

DOI: 10.24850/j-tyca-2025-06-03

Artículos

## **Evaluación de modelo municipal para la provisión de servicios de agua potable y saneamiento en un país en desarrollo**

### **Municipal model evaluation for providing drinking water and sanitation services in a developing country**

Kerlyn Lugo<sup>1</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7040-5159>

Yorman Peraza<sup>2</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5798-9516>

Adriana Márquez<sup>3</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1305-5759>

Edilberto Guevara<sup>4</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2813-2147>

Sergio Pérez<sup>5</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6957-7287>

Eduardo Buroz<sup>6</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7600-8776>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales, Universidad de Carabobo, municipio de Naguanagua, estado Carabobo, Venezuela, [kerlynlugo@gmail.com](mailto:kerlynlugo@gmail.com)

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales, Universidad de Carabobo, municipio de Naguanagua, estado Carabobo, Venezuela, [msc.yorman.peraza@gmail.com](mailto:msc.yorman.peraza@gmail.com)

<sup>3</sup>Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales, Universidad de Carabobo, municipio de Naguanagua, estado Carabobo, Venezuela, [ammarquez@uc.edu.ve](mailto:ammarquez@uc.edu.ve)



<sup>4</sup>Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales Universidad de Carabobo, municipio de Naguanagua, estado Carabobo, Venezuela, eguvara@uc.edu.ve

<sup>5</sup>Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales, Universidad de Carabobo, municipio de Naguanagua, estado Carabobo, Venezuela, sperez@uc.edu.ve

<sup>6</sup>Universidad Central de Venezuela. Academia Nacional de Ingeniería y Hábitat, Caracas, Distrito Capital, Venezuela, eduardo.buroz@gmail.com

Autora para correspondencia: Adriana Márquez, ammarquez@uc.edu.ve

## Resumen

En este estudio se evaluaron modelos de prestación de servicios de agua potable y saneamiento para el municipio San Joaquín, estado Carabobo, Venezuela, representado en el Instituto Municipal Autónomo del Agua de San Joaquín (IAGUASANJO) a través de tres índices de gestión propuestos de manera integrada para agua potable y saneamiento, un índice modelo para la prestación de servicios de agua potable y un índice modelo para la prestación de servicios de saneamiento. IAGUASANJO ha orientado el 65 % de las actividades hacia la prestación de servicios de saneamiento y el 35 % de las acciones para la prestación del servicio de agua potable en el periodo 2019-2023.

**Palabras clave:** modelo de índice de prestación de servicios de saneamiento, modelo de índice de prestación de servicios de agua potable, Instituto Autónomo Municipal de San Joaquín, servicios de agua

potable y saneamiento, servicios públicos, modelos de gestión de servicios público.

## Abstract

In this study, models for the provision of drinking water and sanitation services, were evaluated for the San Joaquin Municipality, Carabobo State, Venezuela, represented in the Municipal Autonomous Institute of Water of San Joaquin (IAGUASANJO, in Spanish) through three management indexes proposed in an integrated manner for drinking water and sanitation, a model index for the provision of drinking water services and model index for the provision of sanitation services. IAGUASANJO has oriented 65 % of the activities towards the provision of sanitation services and 35 % of the actions for the provision of the drinking water service in the period 2019-2023.

**Keywords:** Model index for the provision of sanitation services, model index for the provision of drinking water services, San Joaquin Municipal Autonomous Institute, drinking water and sanitation services, public services, public service management models.

Received: 30/04/2024

Accepted: 13/10/2024

Available ahead of print: 21/10/2024

Version of record: 01/11/2025



## Introducción

Desde 1990, una de las principales fuentes hídricas utilizadas como componente dentro de los sistemas de abastecimiento de agua potable para satisfacer las necesidades de los servicios de agua potable (SAP) representadas por los ríos en regiones globales como América Latina, Asia y África han incrementado significativamente su contaminación (Tortajada, 2020). Según Naciones Unidas (UN, 2023), un aspecto importante es que para al menos 3 mil millones de personas, la calidad del agua de la que dependen es indefinida debido a una ausencia de monitoreo; esto es uno de los fundamentos de la base de construcción de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente en lo relacionado con la disponibilidad y gestión sostenible de los SAP para todos (ODS 6) (UN, 2023).

En Venezuela, el avance contemporáneo de los SAP se inició en la década de 1940 con la creación del Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS), cuando el gobierno venezolano reconoció la necesidad de mejorar el suministro de agua potable y la recolección de las aguas residuales como mecanismo de transformación para superar los graves impactos técnicos y sociales que su carencia tenía sobre la salud de la población (Peraza-Barreto *et al.*, 2022). Durante las décadas de 1960 y 1970, los SAP contaron con importantes fondos financieros que le permitieron al INOS construir la mayoría de los grandes sistemas de producción, transporte, purificación y distribución de agua en las principales ciudades del país (Corrales, 2004). Durante las décadas de 1970 y 1980, el INOS concentró sus esfuerzos en la construcción de grandes obras (principalmente embalses), y dio menor prioridad al mantenimiento y la rehabilitación de las redes de servicios de agua potable y saneamiento

(SAPS), y a la eficiencia en la operación y comercialización de los SAPS (Corrales, 2004; Peraza *et al.*, 2021; Peraza-Barreto *et al.*, 2022; Lugo *et al.*, 2023). A principios de 1990, el gobierno procedió a crear un nuevo arreglo institucional para la operación de las SAPS, que consistió en la creación de una empresa central (HIDROVEN) y 10 empresas hidrológicas regionales de manera temporal hasta el momento de la transferencia a las autoridades municipales (Huguet-Sierra, Márquez-Romance, Guevara-Pérez, Pérez-Pacheco, & Buroz-Castillo, 2023a; Huguet-Sierra, Márquez-Romance, Guevara-Pérez, Pérez-Pacheco, & Buroz-Castillo, 2023b). En el periodo comprendido entre 2000 y 2010, el nuevo gobierno aprobó un nuevo marco legal que daría estabilidad y seguridad al proceso de transferencia de las empresas regionales a los gobiernos municipales, así como a la participación comunitaria (Corrales, 2004; Corrales, 2008).

En este estudio se presentan las experiencias del modelo de gestión de los SAPS en el municipio San Joaquín (MSJ), estado Carabobo (EC), el cual está conformado por una gestión pública directa-compleja representada por el Instituto Autónomo Municipal de Aguas San Joaquín (IAGUASANJO), adscrito a la alcaldía del MSJ-EC, y por la Empresa Hidrológica Central (HIDROCENTRO), perteneciente a la Empresa Hidrológica de Venezuela (HIDROVEN). La reforma institucional se basa en la estructura horizontal de la industria de SAPS, donde los procesos de captación, almacenamiento en reservorios artificiales de agua, tratamiento y distribución del agua potable obtenida de la fuente superficial de agua, así como la recolección y tratamiento de las aguas residuales son realizados por la empresa regional (HIDROCENTRO) e IAGUASANJO está cumpliendo un tipo de trabajo conjunto para rehabilitar, mantener y ampliar los SAPS, con especial énfasis en un uso sustentable del acuífero MSJ-EC, como fuente de agua para satisfacer la

necesidad de una fracción importante de los habitantes dentro del MSJ-EC, todas estas acciones en el marco del proceso de transferencia municipal de la empresa regional a la institución municipal en cumplimiento con la regulación nacional de SAPS (Peraza *et al.*, 2021; Peraza-Barreto *et al.*, 2022; Lugo *et al.*, 2023).

Con base en lo anterior, los objetivos de esta investigación son los siguientes: a) identificar el arreglo institucional de las empresas prestadoras de servicios de agua potable y saneamiento en el MSJ-EC; b) analizar los modelos de prestación de servicios de agua potable y saneamiento en el MSJ-EC; c) establecer el modelo de gestión de los servicios de agua potable y saneamiento en el MSJ-EC; d) crear los índices del modelo de prestación de servicios de agua potable y saneamiento en el MSJ-EC. La creación de nuevos índices de prestación de servicios de agua potable y saneamiento en el MSJ-EC implicará la estimación de tres índices de gestión, incluyendo un índice integrado para los servicios de agua potable y saneamiento, un índice modelo para la prestación de servicios de agua potable y un índice modelo para la prestación de servicios de saneamiento.

## Métodos

### Área de estudio

El área de estudio comprende el municipio San Joaquín del estado Carabobo (MSJ-EC), ubicado en la región centro-norte de la República Bolivariana de Venezuela, cuyas coordenadas geográficas son latitud entre N 10° 14' 00" y N 10° 21' 30", longitud entre W 67° 43' 00" y W 67° 52' 00", que abarca un área total de 130.75 km<sup>2</sup> (Figura A1). La

distribución del uso y la cobertura del suelo (LULC) es la siguiente (Figura A1): 1) vegetación: 49.16 km<sup>2</sup> (37.6 %); 2) urbano: 13.21 km<sup>2</sup> (10.11 %); 3) suelo natural: 62.41 km<sup>2</sup> (47.73 %); agrícola: 1.94 km<sup>2</sup> (1.49 %), y cuerpos de agua 4.01 km<sup>2</sup> (3.07 %). Los LULC se obtuvieron utilizando la técnica de clasificación supervisada del *software* ENVI V 4.7 (licencia: 9F3GP-B8TB6-9F7MT-FP8P4-94W92) y el *software* ArcGIS V 10.0 (licencia: 37105865) (Márquez, Guevara, & Rey, 2019a; Márquez-Romance, Farías-de-Márquez, & Guevara-Pérez, 2022a).

## Fases de la investigación

### Identificación del arreglo institucional de las empresas prestadoras de SAPS en el SJM-CS

El arreglo institucional para la prestación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en el MSJ-EC tiene fundamentos legales principalmente en tres leyes: 1) Ley Orgánica para la Prestación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento (LOPSAPS) (National Assembly of the Bolivarian Republic of Venezuela, 2001); 2) Ley de Reforma Parcial a la Ley Orgánica para la Prestación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento (National Assembly of the Bolivarian Republic of Venezuela, 2007a), y 3) Ordenanza del Instituto Autónomo Municipal de Aguas San Joaquín (Municipal Gazette No. 4664, 2020), creada por el Concejo Municipal según edición extraordinaria número 4664.

## **Análisis de los modelos de provisión de SAPS en el MSJ-EC**

La profundidad de los cambios realizados en el municipio San Joaquín con la creación del IAGUASANJO incorpora aspectos como la reestructuración técnica y organizativa del SAPS; el desarrollo de mercados; la creación de un nuevo marco legal; la eliminación de algunas organizaciones públicas y la creación de nuevos órganos de toma de decisiones; la redistribución de centros de poder, y la reducción y reconversión de personal.

## **Establecimiento de los modelos de gestión de los SAPS en MSJ-EC**

La instauración del modelo de gestión del SAD en el MSJ-EC es una combinación de una administración pública mixta (directa y delegada) con participación de organizaciones privadas, la cual será analizada en sus componentes, lo cual refleja ventajas y desventajas. La selección ha buscado garantizar el bienestar colectivo en términos de acceso universal al servicio, a bajo costo, y con la calidad necesaria para preservar y mantener la salud pública.

La evaluación de los modelos de prestación de los SAPS implicó la descripción del desempeño de dos prestadores, uno a nivel municipal representado por IAGUASANJO, y la comparación con otros prestadores en términos de regulación, cobertura y calidad, así como las actividades de gestión de los SAPS en el SJM-CS. Se consideraron dos variables dentro del modelo de gestión en el MSJ-EC (Peraza *et al.*, 2021):

1. Comparación de la regulación institucional del SAPS en el SJM-CS, la cual se basó en la Ley Parcial de Reformas a la Ley Orgánica

para la Prestación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento (National Assembly of the Bolivarian Republic of Venezuela, 2007a), y la ordenanza de creación del Instituto Municipal del Agua de San Joaquín (IAGUASANJO) por parte del Concejo Municipal de San Joaquín en la edición extraordinaria número 4664 del 14 de julio de 2020 (Municipal Gazette No. 4664, 2020).

2. Comparación de la cobertura del SAPS en el SJM-CS, que se basó en la representación gráfica de las siguientes cinco variables de gestión del SAPS:

a) Comparación de las variables sociales y operacionales del SAPS en el SJM-CS registradas por el Instituto Nacional de Estadística (INE) de Venezuela (INE, 2011), obtenidas del censo realizado en el año 2011 en el SJM-CS, y representadas mediante el *software* MATLAB, cuya licencia está asociada con el Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales de la Universidad de Carabobo (CIHAM –UC).

b) Comparación de los registros de producción de agua de fuentes subterráneas en el SJM-CS. La información sobre la producción de fuentes subterráneas en el MSJ-EC se obtuvo de IAGUASANJO, HIDROCENTRO, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), así como de las tesis de pregrado y maestría de la UC asistidas por el CIHAM-UC como de Márquez, Guevara y Rey (2019b); Márquez y Carrillo (2015), y Márquez y Peraza (2018).

c) Comparación de las variables hidrogeoquímicas de las fuentes subterráneas en el SJM-CS, la cual fue extraída de las bases de datos utilizadas en Márquez, Guevara, Pérez y Rey (2020); Márquez *et al.* (2019a); Márquez *et al.* (2019b); Márquez, Guevara y Rey (2018), y de un estudio de seis pozos de consejos comunales y la Alcaldía

administrados por IAGUASANJO, cuyo muestreo y análisis fue realizado por el laboratorio acreditado por el Ministerio de Ecosocialismo y Agua (MINEA), HIDROLAB-TORO en el presente año 2021 (HIDROLABTORO & IAGUASANJO, 2021).

d) Comparación de los registros evolutivos de la provisión del SAPS desde 1950 hasta la actualidad. Se obtuvieron informes de la Oficina Central de Estadística e Informática (OCEI, 1996), del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2001), de HIDROVEN-CAF (2002) y de Corrales (2004).

e) Comparación de las variables de gestión de la Dirección de Obras Públicas del MSJ-EC y de IAGUASANJO: se obtuvo de la presidencia de IAGUASANJO (IAGUASANJO, 2021). Estas variables han sido solicitadas con base en las observadas de los cursos internacionales sobre gestión comercial para organismos operadores de agua, drenaje y saneamiento (Centro del Agua para América Latina y el Caribe, 2012), hidrogeología (CODIA & AECID, 2012) y políticas sobre el uso sustentable del agua y la prestación eficiente de los servicios públicos relacionados (CEPAL, 2009).

## **Creación de índices del modelo de provisión de SAPS en el SJM-CS**

Para el modelo de prestación de servicios de agua potable y saneamiento (MPSAPS) se propone la estimación de tres índices del modelo de prestación de servicios de agua potable y saneamiento (IMPSAPS), discriminados por las actividades prestadas en los servicios de agua potable (IMPSAP) e índice del modelo de prestación de servicios de saneamiento (IMPSS) a escala municipal con base en las actividades

realizadas por la Dirección de Obras Públicas del Municipio de San Joaquín y el Instituto Municipal del Agua de San Joaquín (IAGUASANJO) durante el periodo 2019-2021. El índice se formula de acuerdo con el procedimiento aplicado por López, Márquez-Romance, y Guevara-Pérez (2020); López-Calatayud, Márquez-Romance, y Guevara-Pérez (2022c); López-Calatayud, Márquez-Romance, Guevara-Pérez, Pérez-Pacheco y Buroz-Castillo (2023) para el diseño del modelo de manejo de humedales tropicales.

El método consiste en la definición, formulación y elaboración de una matriz multicriterio integrada (MCM), que caracteriza un grupo de procedimientos hipotéticamente capaces de refinar la transparencia, auditabilidad y consistencia sistemática de estas decisiones (Dunning, Ross, & Merkhofer, 2000). La MCM puede definirse como un modelo de decisión que contiene lo siguiente (Hajkowicz & Collins, 2007; López-Calatayud *et al.*, 2023; López *et al.*, 2020; López-Calatayud, Márquez-Romance, & Guevara-Pérez, 2021; López-Calatayud, Márquez-Romance, & Guevara-Pérez 2022a; López-Calatayud, Márquez-Romance, Guevara-Pérez, & Buroz-Castillo, 2022b); Márquez-Romance, & Guevara-Pérez 2022a): 1) un conjunto de opciones de decisión que necesitan ser categorizadas o puntuadas por el decisor; 2) un conjunto de criterios, típicamente medidos en diferentes unidades, y 3) un conjunto de medidas de desempeño, que son las puntuaciones brutas para cada opción de decisión frente a cada criterio. El modelo MCM está representado por una matriz de evaluación  $X$  de  $n$  opciones de decisión y  $m$  criterios o variables. La puntuación bruta de desempeño para la opción de decisión  $i$  con respecto al criterio  $j$  se denota por  $x(i, j)$ . Un requisito mínimo para la MCM es contener al menos dos criterios y dos opciones de decisión ( $n \geq 2$  y  $m \geq 2$ ). La importancia de cada criterio se da generalmente en el vector

de pesos dimensionales  $W$  que contiene  $m$  pesos, donde  $w_j$  denota el peso asignado al  $j$ -ésimo criterio (Hajkowicz & Collins, 2007). El MCM se define con dos (2) componentes asociados con las actividades realizadas en los servicios de agua potable y saneamiento, respectivamente, y está compuesto por dos funciones de valor de aplicación común (Hajkowicz & Collins, 2007), que son la suma ponderada y la multiplicación ponderada. El modelo de suma ponderada se expresa a menudo como (López-Calatayud *et al.*, 2022a):

$$u_i = f(X, W) = \sum_{j=1}^m x_{i,j} w_j \quad (1)$$

Los pesos ( $w_j$ ) son no negativos y suman 1, y  $x(i, j)$  es un puntaje de desempeño transformado a una escala de 0 a 1, donde 1 representa el mejor desempeño. El puntaje general de desempeño para cada opción está dado por  $u_i$ , de acuerdo con el modelo de gestión de cada país, y criterios o variables que se miden por los atributos  $j$ .

## Resultados y discusión

### Identificación del arreglo institucional de las empresas prestadoras de SAPS en el SJM-CS

#### Disposición institucional para la prestación de servicios durante el periodo 1950-1990

El actual arreglo institucional del sector SAPS se inició en Venezuela en la década de 1940, con la creación del Instituto Nacional de Obras Sanitarias



(INOS) en 1943. El gobierno venezolano reconoció la necesidad de mejorar el abastecimiento de agua potable y la recolección de aguas residuales como vehículo para superar los graves impactos que tenía su carencia sobre la salud de la población. El esfuerzo realizado por el país en esta materia fue particularmente notorio durante las décadas de 1950, 1960 y 1970, y logró mayor éxito en el abastecimiento de agua potable que en la recolección de efluentes. El proceso se caracterizó por dos factores fundamentales. El primer factor involucró un modelo de planificación y gestión del servicio predominantemente centralizado en el INOS, financiado con cargo al presupuesto nacional, que permitió elevar la cobertura al extender las redes de agua potable a casi todo el territorio nacional. El segundo factor estuvo asociado con una estrategia sectorial que priorizó los fines de salud y solidaridad social, y minimizó la calidad de los SAPS y la eficiencia económica de la prestación (Corrales, 2000).

La evolución de la cobertura de los SAPS para Venezuela durante el periodo 1950-1990 se puede observar en la Figura A2. El primer cuartil representa el aumento en la provisión de SAPS cerca del 20 %. Los servicios totales de agua potable (acueducto, fuente pública y camión) pasaron de 49.2 a 71.7 % de 1950 a 1961, habiéndose pasado la cobertura de los SAPS asociada solo al acueducto de 25.4 a 46.1 %. De la misma manera, la cobertura total de los servicios sanitarios (SS) (alcantarillado, fosa séptica y letrina) pasó de 40.5 a 62.4 % (Figura A2), correspondiendo aquellos solo asociados con el alcantarillado, a un cambio de 16.5 a 27.4 %. Durante la década de 1950, el mayor porcentaje histórico del producto interno bruto (PIB) se dedicó a la inversión en infraestructura. Para los años 1956-1958, el esfuerzo de la economía asciende a 10 % y la inversión per cápita se sitúa en niveles

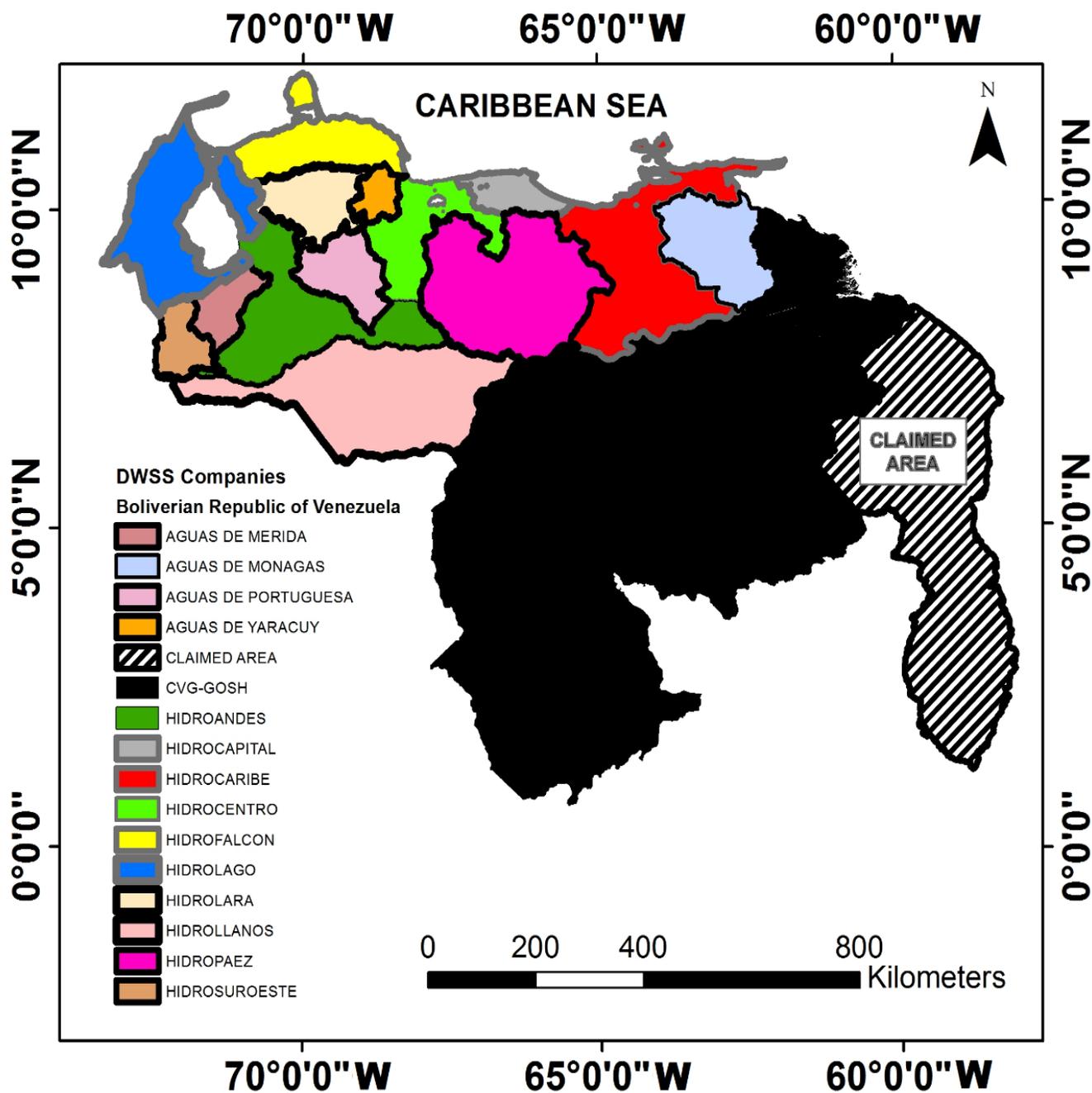
cercanos a los 90 dólares por habitante, a precios constantes de 1957 (Corrales, 2008).

Para los años de 1961 y 1971, el censo mostró incrementos mayormente enfocados en la construcción de la red de acueducto y alcantarillado, que alcanzó coberturas para SAP de 46 y 72.4 %, así como para SS de 27.43 y 40.3 %, respectivamente. Para las últimas dos décadas, en el periodo 1950-1990, la inversión en la creación de las SAPS fue decreciente y los resultados indicaron una menor progresión de crecimiento de aproximadamente, para SAP (acueducto) de 6 y 4 %; mientras que para SS (alcantarillado), de 16 y 8 %, respectivamente (Figura A2). Los resultados obtenidos también fueron similares a los de otros países de la región. A partir de la década de 1980 se hizo evidente la imposibilidad de apoyar al sector mediante presupuestos públicos; se inició un proceso de deterioro constante de los indicadores de calidad y cobertura, y colapsó el desarrollo y modelo centralizado de prestación de servicios, producto de la baja eficiencia y prevalencia de intereses individuales en la corrupción generalizada de las instituciones operadoras.

### **Arreglo institucional para la prestación de servicios durante el periodo 1990 hasta la actualidad**

A partir de 1989 se inició un proceso de reestructuración del sector público venezolano, que incluyó la reestructuración integral del SAPS. Los principios básicos de este proceso fueron los siguientes: 1) recuperar y mejorar la calidad de los servicios; 2) descentralizar los servicios y devolver competencias a los gobiernos municipales; 3) lograr progresivamente la autonomía operativa y financiera del servicio; 4) promover un marco regulatorio moderno que le diera estabilidad y

estimulara la participación de los agentes privados. En 1991 se inició el proceso de liquidación del INOS, que se consolidó legalmente con la Ley de abolición del Instituto aprobada en 1994. Para la prestación del SAPS se instaló un esquema transitorio hasta el proceso de transferencia de competencias a las autoridades municipales. Este esquema quedó conformado por 10 empresas hidrológicas regionales (EHR) (Figura 1), responsables de la operación de los sistemas y de la prestación del SAPS en todo el país. Se constituyó la Empresa Hidrológica de Venezuela (HIDROVEN), como empresa matriz sin funciones operativas (Figura 1), encargada de la planificación sectorial, la coordinación del programa de descentralización, la regulación y control de la EHR, así como la promoción y búsqueda de recursos para inversiones sectoriales.



**Figura 1.** Distribución espacial de las empresas hidrológicas de servicios de agua potable y sanitarios (SAPS) afiliadas a la Empresa Hidrológica para Venezuela (HIDROVEN) y empresas descentralizadas de la República Bolivariana de Venezuela fundadas en el periodo 1990-1991. Adaptado de Corrales (2004).

Durante el periodo 1991-1998, en el marco de la consolidación de las estructuras transitorias, se crearon cinco empresas descentralizadas (Aguas de Mérida, Aguas de Monagas, HIDROLARA, Aguas de Portuguesa y Aguas de Yaracuy) (Figura 1), con la participación de las respectivas gobernaciones y municipalidades, a las cuales se les transfirieron los SAPS. La incorporación de operadores privados se hizo bajo la creación de contratos bajo la modalidad de gestión integral, lo que impulsó la consolidación de las empresas HIDROLARA y Aguas de Monagas en el periodo 1991-1998 y de la Empresa HIDROLAGO en el periodo posterior 1999-2002 (Corrales, 2008). La gestión integral es un tipo de gestión indirecta pública en la que se contrata la gestión integral del servicio a un operador privado. La remuneración de la empresa por lo regular está asociada con mejoras en la eficiencia operativa. Los plazos de los contratos se fijan generalmente en cinco años. Debido a los plazos de contratación existe el riesgo de que se prefieran soluciones de corto plazo sobre las de largo plazo (Corrales, 2000).

A partir de 1999, con la llegada del nuevo gobierno, se le dio importancia a la aprobación de un nuevo marco legal que sancionara el proceso que se convocaba para la estabilidad y seguridad. El 31 de diciembre de 2001 se aprobó la Ley Orgánica para la Prestación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento (LOPSAPS) (National Assembly of the Bolivarian Republic of Venezuela, 2001) que constituyó el marco legal que ordenaba la prestación de los SAPS en el país.

De acuerdo con el artículo 134 de la LOPSAPS, se estableció que la Empresa Venezolana de Servicios Públicos de Agua y Saneamiento (HIDROVEN) sería la entidad responsable, en todo el territorio nacional, de la transferencia de los servicios públicos de agua y saneamiento

prestados por el Poder Ejecutivo Nacional a los distritos metropolitanos o municipios, cuya vigencia no podrá exceder de cinco años contados a partir de la publicación de la LOPSAPS. Como lo indica la National Assembly of The Bolivarian Republic of Venezuela (2001), hasta que se produzca la transferencia, las entidades que actualmente prestan los servicios públicos de agua y saneamiento continuarían haciéndolo bajo la supervisión de la HIDROVEN.

En la actualidad, el mapa nacional que muestra a los operadores de SAPS para finales de 1998 y principios de 1999 (Figura 1) se ha mantenido sin cambios significativos. A pesar de este esfuerzo de transferencia, aproximadamente el 80 % de la población nacional continúa siendo atendida por HIDROVEN y sus empresas afiliadas debido a que el proceso de reversión no se ha concentrado en las regiones que agrupaban a las grandes ciudades del país.

Según el censo de población de 1990, la cobertura de los SAPS en Venezuela se categorizó en función del estrato social (Figura A3). Para los SAPS que utilizan la red de acueducto, el área formal de la ciudad (FAC) comprendía aquellos tipos de infraestructura habitacional asociados con quintas, casas, apartamentos y casas de vecindad, en los que la cobertura alcanzaba el 87.1 %, cuyos asentamientos informales —ranchos— dentro de la ciudad (ICS) eran atendidos hasta en un 48 %, mientras que los ubicados en las áreas rurales como características de los asentamientos campesinos (RIS) eran atendidos en aproximadamente un 28.3 %. Los estados industriales del país resultaron con alta cobertura de SAP (FAC, ICS, RIS), siendo FAC de niveles medios a altos incluyendo (Figura A3a) Distrito Capital (92.1, 64.9 y 41.8 %), Carabobo (86.3, 42.5 y 28.3 %), Aragua (89.8, 44.4 y 36.2 %) y Miranda (90.8, 52.4 y 41.8 %); mientras que la situación pareció ser adecuada en Delta Amacuro (80.3, 5.9 y 10.9

%). La situación de mayor demanda de cobertura de SAP podría estar asociada con los estados ubicados al sur del país, con una cobertura de SAP entre niveles bajos y medios, como Apure (69, 34 y 6 %) y Amazonas (76, 38.2 y 20.6 %). En cuanto a la SS para 1990, se encontró un patrón similar con valores de cobertura en los estados industriales que correspondieron a altos para FAC, y bajos a medios para ICS y RIS; se alcanzaron valores bajos a medios en los estados ubicados mayoritariamente al sur del país y también tradicionalmente más pobres (Figura A3b). Para 2001, los estados industriales aumentaron de manera significativa su cobertura de SAPS, en especial en el ICS, obteniendo alrededor de 20 %; al mismo tiempo se estaba desarrollando un proceso más lento en los estados del sur del país (Figuras A3c-A3d).

Las diferencias encontradas en el porcentaje de la cobertura del SAPS en Venezuela entre la década de 1980 y principios de la década de 2000 consolidan una tendencia a la reducción de la inversión en infraestructura. El esfuerzo promedio en la década de 1980 no supera el 2.5 % del PIB anual, mientras que en la década de 1990 apenas supera el 1.5 %, cifra que ni siquiera asegura los montos necesarios para el mantenimiento y la adecuación de la infraestructura existente. Para los años 2000 y 2001, según estimaciones basadas en el Banco Central de Venezuela (BCV, 2002), el porcentaje del PIB asignado a la inversión en infraestructura se mantuvo cercano a estos mismos niveles (1.4 % para 2000 y 1.7 % para 2001). La evolución irregular del esfuerzo realizado solo magnifica las desviaciones que se producen en el desarrollo económico, que se deteriora a niveles cercanos al estancamiento (Corrales, 2008). A pesar de la reducción en la inversión en infraestructura y en el PIB experimentada durante el periodo 1990-2001 ya analizada, la transformación en el arreglo institucional tuvo un efecto

positivo sobre la cobertura de los SAPS y mantuvo un incremento permanente influenciado sobre todo por el estatus socioeconómico de los estados involucrados a escala nacional; el mayor incremento se concentró en aquellos estados ubicados en la región centro-norte de Venezuela (Figura A3).

La población atendida por las empresas hidrológicas para los SAPS afiliadas a HIDROVEN y empresas descentralizadas en la República Bolivariana de Venezuela registrada en el XIII Censo de Población del año 2001 (INE, 2001) se muestra en la Figura A4, donde se observa que la mayor concentración de población ha correspondido con la frecuencia absoluta relacionada con la cantidad de habitantes (2 382 560-4 465 267) vinculada con los polígonos industriales ubicados principalmente en la región centro-norte del país (Miranda, Aragua, Carabobo, Cojedes, Zulia). Este escenario se debe a que Caracas, Valencia, Maracay, y las demás ciudades y municipios están conectados por carreteras de primer orden y los principales puertos marítimos de las regiones Capital y Central (Distrito Federal y los estados Miranda, Aragua y Carabobo), donde precisamente se ubica el 70 % de los municipios con más de 2 500 empleados. La localización de estos establecimientos depende de la existencia de centros poblacionales, de ahí que la localización de la industria esté estrechamente relacionada con la presencia de grandes centros urbanos (Gómez, 1997; Lucena & Álvarez, 2011). Según valores de la Oficina Central de Estadística e Informática (OCEI) y data del año 1994 (OCEI, 1996), el mayor número de empleos y producción correspondió a la región capital (155 572; 3619 millones USD) y región central (141 692; 6447 millones USD), seguidas de cerca por las regiones centro-occidental, Zulia y Guayana.

A escala nacional, la evolución de la cobertura de los SAPS y SS durante el periodo 1994-2002 se puede observar en la Figura A5, Figura A6, y Figura A7 y Figura A8, respectivamente. Con respecto a las empresas afiliadas a HIDROVEN y a las empresas descentralizadas, se observa que hubo un patrón de distribución espacial permanente y consistente: las mayores coberturas de SAPS se asocian con las empresas de la región centro-norte del país (HIDROCAPITAL, HIDROCENTRO), y en secuencia con el nivel de cobertura brindada al estado del país el orden involucraría a las empresas del noroccidente (HIDROFALCON, HIDROLAGO, Hidrosuroeste Aguas de Yaracuy), las del nordeste (HIDROCARIBE, HIDROPAEZ) y las del sur (HIDROLLANOS). En su mayoría, las empresas descentralizadas fueron creadas y sus funciones ejecutadas a finales del periodo 1993-1994 (Figuras A5h-A5f, Figuras A7f-A7h) entre las que se encuentran Aguas de Mérida, Aguas de Portuguesa, HIDROLARA. La Figure A6 muestra que las empresas descentralizadas (HIDROLARA, Aguas de Yaracuy, Aguas de Portuguesa, Aguas de Monagas) surgieron en el periodo analizado y alcanzaron de modo oportuno niveles de cobertura de SAT equivalentes a los de las empresas afiliadas a HIDROVEN en la región centro-norte de Venezuela, lo que representó frecuencias de ocurrencia superiores al 80-90 % en la prestación de SAT. La cobertura más baja en DWS está asociada con el desempeño de HIDROLLANOS; sin embargo, se observó un incremento del 40 al 70 %, encontrando la fracción de los valores ligados a la cobertura de SAP que ocurrieron entre el 25 al 50 % del tiempo posicionada del 55 al 65 % de cobertura para dichas regiones del país (Figura A8). Con respecto a la SS, la Figura A8 muestra que con alta frecuencia los valores de cobertura de SS ocurrieron entre el 25 y 50 % del tiempo en el intervalo del 50 al 65 % para las empresas de la región

noroccidente, noroccidente y sur del país; la cobertura más alta y la más baja en SS se atribuyen a la región centro-norte (HIDROCENTRO, HIDROCAPITAL, HIDROCARIBE) y la región sur (HIDROLLANOS), respectivamente.

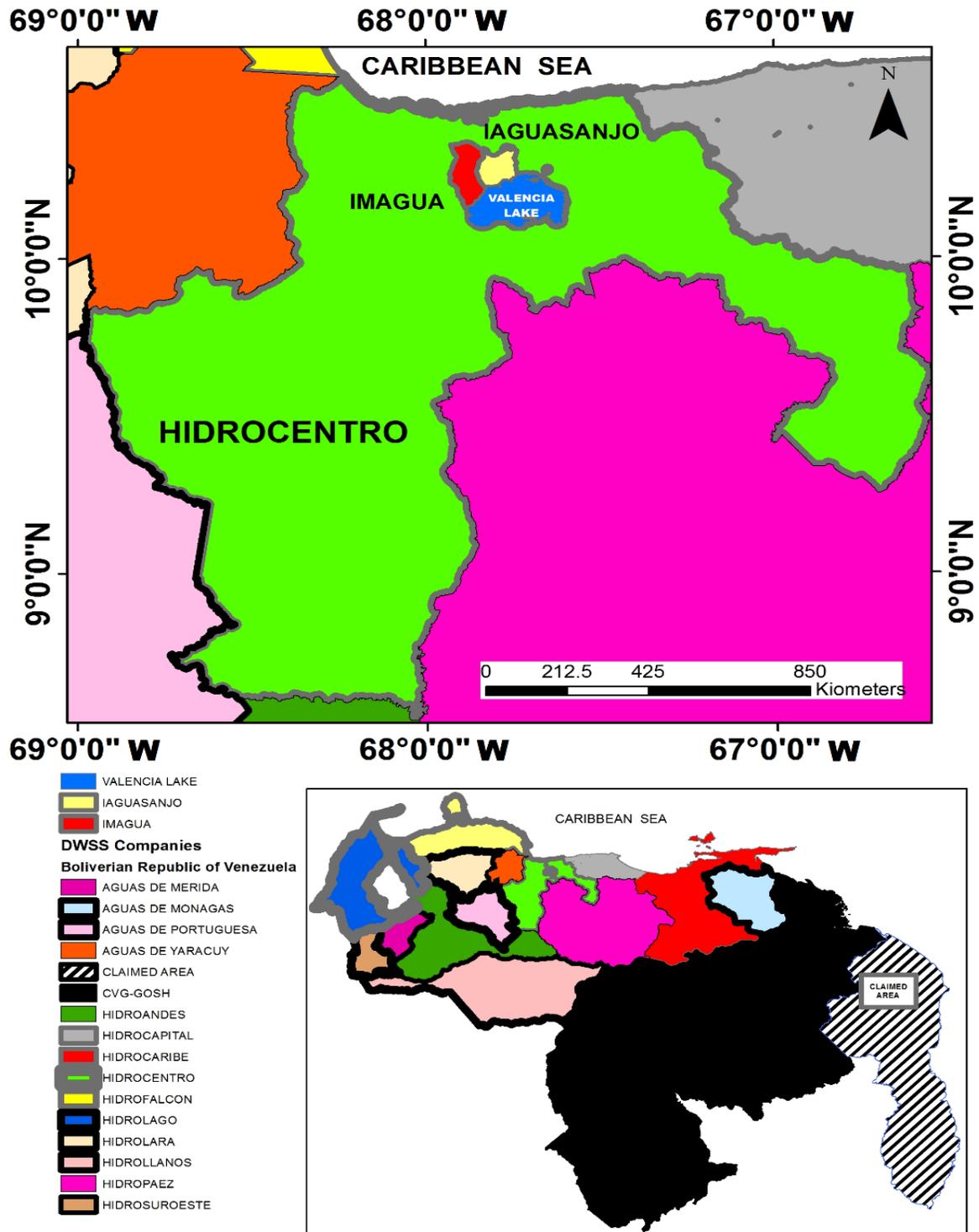
Los resultados obtenidos en el periodo de adaptación correspondiente a los años 1994-2002, asociados con la transformación en el arreglo institucional, transitando desde el INOS como organismo centralizado para la gestión de la prestación de los servicios de agua y saneamiento en el país, a las empresas afiliadas a HIDROVEN y a las empresas descentralizadas, fueron efectivos y trajeron consigo aumentos relativamente rápidos en la cobertura de los servicios de agua y saneamiento, que se pudieron observar en el periodo 1994-2002 (Figuras A7-A10), al menos en el área formal en las ciudades que utilizan principalmente sistemas de redes de tuberías para acueducto y alcantarillado tanto en el modelo complejo de gestión pública directa (HIDROVEN) como en el modelo de gestión pública indirecta (empresas descentralizadas). Según Corrales (2000), la experiencia ha demostrado que la transición de un modelo a otro es lenta y compleja. Es posible que algunos de los cambios propuestos en el régimen de propiedad o en el marco legal puedan llevarse adelante con rapidez, pero los cambios relacionados con los procesos de comportamiento o de desarrollo institucional presentan serios rezagos.

La cobertura de los gastos de operación (Figura A10) por parte de HIDROVEN y sus 10 empresas afiliadas logró alcanzar valores entre 40 y 90 %, lo que muestra un esfuerzo significativo por superar el patrón de dependencia de las transferencias del Gobierno Central para cubrir los gastos de operación del servicio. Sin embargo, aún persiste una dependencia absoluta del sector para atender sus necesidades de

inversión para rehabilitación y ampliación de los sistemas (Corrales, 2004).

## **Arreglo institucional para la prestación del servicio de agua potable y saneamiento en el municipio desde el año 2020, con énfasis en la experiencia de creación y funcionamiento del Instituto Municipal Autónomo del Agua de San Joaquín, estado Carabobo, Venezuela**

En Venezuela, a escala municipal, actualmente solo existen dos municipios correspondientes a Guacara y San Joaquín, ubicados en el estado Carabobo, que han creado e implementado institutos municipales autónomos de agua de propiedad pública, denominados como Instituto Autónomo Municipal de Aguas de Guacara (IMAGUA) (Figura 2) que funciona desde 2019 (Reyes & Márquez, 2019) y el Instituto Autónomo Municipal de Aguas de San Joaquín (IAGUASANJO) (Figura 2), perteneciente al Municipio San Joaquín (Peraza *et al.*, 2021; Peraza-Barreto *et al.*, 2022; Lugo *et al.*, 2023). Estos dos institutos municipales vienen desempeñando funciones de prestación del SAPS dentro de la región de cobertura de una de las diez empresas afiliadas a la empresa HIDROVEN, conocida como Empresa Hidrológica Central (HIDROCENTRO) (Figura 2), en cumplimiento con lo establecido en el Artículo 2 de la Ley Parcial de Reforma a la Ley Orgánica para la Prestación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento (National Assembly of the Bolivarian Republic of Venezuela, 2007a).

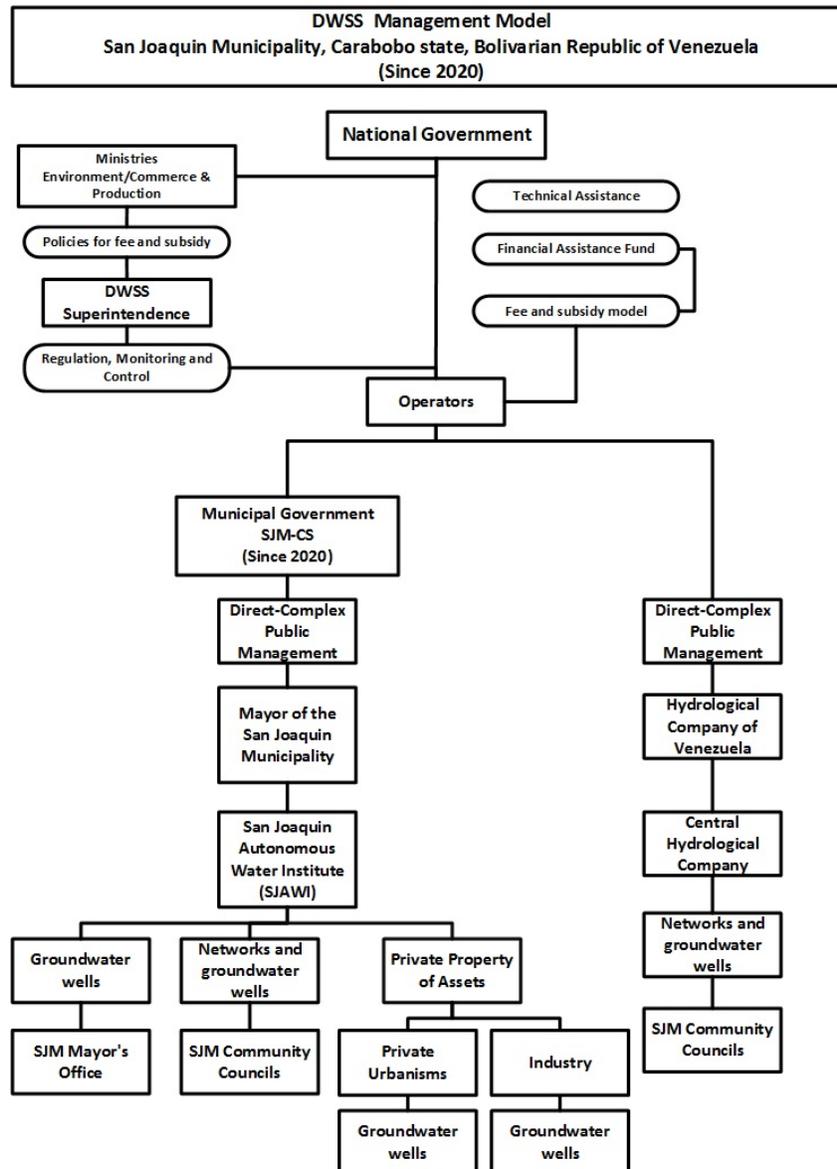


**Figura 2.** Institutos autónomos municipales de aguas ubicados en el estado Carabobo, República Bolivariana de Venezuela.

IAGUASANJO (Figura A1, Figura A2), fue creada según Ordenanza, publicada en el Diario Oficial Municipal, Año XXXI, San Joaquín, 14 de julio de 2020, Edición Extraordinaria núm. 4664, cuyas competencias abarcan la construcción, rehabilitación y mantenimiento de colectores de aguas servidas; construcción y rehabilitación de redes de acueducto; mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo de pozos profundos de agua potable; registro de pozos profundos de agua potable, plantas de tratamiento y estaciones de bombeo de aguas residuales; registro de usuarios de pozos profundos administrados por el municipio, así como la gestión integral del recurso hídrico en el MSJ-EC (Peraza *et al.*, 2021; Peraza-Barreto *et al.*, 2022; Lugo *et al.*, 2023).

En la Figura 3 se observa el modelo de gestión de los servicios de agua potable y saneamiento en MSJ-EC, el cual se ha configurado de acuerdo con lo establecido en la LOPSAPS. El modelo de gestión municipal para la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento en MSJ-EC es un modelo de gestión pública directa-compleja por dos instituciones públicas, en el que coexisten las acciones de dos instituciones públicas representadas por el gobierno municipal (IAGUASANJO) y la empresa regional (HIDROCENTRO) (Peraza *et al.*, 2021; Peraza-Barreto *et al.*, 2022; Lugo *et al.*, 2023). Según Corrales (2000), bajo la gestión pública directa-compleja, el servicio de agua potable y saneamiento se presta a través de una empresa o instituto autónomo de titularidad pública, en el que las inversiones son financiadas parcial o totalmente por la empresa, y existe una fuerte tendencia a recurrir al financiamiento con fondos públicos. De acuerdo con EUREAU (2020), dentro de los países europeos, solo Inglaterra y Gales, Reino Unido, implementaron un programa de

modernización que condujo a la privatización con transferencia de propiedad de todas las empresas de agua anteriormente públicas.



**Figura 3.** Modelo de gestión de los servicios de agua potable y saneamiento (SAPS) en el municipio San Joaquín, estado Carabobo (MSJ-EC), República Bolivariana de Venezuela, según la Ley Orgánica para la Prestación de Servicios de Agua Potable y Saneamiento (National Assembly of the Bolivarian Republic of Venezuela, 2001)

## Análisis de los modelos de provisión de SAPS en el MSJ-EC

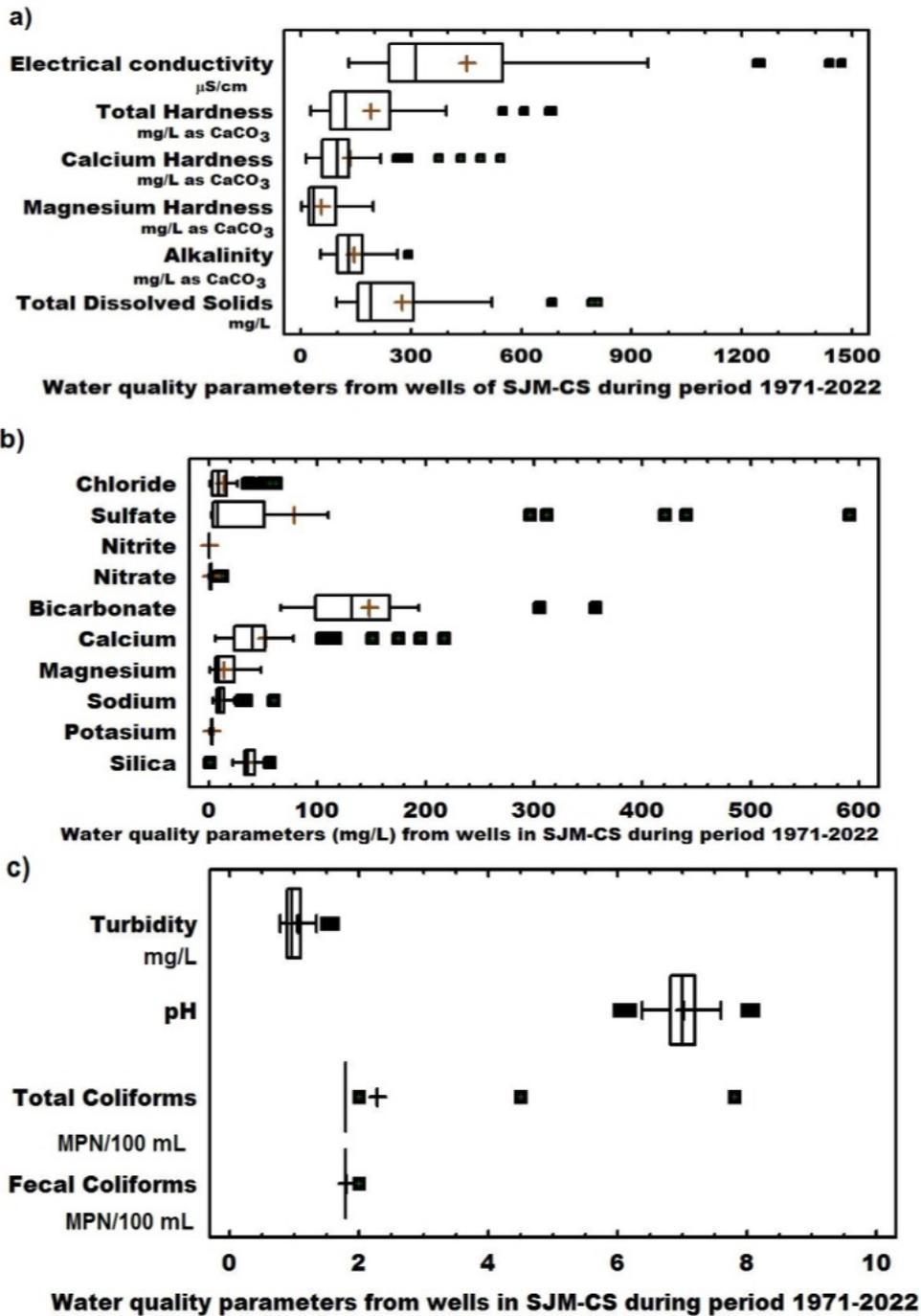
De acuerdo con la Ordenanza (artículo 11) (Municipal Gazette No. 4664, 2020), IAGUASANJO tiene competencias en el control, supervisión, fiscalización del uso de agua potable y de los sistemas privados, individuales o colectivos, de recolección, tratamiento y disposición de aguas residuales en aquellas zonas donde la Empresa Hidrológica Central (HIDROCENTRO) no ha desarrollado ningún tipo de sistema en cuanto a la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento. Desde su creación, IAGUASANJO lleva a cabo la gestión de los servicios de agua potable y saneamiento, caracterizada por asegurar niveles eficientes de cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento, con especial énfasis en garantizar a los servicios de agua potable y saneamiento un alto desempeño en términos de continuidad, presión y calidad del agua. Además, IAGUASANJO forma parte del equipo de trabajo dentro de proyectos piloto para la aplicación de técnicas de biorremediación *in situ* y *ex situ* en un acuífero contaminado con hidrocarburos (Márquez *et al.*, 2023; Márquez-Romance, López-Calatayud, Farías-De-Márquez, & Guevara-Pérez, 2022b; Márquez-Romance, Freytez-Boggio, Cárdenas-Izaguirre, Maldonado-Maldonado, 2022c), así como para la restauración de la calidad del agua en ríos de los estados Carabobo y Aragua, en el que se incluye el río Ereigüe, uno de los principales cauces superficiales del SJM-CS, donde se utilizan técnicas de biorremediación *ex situ* e *in situ* con el fin de contribuir a proteger las fuentes hídricas del municipio (Márquez-Romance *et al.*, 2023). Estos criterios están en concordancia con los fundamentos de los ODS (UN, 2023); al compararse con los ODM,

los ODS son más ambiciosos, pues superan la meta de aumentar la cobertura con “fuentes de agua mejoradas” y “soluciones mejoradas de saneamiento”, y al agregar consideraciones de calidad y asequibilidad del servicio, asegurando fuentes de agua (superficiales o subterráneas), lo que implica avanzar en la protección de los ecosistemas.

## **Calidad del agua de las aguas subterráneas en el acuífero MSJ-EC**

La calidad del agua de las aguas subterráneas del acuífero del MSJ-EC utilizada para consumo humano y actividades agrícolas ha sido evaluada por el Ministerio de Ecosocialismo (MINEC & IAGUASANJO, 2020), y se unieron los registros de 1970 a 2020 con los resultados de los pozos de monitoreo realizados por IAGUASANJO para 2021, cuya evaluación fue realizada por el Laboratorio HIDROLAB-TORO, certificado por el Ministerio de Aguas (HIDROLAB, TORO, & IAGUASANJO, 2021) así como los trabajos de muestreo de agua realizados por IAGUASANJO durante 2022 y su procesamiento en la Unidad Territorial de Atención del Agua adscrita al Laboratorio del Ministerio de Aguas para 2022 (UTAA & IAGUASANJO, 2022). La Figura 4 y Figura A11 muestran la representación de las variables de calidad del agua subterránea bombeada del acuífero MSJ-EC para consumo humano a través de diagramas de caja y bigotes y mapas de distribución espacial de los parámetros fisicoquímicos determinados en el periodo 1971-2022. En el área urbana del MSJ-EC (Figura 4 y Figura A11), todas las variables fisicoquímicas presentaron valores por debajo de los límites máximos aceptables reportados para la calidad organoléptica (turbidez, sólidos disueltos totales, dureza total, pH, cloruro, sulfato, sodio) y compuestos inorgánicos (nitrito, nitrato) en el

artículo 14 de las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable (Sanitary Standards for Drinking Water Quality, 1998). Los coliformes totales y coliformes fecales han resultado frecuentemente menores a 1.8 NMP/100 ml, cuyo valor es inferior a 2 000 NMP/100 ml indicado en el Diario Oficial núm. 5, 305 (Regulations for the classification and quality control of the waters of the Lake Valencia Basin, 1999), siendo considerada como agua segura (Guevara & Cartaya, 2004). Además, se estimó un índice de calidad de agua subterránea (GWQI) siguiendo la Ecuación (1), lo que dio como resultado un valor de 36.70, que es inferior a 50 siendo categorizada como una calidad de agua subterránea excelente (López-Calatayud *et al.*, 2022c).



**Figura 4.** Parámetros de calidad del agua en aguas subterráneas de pozos en MSJ-EC durante el periodo 1971-2022. Fuente MINEC & IAGUASANJO (2020), Peraza-Barreto *et al.* (2022), UTAA and IAGUASANJO (2022).

**Tabla 1.** Índice de calidad del agua subterránea del acuífero MSJ-EC con base en los valores medios de los parámetros fisicoquímicos representados en la Figura 4.

Parámetro	Unidad	Sanitary Standards for Drinking Water Quality (1998)	wi	Wi	Ci	qi	GWQI
pH	-	6.5-8.5	3	0.10	7.02	100.29	9.71
Turbiedad	Universidad Nacional de Tecnología	1	5	0.16	1.05	105	16.94
Dureza total	mg/l como CaCO <sub>3</sub>	500	2	0.06	190.02	38	2.45
Sólidos disueltos totales	mg/l	1 000	4	0.13	274.61	27.4	3.54
Sulfato	mg/l	500	4	0.13	63.71	12.7	1.64
Cloruro	mg/l	300	3	0.10	13.58	4.5	0.44
Nitrato	mg/l	10	5	0.16	1.22	12.2	1.98
Coliformes totales	NMP/100 ml	0	5	0.16	< 1.8	-	-
Total			31	1			36.70

En el área agrícola (Figura A1, Figura 4), localizada comúnmente en la zona sur del SJM-CS, el análisis de la calidad del agua para riego es un factor importante para prevenir la salinización de los suelos. En relación con la conductividad eléctrica (CE) (Figura 4a), el 50 % de los valores se encontró en una magnitud menor a 300  $\mu$ S/cm, lo que sugiere que estas aguas tienen baja salinidad, además del consumo humano; también pueden utilizarse para regar la mayoría de los cultivos en casi cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad de desarrollo de salinidad

(Guevara, 1990; Guevara & Cartaya, 2004). Al calcular la razón de absorción de sodio (SAR) con base en los valores medios de las concentraciones (meq/l) asociadas con iones como calcio (2.64 meq/l), sodio (0.61 meq/l) y magnesio (1.15 meq/l), se obtuvo un SAR de 0.44, cuyo resultado puede combinarse con un valor medio de CE de 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ( $< 700 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), dando como resultado que no existen restricciones para su uso para riego de suelos empleados en la actividad agrícola (Guevara & Cartaya, 2004). El tercer índice calculado fue el índice de Mg, tomando en cuenta las concentraciones de calcio y magnesio para obtener un índice de Mg de 30.34; cuando este valor es superior a 50, el agua se considera peligrosa para fines de riego. Una absorción excesiva de Mg afecta de manera desfavorable al suelo y puede inducir deficiencias de calcio en los cultivos (Guevara, 1990; Guevara & Cartaya, 2004). El cuarto índice calculado fue la proporción de carbonatos y sulfatos. Asumiendo los valores máximos en la muestra, se cumple que la suma de las concentraciones de ion calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) (10.64 meq/l) e ion magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ ) (4 meq/l) para un total de 14.64 meq/l son mayores que la suma de las concentraciones de ion bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) (2.42 meq/l) e ion carbonato ( $\text{CO}_3^{-2}$ ) (3.79 meq/l) para un total de 6.21 meq/l, expresado como la Ecuación (2):



Como lo expresa el resultado de la aplicación asociada con la Ecuación (1), el agua puede clasificarse en el tipo II (Guevara, 2019; Guevara & Cartaya, 2004). Dicha clasificación corresponde a que al concentrar el agua, parte del  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{Ca}^{+2}$  precipitan en forma de

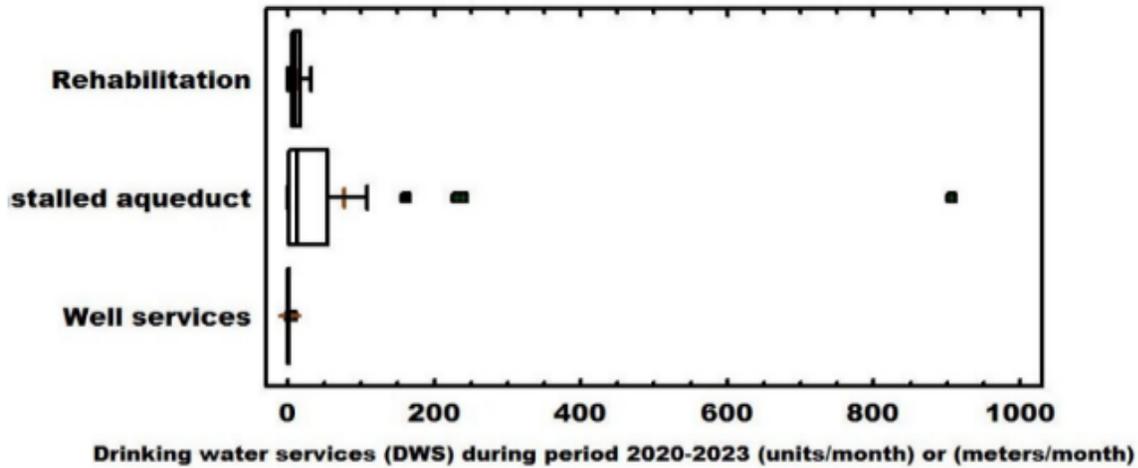
carbonatos. Todo el  $Mg^{+2}$  restante queda en la solución. El calcio restante precipita en parte en forma de sulfato, pero como el sulfato de calcio (yeso) tiene cierta solubilidad (30 meq/l), parte del  $Ca^{+2}$  queda disuelto, por lo que el SAR no sube tanto como en la clase 1 (Guevara, 2019; Guevara & Cartaya, 2004). Este resultado es consistente con el hecho de que el ion sulfato excedió ligeramente el límite máximo aceptable (400 mg/l) para aguas de los subtipos 1A y 1B (Sanitary Standards for Drinking Water Quality, 1998), presentándose como puntos externos en una proporción cercana a más de 1.5 veces el rango intercuartil (ancho de la caja) por encima de la caja (Figura 4) y ubicados geográficamente en el área agrícola de la región sur del MSJ-EC (Figura A11).

El caudal bombeado del acuífero MSJ-EC en el periodo 1971-2023 se muestra en la Figura A12 y Figura A13, representado por una muestra de 72 pozos registrados en el catastro de IAGUASANJO (2021), cuyo caudal se ha distribuido en 782 l/s para el uso urbano y 559 l/s empleados en los usos agrícolas, totalizando un caudal aproximado de 1 341 l/s extraídos del acuífero MSJ-EC, siendo un componente dentro de los planes de gestión integral de los recursos hídricos de la región hidrográfica del lago de Valencia (National Assembly of the Bolivarian Republic of Venezuela, 2007b). El mayor caudal bombeado de pozos varió entre 40 y 60 l/s, que correspondió a pozos ubicados en áreas de propiedad del Ministerio de Agricultura y Tierras, y asociados con el desarrollo de la actividad agrícola.

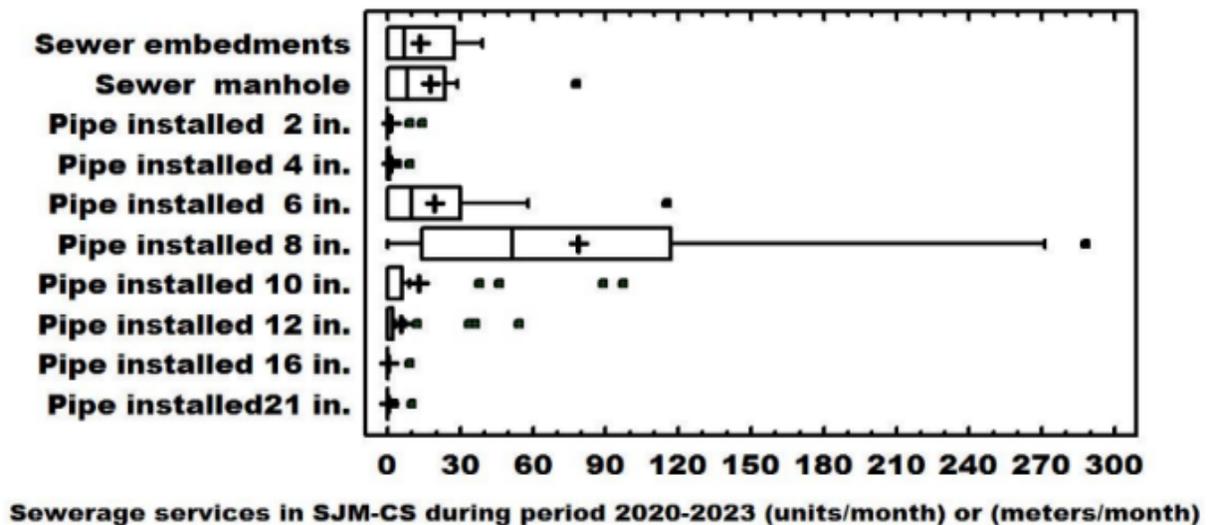
## Provisión de SAPS en MSJ-EC por parte del gobierno municipal

En general, respecto a la cobertura de DWS en el MSJ-EC, el 56 % de la cobertura se realiza a través de las redes del Acueducto Regional Central, Etapa II (Peraza *et al.*, 2021; Peraza-Barreto *et al.*, 2022; Lugo *et al.*, 2023), cuyo sistema ha sido administrado desde 1990 y hasta la actualidad por el HIDROCENTRO. Desde 2020 y hasta hoy en día, IAGUASANJO ha ejecutado un total de 331 acciones de rehabilitación de tramos de red de tuberías, con un máximo de 30 acciones de rehabilitación mensuales (Figura 5a). Otro propósito ha consistido en 1 995 m involucrados en la instalación de tramos ampliados de la red de tuberías de agua potable (Figura 5a), incluyendo un valor máximo mensual de 906 m en 2021.

a)



b)



**Figura 5.** Sistemas de agua potable y saneamiento implementados por IAGUASANJO, MSJ-EC, Venezuela, expresados en unidades/mes o metros/mes (acueducto instalado), durante el periodo 2020-2023.

La red de alcantarillado ha cumplido más de 30 años de servicio, fue diseñada considerando un caudal de transporte de aguas residuales

de hasta 5.03 m<sup>3</sup>/s para 2020 (López & González, 2003). Desde 2020 hasta la actualidad, el total de prestaciones de servicios de saneamiento por parte de IAGUASANJO ha abarcado las siguientes seis actividades (Figura 5b) (Peraza *et al.*, 2021; Peraza-Barreto *et al.*, 2022; Lugo *et al.*, 2023): 1) 108 limpiezas, inspección y reconstrucción de empotramientos a las redes de colectores de aguas residuales; 2) 166 limpiezas e inspección de pozos de registro; 3) 32 metros de rehabilitación de colectores de 2 pulgadas; 4) 29 metros de rehabilitación de colectores de 4 pulgadas; 5) 502 metros de rehabilitación de colectores de 6 pulgadas; 6) 2 046 metros de rehabilitación de colectores de 8 pulgadas; 7) 334 metros de rehabilitación de colectores de 10 pulgadas; 7) 147 metros de rehabilitación de colectores de 12 pulgadas 8) nueve metros de rehabilitación de colectores de 12 pulgadas, y 9) 45 metros de rehabilitación de colectores de 21 pulgadas.

## **Establecimiento de modelos de prestación de SAPS en el SJM-CS**

El establecimiento del nuevo modelo de prestación de servicios de agua potable y saneamiento para el municipio San Joaquín-estado Carabobo, está enfocado a garantizar el suministro, gestión y conservación del agua potable (Tabla 2). En la Tabla 2 se presenta un resumen de las características de los componentes del modelo de prestación de servicios de agua potable y saneamiento en el municipio San Joaquín, estado Carabobo, que incluye el tipo de operador, el modelo de servicio, el marco regulatorio, la fuente de financiamiento, las políticas tarifarias y los sistemas de subsidios, así como las funciones. En el modelo de gestión de servicios de agua potable y saneamiento, HIDROCENTRO administra las

redes de agua potable y el 7 % de las fuentes subterráneas, mientras que IAGUASANJO administra el 94 % de las fuentes subterráneas, incluyendo aquellas fuentes subterráneas que son administradas por las unidades de gestión privatizadas. En cuanto a los servicios de saneamiento, HIDROCENTRO e IGUASANJO realizan proyectos, ejecución de obras y mantenimiento de redes integradas de recolección de aguas residuales, al igual que de plantas de tratamiento de aguas residuales como “Los Guayos”.

**Tabla 2.** Características de los componentes del modelo de prestación de los servicios de agua potable y saneamiento en el municipio de San Joaquín, estado Carabobo.

Proveedores de servicios SAPS, municipio de San Joaquín	Operador	Modelo de gestión	Financiación	Marco regulatorio	Políticas arancelarias y sistemas de subsidios
Compañía Hidrológica Central (HIDROCENTRO)	Compañía regional (limitado)	Gestión pública directa-compleja filial de hidroventilador	Presupuesto de la república. Sistema de cobro de tasas	Ley Orgánica para la Prestación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento. Ajustes tarifarios anclados al petro, el Ministerio del Poder Popular para las Industrias Ligeras y Comercio fija las tarifas máximas permisibles para el sector.	Política de subsidios y diseño de tarifas que aplicarán los municipios

<b>Proveedores de servicios SAPS, municipio de San Joaquín</b>	<b>Operador</b>	<b>Modelo de gestión</b>	<b>Financiación</b>	<b>Marco regulatorio</b>	<b>Políticas arancelarias y sistemas de subsidios</b>
Dirección de Aguas y Obras Públicas (Nov. 2018-Julio 2020)	Institución Municipal (limitado)	Gestión pública directa-simple	Presupuesto de la república asignado a la alcaldía	Ley Orgánica para la Prestación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento (LOPSAPS)	no establecido
Comunal Concejo	Municipal Asociación comunitaria (limitado)	Controlado por IAGUASANJO	Presupuesto de la república asignado a la alcaldía	LOPSAPS, ley de consejos comunales	
Asociaciones privadas de urbanismo	Asociaciones municipales (interferencia de proveedor de servicio)	Controlado por IAGUASANJO	Recursos propios, cuotas condominales extras, alcaldía, gobierno	Reglamento interno	Cuotas pagadas al condominio
IAGUASANJO (julio 2020)	Compañía municipal	Gestión pública directa-compleja	Presupuesto de la república asignado a la alcaldía	Ley Orgánica para la Prestación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento. Ordenanza municipal de creación del Instituto del 20 de julio de 2020	Ajustes anclados al petro, el Ministerio del Poder Popular para las Industrias Ligeras y Comercio fija las tarifas máximas permisibles para el sector

## Creación de índices de prestación del SAPS en el SJM-CS

En la Tabla 3 se presenta la metodología de creación de los tres índices asociados con la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento por IAGUASANJO en el MSJ-EC derivados de la aplicación de la Ecuación (1). Los valores de la matriz de la Tabla 3 se han separado en dos componentes, que incluyen las actividades de prestación de los servicios de agua potable y saneamiento.

**Tabla 3.** Matriz multicriterio de Índices de Prestación de Servicios de Agua Potable y Saneamiento (IPSAPS) a nivel municipal IAGUASANJO durante 2019-2021 (I) en las cuatro comunas del municipio San Joaquín, estado Carabobo.

Comp.	variables	Año	IAGUA-SANJO	Frecuencia relativa de actividades del SAPS en las comunas				
				Oro del Pueblo	Centro-Oeste Lago Los Tacariguas	Tacarigua Sur	Socialista Carabalí	
Disposición DWS	1.1 Rehabilitación/inspección de acueductos	2019	1	0.2	0.4	0.2	0.1	
		2020	1	0.21	0.5	0.2	0.1	
		2021	1	0.4	0.4	0	0.1	
	Subtotal 1.1			3	0.9	1.3	0.4	0.3
	1.2 Instalación de acueductos	2019	1	0.09	0.6	0.2	0.1	
		2020	1	0.4	0.2	0.2	0.2	
		2021	1	0.7	0.2	0	0.1	
	Subtotal 1.2			3	1.2	1.0	0.4	0.3

Comp.	variables	Año	IAGUA-SANJO	Frecuencia relativa de actividades del SAPS en las comunas				
				Oro del Pueblo	Centro-Oeste Lago Los Tacariguas	Tacarigua Sur	Socialista Carabalí	
	1.3 Servicios de pozos profundos	2019	1	0.2	0.4	0.2	0.2	
		2020	1	0.5	0.1	0	0.4	
		2021	1	0.31	0.5	0.1	0.1	
	Subtotal 1.3			3	1.0	0.9	0.2	0.7
Subtotal 1				9	3.1	3.3	1.2	1.3
Disposición de la SS	2.1 Limpieza, inspección y reconstrucción de empotramientos	2019	1	0.21	0.23	0.4	0.16	
		2020	1	0.53	0.18	0.28	0.01	
		2021	1	0.57	0.43	0	0	
	Subtotal 2.1			3	1.31	0.84	0.68	0.17
	2.2 Limpieza e inspección de pozos de registro	2019	1	0.34	0.20	0.32	0.14	
		2020	1	0.59	0.23	0.13	0.05	
		2021	1	0.43	0.51	0	0.06	
	Subtotal 2.2			3	1.36	0.94	0.45	0.25
	2.3 Rehabilitación de tuberías de alcantarillado para tuberías con diámetro de 6 pulgadas	2019	1	0	0	1	0	
		2020	1	1	0	0	0	
		2021	1	1	0	0	0	
	Subtotal 2.3			3	1	2	3	4
	2.4 Rehabilitación de tuberías de alcantarillado para tuberías con diámetro de 8 pulgadas	2019	1	0.22	0.48	0.17	0.13	
2020		1	0.71	0.06	0.21	0.02		
2021		1	0.87	0.13	0	0		
Subtotal 2.4			3	1.8	0.67	0.38	0.15	

Comp.	variables	Año	IAGUA-SANJO	Frecuencia relativa de actividades del SAPS en las comunas			
				Oro del Pueblo	Centro-Oeste Lago Los Tacariguas	Tacarigua Sur	Socialista Carabalí
2.5 Rehabilitación de tuberías de alcantarillado para tuberías de 12 pulgadas de diámetro	2019	1	0	0	1	0	
	2020	1	0	0	1	0	
	2021	1	0	1	0	0	
Subtotal 2.5			3	0	1	2	0
2.6 Rehabilitación de tuberías de alcantarillado para tuberías con diámetro de 21 pulgadas	2019	0	0	0	0	0	
	2020	1	1	0	0	0	
	2021	1	0	1	0	0	
Subtotal 2.6			2	1	1	0	0
Subtotal 2			17	7.5	4.5	4.5	0.6
Total 1+2			26	11	7.8	5.7	1.9
IMPSA			0.35	0.12	0.13	0.04	0.05
IMSS			0.65	0.29	0.17	0.17	0.02
Normas internacionales de seguridad alimentaria			1	0.4	0.3	0.2	0.1

Fuente: Adaptación de López-Calatayud et al. (2022c).

En la Tabla 3 se puede observar que el componente asociado con la prestación del servicio de agua potable engloba tres variables que representan las acciones realizadas por IAGUASANJO en el periodo 2019-2021, cuyos resultados se presentaron en la Figura 5. Las tres variables involucran las actividades de a) rehabilitación/inspección de acueductos, b) instalación de acueductos y c) servicios de pozos profundos. Los pesos se obtuvieron como el número de acciones realizadas al interior de cada

comuna dividido entre el total de acciones para las cuatro comunas del municipio. La valoración del subtotal de las acciones en prestación de servicios de agua potable desarrolladas por IAGUASANJO durante tres años resultó en 9 (subtotal 1), cuyo valor incluye los valores de cada una de las cuatro comunas del Municipio San Joaquín, resultando en un puntaje para la comuna 1 (Oro del Pueblo) de 3.19; para la comuna 2 (Centro-Oeste Lago Los Tacariguas) de 3.33; para la comuna 3 (Tacarigua Sur) de 1.15 y para la comuna socialista de Carabalí de 1.33.

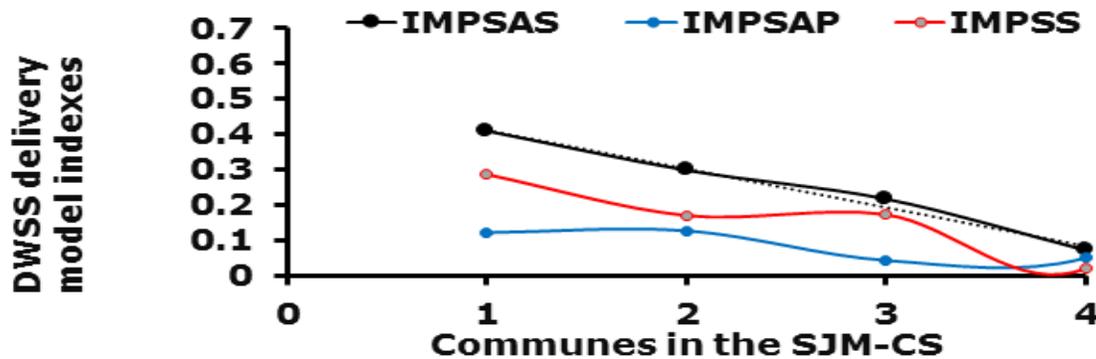
Respecto al componente asociado con la prestación del servicio de saneamiento, este comprende seis variables que representan las acciones ejecutadas por IAGUASANJO en el periodo 2018-2021 (Tabla 3), cuyos resultados se presentaron en la Figura 5. Las seis variables involucran las actividades de a) limpieza, inspección y reconstrucción de empotramientos; b) limpieza e inspección de pozos de registro; c) rehabilitación de tuberías de aguas residuales para tuberías de diámetro de 6 pulgadas; d) rehabilitación de tuberías de aguas residuales para tuberías de diámetro de 8 pulgadas; e) rehabilitación de tuberías de alcantarillado para tuberías de diámetro de 12 pulgadas, y f) rehabilitación de tuberías de aguas residuales para tuberías de diámetro de 21 pulgadas. La valoración del subtotal de las acciones en prestación de servicios de saneamiento desarrolladas por IAGUASANJO durante tres años arrojó como resultado 17 (subtotal 2), cuyo valor incluye los valores para cada una de las cuatro comunas dentro del Municipio de San Joaquín, resultando un puntaje para la comuna 1 (Oro del Pueblo) de 7.47; para la comuna 2 (Centro-Oeste Lago Los Tacariguas) de 4.45; para la comuna 3 (Tacarigua Sur) de 4.51, y para la comuna Socialista Carabalí de 0.57. Los resultados de los tres índices encontrados para las cuatro comunas se muestran en la Tabla 3, donde se observa con respecto al índice del

modelo de prestación del servicio de agua potable (IMPSAP) que presentó el mayor puntaje para la comuna Oro del Pueblo (0.35) y una menor proporción para el resto de las comunas. En cuanto al índice del modelo de prestación del servicio de saneamiento (IMPSS), se encontró que el mayor puntaje lo obtuvo la comuna Oro del Pueblo (0.65) y una menor proporción para el resto de comunas. Respecto al índice global del modelo de prestación del servicio de agua potable y saneamiento (IMPSAPS), se encontró que abarcó una ponderación de 0.41 en la comuna Oro del Pueblo, seguido del índice de la comuna Centro-Oeste Lago Los Tacariguas (0.30), así como este para las comunas de Tacarigua Sur (0.22) y Socialista Carabalí (0.07). La clasificación de los índices SAPS en las escalas se considera de la siguiente manera (López-Calatayud *et al.*, 2022c): muy bajo (0-20 %), bajo (20-40 %), medio (40-60 %), alto (60-80 %), y muy alto (80-100 %). En este estudio se encontró un valor alto para el IMPSS (65 %) y un valor bajo para el IMPSAP (bajo: 35 %).

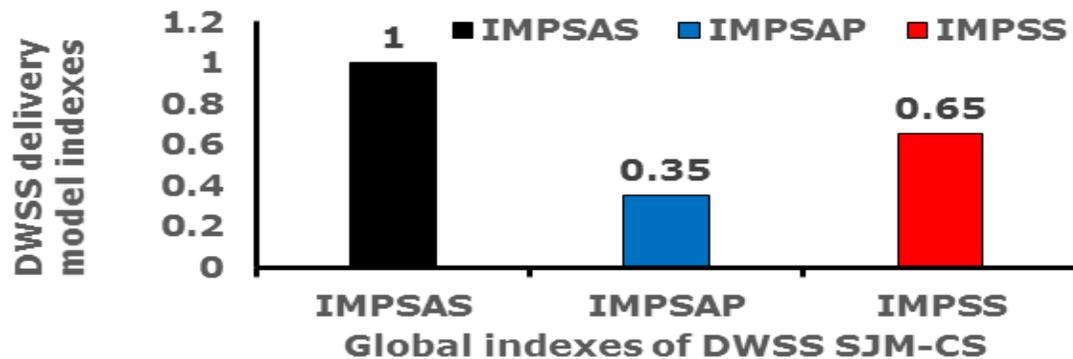
En las Figuras 6a-6b se muestra la representación gráfica de los tres índices, IMPSAP, IMPSS e IMPSAPS, calculados sobre la base de un periodo de tres años (2019-2021) y discriminados para las cuatro comunas del municipio San Joaquín, estado Carabobo, donde se observa que el IMPSAP fue inferior al IMPSS; el complemento de ambos índices justifican los valores obtenidos para el índice IMPSAPS. Con respecto a los índices globales por el MSJ-EC, se observa que el 65 % de las actividades desarrolladas por el IAGUASANJO en el MSJ-EC estuvieron orientadas a cubrir las necesidades de servicios de saneamiento; mientras que el 35 % de las acciones se realizaron en servicios de agua potable (Figura 6). A escala global, los índices más aproximados al IMPSAP, IMPSS e IMPSAPS están relacionados con la cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento en términos de población abastecida. Para Europa

EUREAU (2020), en Reino Unido, la gestión pública delegada ha logrado un índice de cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento del orden del 100 % de la población abastecida; mientras que en países como Austria, Dinamarca, Italia, Portugal, España, Francia, Alemania, la gestión pública directa ha logrado una cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento entre alta (100 %) para los cuatro primeros y de media a baja (10-60 %) para el resto de los países. Para América Latina, Ferro (2017) reportó que el 67 % de las empresas cubren más del 60 % de los SAPS.

a)



b)



**Figura 6.** Índices modelo de prestación de servicios de agua potable y saneamiento en comunas del municipio San Joaquín por IAGUASANJO en el periodo 2019-2021. Comunas: 1: Oro del Pueblo, 2: Centro-Oeste Lago Los Tacariguas, 3: Tacarigua Sur, 4: Socialista Carabalí. Adaptado de López-Calatayud *et al.* (2022c).

## Conclusiones

En este estudio se analizaron las experiencias del modelo de gestión de los SAT en el municipio San Joaquín (MSJ), estado Carabobo (EC). Estuvo conformado por la gestión pública directa-compleja representada por el

Instituto Autónomo Municipal de Aguas de San Joaquín (IAGUASANJO) adscrito a la alcaldía del SJM-CS, y la Empresa Hidrológica Central (HIDROCENTRO), perteneciente a la Empresa Hidrológica de Venezuela (HIDROVEN). La reforma institucional se basó en la estructura horizontal de la industria de SAPS, en donde los procesos de captación, almacenamiento en reservorios artificiales de agua, tratamiento y distribución del agua potable obtenida de la fuente superficial de agua, así como la recolección y el tratamiento de las aguas residuales son realizados por la empresa regional (HIDROCENTRO) e IAGUASANJO ha venido cumpliendo un tipo de trabajo conjunto para rehabilitar, mantener y ampliar el SAPS, con especial énfasis en un uso sustentable del acuífero MSJ-EC como fuente de agua para satisfacer la necesidad de una fracción importante de los habitantes dentro del SJM-CS; todas estas acciones en el marco del proceso de transferencia municipal de la empresa regional a la institución municipal en cumplimiento con la regulación nacional de SAPS.

El modelo de prestación de los servicios de agua potable y saneamiento (SAPS) en el municipio San Joaquín (MSJ), estado Carabobo (EC), República Bolivariana de Venezuela, es un modelo de gestión pública directa-compleja representado por una estructura horizontalizada, que cuenta con la participación de empresas públicas-delegadas en las representaciones de la Empresa Hidrológica Central (HIDROCENTRO) y el Instituto Autónomo Municipal del Agua San Joaquín (IAGUASANJO). Bajo este modelo, el IAGUASANJO gestiona la prestación de los SAS para los consejos comunales, asociaciones privadas (condominios urbanísticos) e industrias que conforman el quehacer territorial del municipio. Desde su creación, en 2020, hasta la actualidad, IAGUASANJO ha seguido un perfecto alineamiento con los Objetivos de

Desarrollo Sostenible en el marco de la Agenda 2030 establecida por Naciones Unidas, que se ha centrado en la prestación del SAPS, llevando a cabo las acciones para fortalecer el mantenimiento y la rehabilitación de los sistemas de redes de tuberías de agua potable existentes que extraen el recurso de fuentes de agua superficiales y subterráneas, y los sistemas de recolección de aguas residuales existentes, que han cumplido más de 30 años ofreciendo los servicios para las comunidades de MSJ-EC, así como la creación de nuevos sistemas de agua potable y saneamiento para ampliar los servicios, mejorando la calidad de la prestación del SAPS garantizando la presión, continuidad y calidad del agua en el SAP, y una solución sanitaria adecuada para proteger los recursos hídricos y el medio ambiente, que contribuya a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos de MSJ-EC. El modelo para la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento en el MSJ-EC estuvo representado por la evaluación de varios índices de gestión de la calidad del agua, con enfoques para consumo humano y agua para riego agrícola, donde se encontraron excelentes resultados, lo cual demostró los niveles favorables de las características fisicoquímicas de las aguas subterráneas del acuífero MSJ-EC, por lo que se constituye en una fuente hídrica segura para cubrir la demanda requerida por los habitantes del MSJ-EC. Asimismo, de forma específica, este estudio ha evaluado y propuesto tres índices de gestión, involucrando un índice para tener en cuenta de forma integrada a la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento (IMPSAPS), un índice modelo para la prestación de los servicios de agua potable (IMPSAP) y un índice modelo para la prestación de los servicios de saneamiento (IMPSS), según los cuales el IAGUASANJO ha orientado el 65 % de las actividades hacia la prestación de los servicios de saneamiento y el 35 % de las acciones hacia la prestación de los servicios

de agua potable en el periodo 2020-2023, lo que lleva a validar sus acciones para mejorar de forma significativa la calidad de los servicios de agua potable y saneamiento.

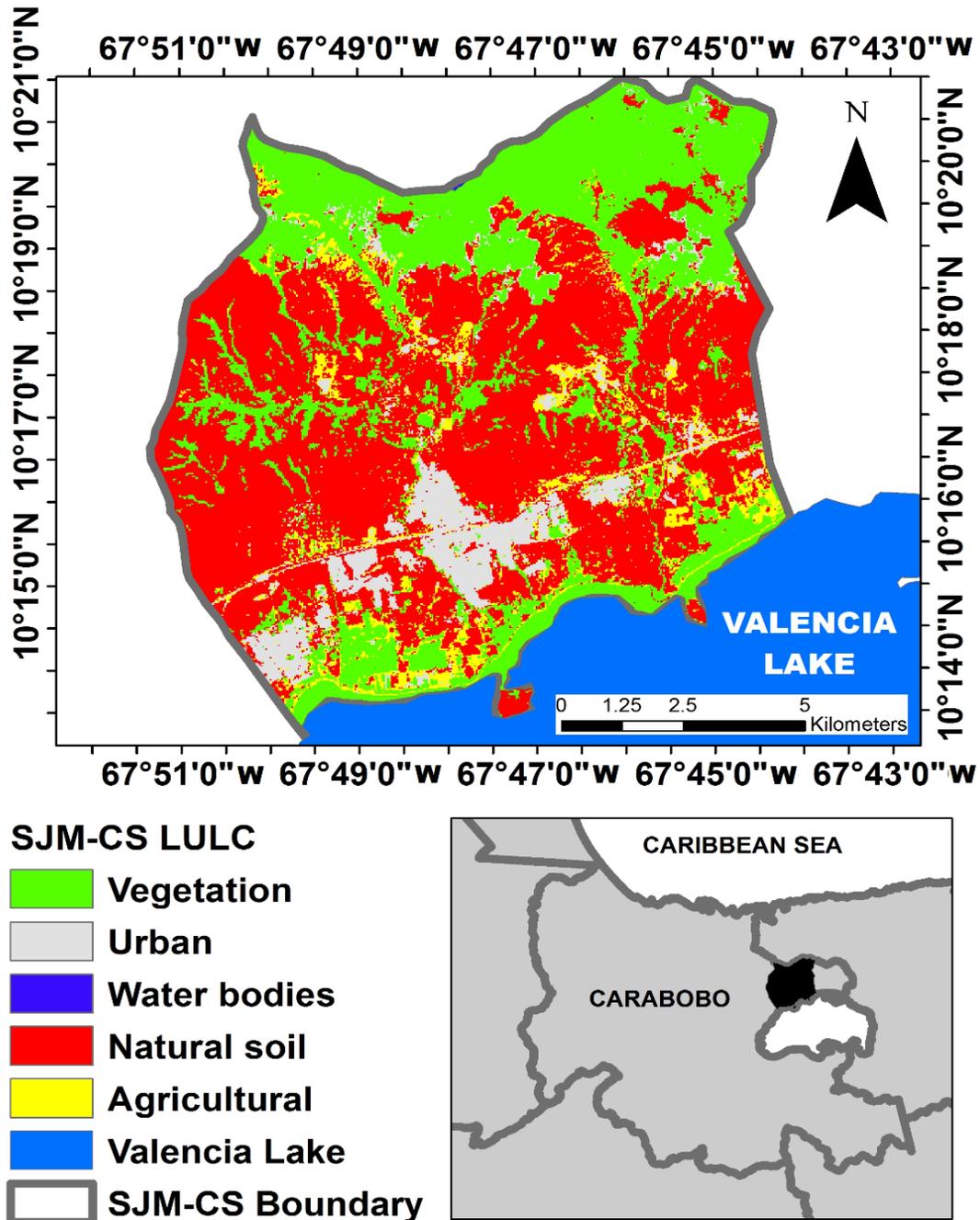
### **Agradecimientos**

Se extiende un reconocimiento al Laboratorio Hidrolab Toro CA por su contribución en la determinación de la calidad del agua para los pozos de la ciudad.

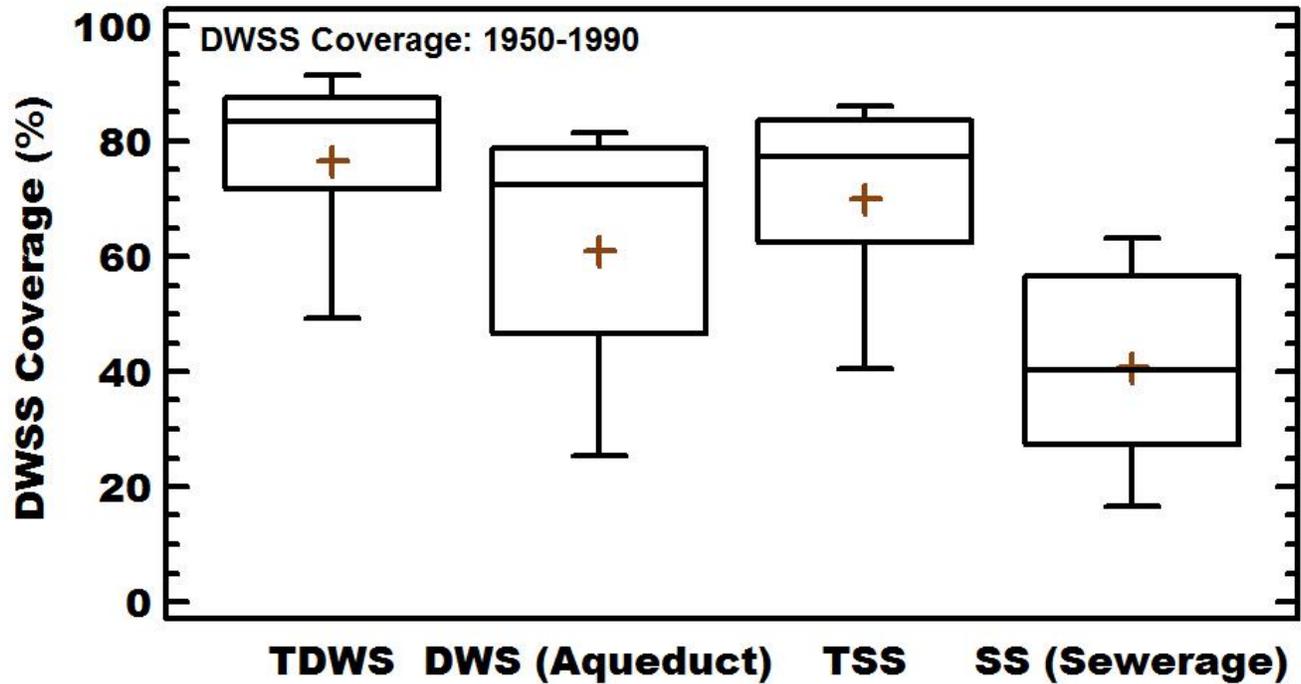
### **Disponibilidad de datos**

Todos los datos, modelos y códigos generados o utilizados durante el estudio aparecen en el artículo enviado.

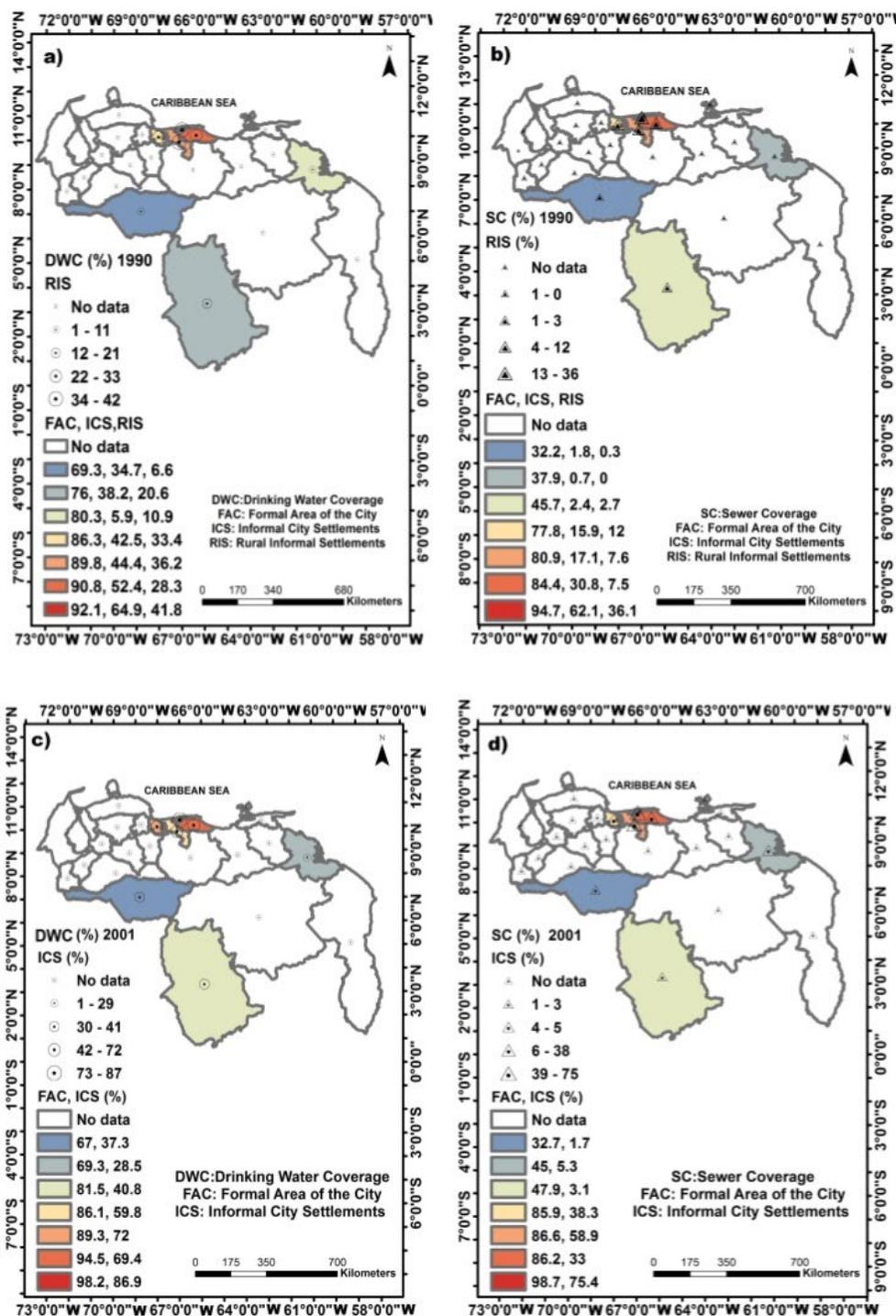
## Anexo



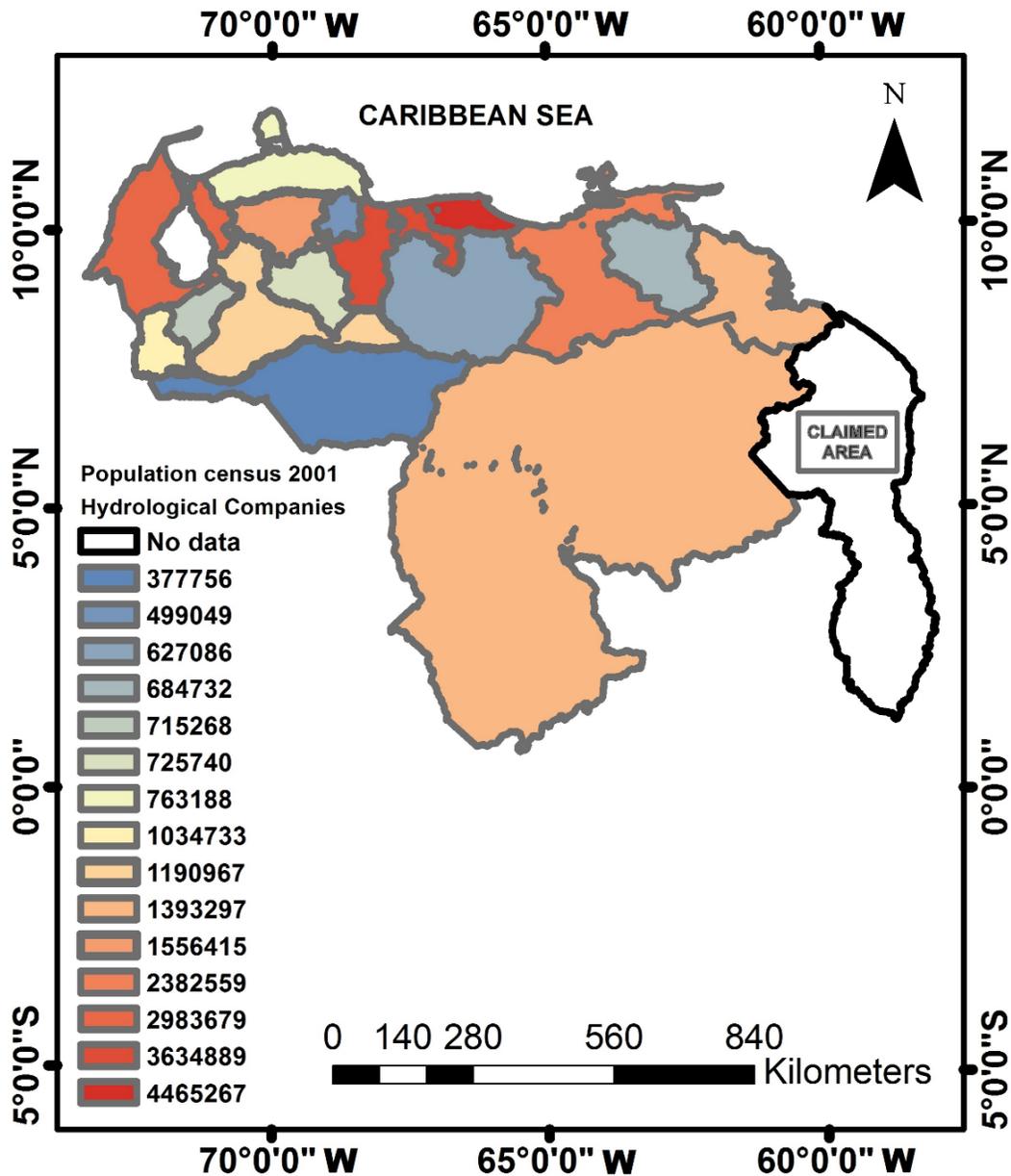
**Figura A1.** Uso y cobertura del suelo del Municipio San Joaquín, Estado Carabobo (SJM-CS), República Bolivariana de Venezuela.



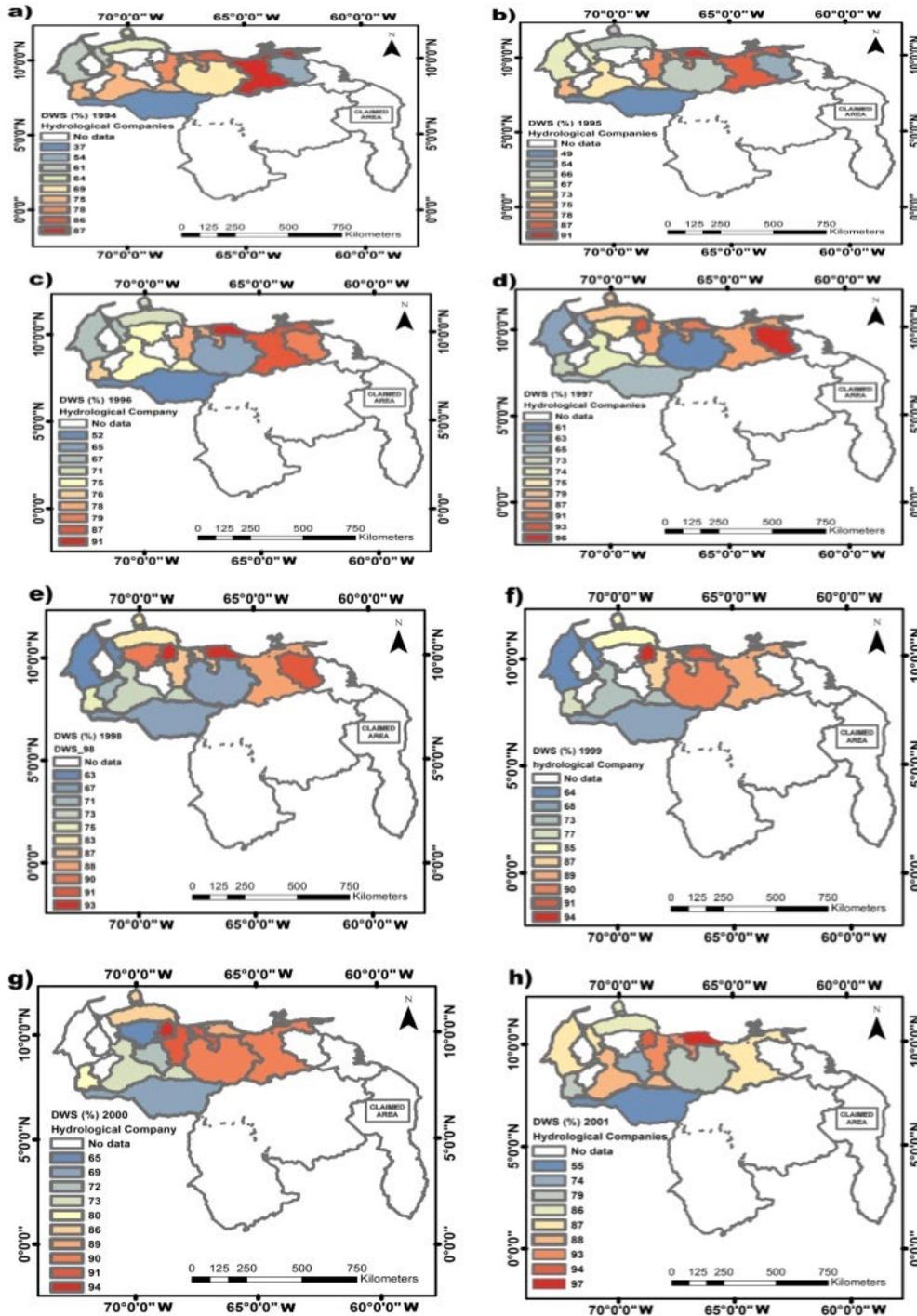
**Figura A2.** Porcentaje de cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento (SSAPS) en Venezuela durante el periodo comprendido entre 1950 y 1990. Adaptado de Corrales (2004) y OCEI (1996).



**Figura A3.** Porcentaje de cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento (SSA) según estrato socioeconómico en Venezuela para 1990 y 2001. Adaptado de OCEI (1996), INE (2001) y Corrales (2004).

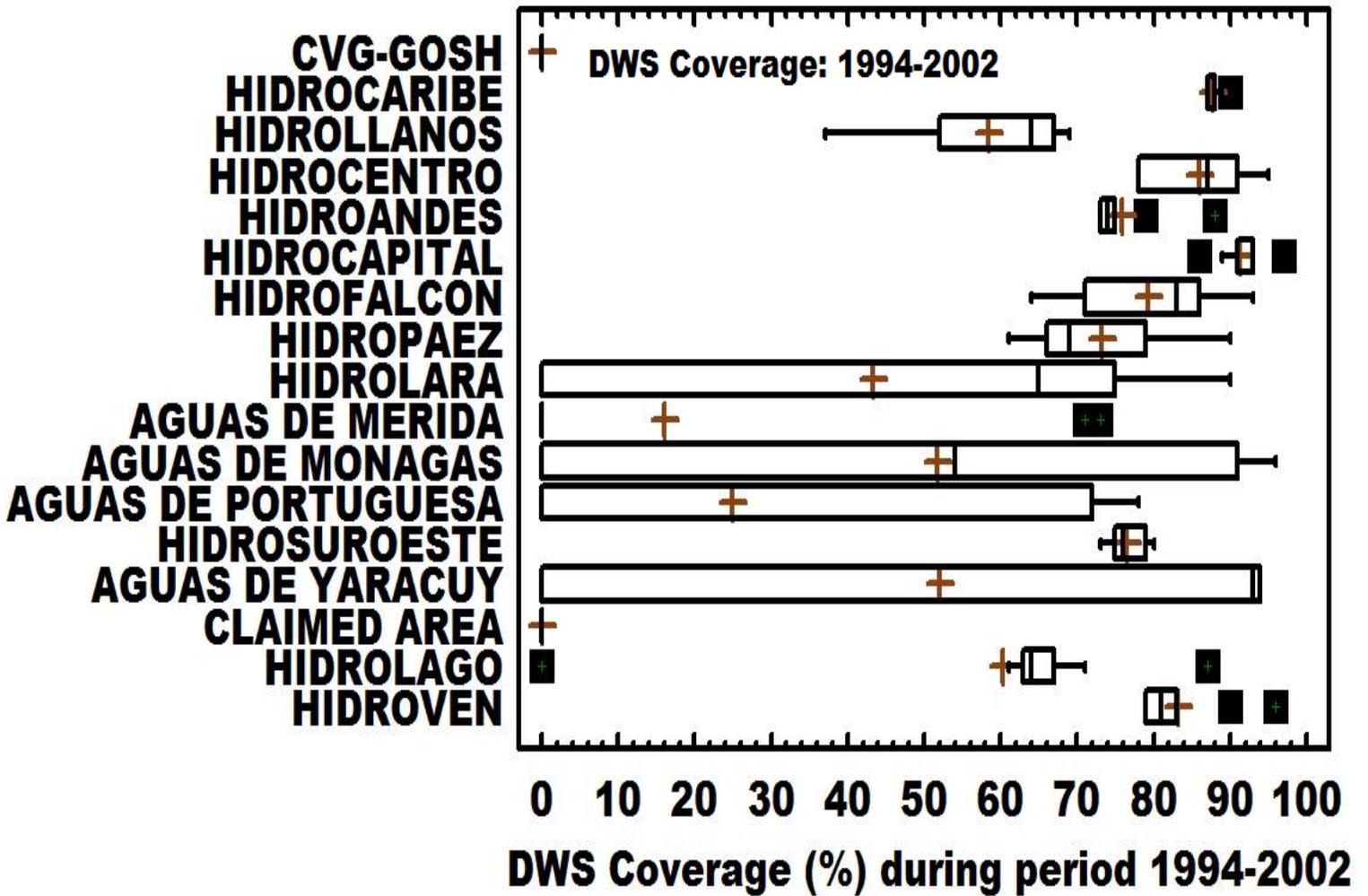


**Figura A4.** Distribución espacial de la población censada por las Empresas Hidrológicas de Venezuela para el año 2001, cuya delimitación regional corresponde a las empresas afiliadas a la Empresa Hidrológica para Venezuela (HIDROVEN) y las empresas descentralizadas de la República Bolivariana de Venezuela. Adaptado de INE (2001) y Corrales (2004).

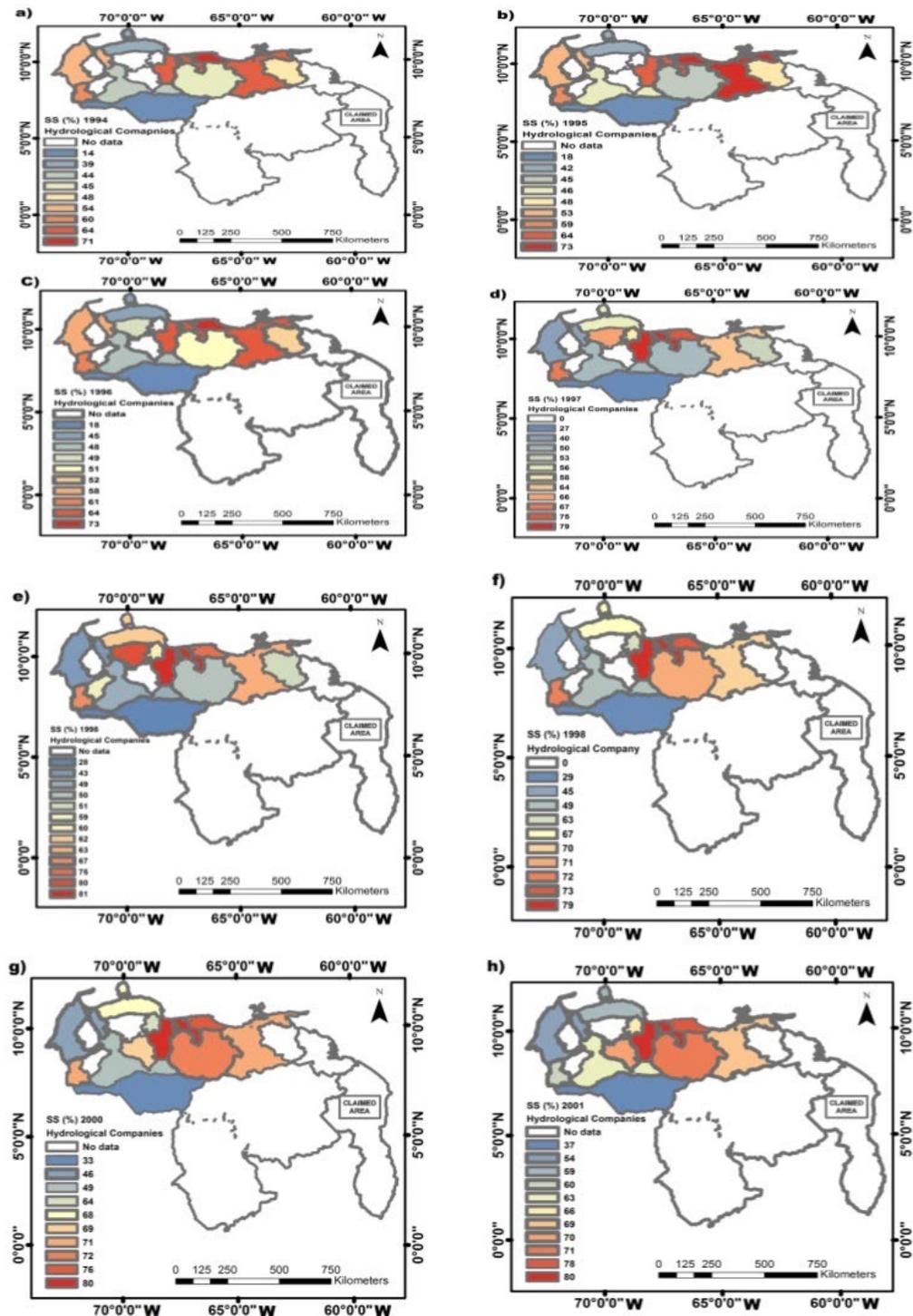


**Figura A5.** Servicios de agua potable de HIDROVEN y empresas descentralizadas durante el periodo 1994-2001. Adaptado de HIDROVEN-CAF (2002) y Corrales (2004).

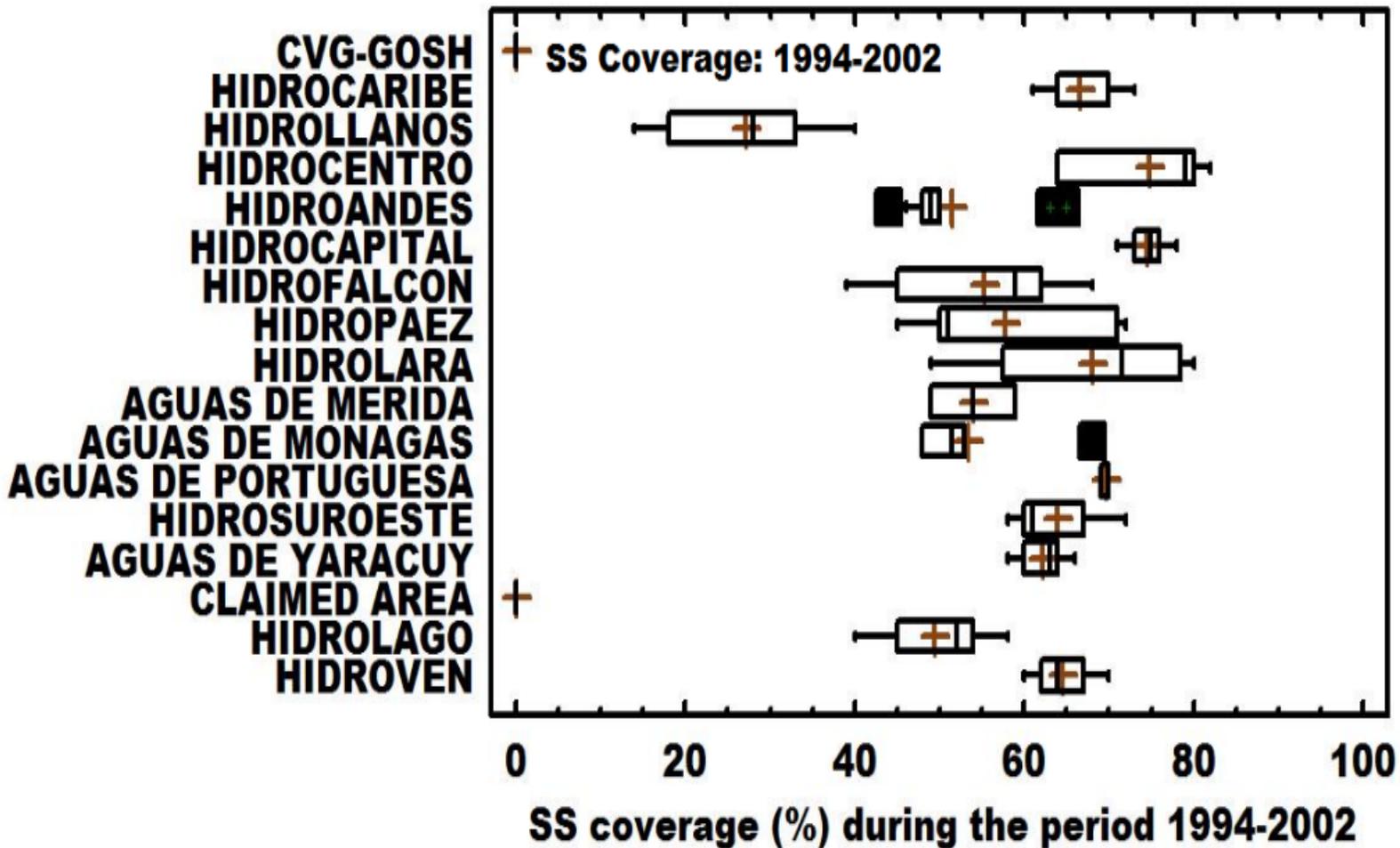




**Figura A6.** Diagramas de caja y bigotes de los servicios de agua potable (SPA) de HIDROVEN y empresas descentralizadas durante el periodo 1994-2002. Adaptado de HIDROVEN-CAF (2002) y Corrales (2004).

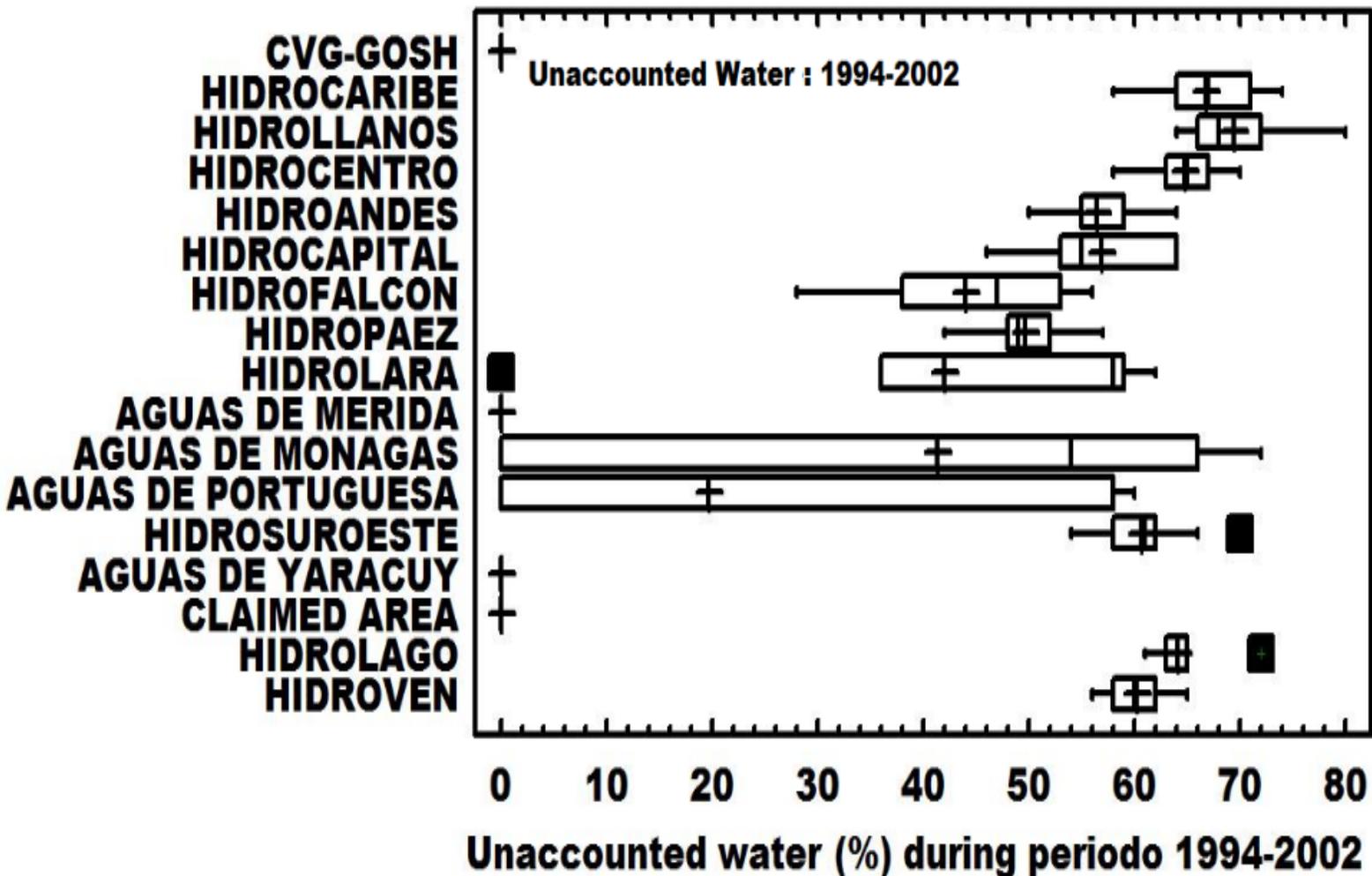


**Figura A7.** Servicios sanitarios de HIDROVEN y empresas descentralizadas durante el periodo 1994-2001. Adaptado de HIDROVEN-CAF (2002) y Corrales (2004).



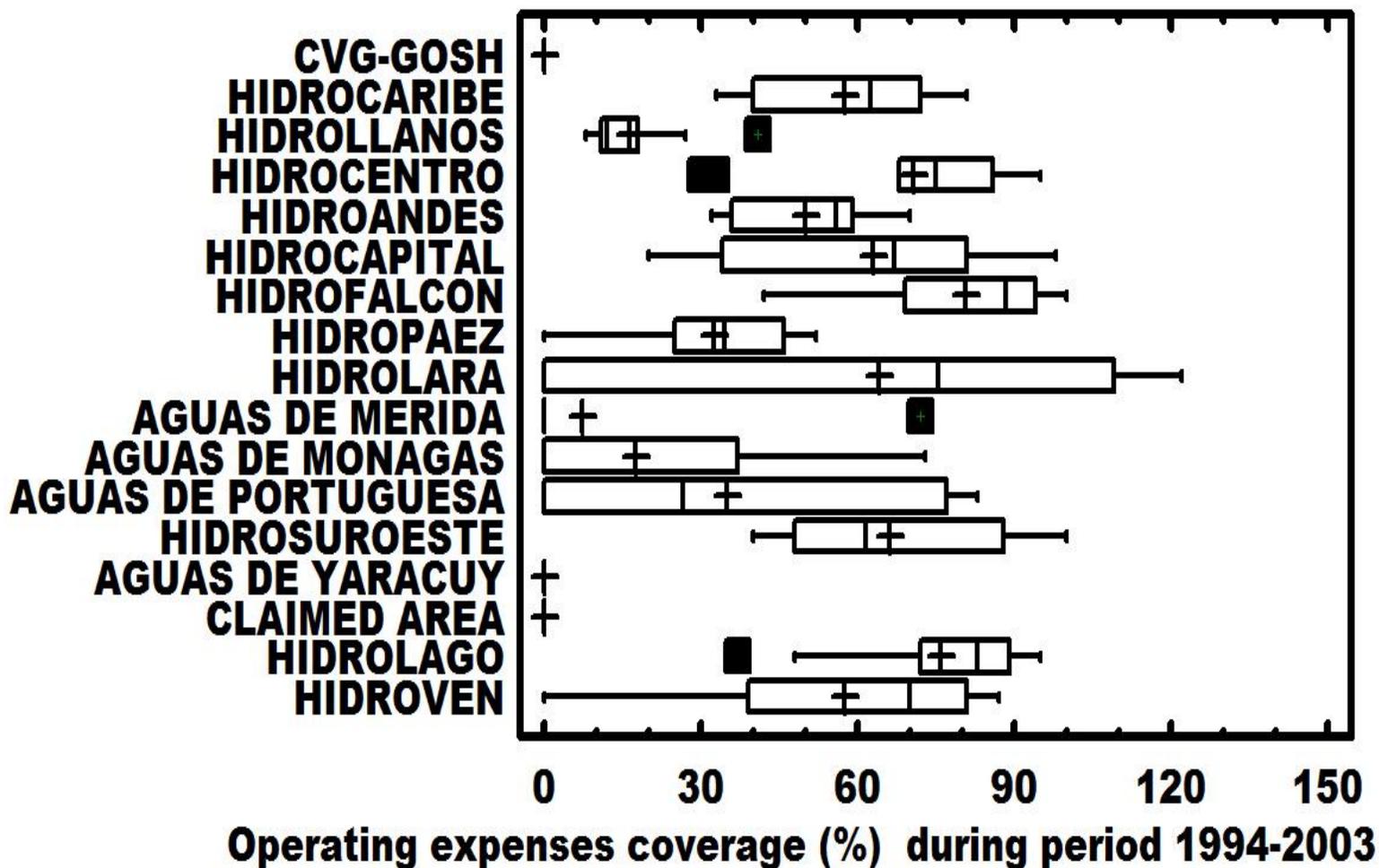
**Figura A8.** Diagramas de caja y bigotes de los servicios sanitarios de HIDROVEN y empresas descentralizadas durante el periodo 1994-2002.

Adaptado de HIDROVEN-CAF (2002) y Corrales (2004).



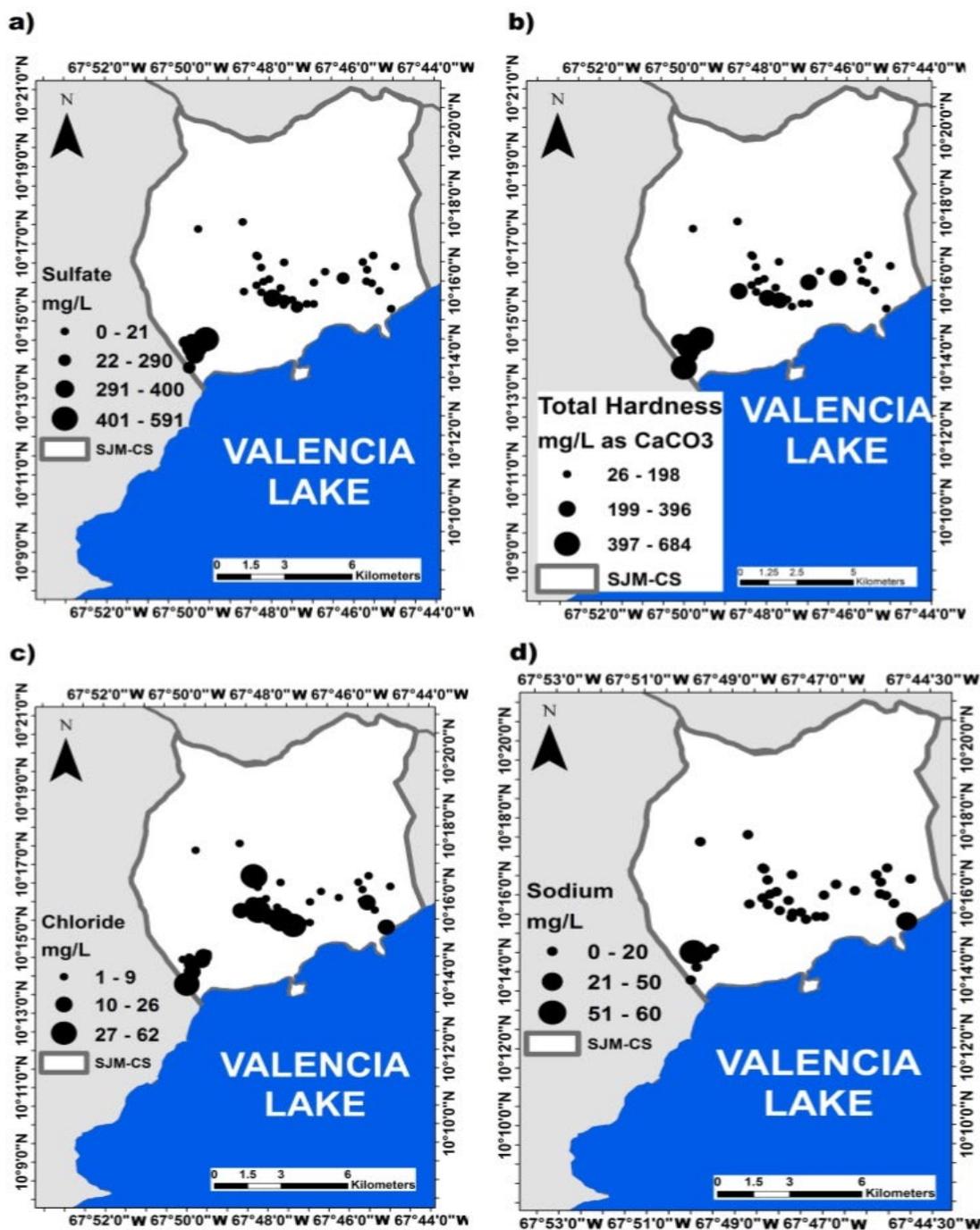
**Figura A9.** Diagramas de caja y bigotes del agua no contabilizada de HIDROVEN y empresas descentralizadas durante el periodo 1994-2002.

Adaptado de HIDROVEN-CAF (2002) y Corrales (2004).

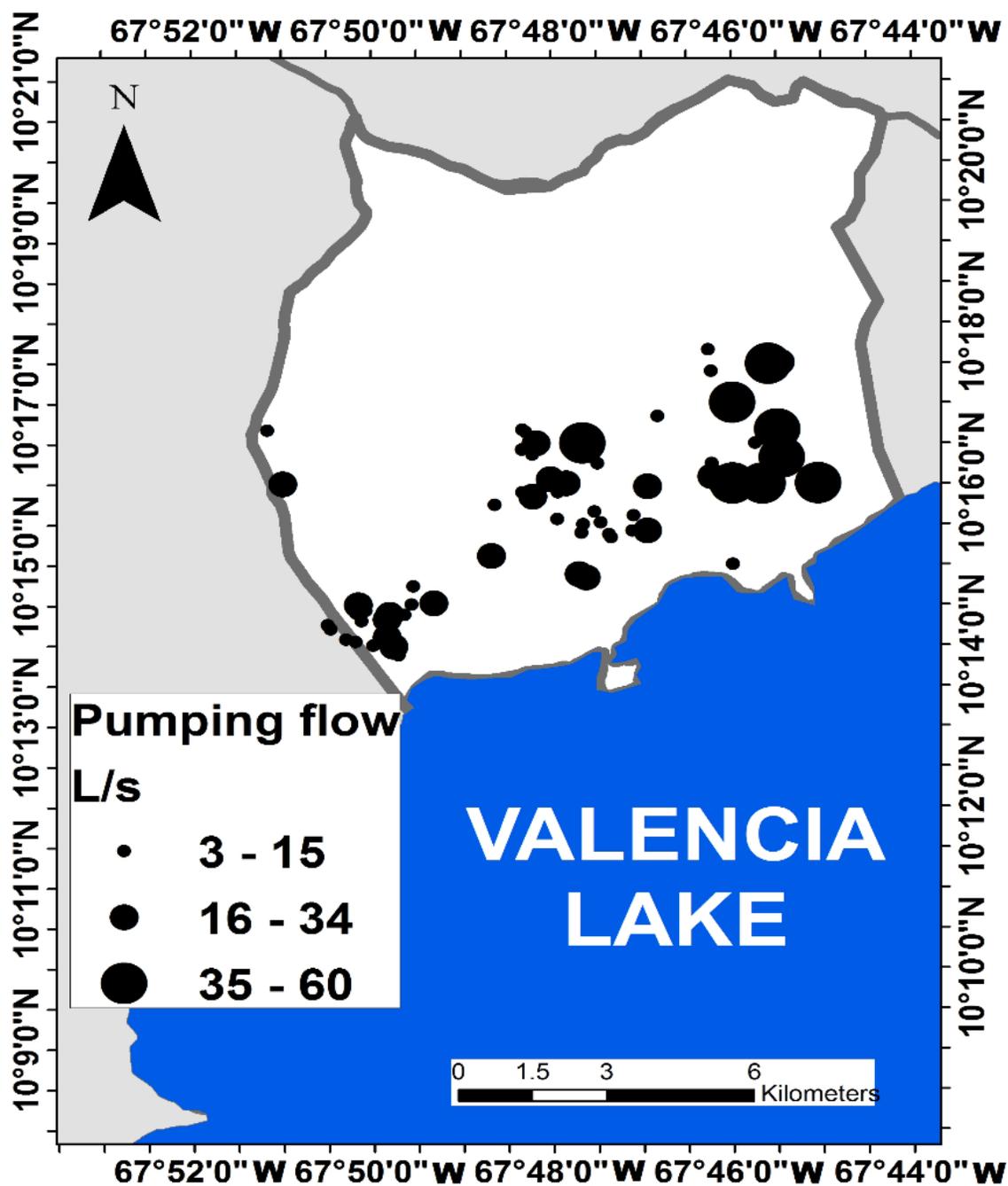


**Figura A10.** Diagramas de caja y bigotes de los gastos operativos de HIDROVEN y empresas descentralizadas durante el periodo 1994-2003.

Adaptado de HIDROVEN-CAF (2002) y Corrales (2004).

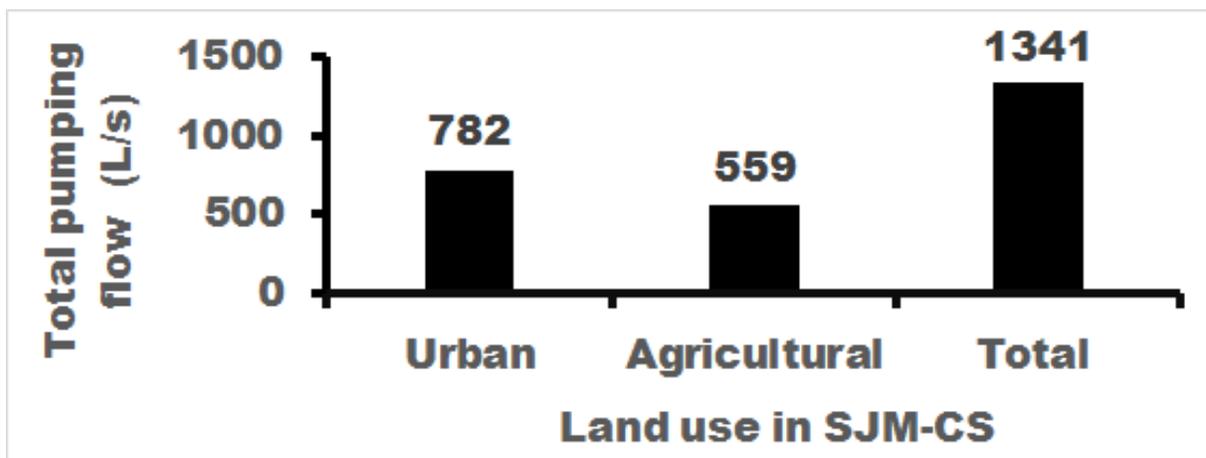


**Figura A11.** Distribución espacial de parámetros de calidad del agua en aguas subterráneas de pozos en el MSJ-EC durante el periodo 1971-2023. Adaptado de MINEC e IAGUASANJO (2020), Peraza-Barreto *et al.* (2022), UTAA e IAGUASANJO (2022).



**Figura A12.** Distribución espacial del caudal de bombeo de aguas subterráneas de pozos en MSJ-EC durante el periodo 1971-2023.

Adaptado de Peraza *et al.* (2021), Peraza-Barreto *et al.* (2022) e IAGUASANJO (2021).



**Figura A13.** Caudal total de bombeo de aguas subterráneas de pozos en MSJ-EC durante el periodo 1971-2022. Adaptado de Peraza *et al.* (2021), Peraza-Barreto *et al.* (2022) e IAGUASANJO (2021).

## Referencias

BCV, Banco Central de Venezuela. (2002). *Anuario de Cuentas Nacionales. Colección Estadística. Diversos años.* Caracas, Venezuela: Banco Central de Venezuela.

Centro del Agua para América Latina y el Caribe. (marzo, 2012). *Gestión comercial para los organismos operadores de agua, drenaje y saneamiento.* Recovered from <https://es.scribd.com/document/504794913/Curso-Tec-Monterrey>

CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2009). *Políticas sobre el uso sustentable del agua y la prestación eficiente de los servicios públicos vinculados.* Recovered from <https://es.scribd.com/document/504796336/CURSO-CEPAL>

CODIA & AECID, Conferencia de Directores y Autoridades Iberoamericanos del Agua & Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo. (julio, 2012). *Hidrogeología VI. Programa de Formación Iberoamericana en Materia de Aguas*. Recovered from <https://es.scribd.com/document/504795167/HIDROGEOLOGIA>

Corrales, M. E. (2000). *El reto del agua*. Caracas, Venezuela: Editorial Galac, S.A.

Corrales, M. E. (2004). *Venezuela: análisis del sector agua potable y saneamiento*. Recovered from <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/396>

Corrales, M. E. (2008). Infraestructura pública y servicios asociados. En: Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales, Universidad Católica Andrés Bello (eds.). *Acuerdo social. Venezuela: un acuerdo para alcanzar el desarrollo* (pp. 229-262. 572). Recovered from <https://www.ucab.edu.ve/wp-content/uploads/2017/09/INV-IIES-REV-084-Infraestructura-publica-y-servicios-asociados.pdf>

Dunning, D. J., Ross, Q. E., & Merkhofer, M. W. (2000). Multiattribute utility analysis for addressing. Section 316(b) of the clean water act. *Environmental Science & Policy*, 3, 7-14. DOI: 10.1016/S1462-9011(00)00022-8

EUREAU, European Federation of National Associations of Water Services. (2020). *The governance of water services in Europe*. Recovered from <https://www.eureau.org/resources/publications/eureau-publications/5219-the-governance-of-water-services-in-europe-2020-edition/file>

- Ferro, G. (2017). *América Latina y el Caribe hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible en agua y saneamiento: reformas recientes de las políticas sectoriales* (núm. S.17-00195). Recovered from <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/41136>
- Gómez, J. V. (1997). Localización industrial venezolana: municipios y paisajes industriales. *Espacio y Desarrollo*, (9), 311-322. DOI: 10.1075/btl.19.31ind
- Guevara, E. (1990). *Ingeniería de riego y drenaje*. Valencia, Venezuela: Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad de Carabobo.
- Guevara, E., & Cartaya, H. (2004). *Hidrología ambiental*. Valencia, Venezuela: Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.
- Guevara, E. (2019). *Modelo de manejo integrado de cuencas*. Lima, Perú: Autoridad Nacional del Agua. Recovered from <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4302>
- Hajkowicz, S., & Collins, K. (2007). A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. *Water Resources Management*, 21, 1553-1566. DOI: 10.1007/s11269-006-9112-5
- HIDROLAB-TORO & IAGUASANJO (2021). Análisis bacteriológicos y fisicoquímicos del agua de seis pozos del Municipio San Joaquín, Estado Carabobo. Valencia, Venezuela: HIDROLAB-TORO-IAGUASANJO. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/504793061/Informe-HIDROLABTORO-Tesis-KL>
- HIDROVEN-CAF. (2002). *Estadísticas de aguas y cloacas*. Caracas, Venezuela: HIDROVEN-CAF.

Huguet-Sierra, G. A., Márquez-Romance, A. M., Guevara-Pérez, E., Pérez-Pacheco, S. A., & Buroz-Castillo, E. (2023a). Calibration and validation of models to estimate the hydraulic parameters of a confined aquifer in a tropical region. *DYNA*, 90(225), 111-121. DOI: 10.15446/dyna.v90n225.106250

Huguet-Sierra, G. A., Márquez-Romance, A. M., Guevara-Pérez, E., Pérez-Pacheco, S. A., & Buroz-Castillo, E. (2023b). Sustainable use of water from a tropical aquifer. *Environmental Quality Management*, 33(1), 257-277. DOI: 10.1002/tqem.22053

INE, National Statistics Institute. (2001). *XIII general census of population and housing*. Recovered from [http://www.ine.gov.ve/index.php?option=com\\_content&view=category&id=95&Itemid=9#](http://www.ine.gov.ve/index.php?option=com_content&view=category&id=95&Itemid=9#)

INE, Instituto Nacional de Estadísticas. (2011). *Censo de población y vivienda 2011*. Recovered from <http://www.ine.gov.ve/CENSO2011>

IAGUASANJO, Instituto Autónomo Municipal del Agua de San Joaquín. (2021). *Aval de datos de catastro de pozos y variables de gestión*. Recovered from <https://es.scribd.com/document/504766970/Aval-datos-IAGUASANJO>

López, N., & González, A. (2003). *Diseño de un modelo de organización del sistema de agua potable y saneamiento del estado Carabobo, Venezuela* (tesis de maestría). Universidad de Carabobo. Naguanagua, Venezuela.

López, N., Márquez-Romance, A., & Guevara-Pérez, E. (2020). Change dynamics of land-use and land-cover for tropical wetland management. *Water Practice & Technology*, 15(3), 632-644. Recovered from <https://doi.org/10.2166/wpt.2020.049>

López-Calatayud, N. C., Márquez-Romance, A. M., & Guevara-Pérez, E. (2021). Spatio-temporal prediction of water balance in the Urama river basin, Venezuela. *DYNA*, 88(217), 58-67. DOI: 10.15446/dyna.v88n217.88222

López-Calatayud, N., Márquez-Romance, A. M., & Guevara-Pérez, E. (2022a). Wetland management modeling in the frame of Ramsar convention. *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 10(4), 296-310. DOI: 10.1080/23249676.2021.1982028

López-Calatayud, N. C., Márquez-Romance, A. M., Guevara-Pérez, E., & Buroz-Castillo, E. (2022b). An approach for management modeling of a tropical wetland. *Environmental Quality Management*, 31(3), 423-439. DOI: 10.1002/tqem.21798

López-Calatayud, N. C., Márquez-Romance, A. M., & Guevara-Pérez, E. (2022c). Design of a management model for a tropical wetland. *Environmental Quality Management*, 31(3), 219-231. DOI: 10.1002/tqem.21773

López-Calatayud, N., Márquez-Romance, A. M., & Guevara-Pérez, E. Pérez-Pacheco, S. A., & Buroz-Castillo, E. (2023). *Management modeling of a tropical wetland*. 1st IAHR International Conference on Global Water Security and 4th International Forum on Water Security and Sustainability. October 29-November 1, Changzhou, Jiangsu.

Lucena, H., & Álvarez, H. C. (2011). La industria venezolana, auge y ocaso a través de tres modelos productivos. *Ensayos de Economía*, 21(39), 73-90. Recovered from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9018666>

- Lugo, K. Z., Peraza, Y. G., Márquez, A. M., Guevara, E., Pérez, S. A., & Buroz, E. (octubre, 2023). Modelo de prestación de servicios de agua potable y saneamiento a escala municipal en Venezuela. En: Academia Nacional de Ingeniería y Hábitat de Venezuela. *Segundo Simposio Venezolano de Recursos Hídricos*. Academia Nacional de Ingeniería y Hábitat-CIDIAT-ULA. Recovered from [http://web.ula.ve/wp-content/uploads/sites/87/2022/09/Memorias\\_II-Simposio-Venezolano-Recursos-Hidricos-BFinalcorre.pdf](http://web.ula.ve/wp-content/uploads/sites/87/2022/09/Memorias_II-Simposio-Venezolano-Recursos-Hidricos-BFinalcorre.pdf)
- Márquez A., & Carrillo F., V. E. (2015). *Vulnerabilidad hidrogeológica del acuífero del municipio de San Diego, estado Carabobo* (tesis de maestría). Universidad de Carabobo, Naguanagua, Venezuela. Recovered from <http://www.riuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/123456789/2420/1/vcarrillo.pdf>
- Márquez, A., & Peraza, Y. G. (2018). *Análisis de la vulnerabilidad del acuífero del municipio Guacara del estado Carabobo* (tesis de maestría). Universidad de Carabobo, Naguanagua, Venezuela. Recovered from <http://www.riuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/123456789/7664/1/yperaza.pdf>
- Márquez, A. M., Guevara, E., & Rey, D. (2018). Spatio-temporal geostatistical modeling of hydrogeochemical parameters in the San Diego Aquifer, Venezuela. *Journal of Remote Sensing GIS & Technology*, 4(3). Recovered from <http://matjournals.in/index.php/JORSGT/article/view/2799>

- Márquez, A. M., Guevara, E., & Rey, D. (2019a). Hybrid model for forecasting of changes in LULC using satellite techniques. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(1), 252-273. DOI: 10.1109/JSTARS.2018.2885612
- Márquez, A. M., Guevara, E., & Rey, D. (2019b). Soil and groundwater remediation proposal in an aquifer of Venezuela by hydrocarbon transport geostatistical modeling. *Journal of Remote Sensing GIS & Technology*, 5(1). Recovered from <http://matjournals.in/index.php/JORSGT/article/view/2965>
- Márquez, A. M., Guevara, E., Pérez, S., & Rey, D. (2020). Avances de la Universidad de Carabobo en formación de recursos humanos y estudios sobre recursos hídricos. En: Academia Nacional de Ingeniería y Hábitat de Venezuela. *I Simposio Nacional de Recursos Hídricos*. Academia de Ingeniería y Hábitat de Venezuela-CIDIAT-ULA. Recovered from <https://www.youtube.com/watch?v=cR9I-YdWuSE>
- Márquez, A., Freytez, E., Maldonado, J., Guevara, E., Pérez, S., & Buroz, E. (2023). Soil and groundwater remediation proposal for hydrocarbons in a tropical aquifer. *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 11(4), 423-452. DOI: 10.1080/23249676.2022.2089246
- Márquez-Romance, A. M., Farías-de-Márquez, B. E., & Guevara-Pérez, E. (2022a). Land use and land cover change detection using satellite remote sensing techniques in a tropical basin. *Environmental Quality Management*, 31(4), 183-196. DOI: 10.1002/tqem.21802

Márquez-Romance, A., López-Calatayud, N., Farías-De-Márquez, B., & Guevara-Pérez, E. (2022b). Approach to a new forecasting method of hydrological variables in tropical basins. *Environmental Quality Management*, 31(4), 433-448. DOI: 10.1002/tqem.21829

Márquez-Romance, A. M., Freytez-Boggio, E., Cárdenas-Izaguirre, S. F., Maldonado-Maldonado, J. I., Guevara-Pérez, E., Pérez-Pacheco, S. A., & Buroz-Castillo, E. (2022c). An approach to remediation of a tropical aquifer contaminated with hydrocarbons. *Environmental Quality Management*, 31(4), 357-390. DOI: 10.1002/tqem.21820

Márquez-Romance, A., Freytez-Boggio, E., Maldonado-Maldonado, J., Cárdenas-Izaguirre, S., Pérez-Rodríguez, M., Luque-Mirabal, O., Guevara-Pérez, E., Pérez-Pacheco, S., & Buroz-Castillo, E. (2023). An approach for restoration of the water quality with emphasis on the removal of organochlorine pesticides and eutrophic conditions in tropical rivers. *Environmental Quality Management*, 33(1), 183-202. DOI: 10.1002/tqem.22038

MINEC & IAGUASANJO, Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo & Instituto Autónomo Municipal del Agua de San Joaquín. (2020). *Endorsement of supply of data on deep well coding, lithological profiles and physicochemical parameters in the period 1970-2020*. Recovered from <https://es.scribd.com/document/504766970/Aval-datos-IAGUASANJO>

Municipal Gazette No. 4664. (2020). *Ordinance for the creation of the San Joaquin Municipal Autonomous Water Institute*. Recovered from <https://es.scribd.com/document/504775065/Ordenanza-IAGUASANJO>

National Assembly of the Bolivarian Republic of Venezuela. (November 6, 2007a). *Law of Partial Reform of the Organic Law for the Provision of DWSS*. Recovered from [https://asambleanacionalvenezuela.org/leyes/sancionadas/ley\\_de\\_reforma\\_parcial\\_de\\_la\\_ley\\_org%C3%A1nica\\_para\\_la\\_prestaci%C3%B3n\\_de\\_los\\_servicios\\_de\\_agua\\_potable\\_y\\_de\\_saneamiento](https://asambleanacionalvenezuela.org/leyes/sancionadas/ley_de_reforma_parcial_de_la_ley_org%C3%A1nica_para_la_prestaci%C3%B3n_de_los_servicios_de_agua_potable_y_de_saneamiento)

National Assembly of the Bolivarian Republic of Venezuela. (2001). *Organic Law for the Provision of Drinking Water and Sanitation Services*. Recovered from <https://consensomontevideo.cepal.org/es/instrumento/ley-organica-de-prestacion-de-servicio-de-agua-potable-y-saneamiento-2001>

National Assembly of the Bolivarian Republic of Venezuela. (2007b). *Water Law. Official Gazette*, (38), 595. Caracas, Venezuela: National Assembly of the Bolivarian Republic of Venezuela.

OCEI, Oficina Central de Estadística e Informática. (1996). *La OCEI y su información*. Recovered from <http://isbn.cenal.gob.ve/catalogo.php?mode=detalle&nt=42785>

Regulations for the classification and quality control of the waters of the Lake Valencia Basin. (January 13, 1999). *Official Gazette*, (5), 305.

Peraza, Y. G., Lugo, K. Z., Márquez, A. M., Guevara, G. E., Pérez, S. A., & Buroz, E. (2021). Design and evaluation of a model for the provision of drinking water and sanitation services at municipal scale for Venezuela. *Journal of Remote Sensing GIS & Technology*, 7(2). Recovered from <http://matjournals.in/index.php/JORSGT/article/view/6987>

Peraza-Barreto, Y. G., Lugo-Piña, K. Z., Márquez-Romance, A. M., Guevara-Pérez, E., Pérez-Pacheco, S. A., & Buroz-Castillo, E. (2022). A novel approach to model for the management of drinking water and sanitation services at municipal scale. *Environmental Quality Management*, 32(2), 341-355. DOI: 10.1002/tqem.21851

Reyes, S. W., & Márquez, A. (2019). *Sustainable management of water resources in the northern zone of the Guacara municipality of Carabobo state* (tesis de maestría). Universidad de Carabobo, Naguanagua, Venezuela. Recovered from <http://www.riuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/123456789/8188/1/sreyses.pdf>

Sanitary Standards for Drinking Water Quality. (February 13, 1998). *Official Gazette*, (36), 395.

Tortajada, C. (2020). Contributions of recycled wastewater to clean water and sanitation Sustainable Development Goals. *NPJ Clean Water*, 3(1), 22. DOI: 10.1038/s41545-020-0069-3

UN, United Nations. (2023). *Agenda 2030*. Recovered from <https://sdgs.un.org/2030agenda>

UTAA & IAGUASANJO, Unidad Territorial de Atención de las Aguas & Instituto Autónomo Municipal del Agua de San Joaquín. (2022). *Water quality evaluation. Laboratory of Ministry of Waters (Report of results)*. Maracay, Venezuela: Unidad Territorial de Atención de las Aguas & Instituto Autónomo Municipal del Agua de San Joaquín.