

# Mapeo de Áreas Prioritarias para conservar y restaurar agua potable, Territorio Nica-Central

Informe técnico

MAP-Noruega

Christian Brenes, Pablo Imbach,  
Luis Molina, Claudia Medellín  
Sergio Vílchez, Allan Guerrero, Allan Coto



2015

Este informe metodológico ha sido posible gracias a: (i) el proyecto MAP-Noruega, el cual es financiado por la cooperación noruega e implementado por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), (ii) al generoso apoyo del pueblo estadounidense a través de la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), bajo los términos de la Cooperativa Número de Acuerdo AID 596-A-13-00002 (Programa de Cambio Climático Regional USAID), ejecutado por el CATIE y (nombre del socio(os)). Los contenidos y opiniones expresadas aquí son responsabilidad del Programa Regional de Cambio Climático de USAID y no reflejan necesariamente las opiniones de USAID o del Gobierno de los Estados Unidos; y (iii) al proyecto Agua, Comunidades y Cambio Climático financiado por IDRC.

## Créditos

Laboratorio de Modelado Ambiental, Programa de Cambio Climático y Cuencas.



Para mayor información contactar a Christian Brenes o Pablo Imbach. Laboratorio Modelado Ambiental del Programa de Cambio Climático y Cuencas, CATIE

Email: [cbrenes@catie.ac.cr](mailto:cbrenes@catie.ac.cr)

[pimbach@catie.ac.cr](mailto:pimbach@catie.ac.cr)



# Contenido

Acrónimos y siglas.....	6
Antecedentes .....	7
1. Objetivos .....	8
1.1 General .....	8
1.2 Específicos .....	8
2. Marco conceptual .....	8
3. Materiales y métodos .....	9
3.1 Territorio Nica-Central en el contexto de cuenca .....	9
3.2 Oferta, demanda y flujo del SE de provisión de agua limpia .....	9
3.2.1 Herramienta para la determinación de áreas prioritarias para el aprovisionamiento de agua.....	10
3.2.2 Oferta del SE de provisión de agua limpia.....	11
3.2.3 Demanda del SE de provisión de agua limpia.....	12
3.2.4 Flujo del servicio ecosistémico a través del paisaje .....	15
4. Resultados .....	16
4.1 Áreas prioritarias para el aprovisionamiento de agua .....	16
Literatura citada .....	23
Glosario .....	24
Anexos.....	25

## ÍNDICE DE FIGURAS, GRÁFICOS Y CUADROS

FIGURA 1 CUENCAS EN EL TERRITORIO NICA-CENTRAL.....	9
FIGURA 2. ASIGNACIÓN DE VALORES DE PRIORIDAD A LAS MICROCUENCAS. LA PRIORIZACIÓN RELATIVA DE MICROCUENCAS OBEDECE A DOS SUPUESTOS.....	11
FIGURA 3. OFERTA DEL SE DE PROVISIÓN DE AGUA.....	12
FIGURA 4. DEMANDA DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE.....	13
FIGURA 5. PROCESO DE MAPEO DE TECHOS.....	14
FIGURA 6. PROCESO DE SELECCIÓN DE TECHOS DENTRO Y FUERA DE SISTEMAS.....	15
FIGURA 7. CREACIÓN DE RED DE DRENAJE Y CUENCAS.....	15
FIGURA 8. USUARIOS DENTRO Y FUERA DE UN SISTEMA DE PROVISIÓN DE AGUA.....	17
FIGURA 9. ÁREAS PRIORITARIAS PARA CONSERVAR LA PROVISIÓN DE AGUA POTABLE PROVISTA POR ACUEDUCTOS RURALES EN EL TERRITORIO NICA-CENTRAL.....	18
FIGURA 10. ÁREAS PRIORITARIAS PARA CONSERVAR LA PROVISIÓN DE AGUA POTABLE PROVISTA POR ACUEDUCTOS RURALES EN LA ZONA ALEÑADA AL LAGO DE APANÁS, JINOTEGA.....	19
FIGURA 11. ÁREAS PRIORITARIAS PARA RESTAURAR LA PROVISIÓN DE AGUA POTABLE PROVISTA POR ACUEDUCTOS RURALES.....	20
FIGURA 12. ÁREAS PRIORITARIAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL SE DE PROVISIÓN DE AGUA PROVISTA POR ACUEDUCTOS RURALES.....	21
FIGURA 13. ÁREAS PRIORITARIAS DE PROVISIÓN DE AGUA PARA USUARIOS FUERA DE SISTEMAS DE ACUEDUCTO.....	22
GRÁFICO 1. GRÁFICO DISPERSIÓN, CASAS MAPEADAS CONTRA CASAS POR SEGMENTO CENSAL.....	16
GRÁFICO 2. POBLACIÓN TOTAL, VIVIENDAS OCUPADAS Y VIVIENDAS SIN AGUA POTABLE, CENSO 2005.....	25
GRÁFICO 3. NÚMERO DE VIVIENDAS Y HABITANTES SEGÚN SIASAR.....	26
GRÁFICO 4. TIPOLOGÍA DE CAPTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PROVISIÓN DE AGUA POR MUNICIPIO.....	26
GRÁFICO 5. TIPOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO POR MUNICIPIO.....	27
GRÁFICO 6. TIPOLOGÍA DE TRATAMIENTO, SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO POR MUNICIPIO.....	27
GRÁFICO 7. CAUDAL TOTAL Y NÚMERO DE SISTEMAS POR MUNICIPIO.....	28
CUADRO 1. LISTA DE CAPAS, APLICACIONES Y FUENTES UTILIZADAS.....	10

## Acrónimos y siglas

CATIE:	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
MAGFOR	Ministerio Agropecuario y Forestal
MC:	Microcuencas
MEA:	Millenium Ecosystem Assessment
M3:	Metros cúbicos
LMA:	Laboratorio Modelado Ambiental
L/S:	Litros por segundo
PCCC:	Programa de Cambio Climático y Cuencas
SE:	Servicios Ecosistémicos
SIASAR:	Sistema de información de Agua y Saneamiento Rural

## Antecedentes

Los servicios de los ecosistemas son los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas, y se generan cuando las funciones de los mismos producen una serie de bienes y servicios que son demandados, usados o disfrutados para generar el bienestar de las sociedades (MEA, 2005). Los servicios ecosistémicos (SE) se pueden agrupar según se asocien a funciones de regulación, culturales, apoyo y aprovisionamiento (MEA, 2005).

Los *servicios de aprovisionamiento* se refieren a alimentos, fibras, recursos genéticos, bioquímicos, medicinas naturales, farmacéuticos, y finalmente el *agua dulce*, la cual es almacenada, conducida y retenida para uso doméstico, industrial y agrícola. La provisión de agua de buena calidad o regulada a lo largo de las estaciones del año forma también parte de los *servicios de regulación*.

En el ámbito global, se calcula que entre 1.400 y 2.100 millones de personas disponen de menos de 1000 m<sup>3</sup>/año para consumo, lo que representa una tercera parte de la población del planeta sometida a una situación de estrés hídrico, con efectos negativos asociados, como por ejemplo el riesgo de enfermedades infecciosas (Cepal, 2011). Para Centroamérica se estima una disponibilidad agua de 23.000 m<sup>3</sup>/año/hab lo cual triplica el promedio mundial. En Nicaragua este dato ronda los 23.500 m<sup>3</sup>/año/hab, en donde además, se ha determinado que la demanda de agua por sector es de 83% para agricultura, 3 % municipal, y 14% industrial (Cepal, 2011).

En Latinoamérica los niveles más bajos de cobertura de agua potable (75-90%) se encuentran en Ecuador, Haití, Perú República Dominicana y Nicaragua (OMS, 2014), siendo este último el segundo país más pobre de América Latina aunque con una alta disponibilidad per capita del recurso, pero en donde solo el 49% de la población rural tiene acceso al recurso, lo cual incide en una alta tasa de mortalidad relacionada con enfermedades vinculadas al agua (CONAPAS 2006), sin embargo, durante la última década ha aumentado (12%) la proporción de la población con acceso al agua potable (OMS, 2014).

Bajo escenarios futuros de cambio climático (Imbach, 2015), estimó una disminución probable de al menos 20% en la escorrentía superficial sobre el 50% y 82 % de la superficie de Nicaragua para los años 2050 y 2070, lo cual podría acentuar los problemas actuales de disponibilidad de agua para la población.

La priorización espacial de zonas para la conservación y restauración de servicios ecosistémicos hidrológicos puede servir de insumo para que la implementación de prácticas de uso y manejo sostenible a escala de territorios resulte en una mejora en la provisión de servicios ecosistémicos hidrológicos (Locatelli et al. 2011, Leguia et al, González et al) y así reducir la vulnerabilidad de las poblaciones rurales a los efectos de la variabilidad y cambio climático.

# 1. Objetivos

## 1.1 General

Definir una metodología para discriminar espacialmente las áreas prioritarias para la conservación y restauración de SE hidrológicos, con énfasis en la provisión de agua potable

## 1.2 Específicos

1. Definir una metodología para la priorización espacial de SE a escala de territorio
2. Desarrollar una aplicación de la metodología a escala territorial (territorio de NicaCentral del Proyecto MAP-Noruega)

# 2. Marco conceptual

Los servicios ecosistémicos a menudo se proveen de manera desigual en el paisaje dependiendo del patrón de distribución de los ecosistemas (Locatelli et al 2011), es por ello primordial conocer su distribución espacial para evaluar de prioridades entre usos/cobertura del suelo según su contribución a la provisión de los mismos, sinergias y compensación entre servicios, o combinados con costos de oportunidad para priorizar actividades de conservación o restauración (Locatelli et al. 2011). El mapeo a nivel nacional, de un territorio, o paisaje; de la oferta de los servicios de los ecosistemas puede servir de insumo para identificar zonas vulnerables ante presiones antrópicas y cambio climático, esto con el fin orientar esfuerzos para la adaptación al cambio climático y desarrollo sostenible.

Los SE por lo general no son producidos y usados en el mismo espacio geográfico por lo que es necesario analizar el flujo de estos servicios desde los ecosistemas que proveen los servicios y hasta los usuarios dentro de un contexto espacial. Van Noordwijk (2004) recomienda considerar los siguientes aspectos:

- Las características y la distribución espacial de los ecosistemas proveedores de servicios y sus usuarios (demanda)
- Las relación espacial entre la provisión y demanda de los servicios
- La presencia de filtros o barreras que modifican la relación entre los servicios provistos por los ecosistemas y los usuarios de los mismos

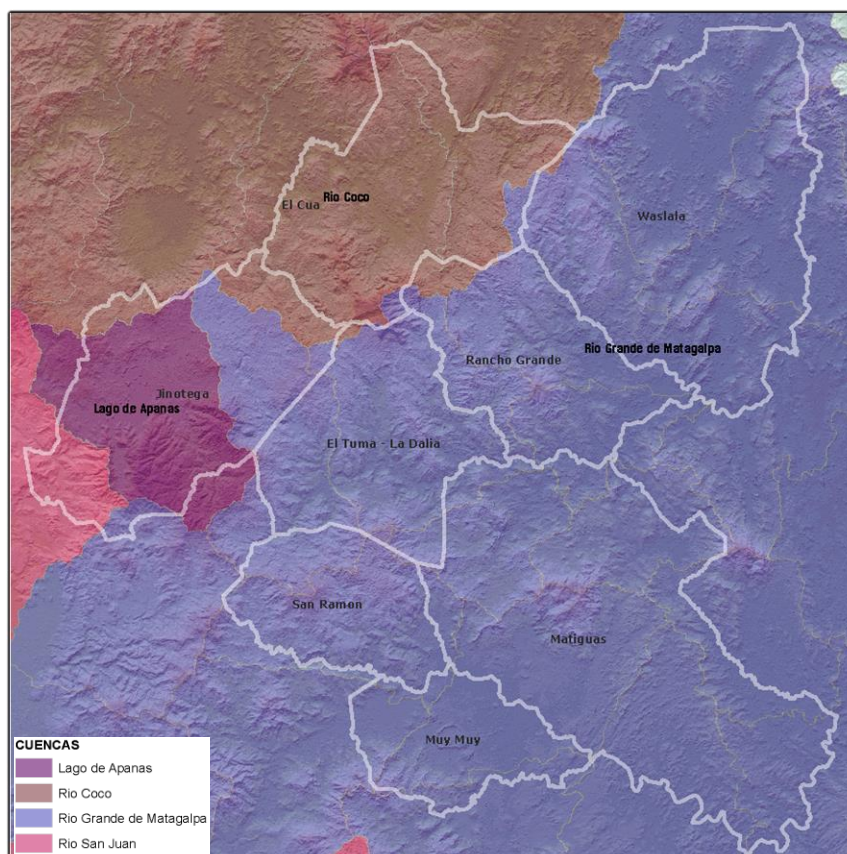
Locatelli (2011) modeló el flujo entre SE y generación de energía hidroeléctrica en América Central, además, Gonzales (2006) y Leguía (2006), realizaron estudios a escala nacional en Nicaragua identificando bosques y sistemas agroforestales importantes como proveedores de SE para el sector agua potable e hidroelectricidad. Estos análisis caracterizan una función de *utilidad* de la demanda de los servicios por parte de sus usuarios, y una función de *producción* de los ecosistemas que define la oferta de los mismos según las funciones de los mismos. Locatelli (2011), plantea mapear SE y prioridades para conservación y restauración de servicios hidrológicos, basado en la premisa que la cantidad de *servicio ecosistémico* recibido por los *usuarios* depende de la *producción de servicios* en los ecosistemas aguas arriba (en un contexto de cuencas) y la capacidad de dichos *servicios* de fluir desde los *ecosistemas* hasta los *usuarios*. Con base en estos elementos este estudio establecen las relaciones espaciales entre ecosistemas y usuarios, con particular énfasis en servicios ecosistémicos hidrológicos para consumo humano a escala territorial. La aplicación que se presenta simplifica las funciones de producción de los ecosistemas y de utilidad de los usuarios de la siguiente manera: (i) los ecosistemas forestales proveen el máximo de servicio y los agrícolas el mínimo, (ii) los usuarios tienen una función de utilidad uniforme por tipo de usuario (integrados en un acueducto o no). La simplificación propuesta implica que se deben generar priorizaciones espaciales para conservación de ecosistemas forestales y restauración de manera no comparable, es decir, mapas independientes.



### 3. Materiales y métodos

#### 3.1 Territorio Nica-Central en el contexto de cuenca

Las herramientas de priorización desarrolladas para este trabajo utilizan la red de drenaje y cuencas como unidades de análisis, por ello es necesario ubicar el área de estudio desde un punto de vista hidrográfico. Nicaragua oficialmente se divide en 21 cuencas (posee 5 de las más grandes de Centroamérica) distribuidas entre la vertiente Caribe y Pacífico (IANA, 2012). Según la Dirección de Recursos Hídricos y Cuencas Hidrográficas (2010), el Territorio NicaCentral se encuentra emplazado en un 80% en la Cuenca del Rio Grande de Matagalpa, 10% en la Cuenca del Rio Coco, y 10 % en otras.



**Figura 1 Cuencas en el territorio Nica-Central.**

#### 3.2 Oferta, demanda y flujo del SE de provisión de agua limpia

La priorización para conservación y restauración de zonas para provisión de agua para consumo humano se caracterizó utilizando una combinación de fuentes de datos que permitieron mapear la oferta del servicio por los ecosistemas, su flujo a través del paisaje y la demanda por parte de los usuarios rurales del territorio. La oferta se refiere a la provisión de servicios de calidad de agua por parte de los ecosistemas y/o usos del suelo. El flujo a través del paisaje permite mapear las relaciones de la oferta con los usuarios (demanda) y se refiere a la red de drenajes superficiales y las microcuencas asociadas a cada segmento de la red de drenaje. La demanda se caracterizó según la tipología de usuarios de agua para consumo humano y los puntos en el paisaje en que se capta el recurso hídrico.

El Cuadro 1 detalla la lista de herramientas y capas usadas en el análisis.



**Cuadro 1. Fuentes de información y herramientas utilizadas**

CAPA / HERRAMIENTA	COMPONENTE	FUENTE
Sistemas de provisión de agua potable (ubicación de las tomas, viviendas servidas)	Oferta	SIASAR (2011-14)
Comunidades (ubicación del centro de la comunidad)	Demanda	SIASAR (2011-14)
Segmentos censales (fracción de usuarios con acceso a un acueducto, usuarios fuera de sistemas de provisión)	Demanda	INEC, 2005
Red drenaje y microcuencas	Flujo/oferta	TNC, PCCC
Modelo elevación digital	Flujo	ASTER-DEM (2010)
Capa de techos	Demanda	LMA (2015)
Mapa uso del suelo	Oferta	MAGFOR, 2011; ALOS PALSAR, 2010
Herramienta selección de techos	Demanda	LMA (2015)
Herramienta asignación espacial prioridades	Oferta / Demanda / Flujo	LMA (2015)

**3.2.1 Herramienta para la determinación de áreas prioritarias para el aprovisionamiento de agua**

Las áreas prioritarias para el suministro de SE pueden ser espacialmente enlazadas ligando la provisión y la demanda del servicio, y la trayectoria del flujo entre ellas (Locatelli, 2011), por ello se desarrolló una herramienta para ayudar a definir áreas prioritarias, por ejemplo, para aquellos bosques que proveen agua limpia a un alto número de usuarios tomando en cuenta el área priorizada.

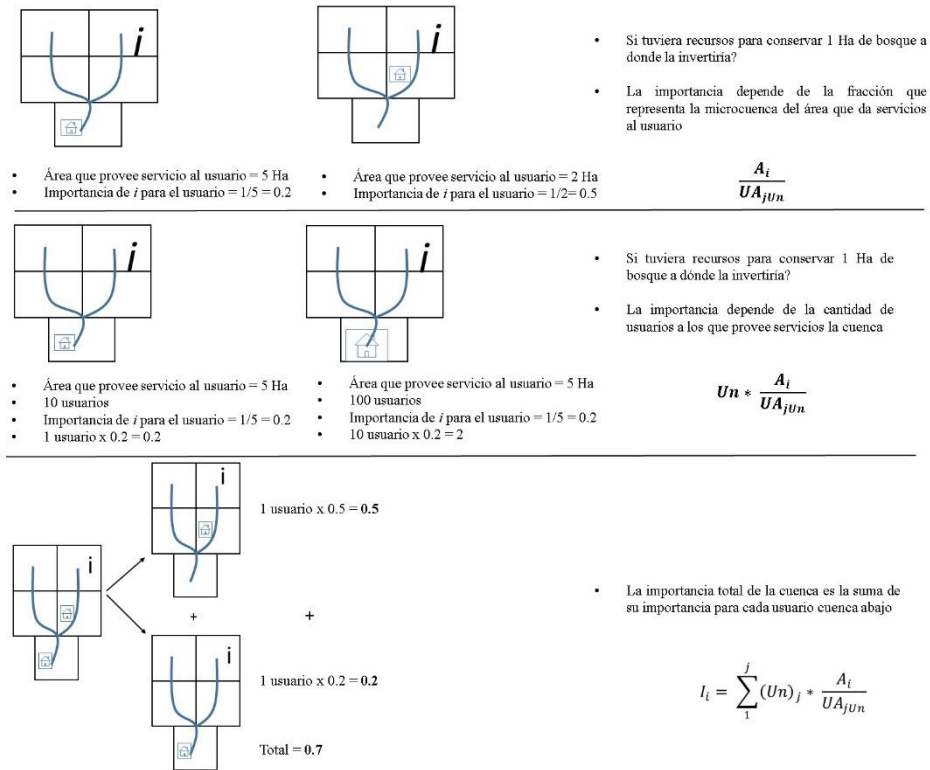
Para la delimitación espacial de las áreas prioritarias se programó una rutina en lenguaje *Python*. El algoritmo basa su lógica en asignar una *importancia relativa* (RI) a cada una de las microcuencas (MC) en el paisaje, tomando en cuenta la cantidad de usuarios que consumen el servicio, la superficie de usos del suelo de cada microcuenca, y el área de total de drenaje aguas arriba de cada MC priorizada.

Los términos de la formula se detallan a continuación:

$$(RIC)_{i,TOTAL} = \sum_{j=1}^M (Un)_j * \frac{A_i}{UA_jUn}$$

Donde:

$(RIC)_{i,TOTAL}$  es la prioridad total para cualquier microcuenca  $i$  en la zona de estudio con una superficie  $A_i$ .  $M$  es el total de microcuencas aguas abajo ( $j$ ) desde  $i$  con usuarios presentes  $((Un)_j)$ .  $UA_jUn$  es el área total de las cuencas aguas arriba  $j$  que contienen  $Un$ .

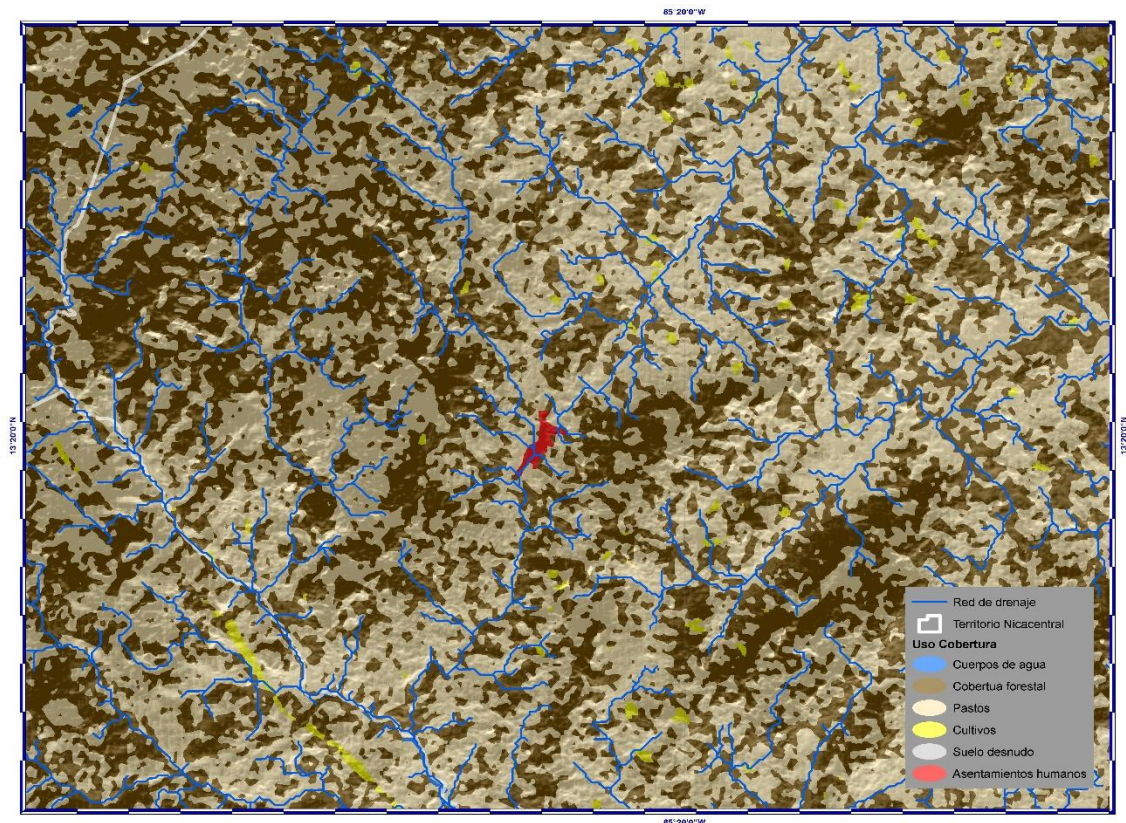


**Figura 2.** Asignación de valores de prioridad a las microcuencas. La priorización relativa de microcuencas obedece a dos supuestos: (i) dada una misma cantidad de usuarios/beneficiarios es prioritario conservar la unidad de bosque (p.e. un cuadrado en la figura) que represente una mayor fracción del paisaje proveedor del servicio al usuario, tal como esquematiza la fila superior de la figura, (ii) dados paisajes similares se prioriza conservar el bosque que provee servicios a un mayor número de usuarios, tal como se muestra en la segunda fila de la figura. En la realidad la prioridad de una microcuenca resulta de la combinación de los dos factores anteriores (fila inferior de la figura) y según la suma de usuarios cuenca abajo de una microcuenca y los paisajes boscosos cuenca arriba de cada usuario. Las prioridades para restauración se estiman de manera similar usando las áreas agrícolas de cada microcuenca.

Este esquema de priorización requiere entonces caracterizar los ecosistemas de cada microcuenca (sección 3.2.2), ubicar espacialmente los usuarios del recurso (sección 3.2.3) y su relación topológica con las demás microcuencas (3.2.4).

### 3.2.2 Oferta del SE de provisión de agua limpia

El componente de oferta del SE está dado por el área de ecosistemas prístinos (asumiendo que generan la máxima provisión del servicio) y antropizados (asumiendo que generan la mínima provisión del servicio) (Figura 2). Esta oferta se cuantificó como el área total de bosques y agricultura para cada microcuenca asociada a cada segmento de la red de drenaje.



**Figura 3.** Oferta del SE de provisión de agua

### 3.2.3 Demanda del SE de provisión de agua limpia

El componente de demanda del SE identifica las áreas que proveen servicios a los usuarios según su ubicación espacial sobre el mapa de oferta de SE. Se identifican dos tipos de usuarios dependientes de una buena calidad de agua: (i) aquellos asociados en acueductos para la provisión de agua y (ii) los usuarios fuera de sistemas comunitarios que resuelven de forma independiente el acceso al recurso. El Anexo 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 proveen detalles sobre la tipología de accesos a agua potable en cada Municipio de la zona de estudio.

Este análisis se realizó usando datos del Censo de Población y Vivienda de Nicaragua (INEC 2005) del cual se usaron las variables:

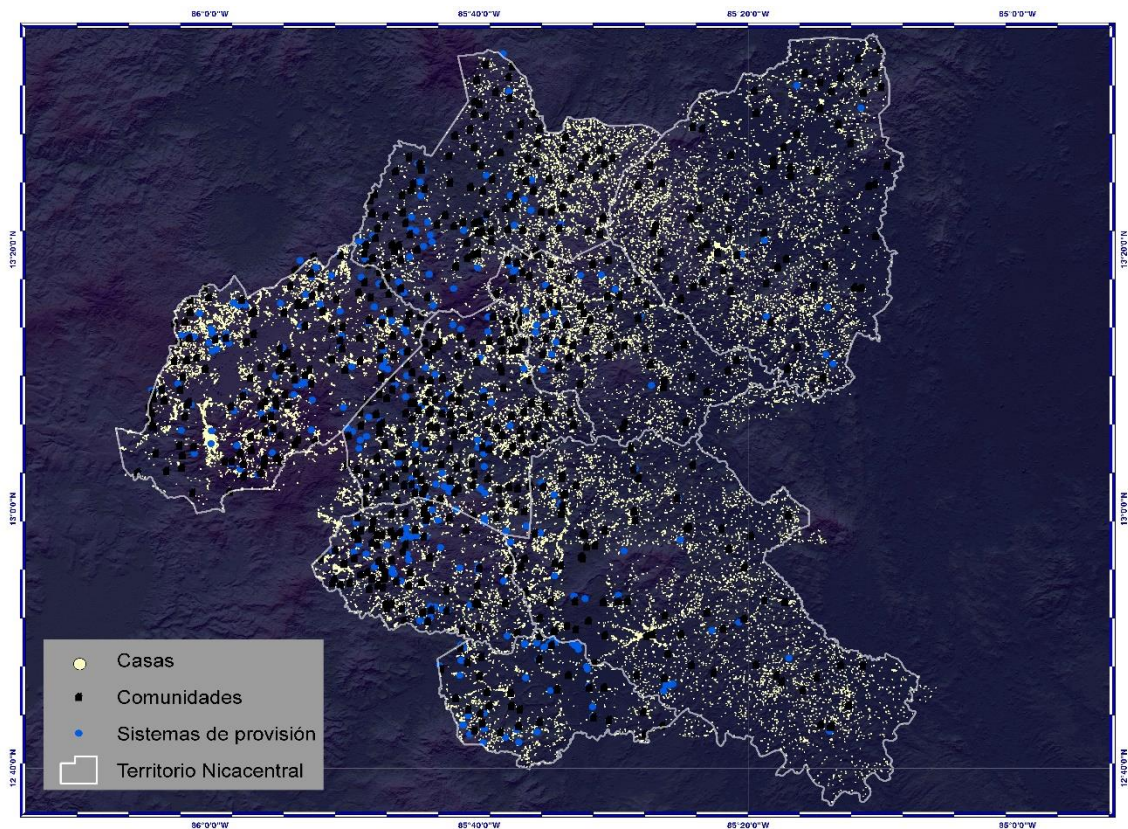
- Número de personas
- Cantidad de viviendas con acceso a agua potable
- Tubería fuera de la vivienda
- Tubería dentro de la vivienda
- Total de viviendas con acceso al agua de la red pública
- Forma de acceso: puesto público, pozo privado, pozo público, ojo de agua o manantial río o quebrada, otra vivienda, camión, otros

Además se utilizaron datos del SIASAR (2013-2015), un inventario de acueductos rurales de Nicaragua, las siguientes variables:

- Cantidad de sistemas por tipo de provisión (bombeo, gravedad, pozos)
- Viviendas atendidas
- Número de comunidades beneficiadas
- Población total atendida



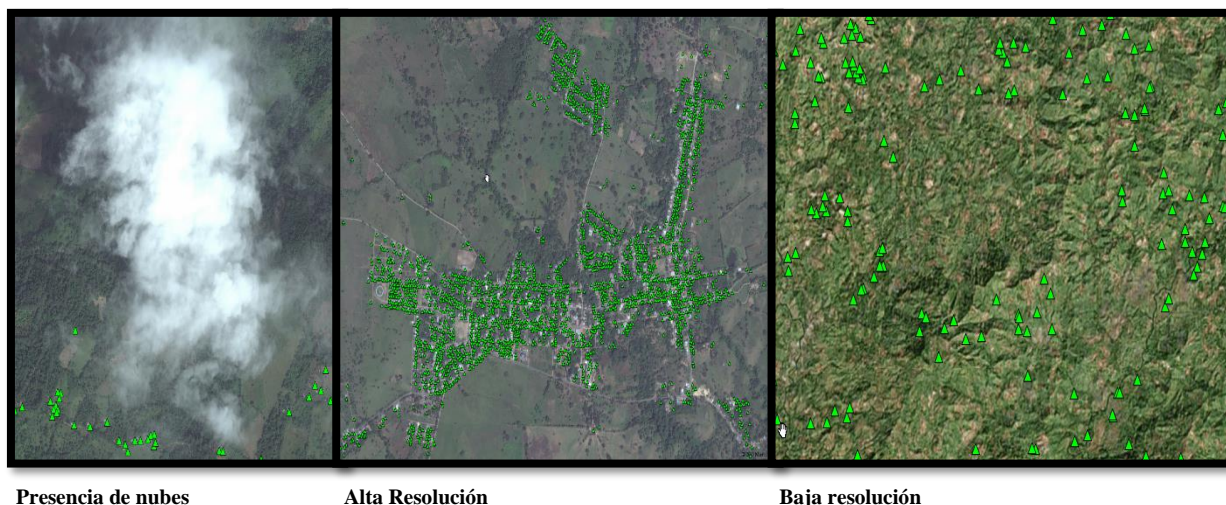
El cálculo de la prioridad según la demanda del servicio se estima según la cantidad de conexiones domiciliarias asociadas a las tomas de los acueductos inventariados por el SIASAR (ver Cuadro 1) en el caso de los usuarios organizados en acueductos. El mapeo de los usuarios fuera del sistema se realizó con base en un mapa de techos del territorio que digitalizado sobre una fuente de imágenes satelitales de alta resolución y utilizado como un proxy de la ubicación de las viviendas. Dada la dificultad de conocer cuales techos observados en las imágenes de satélite corresponden a viviendas o a otros usos (por ejemplo, establos, bodegas, negocios, u otros) se aplicó un factor de corrección (0.68) a los techos según los datos del censo de población, de manera que la cantidad de techos contabilizados corresponden a la cantidad de viviendas reportadas en el censo de población sin acceso al agua potable proveniente de acueductos, sino mediante soluciones individuales. Se asume que la sobreestimación de techos tiene una distribución homogénea en el territorio y por lo tanto no afecta el valor relativo de prioridad de las microcuencas. Esto permite también generar mapas comparables de prioridades para usuarios de acueductos y aquellos de usuarios fuera de estos sistemas. La ubicación espacial de ambos usuarios se muestra en la Figura 3.



**Figura 4.** Demanda del servicio de agua potable

## Mapeo de techos

Se realizó una interpretación visual de techos a escala 1: 2500 en todo el territorio Nica-Central, se utilizaron servicios web de mapas para las imágenes de satélite de base.



**Figura 5.** Proceso de mapeo de techos

La figura 4 muestra parte del proceso de mapeo, los sets de imágenes usando son de alta resolución, (aproximadamente 1m) y del periodo 2000-2014, los cuales presentado nubes en algunos sectores; en otras porciones del paisaje sólo se cuenta con imágenes de baja resolución generando zonas con menor densidad de techos y por lo tanto no comparables con el resto del territorio.

## Mapeo de usuarios conectados y no conectados a sistemas de provisión de agua potable

Se modificó la herramienta Neighborhood Selection de ARCGIS 10.2 (ESRI, 2012) con el objetivo apoyar en la estimación de la cantidad de viviendas conectadas y no conectadas a los sistemas de provisión. La versión original de la herramienta permite hacer una única escogencia espacial a partir de un radio de búsqueda y un número determinado de objetos a seleccionar; con las mejoras realizadas la rutina es capaz de ejecutar múltiples selecciones a partir de un solo conjunto de datos, lo cual optimiza el tiempo requerido para el análisis.

El proceso de mapeo se realizó en 2 etapas:

- Con la información extraída del SIASAR, se crea una base de datos relacional que vincula los acueductos con las comunidades beneficiadas, el dato principal a utilizar es el número de *conexiones domiciliarias*
- El segundo paso consiste en relacionar espacialmente los techos mapeados, el centro de la comunidad y la cantidad de conexiones domiciliarias.

En la figura 5 se muestran los componentes básicos del proceso



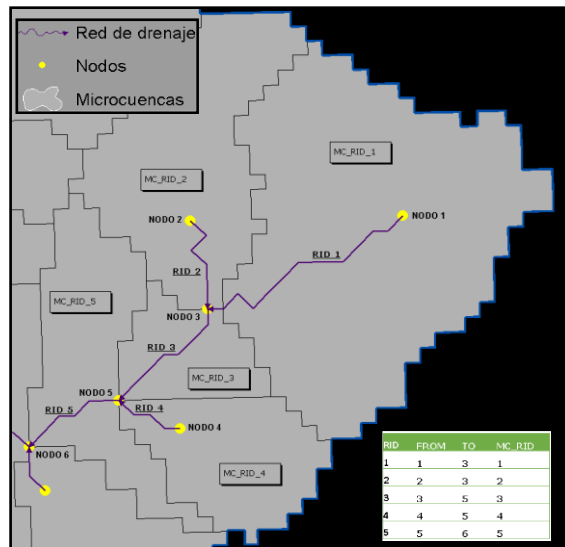
**Figura 6.** Proceso de selección de techos dentro y fuera de sistemas

En el ejemplo se observa que el acueducto x tiene registradas 500 conexiones domiciliarias distribuidas en 3 diferentes comunidades (POB 1, POB 2, POB 3). Para correr el análisis se utilizó un radio de búsqueda de 1600 metros (valor en el cual se alcanza el número total de conexiones reportadas para el territorio), y el número de conexiones ligadas a cada comunidad. Los puntos dentro de los círculos se contabilizan como usuarios conectados al sistema y los de fuera los no conectados.

### 3.2.4 Flujo del servicio ecosistémico a través del paisaje

El estudio se enfoca en la provisión de agua limpia, por lo que se usaron como unidades de análisis la red de drenaje y microcuencas para poder de mapear el flujo del servicio ecosistémico sobre el paisaje.

Usando un modelo de elevación digital (resolución 90 metros) y la herramienta RIVERTOOLS 3.1, se generó una red de drenaje y microcuencas las cuales permitirán vincular espacialmente la oferta y la demanda del SE de provisión (Figura 6).



**Figura 7.** Creación de red de drenaje y cuencas



En la Figura 6 los segmentos de cauce se definen por:

- Un nodo de inicio (FROM)
- Un nodo final (TO)
- Están representados por un identificador único (RID)
- Cada RID está asociado a una unidad de drenaje (MC\_RID)
- El sentido de las flechas señala la dirección del flujo del drenaje
- La relación del nodo inicial/final con el RID configuran el patrón de enrutamiento de las microcuencas

Por ejemplo: La MC 5, recibe aportes de la MC 4, MC 3, MC 2, MC 1

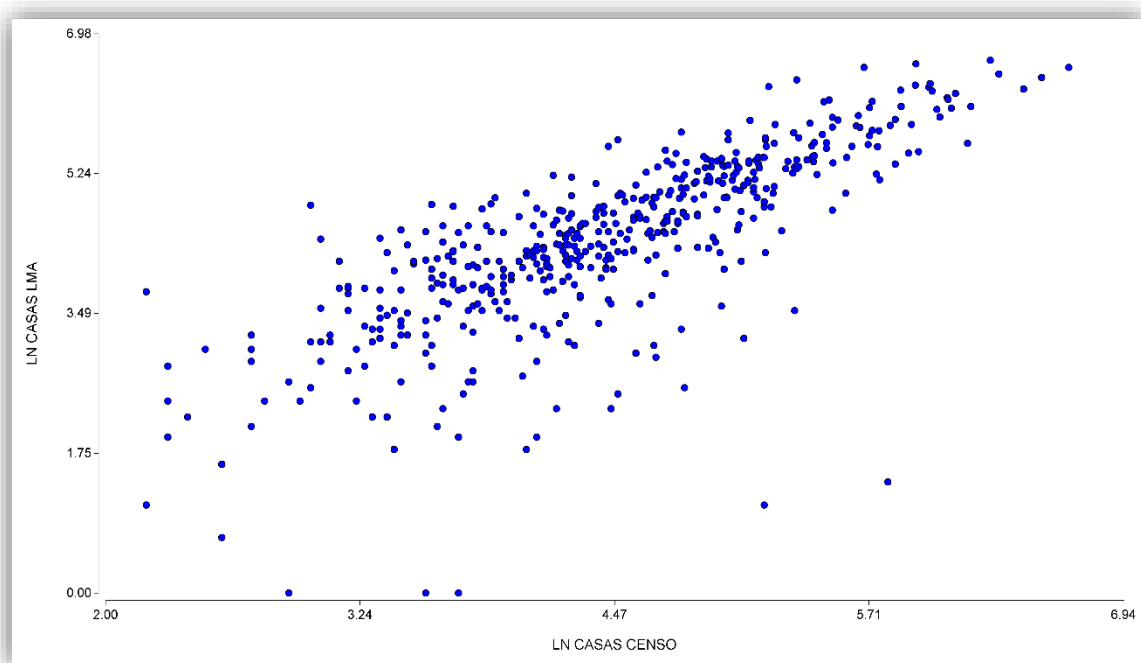
## 4. Resultados

### 4.1 Áreas prioritarias para el aprovisionamiento de agua

La figura 8 muestra la distribución de los usuarios dentro y fuera de sistemas de provisión, en total se mapearon 75469 techos, de los cuales se estimó que 38489 (51%) quedaron fuera de sistemas y 36980 (49%) dentro de sistemas de acueductos.

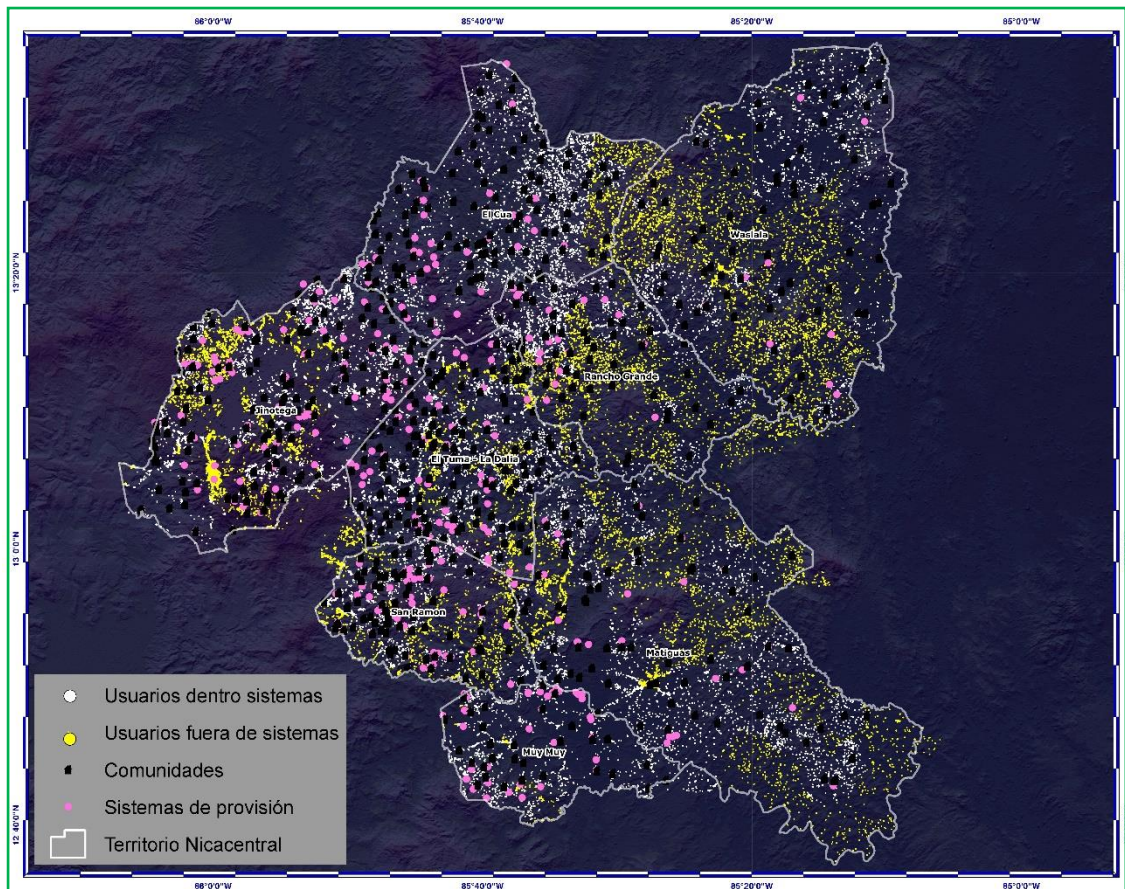
El índice de correlación de Pearson permite evaluar la validez del mapeo de techos como un proxy de las viviendas. Primero se estimó la métrica para los techos mapeados en zonas con imágenes de baja resolución y nubes comparándolas contra la cantidad de viviendas contadas en los segmentos censales; en este primer caso se obtuvo un valor de 0.54.

En segunda instancia se calculó el mismo índice usando el conteo de viviendas de los segmentos censales 2005 y el resto de los techos, arrojando la métrica un valor de 0.76. El gráfico 1 muestra la correlación entre las viviendas mapeadas para este análisis contra la cantidad de viviendas según los segmentos censales.



**Gráfico 1. Gráfico dispersión, techos mapeados número de viviendas por segmento censal**

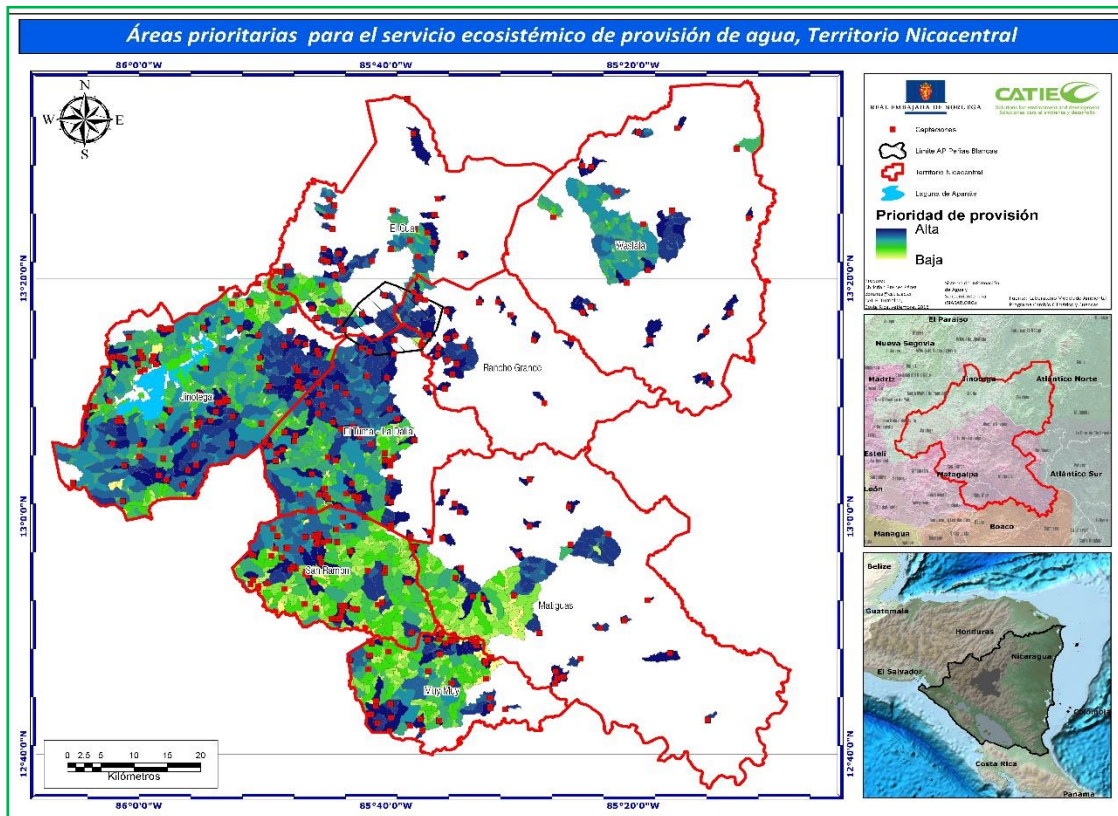




**Figura 8. Usuarios dentro y fuera de un sistema de provisión de agua**

La Figura 8 muestra la distribución de techos según usuarios dentro y fuera de sistemas de acueductos. Espacialmente se observa una mayor concentración de usuarios conectados en el municipio de Jinotega y El Tuma- La Dalia, El Cúa, seguidos de San Ramón y Matiguás, en este último, todo el sector noreste-sureste observa un patrón de viviendas dispersas sin conexión.

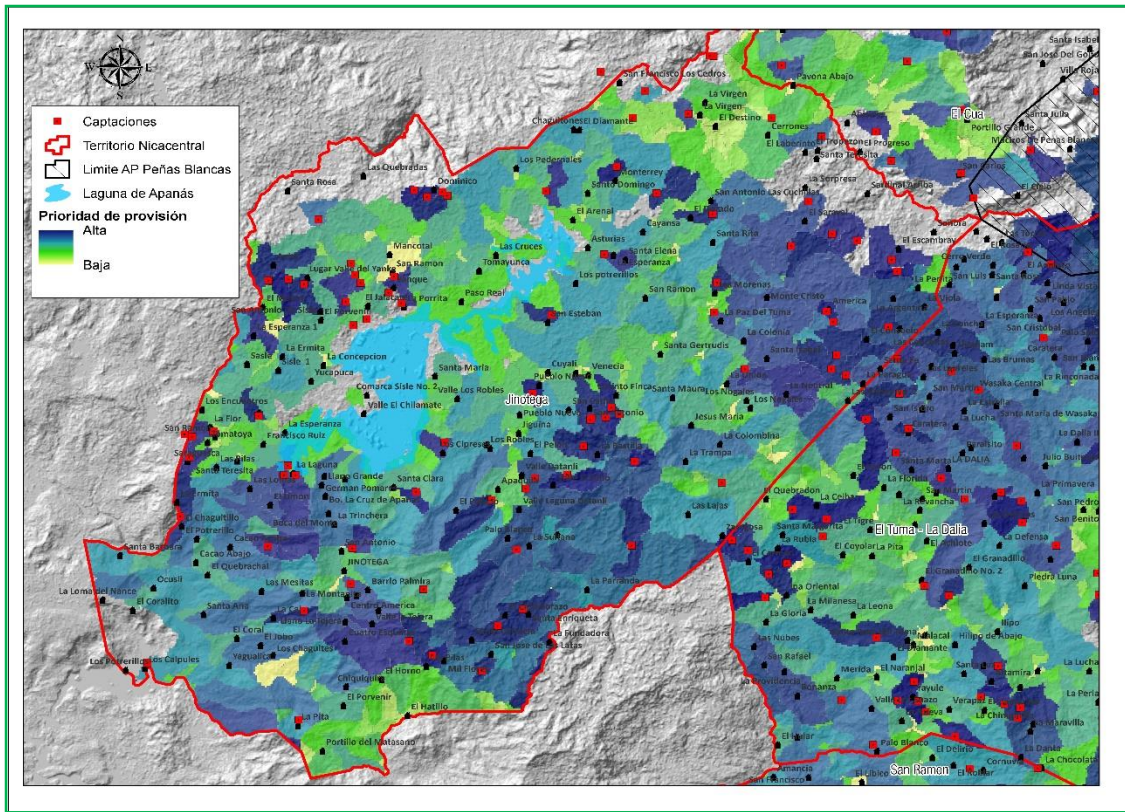
La figura 9 muestra el resultado de la priorización a nivel de todo el paisaje, el rango valores varía en función de la cantidad de servicio ofertado y la demanda. Espacialmente se observa que la mayor parte de la microcuencas priorizadas se encuentran concentradas en Jinotega, y El Tuma-La Dalia, San Ramón y Muy Muy. En cuanto a la prioridad propiamente dicha se notan valores de medios a altos en las cercanías del Macizo de Peñas Blancas, así como zonas con valores altos en la parte sur de Jinotega. El resto de los municipios presentan conglomerados dispersos de cuencas con valores heterogéneos.



**Figura 9.** Áreas prioritarias para conservar la provisión de agua potable provista por acueductos rurales en el territorio Nica-Central

La figura 10, muestra un acercamiento de la zona aledaña a la Laguna de Apanás, correspondiente a Jinotega, en ella se observa un mosaico de diferentes prioridades a través de la red de microcuencas.

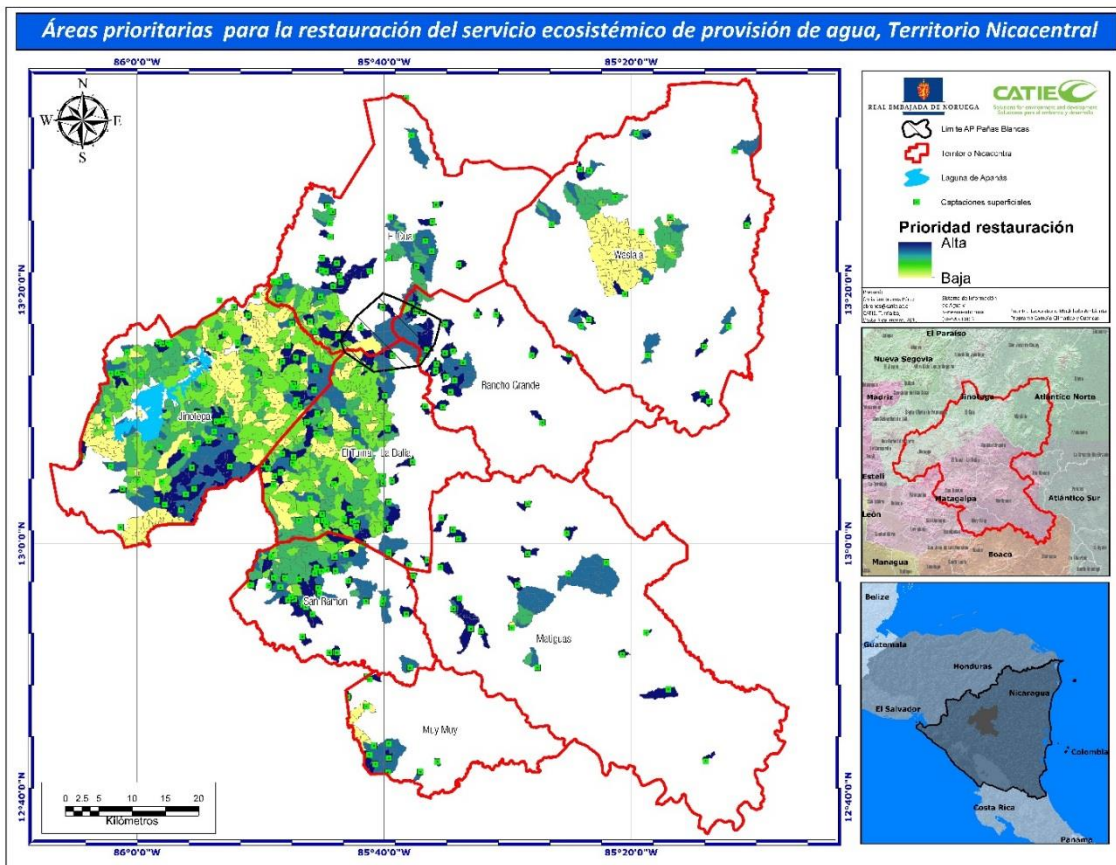




**Figura 10** Áreas prioritarias para conservar la provisión de agua potable provista por acueductos rurales en la zona aleñada al Lago de Apanás, Jinotega

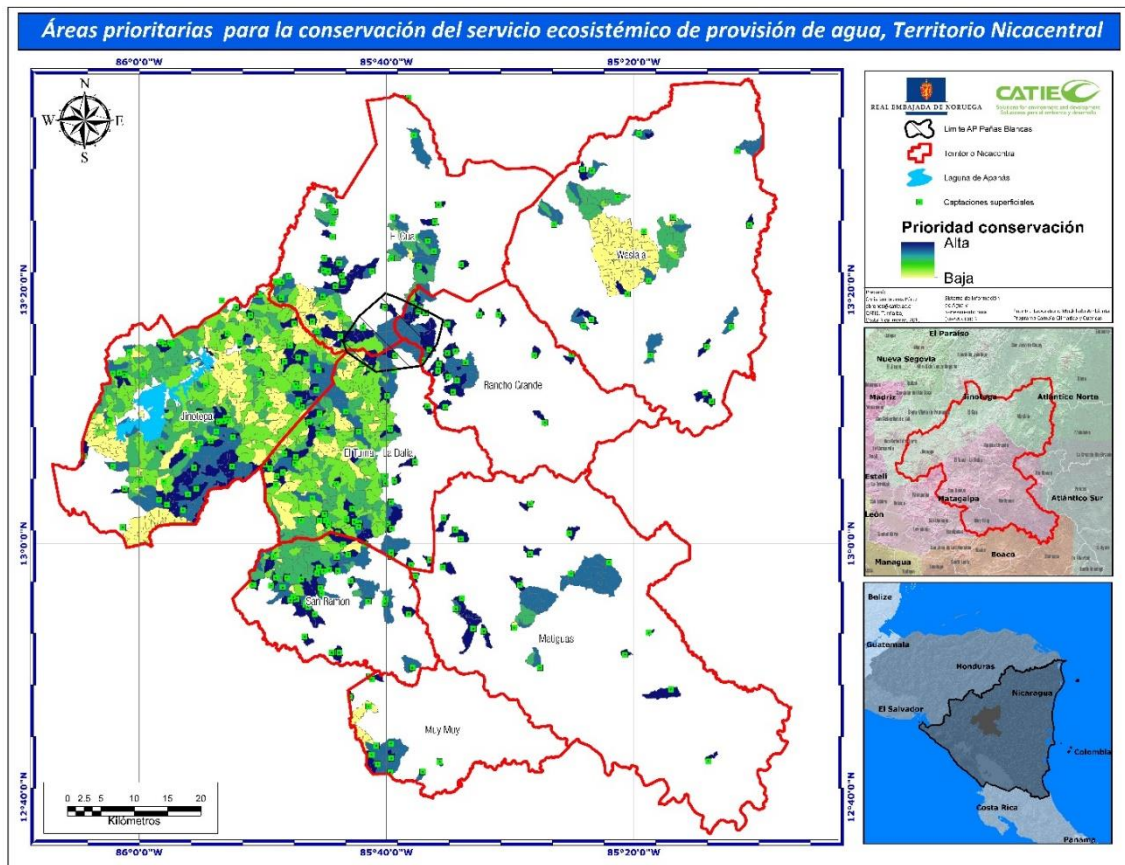
La figura 11 muestra la priorización para la restauración del SE de provisión de agua potable, valores de prioridad altos indican cuencas en donde el servicio se produce de manera más abundante que el resto, pero además las mismas tienen un alto grado de cobertura de pasto, lo cual les da un puntaje mayor para la restauración dado el potencial para mejorar la provisión del servicio a los usuarios y evitar eventualmente la pérdida del mismo.

Resaltan valores de prioridad media dentro del macizo de Peñas Blancas, así como en la zona central de Matiguás, y un conglomerado de valores medios y altos al sur de Jinotega. Estas son zonas donde MAPN puede orientar sus acciones para la optimización del uso de la tierra en busca de una mejora de los SE, en este caso la provisión de agua limpia.



**Figura 11** Áreas prioritarias para restaurar la provisión de agua potable provista por acueductos rurales

La figura 12 muestra la priorización para la conservación del servicio de provisión, este producto se construyó con la fracción de bosque remanente en cada microcuenca; visualmente los resultados son similares al mapa presentado anteriormente y esto se debe principalmente a la homogeneidad de ocupación de la cobertura forestal y pastos en las unidades de análisis, pero por otro lado esto acarrea la ventaja que las acciones de conservación y restauración deben ser encausadas en los mismos sitios, permitiendo por ejemplo focalizar las labores desarrolladas por las *escuelas de campo* en lugares específicos del paisaje.

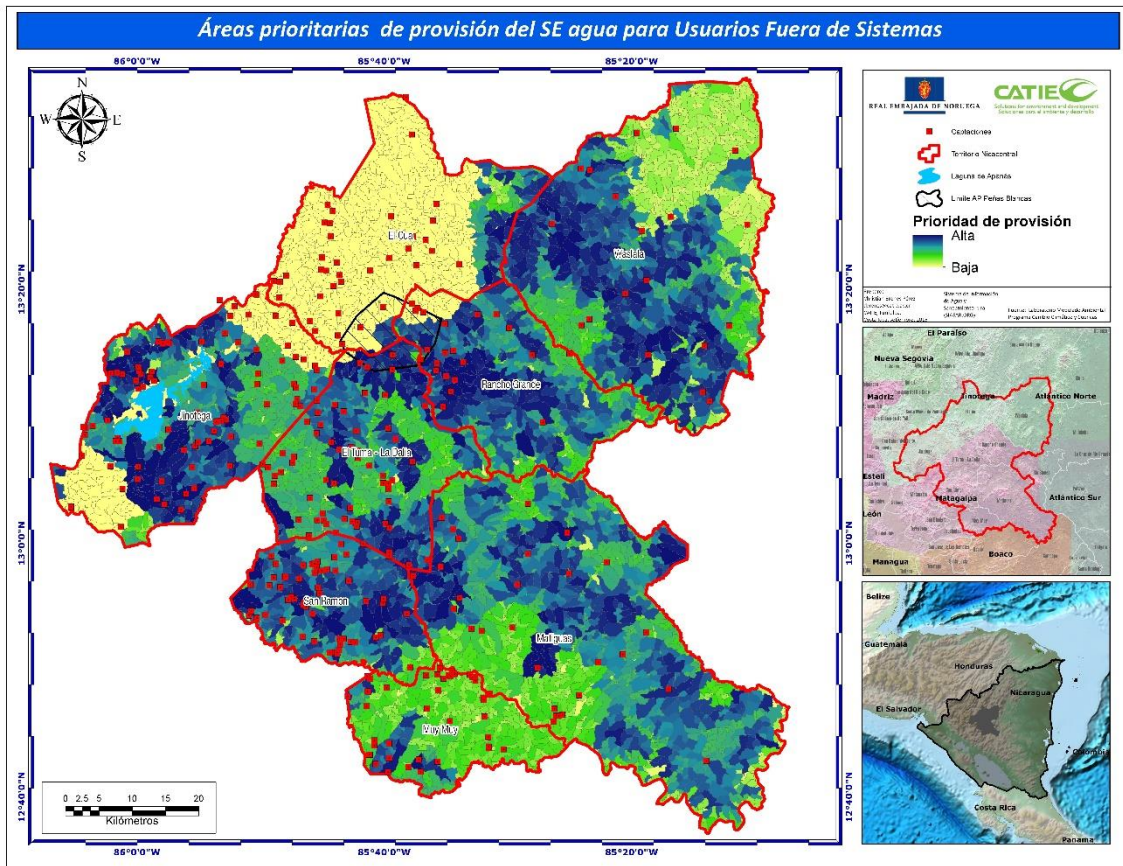


**Figura 12.** Áreas prioritarias para la conservación del SE de provisión de agua provista por acueductos rurales

La figura 13 muestra la priorización en función de los *usuarios no conectados a sistemas*; valores altos indican microcuencas en donde teóricamente existen usuarios fuera sistemas de provisión ya sea no registrados en este análisis, o en su defecto deben acceder al agua directamente de pozos en sus vivienda o movilizándolo y acarreándola desde una fuente cercana. Toda esta porción de la población no conectada más vulnerable a eventos de sequías, y en el mediano y largo plazo a los efectos adversos del cambio climático, adicionalmente es más factible que estos usuarios fuera de sistemas estén consumiendo agua sin ningún tipo de tratamiento lo cual aumenta el riesgo de contraer enfermedades asociadas al consumo de líquido contaminado.

Espacialmente se presentan área de baja prioridad mayoritariamente en El Cuá, y el este de Waslala; por otro lado, Jinotega, El Tuma- La Dalia, el centro de Rancho Grande y San Ramón, presentan valores altos de prioridad, esto se debe a que son zonas con más población y en donde los sistemas de provisión superficiales no atienden el grueso de la población.





**Figura 13.** Áreas prioritarias de provisión de agua para usuarios fuera de sistemas de acueducto

## Literatura citada

- Cepal, 2011. La Economía del Cambio Climático en Centroamérica; Reporte Técnico. Disponible en: [http://www.cepal.org/publicaciones/xml/5/43925/2011-29-cambioclimatico-rt-11016web\\_0.pdf](http://www.cepal.org/publicaciones/xml/5/43925/2011-29-cambioclimatico-rt-11016web_0.pdf). Consultado en octubre de 2014.
- CONAPAS, 2006. Estrategia Nacional de agua potable y saneamiento. Managua, Nicaragua:CONAPAS.
- Esri, 1999. The Esri Guide to GIS Analysis Volume 1: Geographic Patterns & Relationships. ESRI Press, Redlands, California, 1999.
- IANAS, 2012. Diagnóstico del Agua en las Américas. Red Interamericana de Academias de Ciencias, Foro Consultivo Científico y Tecnológico. AC. México, 2012. Disponible en [www.ianas.org](http://www.ianas.org), consultado en octubre de 2014.
- Dirección General de Patrimonio Natural/Dirección de Recursos Hídricos y Cuencas Hidrográficas. 2010. Caracterización de la Cuenca No.45, Río Coco. Managua Nicaragua, 2010
- Dirección General de Patrimonio Natural/Dirección de Recursos Hídricos y Cuencas Hidrográficas. 2010. Caracterización de la Cuenca No.55, Rio Grande de Matagalpa. Managua Nicaragua, 2010.
- González H. C. 2006. Identificación de bosques y sistemas agroforestales importantes proveedores de servicios ecosistémicos importantes para el sector agua potable en Nicaragua. Tesis, Mag. Sc. CATIE, Turrialba.
- Imbach, P.; Zamora, J.C.; Fung. E.; Locatelli, B.; Ciaís, P.; Molina, L.2015. Impacts of Climate Change on Central American ecosystem services: water provisioning. In: Impacts of Climate Change on Central American ecosystem services. In preparation for publication by Routhledge -Earth Scan Library.
- MEA, 2005. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being. Disponible en: <http://www.millenniumassessment.org/en/index.html>. Consultado en octubre de 2014.
- Leguía, Efraín.2006. Identificación de bosques importantes proveedores de servicios ecosistémicos para la generación de hidroelectricidad en Nicaragua.Tesis de maestría,CATIE, Turrialba.
- Locatelli, B; Imbach, P; Vignola, R; Meztger, J. Leguía E.2011. Ecosystem services and hydroelectricity in Central America: Modelling service flows with fuzzy logic and expert knowledge. Regional Environmental Change. 11:393-404. Disponible en [Springerlink.com](http://Springerlink.com)
- Organización Mundial de la Salud; UNICEF. 2014. Progresos en materia de agua potable y saneamiento: Informe de actualización.2014. Disponible en [www.who.int](http://www.who.int)
- Van Noordwijk. 2004. Quantifying off-site effects of land use change: filter, flows and fallacies.Agriculture, Ecosystems and Enviroments 104. 19-34.



# Glosario

**Comunidad:** Se entiende como comunidad rural una entidad de población habitada por varias familias que ocupan un lugar determinado en el territorio. Está identificada con nombre conocido por todas las personas que pertenecen a la misma, y cuenta con una cierta estructura social comunitaria.

**Sistema:** Se entiende como sistema de abastecimiento el conjunto de infraestructuras que permiten la captación de agua y la trasladan hacia el punto de consumo, sea este colectivo o domiciliar.

## *Tipo de Sistema de Abastecimiento de Agua*

Tipología principal del sistema de abastecimiento de agua:

- **Acueducto por gravedad:** sistema de distribución que suministra el agua por gravedad hasta los puntos de consumo humano, sin necesidad de pozo alguno
- **Acueducto por bombeo:** Sistema que incluye al menos un bombeo en algún punto de la red de distribución, pudiendo incluir zonas que funcionen por gravedad, o bien pozos con bombeo no manual, sin conexión a red alguna
- **Pozo con bomba manual:** Sistema que sólo cuenta con pozos con bomba manual, sin red de distribución.
- **Captación de agua de lluvia:** Sistema basado en elementos de captación de agua de lluvia sin red de distribución

## *Tipo de fuente*

Tipología de la fuente o captación de agua principal del sistema:

- **Río:** Captación tomada directamente en un río
- **Quebrada:** Captación tomada directamente en una quebrada
- **Ojo de agua o manantial:** Manantial de agua
- **Lago:** Captación asociada a una masa de agua dulce estable, como un lago o embalse
- **Pozo perforado:** pozo de agua perforado
- **Pozo excavado:** Pozo de agua excavado con o sin protección

**Capacidad total de almacenamiento:** volumen de almacenamiento total de todos los elementos del sistema que puedan almacenar agua (habitualmente tanques)

**Caudal de la fuente:** Caudal medido en la captación o fuente principal del sistema en época de estiaje

**Caudal del sistema:** Caudal máximo que puede llevar el sistema, este se mide en el punto de entrada al tanque.

**Agua suficiente:** Disponibilidad de agua suficiente en invierno o verano para las necesidades de la comunidad.

**Sistema de tratamiento:** Información sobre el tipo de sistema principal de tratamiento que está funcionando en el sistema:

- Filtración rápida
- Filtración lenta
- Desinfección con cloro
- Filtración domiciliaria
- Ninguno
- Otro

Fuente: [http://siasar.org/sistema/descargas\\_tecnica.php](http://siasar.org/sistema/descargas_tecnica.php)

## Anexos

### Anexo 1. Caracterización de los sistemas de provisión y comunidades

El gráfico 1, muestra la población total, viviendas ocupadas y viviendas sin agua potable según el censo del año 2005, esto a nivel de municipio. En términos generales se observa que Jinotega posee la mayor cantidad de población con alrededor de 100 000 habitantes, caso contrario de Muy Muy con 14000 personas. Para todos los municipios, la relación de viviendas con agua y sin agua es de 3 a 1, excepto en el caso de Jinotega en donde baja la proporción a 2 a 1.

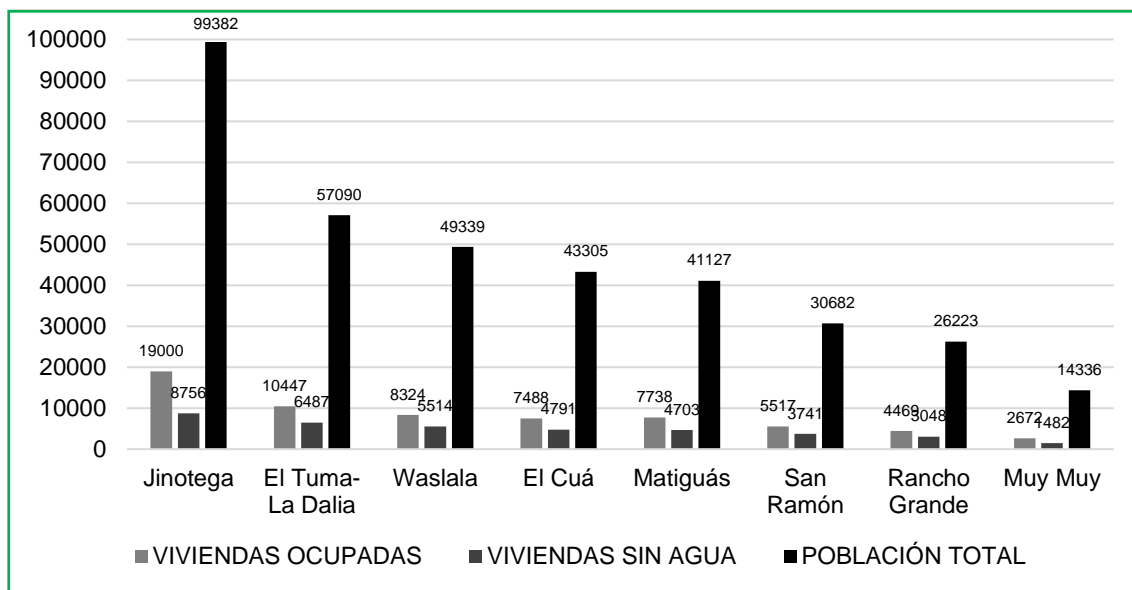
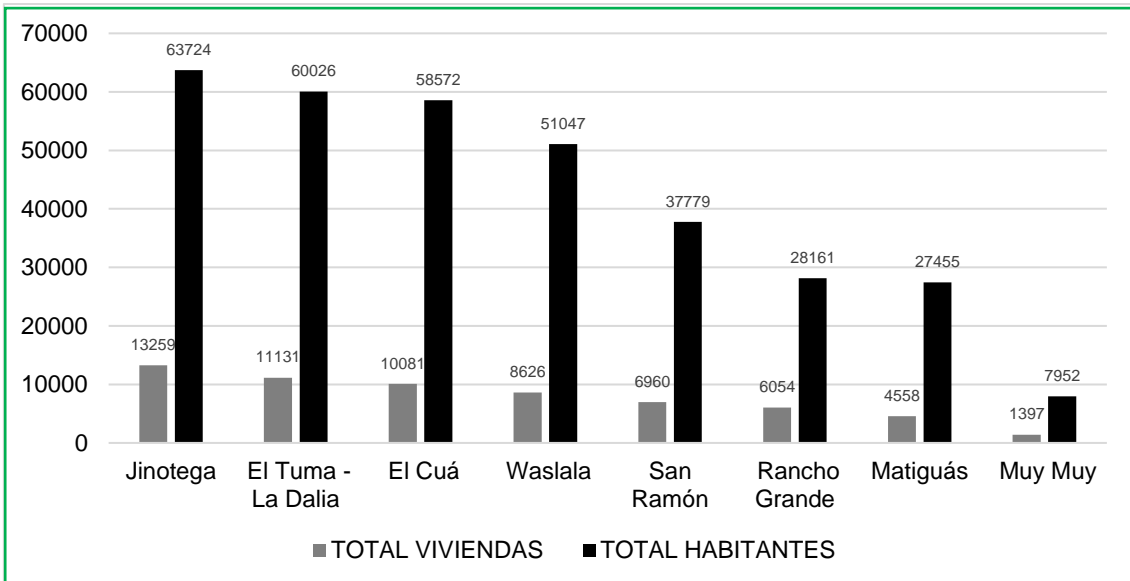


Gráfico 1 Población total, viviendas ocupadas y viviendas sin agua potable, censo 2005

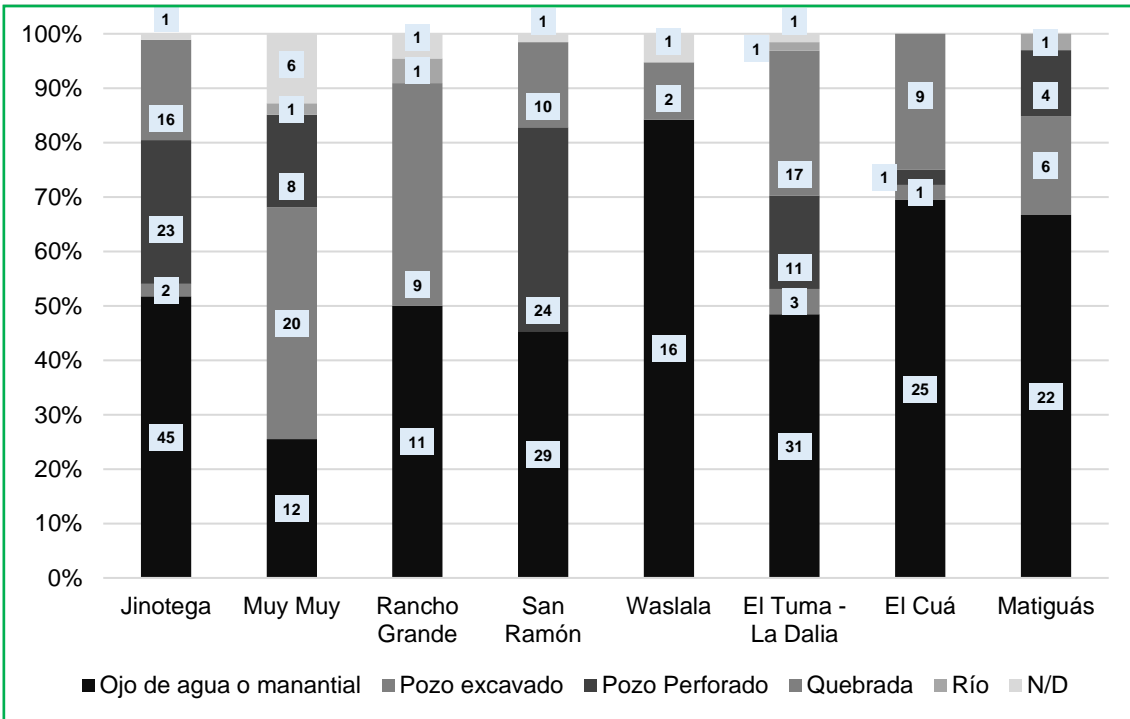
El gráfico 2, presenta la cantidad de viviendas y número de habitantes encuestados por SIASAR, dicha fuente sólo colecta datos en acueductos rurales, por lo que áreas urbanas quedan excluidas del análisis, pero, por otra parte, la información en campo fue recogida entre los años 2012 y 2014, por lo que representa un reservorio más actualizado que el censo. En términos generales, la relación *número de viviendas/ habitantes* muestra el mismo patrón observado en gráfico anterior.



**Gráfico 2. Número de viviendas y habitantes según SIASAR**

El gráfico 3, muestra porcentualmente y en términos absolutos la composición tipológica de las captaciones a nivel de municipio, siendo el *ojo de agua o manantial* la forma más común de abastecerse, excepto en el caso de Muy Muy, en donde es más frecuente a través de *pozo excavado*; *río* y *quebrada* son las formas menos habituales en todo el paisaje.

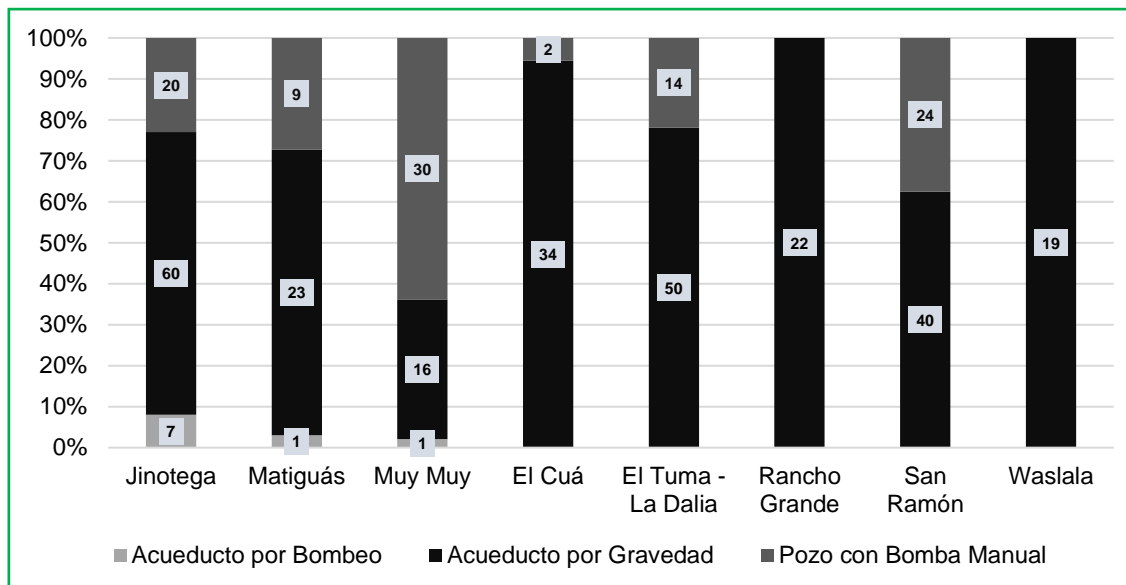
En términos generales, Jinotega presenta la mayor cantidad de sistemas (87 en total), contra 19 de Waslala, el cual también posee la menor diversidad tipológica; en resumen las captaciones superficiales son la manera más reiterativa de abastecimiento.



**Gráfico 3. Tipología de captación de los sistemas de provisión de agua por municipio**

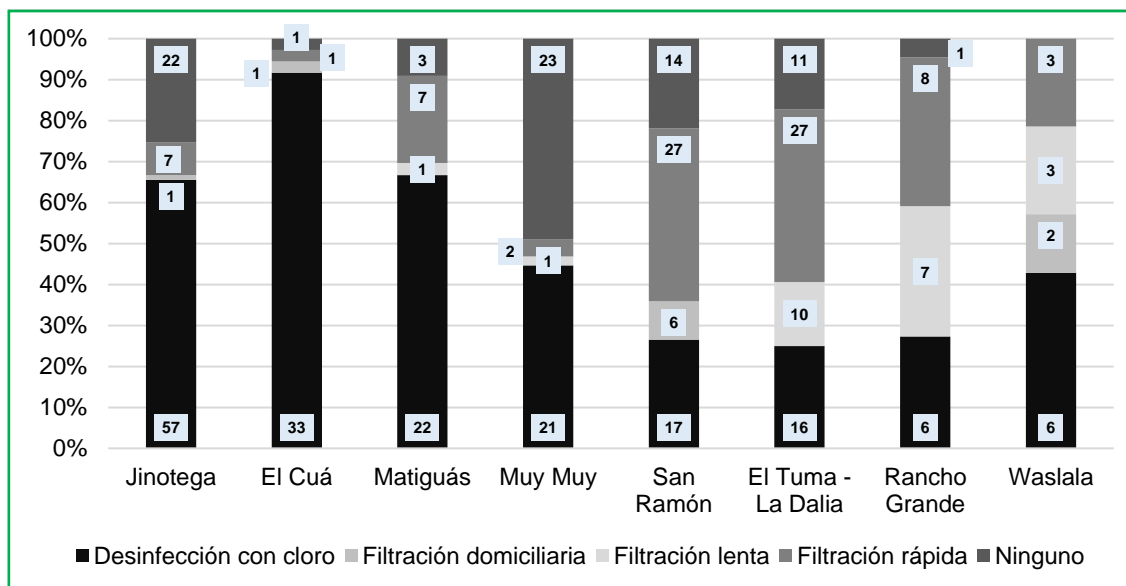
El gráfico 4 muestra la tipología de los sistemas de abastecimiento a nivel municipal, siendo el *acueducto por gravedad* la forma más frecuente en todos los municipios, seguido por el *pozo con*

bomba manual, y en tercer término el *pozo con bomba mecánica*; el caso de Rancho Grande y Waslala reportan 100% de acueductos por gravedad, por otro lado, Jinotega y Matiguás observan una mayor diversidad en la composición.



**Gráfico 4. Tipología de los sistemas de abastecimiento por municipio**

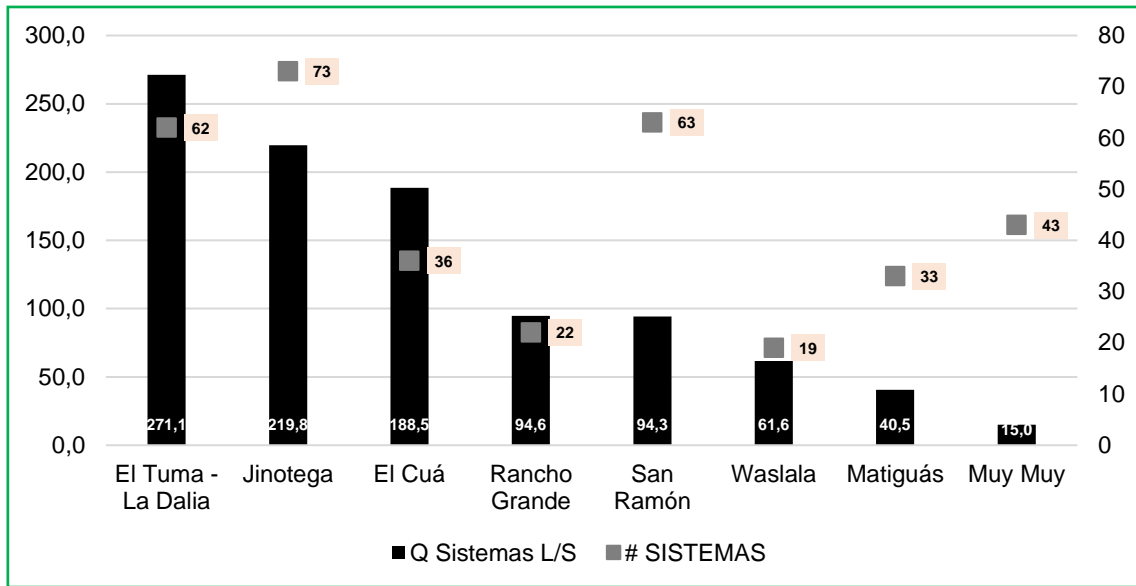
En cuanto al tipo de tratamiento que se le brinda a cada sistema de provisión (Gráfico 5), se puede notar que la *desinfección con cloro* es la forma más habitual en los municipios de Jinotega, El Cuá, Matiguás y Waslala; por otro lado, en el caso de Muy Muy se observa que la mitad de los sistemas no reciben ningún tipo de tratamiento; en el El Tuma – La Dalia y San Ramón la mitad de los acueductos los hacen a través de *filtración rápida*.



**Gráfico 5. Tipología de tratamiento, sistemas de abastecimiento por municipio**

Haciendo referencia al caudal total y número de sistemas por municipio (Gráfico 5), se puede observar que el municipio de El Tuma – La Dalia tiene el mayor volumen de caudal acumulado en relación a la cantidad de sistemas presentes; Jinotega registra 73 sistemas pero un caudal acumulado menor que El Tuma – La Dalia, en el otro extremo Muy Muy presenta los valores más bajos de caudal acumulado en relación al número de sistemas presentes. En resumen, El Tuma –

La Dalia muestra caudal promedio de 4.7 l/s por sistema, en Jinotega el valor es de 3.0 l/s por sistema, y Muy Muy 0.3 l/s por sistema.



**Gráfico 6 Caudal total y número de sistemas por municipio**

## Anexo 2. Mapas de concentración de la oferta y la demanda

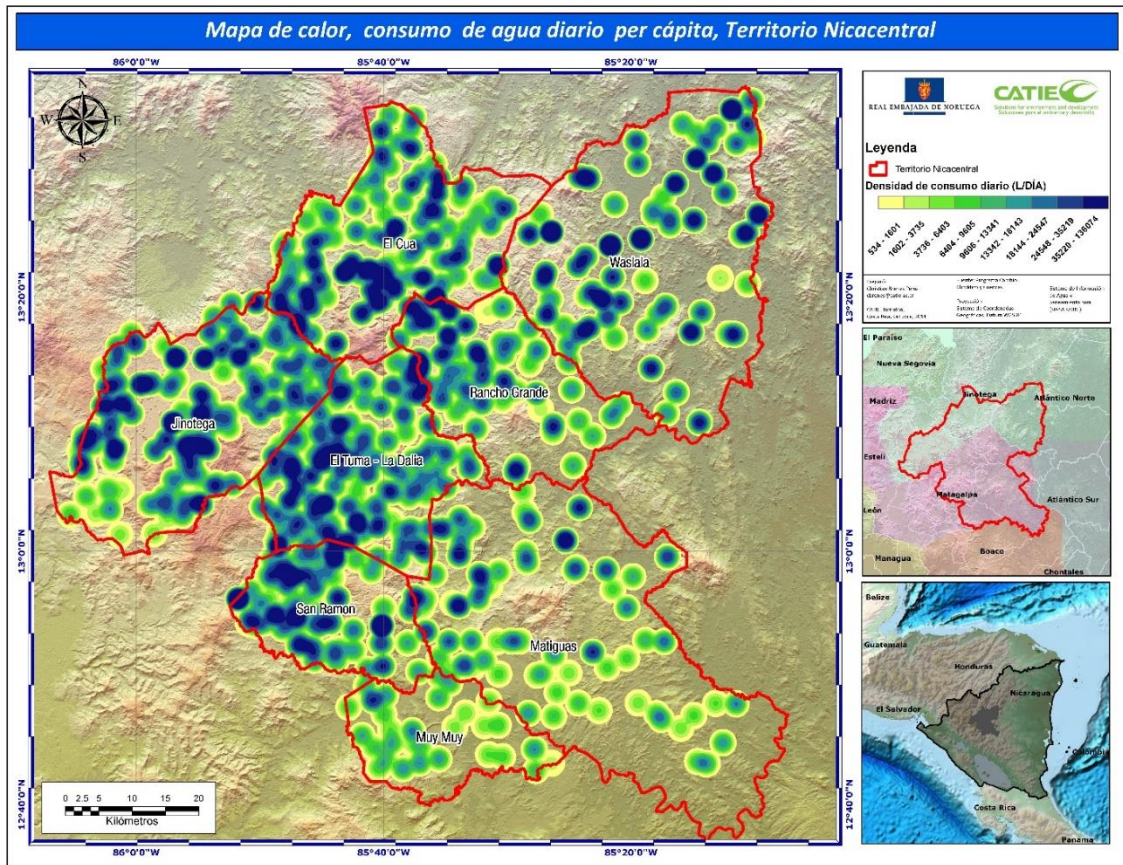
En esta fase se construyó un set de mapas usando las comunidades encuestadas por SIASAR (671), como primer paso se calculó la demanda diaria usando la ecuación mostrada abajo; con la herramienta NEAR de ARCGIS 10.0 se estimó la distancia mínima promedio entre comunidades, resultando esta en un valor cercano a los 2000 metros, en última instancia se generó un mapa de calor de demanda utilizando la herramienta KERNEL DENSITY de ARCGIS 10.0. La densidad kernel es una función de probabilidad que expresa el valor de la variable en función de unidades de superficie, los datos se ajustan a partir de un radio de búsqueda de puntos, para lo cual se usó el valor calculado con el NEAR en la paso anterior (2000mts).

Fórmula para la demanda:

# habs/barrio \* 190 l/día

En donde habs/barrio es la población total en cada barrio, y 190 l/día es el volumen promedio de consumo estimado por habitante en las cuencas en cuestión (IANA, 2012). El mapa de salida resultante es una composición de graduación de colores con rangos de consumo en donde se muestra la variabilidad espacial del fenómeno estudiado.

La figura 13 muestra la concentración de la *demanda de agua* dentro del paisaje; este mapa se construyó a partir de los datos de comunidades de SIASAR, además de una métrica de mínima distancia entre comunidades (2000 mts), cantidad de población, y una cuota de consumo de 190 litros/ día / habitante. Espacialmente se observa una mayor aglomeración de la variable en los municipios de El Cuá, Jinotega; El Tuma – La Dalia, San Ramón, y Rancho Grande; en el municipio de Waslala se observan puntos calientes (alta demanda), pero se presentan de manera aislada. En sectores como Muy Muy y Matiguás hay un menor número de comunidades y con menos cantidad de población.

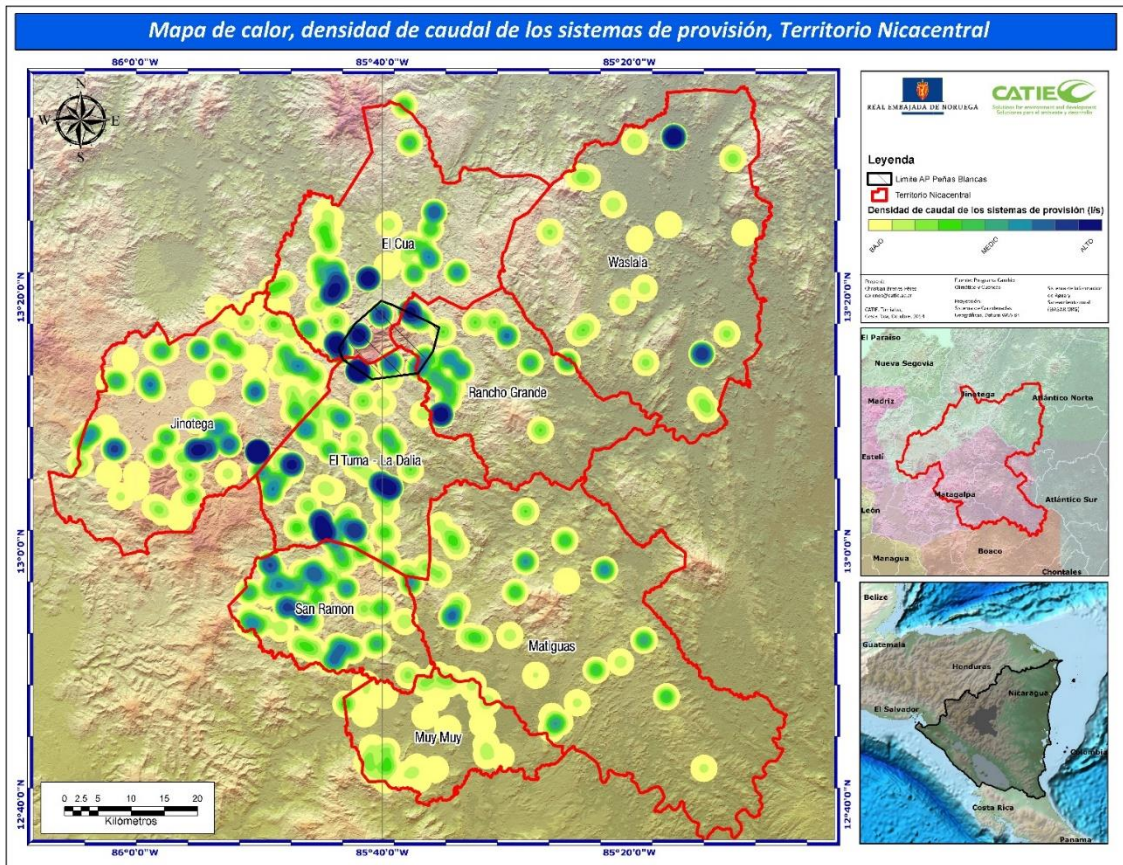


**Figura1. Mapa de concentración de la demanda del servicio**

La concentración de la oferta del servicio (figura 14) está construida bajo la misma lógica de la demanda, distancia promedio mínima entre sistemas de provisión (captaciones) y el dato de caudal (l/s) de cada una. En este caso, el mapa muestra especialmente la probabilidad de encontrar zonas con baja, media o alta oferta, es decir, desde un punto de vista estricto permite establecer de manera zonal las diferencias de caudales de los sistemas de provisión.

Resaltan de primera entrada los puntos calientes en el área circundante al macizo Peñas Blancas, pero de igual forma que el mapa de demanda, existe una mayor concentración de la variable en los municipios de Jinotega, El Cúa, El Tuma- La Dalia y San Ramón.

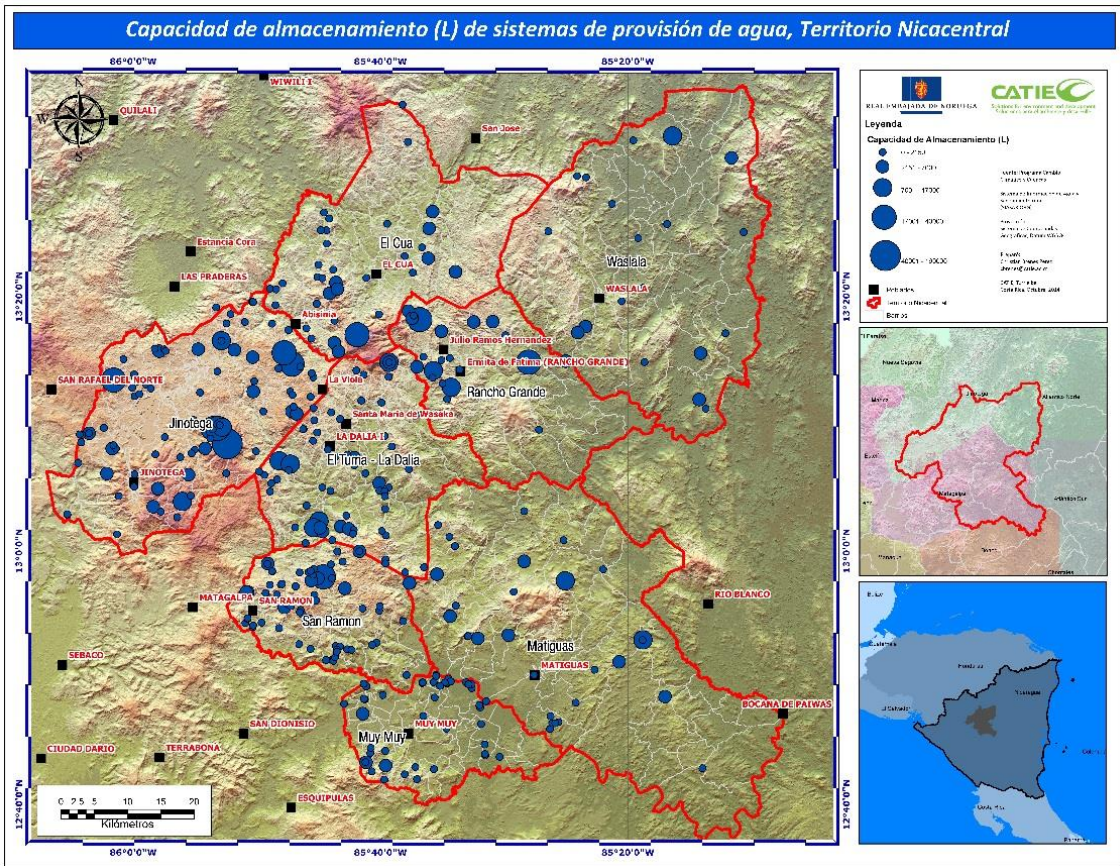




**Figura 2 Mapa de concentración de la oferta del servicio**

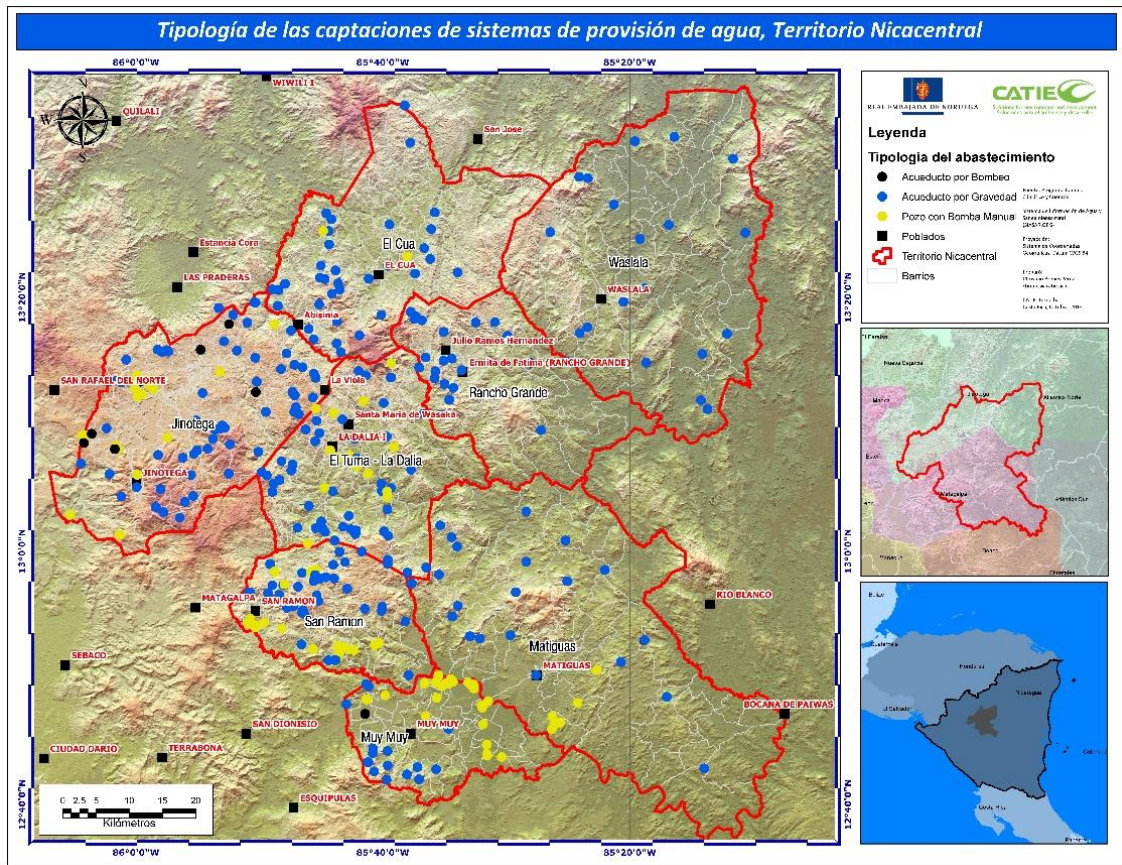
### Anexo 3. Mapas adicionales sobre la tipología de los sistemas de provisión de agua potable para uso humano

En esta sección se presentan mapas que describen la tipología de los sistemas.

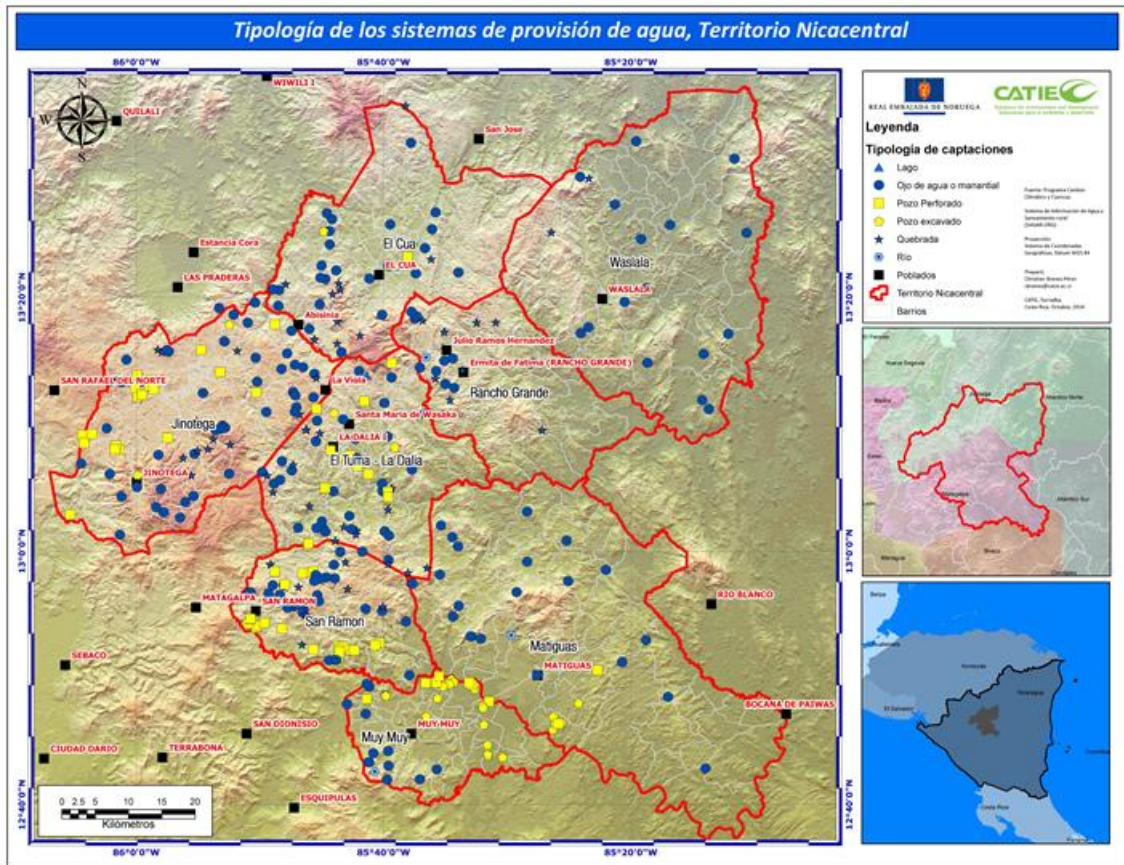


**Figura 3 Capacidad de almacenamiento de sistemas de provisión (litros)**



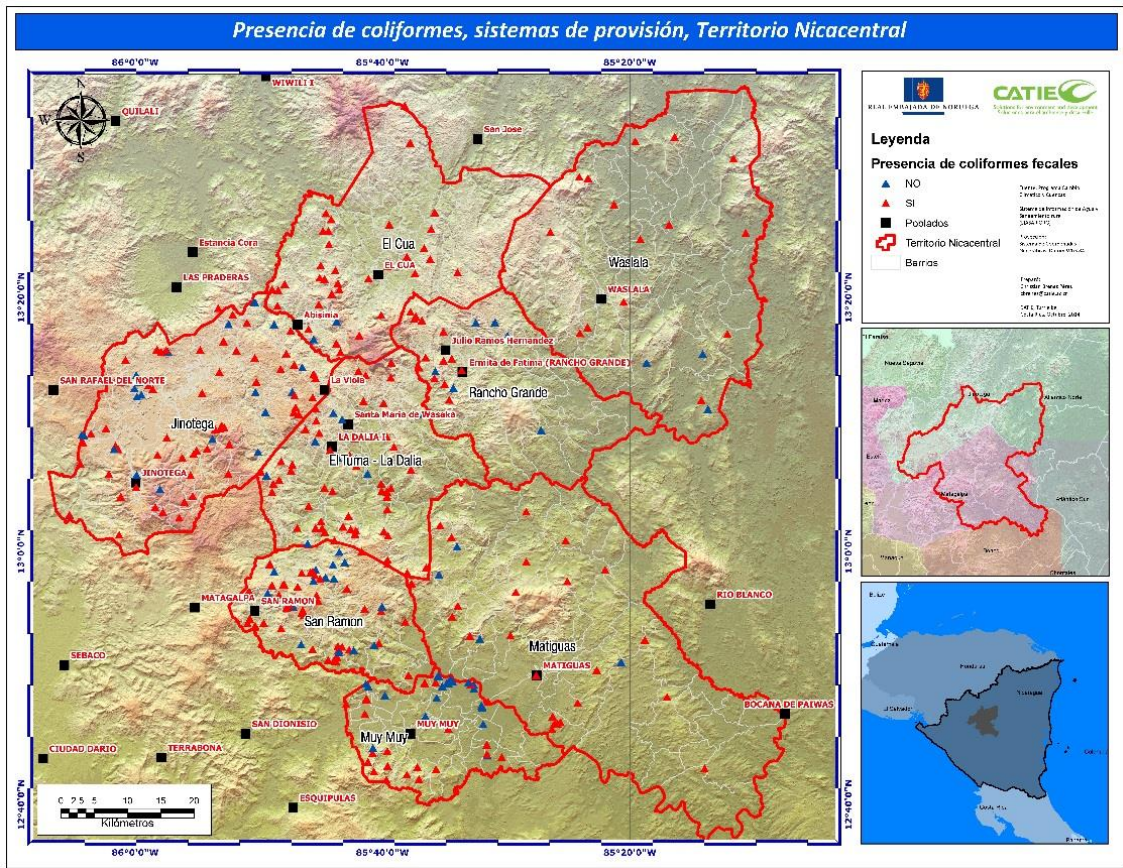


**Figura 4 Tipología del abastecimiento de los sistemas de provisión**



**Figura 5 Tipología de las captaciones de los sistemas de provisión**





#### Anexo 4. Resumen de características de los sistemas de provisión

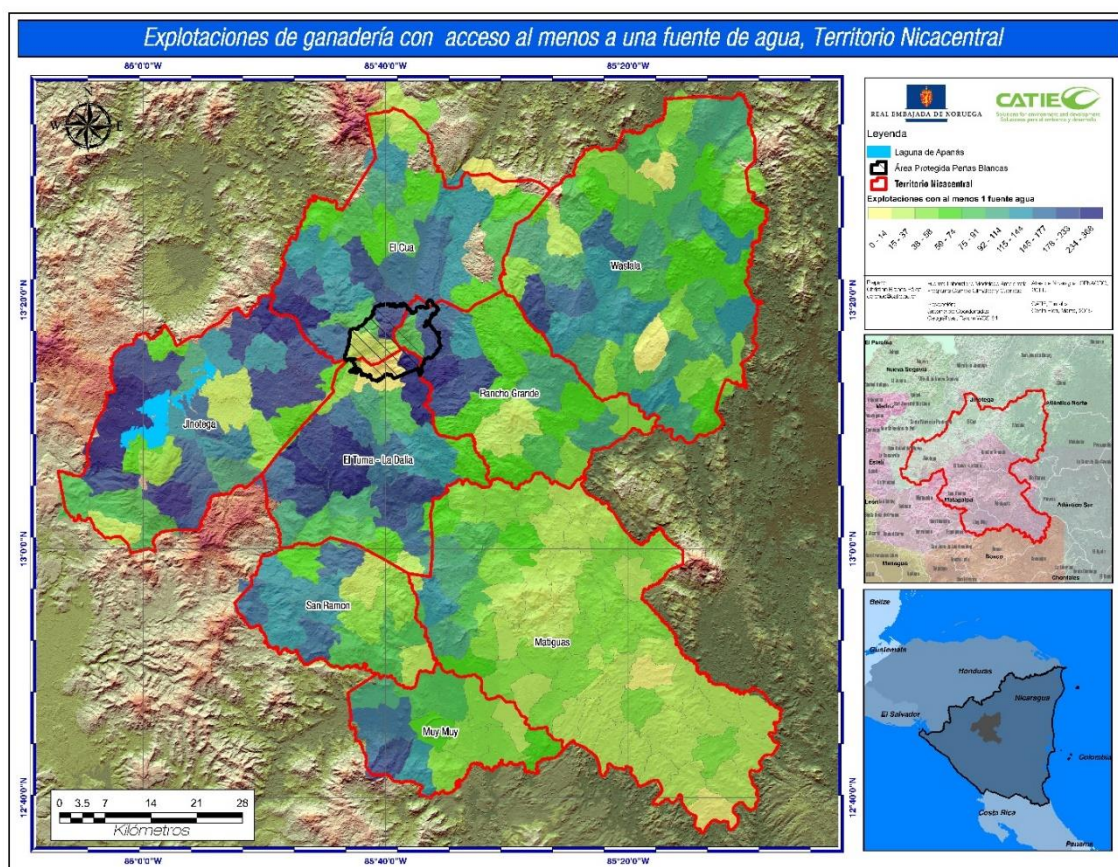
<b>Sistemas de provisión (SIASAR)</b>	<b>Cantidad</b>	
Numero de sistemas	376	
Capacidad almacenamiento total (L)	981384	
Promedio (L)	2600	
Caudal promedio de las fuentes (l/s)	2.62	
Caudal promedio de los sistemas (l/s)	2.79	
<b>Tipología de tratamiento</b>		<b>%</b>
Desinfección cloro	180	47.9
Filtración domiciliaria	11	2.9
Filtración lenta	22	5.9
Filtración rápida	82	21.8
Ninguno	81	21.5
<b>Tipología de abastecimiento</b>		<b>%</b>
Acueducto por bombeo	9	2.4
Acueducto por gravedad	266	70.7
Pozo con bomba manual	101	26.9
<b>Tipología de captaciones</b>		<b>%</b>
Lago	1	0.3
Manantial	192	51.1
Pozo perforado	73	19.4
Pozo excavado	32	8.5
Quebrada	64	17.0
Rio	4	1.1
ND	10	2.7

**Anexo 5. Resumen de las características de la población e infraestructura de la capa barrios (INEC 2005)**

Barrios (Según capa INEC, 2005)	Cantidad	
Número de barrios	670	
Número de viviendas	75522	%
Número de viviendas ocupadas	66171	87.6
Viviendas sin agua potable	38855	51.4
Población total	364349	%
Cantidad de hombres	183350	50.3
Cantidad de mujeres	180999	49.7

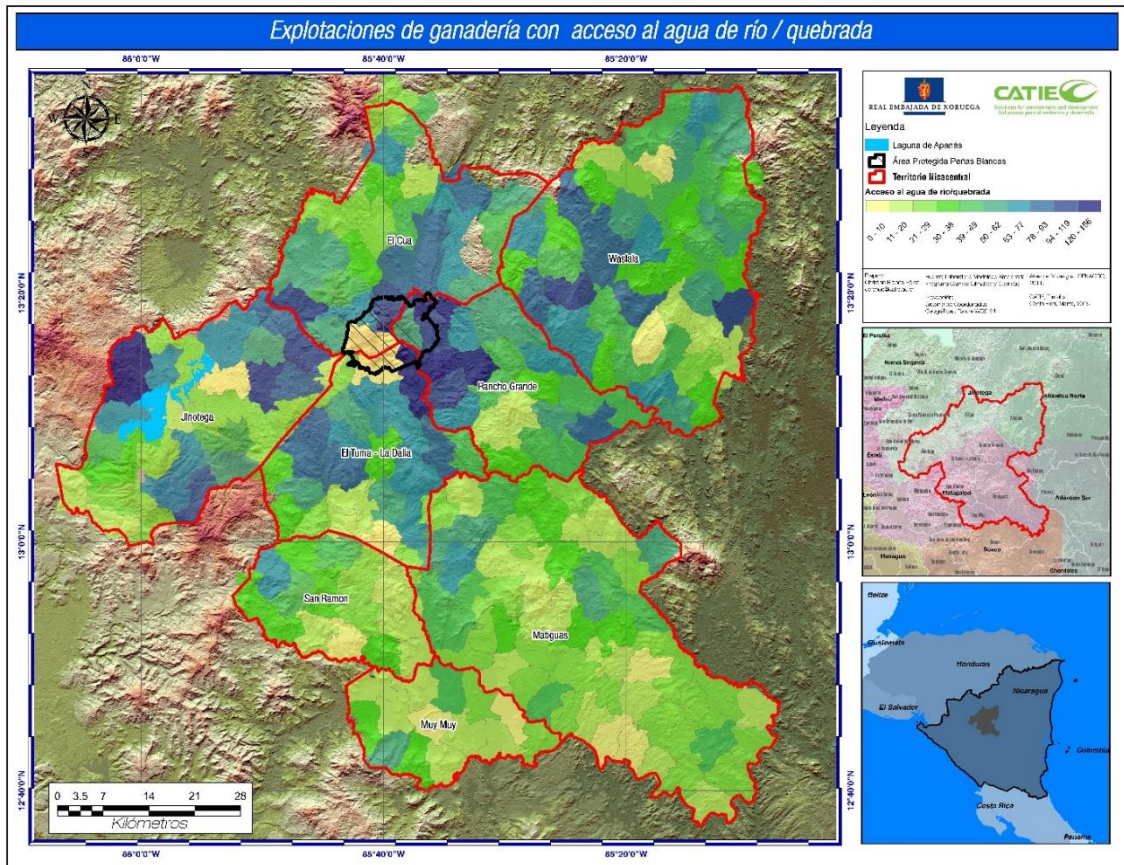
**Anexo 6. Resumen de comunidades según SIASAR**

Comunidades (SIASAR)	Cantidad
Número de comunidades	671
Número de viviendas	62066
Población total	336216



**Figura 7. Cantidad de explotaciones ganaderas con acceso al menos a una fuente de agua**





**Figura 8 Cantidad de explotaciones ganaderas con acceso al agua de ríos y quebradas**

## Anexo 7. Validación de sistemas de provisión

Entre diciembre de 2014 y enero de 2015 se realizó un recorrido de campo en donde se visitaron 114 sistemas de provisión (31.% del total) de los 376 registrados en la base del SIASAR. Para cada sistema se llenó un formulario (figura 19) en donde se recolectaron las características básicas de los mismos, adicionalmente se tomaron fotografías para constatar el estado de la infraestructura.

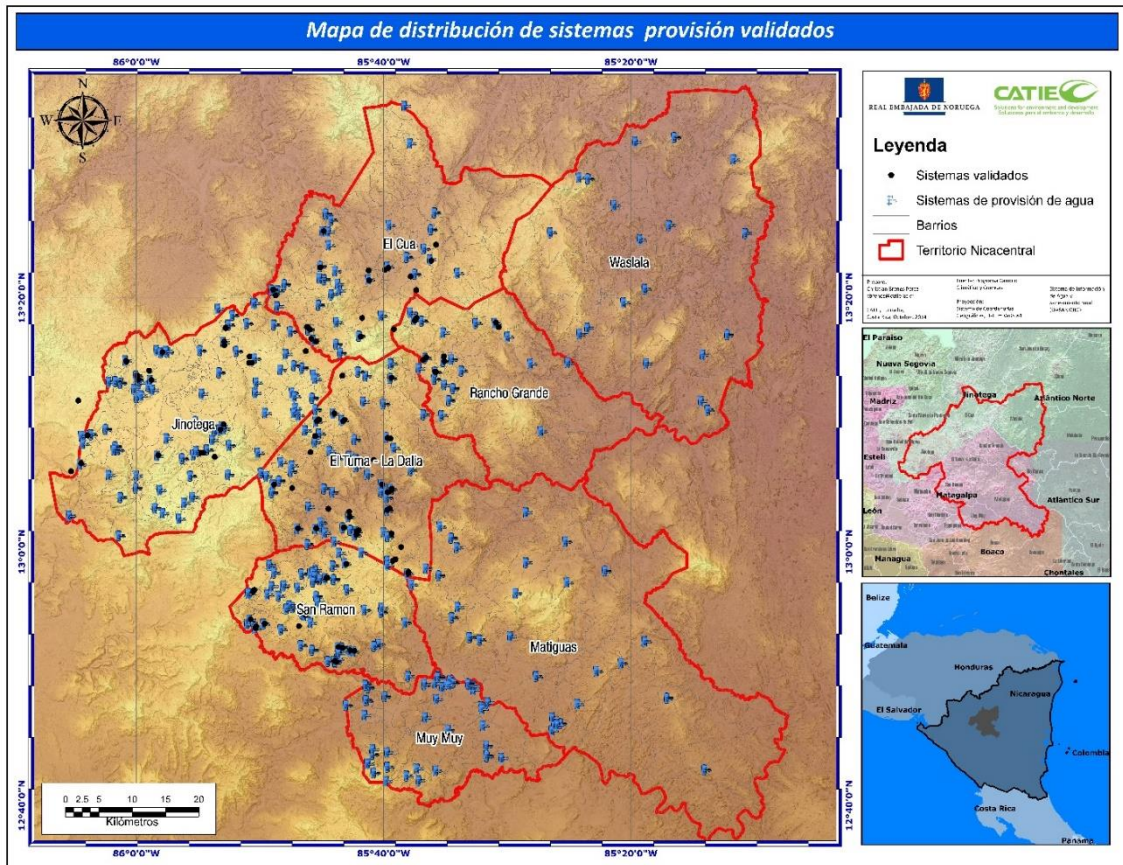


Figura 9. Distribución espacial de los pozos validados



FORMULARIO DE CAMPO/ FECHA _____		NOMBRE DEL ACUEDUCTO _____	
COORD ACUEDUCTO: X _____ Y _____		COORD FUENTE: X _____ Y _____	
TIPOLOGÍA DEL ACUEDUCTO: <input type="checkbox"/> ESTRUCTURADO <input type="checkbox"/> LEGALIZADO <input type="checkbox"/> NO ORGANIZADOS/ESTRUCTURADOS			
RECIBE EL ACUEDUCTO ASISTENCIA TÉCNICA DE QUIÉN(ES)* _____		<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO TIENE EL ACUEDUCTO ACCESO A CREDITO DE QUIÉN(ES)*: _____	
# COMUNIDADES BENEFICIADAS: _____			
NOMBRE _____		#ABONADOS _____	
NOMBRE _____		#ABONADOS _____	
NOMBRE _____		#ABONADOS _____	
NOMBRE _____		#ABONADOS _____	
NOMBRE _____		#ABONADOS _____	
NOMBRE _____		#ABONADOS _____	
TIPOLOGÍA CAPTACIÓN:		TIPOLOGÍA DE ABASTECIMIENTO	TIPOLOGÍA DEL TRATAMIENTO
<input type="checkbox"/> LAGO		<input type="checkbox"/> ACUEDUCTO POR BOMBEO	<input type="checkbox"/> DESINFECCIÓN CON CLORO
<input type="checkbox"/> POZO PERFORADO		<input type="checkbox"/> ADUEDUCTO POR GRAVEDAD	<input type="checkbox"/> FILTRACIÓN DOMICILIARIA
<input type="checkbox"/> POZO EXCAVADO		<input type="checkbox"/> POZO CON BOMBA MANUAL	<input type="checkbox"/> FILTRACIÓN LENTA
<input type="checkbox"/> OJO DE AGUA/MANANTIAL		<input type="checkbox"/> OTRO _____	<input type="checkbox"/> FILTRACIÓN RÁPIDA
<input type="checkbox"/> QUEBRADA			<input type="checkbox"/> OTRO _____
<input type="checkbox"/> RÍO			<input type="checkbox"/> NINGUNA
CAUDAL SISTEMA (L/S)* _____		CAUDAL FUENTE (L/S)* _____	CAP ALM (L)* _____
DISPONIBILIDAD AGUA EN VERANO		<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	SE REALIZAN PRUEBAS DE CALIDAD DEL AGUA <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
COBRO POR EL SERVICIO <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO		EN CASO SER AFIRMATIVO EL COBRO ES FIJO <input type="checkbox"/> O POR VOLUMEN <input type="checkbox"/>	
CADA CUÁNTO TIEMPO SE LE DA MANTENIMIENTO AL SISTEMA? _____			
DE DÓNDE TOMAN EL AGUA LOS NO BENEFICIADOS?: _____			
OBS: _____			

**Figura 10. Formulario de campo usado en la validación**



Las fotografías muestran la infraestructura del sistema MABE- EL TUMA.

