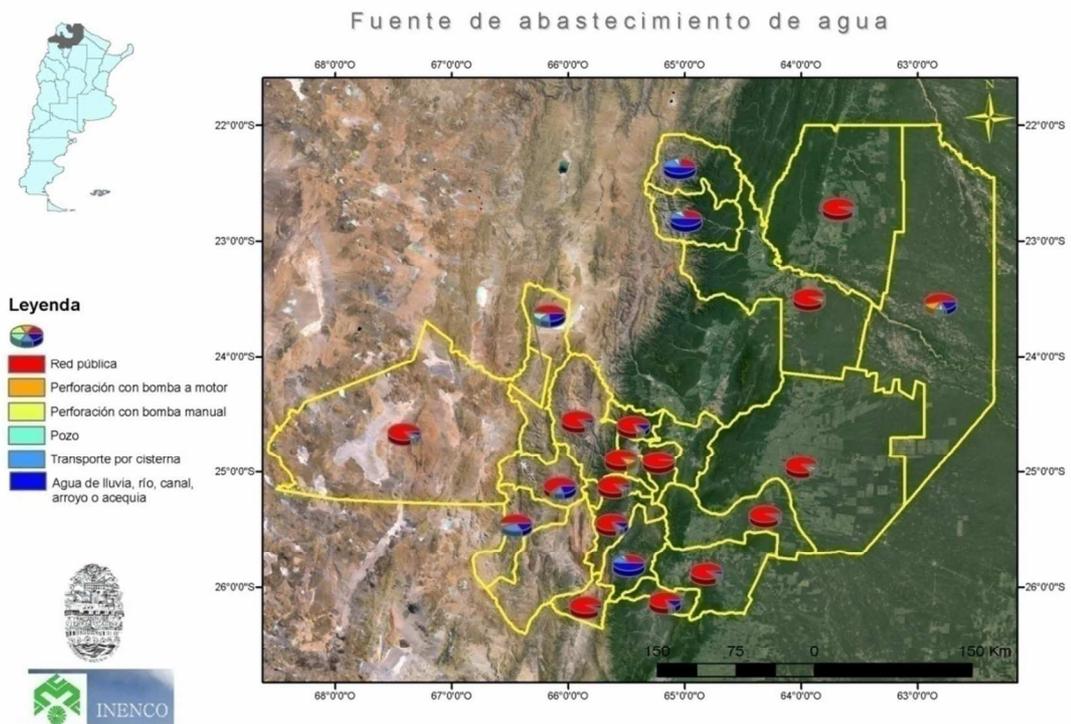


Figura 3: Fuente de abastecimiento de agua potable por departamento, Salta (2010).

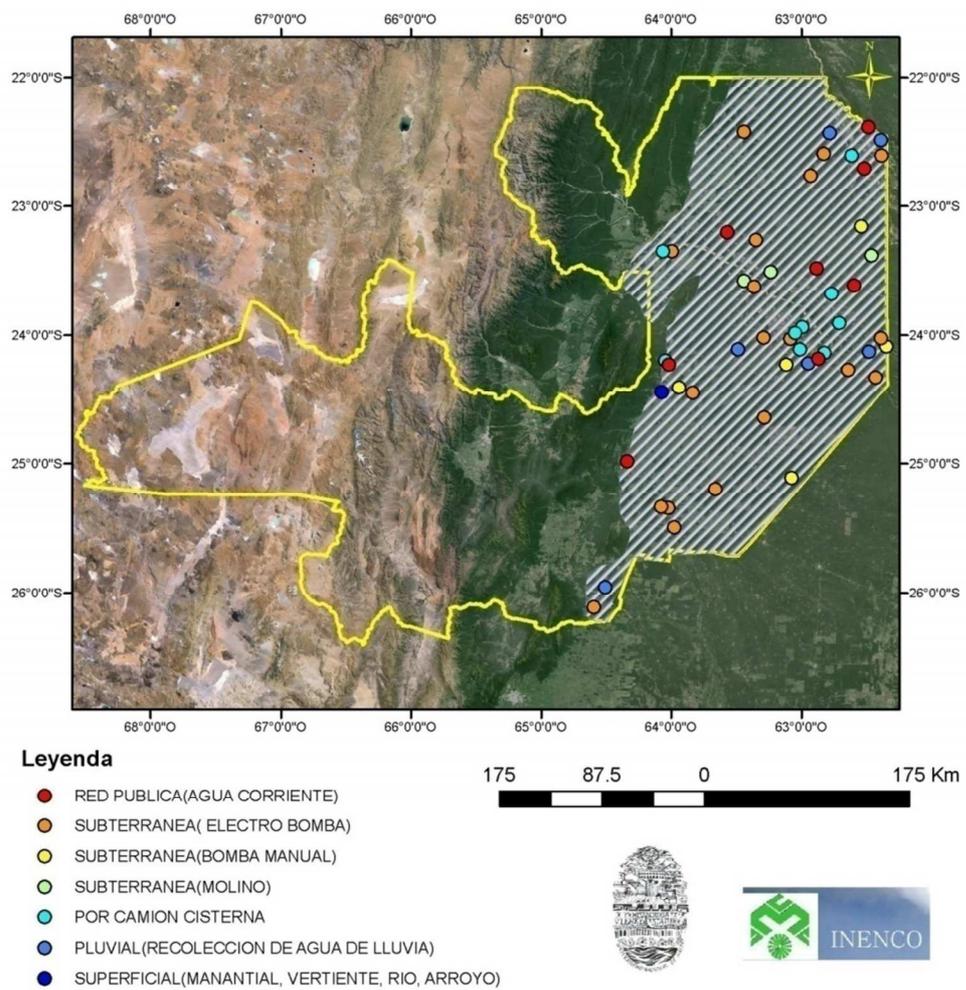
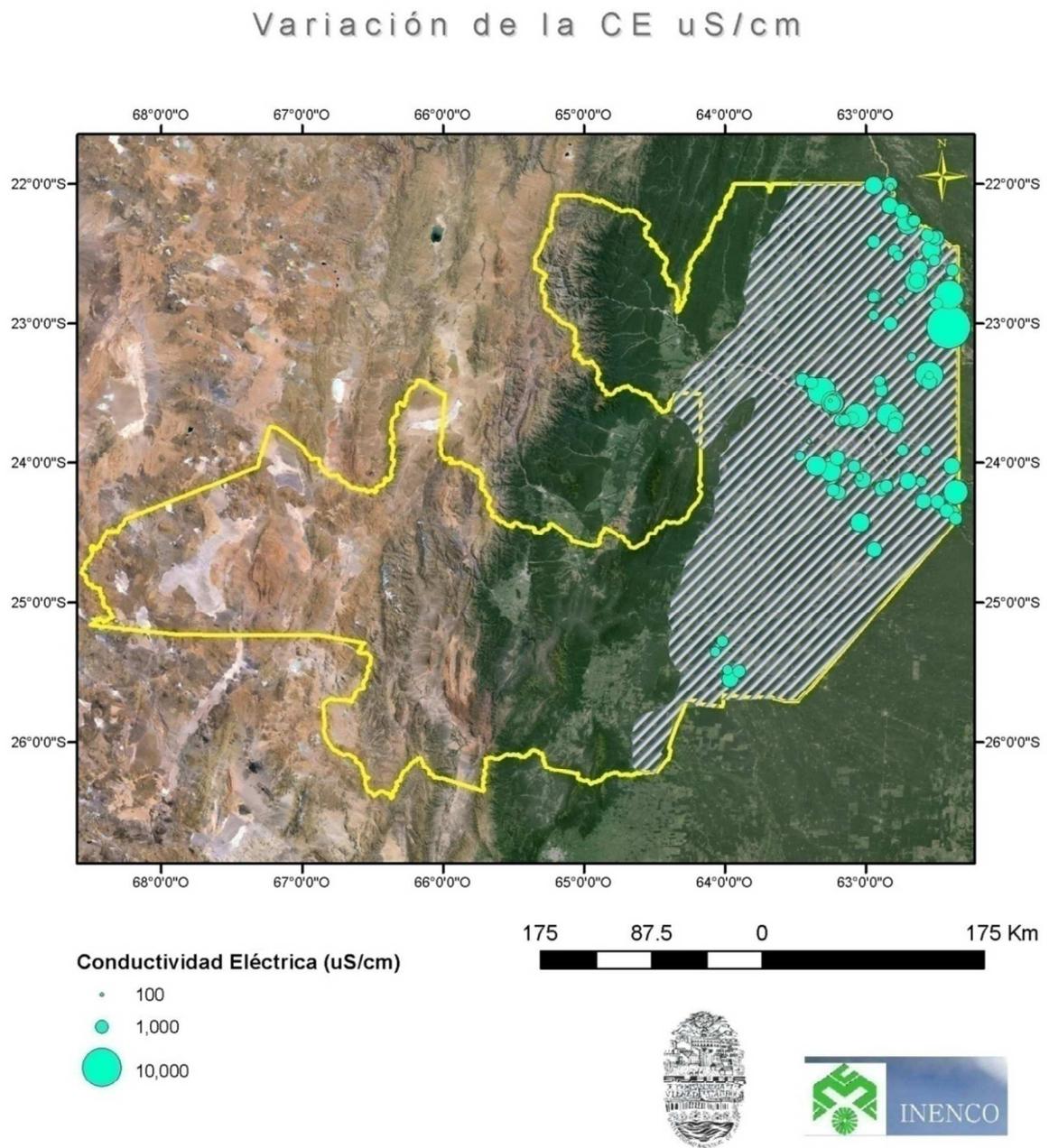


Figura 4: Fuente de abastecimiento de agua potable por entidad educativa, área Chaco Salteño.

Como prueba piloto de la estandarización de resultados para **Calidad del agua** se generó una figura que muestra la variación de la conductividad eléctrica expresada en uS/cm basada en análisis de agua de pozos para la zona de estudio (Figura 5).



*Figura 5: Análisis de variable conductividad eléctrica medida en agua subterránea.*

Finalmente en la Figura 6 se puede observar la variación del contenido de Arsénico (As) en mg/l en comparación con el límite máximo de arsénico en agua de bebida establecido por el Código Alimentario Argentino (0.01 mg/l). El tamaño de los círculos rosados permite visualizar rápidamente en qué grado se superan los parámetros de As establecidos en el código.

## Variación de la concentración de Arsénico

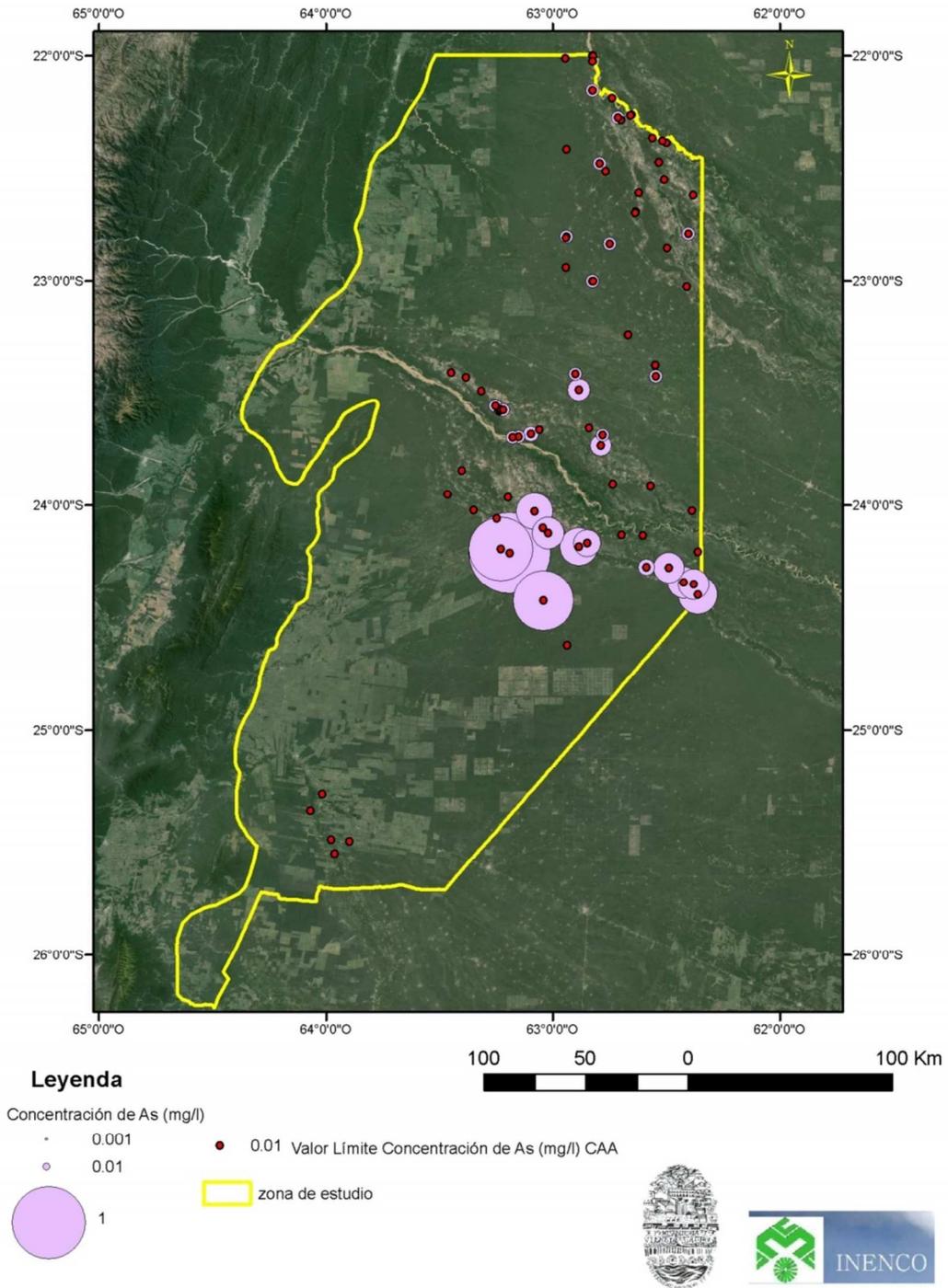


Figura 6: Análisis de variable concentración de arsénico medida en agua subterránea.

### CONCLUSIONES

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ocupan hoy en día un lugar prominente entre las herramientas computacionales modernas y constituyen un apoyo invaluable para todo tipo de análisis de alcance territorial debido a su componente espacial. Los requerimientos sistémicos, funcionalidades, procesos y actores involucrados en el manejo de la información, permitieron modelar una base sólida para el diseño de bases de datos y el sistema, asegurando su eventual crecimiento y pertinencia de la solución propuesta.

La metodología aplicada en este trabajo constituye una valiosa herramienta para la planificación y la gestión del recurso hídrico dentro de la zona de estudio, en la cual se articulan los elementos necesarios para la evaluación del recurso hídrico en

torno a un Sistema de Información Geográfica que ofrece la posibilidad de visualizar, consultar y evaluar diferentes escenarios que ayudan a tomar decisiones adecuadas y oportunas en cuanto a la asignación del recurso hídrico.

Una de las principales dificultades encontradas para el desarrollo del SIG hídrico, fue la falta de centralización de la información oficial proveniente de ámbitos de investigación y gestión. No obstante, el trabajo logró importantes avances en cuanto a sistematizar un gran potencial de información dispersa, y generando los primeros acuerdos para el intercambio y la actualización de los datos. La coordinación y articulación interinstitucional para avanzar en la planificación y la gestión del recurso hídrico dentro de la región resulta prioritaria.

Finalmente se espera que el instrumento desarrollado pueda aportar a la definición de las prioridades sociales y la evaluación integral de las tecnologías solares con potencial de aplicación para la solución del problema hídrico en la zona.

## REFERENCIAS

- Auge, M. et al. 2006. *Hidrogeología de Argentina*. Boletín Geológico y Minero, 117 (1): 7-23. ISSN: 0366-0176
- Belmonte S. (2009). *Evaluación multicriterio para el uso alternativo de energías renovables en la Ordenación Territorial del Valle de Lerma*. Tesis doctoral. Doctorado en Ciencias, área Energías Renovables - Facultad de Ciencias Exactas- Universidad Nacional de Salta.
- Belmonte S. y V. Núñez (2006) *Desarrollo de modelos hidrológicos con herramientas SIG*. GeoFocus (Informes y comentarios), nº 6, p.15-27. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica - International - [www.geo-focus.org](http://www.geo-focus.org)
- Belmonte S., Núñez V., Franco J. y J. Viramonte (2006). *Mapas de radiación solar para el Valle de Lerma (Salta – Argentina)*. AVERMA.V10 (2006): 11.49 - 11.56.
- Belmonte S., Núñez V., Viramonte J., Franco J. (2009). *Potential renewable energy resources of the Lerma Valley, Salta, Argentina for its strategic territorial planning*. Renewable and Sustainable Energy Review 13 (2009): 1475-1484.
- Belmonte S., Viramonte J., Núñez V., Franco J. (2008). *Estimación del potencial hidráulico para generación de energía eléctrica por microturbinas mediante herramientas SIG- Valle de Lerma (Salta)*. AVERMA. V12 (2008): 06.73 - 06.80.
- Belmonte S.; Viramonte J. G.; Núñez, V. and Franco, J. (2011). *Energy and Territory. Toward Sustainable Integrated Scenarios*. Chapter 10 in book: Handbook of Sustainable Energy. Editor: W. H. Lee and V. G. Cho. Nova Science Publishers, Inc. Series: Energy Science, Engineering and Technology Hardcover. ISBN: 978-1-60876-263-7- 803 pp.
- Bianchi A. y S. Cravero (2010). *Atlas climático digital de la República Argentina*. Ediciones INTA. ISBN/ISSN 978-987-1623-95-2
- Centro Regional de Energía Eólica. *Sistema de Información Geográfico Eólica*. <http://www.eolica.com.ar/>
- CIEMAT (2013). *IntiGIS: Aplicación para la Electrificación Rural con Energías Renovables* <http://www.ciemat.es/portal.do?IDM=271&NM=2> Consulta mayo 2013.
- Código Alimentario Argentino (2007). *Capítulo XII: Bebidas alcohólicas, bebidas hídricas, agua y agua gasificada*.
- Comas D. y V. Ruiz (1993). *Fundamentos en Sistemas de Información Geográfica*. Barcelona.
- Domínguez Bravo J. (2002). *La integración económica y territorial de las energías renovables y los Sistemas de Información Geográfica*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Geografía e Historia. Madrid. ISBN: 84-669-1976-7
- Franco J., Saravia L. y S. Belmonte (2011). *Desarrollo de tecnología solar de desalinización de agua con alta producción para la mejora de condiciones de vida y sistemas productivos*. Proyectos de Investigación Plurianuales -PIP CONICET (2012-2014)
- Garrido S., Lalouf A. y H. Thomas (2012) *Políticas públicas para la inclusión social basadas en la producción de energías renovables. De las soluciones puntuales a los sistemas tecnológicos sociales*. AVERMA Vol. 16 (2012): 12.27-12.34
- Grossi Gallegos H. y R. Righini (2007). *Atlas de energía solar de la República Argentina*. Universidad Nacional de Luján y Secretaría de Ciencia y Tecnología. Buenos Aires. Argentina. 74 p. + 1 CD-ROM. ISBN 978-987-9285-36-7. Registro de la Propiedad Intelectual No. 554247.
- Guevara, A. (1992). *Esquema metodológico para el diseño e implementación de un Sistema de Información Geográfico*. The Geonex Corporation.
- Gutiérrez P. J. y M. Gould (2000). *SIG: Sistemas de Información Geográfica*. Edit. Síntesis. Madrid. España. pp. 85-99.
- INTA-UNSA. (2006). *Adecuación a un Sistema de Información Geográfica del estudio Los Suelos del NOA (Salta y Jujuy) de Nadir y Chafatinos*. Laboratorio de Teledetección de la E.E.A. Salta INTA Cerrillos. Argentina.
- Moreno Jimenez J. M., Aguaron Joven J. y M. T. Escobar Urmeneta (2001). *Metodología Científica en Valoración y Selección Ambiental*. Pesquisa Operacional. V21 (1): 1-16. ISSN 0101-7438.
- MR Consultores (2010). *Proyecto "Apoyo al Desarrollo de la Energía Solar Térmica para la Provincia de Salta"*. Informe técnico. INENCO.
- Nadir A. & T. Chafatinos (1990). *Los Suelos del NOA (SALTA Y JUJUY)*. Dirección de publicaciones e impresiones de la Universidad Nacional de Salta. Salta, Argentina.
- Núñez V. y P. García Bes (2000). *Uso de Herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la Ordenación de Cuencas Hidrográficas*. Curso de Postgrado. IRNED Instituto de Recursos Naturales y Ecodesarrollo. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Argentina.
- Quijano Hurtado R. y J. Domínguez Bravo (2008) *Diseño de un proyecto integrado para la planificación energética y el desarrollo regional de las energías renovables en Colombia basado en Sistemas de Información Geográfica*. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 729-736. ISBN: 978-84-96971-53-0

- Ramachandra T.V. (2009). *RIEP: Regional integrated energy plan*. *Renew Sustain Energy Review* 13(2): 285-317.
- Ramachandra T.V., Shruthi V.B. (2007). *Spatial mapping of renewable energy potential*. *Renew Sustain Energy Review* 11: 1460–1480.
- Ramírez-Rosado I. et al. (2008). *Promotion of new wind farms based on a decision support system*. *Renew Energy* 33: 558–566.
- Salvo N. et al. (2012). *Desalinización de agua para mejorar las condiciones de vida usando energía solar*. Proyecto de Investigación CIUNSa. N° 2019/3. Universidad Nacional de Salta.
- Schneider D. R. et al. (2007). *Mapping the potential for decentralized energy generation based on renewable energy sources in the Republic of Croatia*. *Energy* 32(9): 1731-1744.
- Thomas H. (2009). *De las tecnologías apropiadas a las tecnologías sociales. conceptos/estrategias/diseños/ acciones*. 1ra Jornada sobre Tecnologías Sociales, Programa Consejo de la Demanda de Actores Sociales. (PROCODAS)-MINCYT.
- Tiba C. et al. (2010). *A GIS-based decision support tool for renewable energy management and planning in semi-arid rural environments of northeast of Brazil*. *Renew Energy* 35: 2921-2932.
- Voivontas D., Assimacopoulos D., Mourelatos A. y Corominas J. (1998). *Evaluation of renewable energy potential using GIS decision support system*. *Renew Energy* 13 (3): 333- 344.

**Agradecimientos:** Se agradece el asesoramiento y colaboración en la provisión de software específicos del Lic. Virgilio Núñez, Instituto de Recursos Naturales y Ecodesarrollo, Universidad Nacional de Salta.

**ABSTRACT:** We report the development of a Geographic Information System as a potential tool for decision making, to improve access to water resources in the Chaco region of Salta. The project aims to define framework potential priority areas for the implementation of solar technologies for water desalination. The system provides the ability to view, query and evaluate spatially access to drinking water and the quality of the resource. The methodology is based on the collection, organization, processing and analysis of secondary information in a GIS. In developing it, data provided by provincial and national institutions are included as well as population and educative statistics. Among the results, is important the structure and integration of basic specific information in the GIS, and an overall assessment of the sources of water and salt content. The work highlights the importance of integrating spatially updated and evaluated in a single system, and the need to promote coordination and linkage, to advance the planning and managing of water resources within the region.

**Keywords:** GIS, water resources, solar desalination, Chaco region, Salta.