

*Universidad de Matanzas
Sede "Camilo Cienfuegos"
Facultad de Ciencias Técnicas*



**ADECUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA PRELIMINAR
PARA DIAGNÓSTICO Y DESARROLLO DE LOS
SISTEMAS DE ABASTO DE AGUA SIMPLES EN
PUEBLOS DE 3ER ORDEN: APLICACIÓN EN SISTEMA
DE ABASTO SAN MIGUEL DE LOS BAÑOS**

Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil

Autor: Lorenys de la C. Morales Rodríguez

Tutor: MSc.Prof. Aux.Ing. Fulgencio José Braga Pérez

Matanzas, 2019

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Por medio de la presente declaro que soy el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas a darle el uso que estime más conveniente.

Y para que así conste firmo la presente a los _____ días del mes de _____ del año _____.

Firma del Autor

Lorenys de la C. Morales Rodríguez

Firma del Tutor

MSc.Ing. Fulgencio José Braga Pérez

PENSAMIENTO

"Los científicos estudian al Mundo tal y como es, los ingenieros crean el mundo que nunca ha sido."

THEODORE VAN KARMAN

NOTA DE ACEPTACIÓN

Miembros del Tribunal:

Presidente

Secretario

Vocal

DEDICATORIA

A mis padres:

Por estar siempre a mi lado en las buenas como en las malas, por apoyarme incondicionalmente y darme las fuerzas para seguir adelante en cada momento con pasos firmes, porque gracias a ellos hoy soy lo que soy.

A mi Tutor:

Por brindarme parte de su tiempo, dedicación, creer en mí, darme consejos para la realización del Trabajo de Diploma y para mi carrera como Ingeniera Civil. Sin el este trabajo no se hubiera hecho. Gracias.

A mis Tíos y Primos:

Por ser esa familia hermosa que siempre estuvo ahí en todo momento, por dar un paso al frente cuando se tratase de ayudarme y apoyarme.

A mis amigos:

Por estar desde el principio de la carrera codo a codo ayudándonos tanto en las buenas como en las malas que era cuando más los necesitaba. A los que cursaron junto conmigo en la formación pre-universitaria que me dieron la fuerza para seguir adelante en esta hermosa carrera. En fin, a todos por haber creado un lazo de amistad tan fuerte que con el paso del tiempo no se romperá.

A mis profesores:

Por aportarme sus grandes conocimientos y por haber dado todo lo mejor de sí en las asignaturas para que llegará hasta aquí con la mejor preparación posible.

A todas aquellas personas que pusieron su grano de arena durante toda la carrera: familiares, amistades y compañeros de aula.

AGRADECIMIENTO

- ✓ A Dios por brindarme la salud y la fuerza para seguir adelante ante cualquier adversidad.
- ✓ Al MSc.Ing. Fulgencio José Braga Pérez que gracias a su esfuerzo y dedicación fue posible la culminación de este trabajo. Y estar ahí en todo momento tanto como profesor que como amigo.
- ✓ Al Ing. Joaquín Quintana, trabajador de Acueducto y Alcantarilla en Matanzas, por ayudarme en la búsqueda de información del pueblo de San Miguel de los Baños.
- ✓ A los compañeros del IPF y en particular a Malvis por su especial colaboración, por dedicarme todo su tiempo y facilitarme algunos mapas e informaciones necesarios.
- ✓ A los compañeros encargados de la hidrología de San Miguel de los Baños que me ayudaron incondicionalmente en la búsqueda de información.
- ✓ A mi madre y a mi padre, que lucharon fuertemente para darme todo lo necesario para que hiciera mi sueño realidad, por estar siempre a mi lado y saber que nunca estaré sola porque ellos siempre estarán conmigo.
- ✓ Al colectivo de profesores que me impartieron clases durante estos 5 años, quienes siempre me brindaron conocimientos que me ayudaran en mi carrera profesional.
- ✓ A todos mis compañeros del aula, por compartir conmigo experiencias únicas en todos estos 5 años de la carrera que nunca se olvidarán.
- ✓ A todas aquellas personas que de una forma u otra ayudaron a ser posible este sueño.

OPINIÓN DEL TUTOR

En los trabajos anteriores, desde Datniel Herrera en 2016 hasta Wendy Martínez Carballo y Anet Álvarez Illa en el año 2018, relacionados con esta temática, la fuerza de sus nobles corazones fue nuestro principal factor a tener en cuenta para alcanzar los resultados esperados. Ellos se crecieron al hacer este trabajo, en extremo ambicioso, para el nivel de pregrado de un estudiante de Ingeniería Civil. En esta ocasión Lorenys de la C Morales Rodríguez continúa con audacia el camino iniciado por Anet, junto a Wendy, adecuando la tecnología de Datniel en un Pueblo de 3er Orden, San Miguel de los Baños, categorizado así por su rango de población y nivel de servicios primarios, poniendo la varilla más alta en este tema, no sólo cuando utiliza el descriptor "Índice de Potencialidad (IP)", homogeniza los resultados con la aplicación del Método de Ordenamiento Integral o Taxonómico como técnica multicriterial, viabiliza, el camino a la aplicación de la teoría de los enjambres (inteligencia de los enjambres) y la creación de las "Collaborative Innovation Network (COIN)" en las redes hidrotécnicas sino porque facilita la dispersión de los problemas del SAAS territorialmente, en un asentamiento cuyo valor agregado, son las potencialidades medicinales de las aguas subterráneas de que dispone, cuya efectividad fueron reconocidas internacionalmente desde la década de los años 20 del siglo pasado, y hoy sufre el abandono y la desatención de sus instalaciones patrimoniales, ya casi inexistentes.

Lorenys aborda la temática, utilizando positivamente indicadores turísticos del Planeamiento Físico Internacional, para resarcir valores patrimoniales de su pueblo y posicionarlo nuevamente, como parte de una profunda búsqueda bibliográfica, sobre conocimientos adquiridos, y otros fuera de la Malla Curricular como la Matemática Financiera, Teoría de Sistemas, Planificación Física, Presupuesto, explota softwares especializados como ROKO, EPANET, AUTOCAD, CIVIL 3D, y utilitarios de Microsoft Office, que junto a los resultados obtenidos muestran el cumplimiento de los objetivos propuestos, expresados además con buena ortografía, redacción y presentación en el documento entregado.

La humildad, sencillez, ternura al reflexionar sobre un señalamiento y rectificarlo o comentarlo con respeto, su solidaridad, cooperación para la creación de equipos, su puntualidad a pesar de las grandes dificultades cotidianas, hacen que yo incorpore a Lorenys junto a los alumnos Abdel, Marlon, Datniel, Wendy, Anet a ese patrimonio que guarda mi corazón de alumnos inteligentes, sencillos, fieles y humildes que no se olvidan jamás, ...gracias Lorenys

MSc. Ing. Fulgencio José Braga Pérez

Profesor Auxiliar. Dpto. Construcciones.

RESUMEN

Internacionalmente la temática sobre diagnóstico y desarrollo de los Sistemas de Abasto de Agua es abundante. No obstante, puede considerarse poco desusada la presentación del problema de forma integral, incluso en la fase de oportunidades del proceso inversionista en Cuba, a pesar de variados intentos en instituciones académicas y el propio Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH). Los estudios parciales del sistema, carentes de criterios profundos sobre planeamiento regional, ponen en riesgo los Derechos de Agua dulce y capacidades de los mismos en Pueblos de 3er orden y aglomeraciones superiores. En el trabajo que se presenta, primeramente, se utiliza el descriptor "Índice de Potencialidad (IP) " a manera de indicador técnico ambiental junto con los "Esquemas Gráficos Sintetizados " en la dispersión territorial y demostración del estado técnico en Sistemas de Abastecimiento de Agua Simples. La propuesta considera la aplicación de la "Tecnología Integrada para Diagnóstico Global y Desarrollo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua Urbano" (TI-DGD) , propuesta por Braga (2015,2017) para Sistemas de Abastecimiento de Agua Urbano (SAAU), probada por Wendy Martínez Carballo y Anet Álvarez Illa en asentamientos con categoría de Pueblo y Poblado de 1er orden respectivamente, mejorando procedimientos actuales, al homogenizar los resultados con el Método de Ordenamiento Integral o taxonómico como técnica multicriterial, que demuestra la importancia de la evaluación, y la categorización de forma global de los SAAS en asentamientos menores, en relación con la decisión de inversiones y la protección de los ecosistemas frágiles.

Palabras claves: abasto de agua, potencialidad, categorización, gestión y desarrollo.

ABSTRACT

Internationally, the topic of diagnosis and development Water Supply Systems is abundant. However, the presentation of the problem in an integral manner can be considered as unforeseen, even in the opportunity phase of the investment process in Cuba, despite various attempts in academic institutions and the National Institute of Hydraulic Resources (INRH) itself. The partial studies of the system, lacking of deep criteria on regional planning, put in risk the Rights of Fresh water and capacities of the same in Peoples of 3rd order and superior agglomerations. In the work presented, first the descriptor "Potentiality Index (IP)" is used as an environmental technical indicator together with the "Synthesized Graphical Schemes" in the territorial dispersion and demonstration of the technical state in Simple Water Supply Systems. The proposal considers the application of the "Integrated Technology for Global Diagnosis and Development of Urban Water Supply Systems" (TI-DGD), proposed by Braga (2015,2017) for Urban Water Supply Systems (SAAU), tested by Wendy Martinez Carballo and Anet Álvarez Illa in settlements with the category of Town and Village of 1st order respectively, improving current procedures, by homogenizing the results with the Integral or Taxonomic Ordering Method as a multicriterial technique, which demonstrates the importance of evaluation, and the overall categorization of SAAS in minor settlements, in relation to investment decisions and the protection of fragile ecosystems.

Keywords: water supply, potentiality, categorization, management and development.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
Capítulo 1: “Estudio del Arte y de la Práctica de los Sistemas de Abastecimiento de Agua Simples”	7
1.1 Importancia y desarrollo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua.....	7
1.1.1 Evolución del Abastecimiento de Agua a nivel Mundial	8
1.1.2 Evolución del Abastecimiento de Agua en Cuba	9
1.1.3 Sistema de Abasto de Agua en el Pueblo de San Miguel de los Baños.....	11
1.1.4 Tipos de Sistemas de Abastecimiento de Agua	12
1.1.5 Componentes de los Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable.....	13
1.2 Conceptualización de los Sistemas de Abastecimientos de Aguas Simples (SAAS).....	14
1.3 La Gestión en los Sistemas de Abastecimientos de Agua.....	18
1.3.1 Deterioro de los Sistemas de Abastecimientos de Agua Potable.....	19
1.3.2 Diagnóstico y desarrollo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua	20
1.3.3 El diagnóstico y desarrollo de Sistemas de Abastecimiento de Agua en Cuba	22
1.4 Conclusiones parciales	25
CAPÍTULO 2: “Adecuación de la tecnología para diagnóstico global y manejo integrado de los SAAU en Pueblos de Tercer Orden.”	25
2.1 Generalidades.....	25
2.2 Tecnología para el Diagnóstico de los SAAS.....	25
2.3 Apogemas para la realización del análisis de la prestación del servicio en un SAAS de pueblo de 3er orden	28
2.4 Descripción de los procedimientos	30
2.4.1 Fase I: Pre –factibilidad. Diagnóstico de la infraestructura operacional	30
2.4.1.1 Ubicación del sistema en el contexto Regional	31
2.4.1.2 Consumidores, demanda de agua y derechos	31
2.4.1.3 Definición del modelo del SAAS para el análisis.....	33
2.4.1.4 Cálculo de la potencialidad del Sistema o Etapa de Producción	33
2.4.1.5 Cálculo de la Potencialidad del Sistema o Etapa de Distribución	36
2.4.2 Fase II: Programa de Desarrollo. Homogenización de los resultados	41
2.4.2.1 Aplicación del Método de los Índices Variables o Taxonómico	41
2.4.2.2 Categorización del SAAS	45
2.4.2.3 Definición de inversiones	45
2.4.3 Fase III: Soluciones. Propuestas de mejoramiento y Desarrollo	45
2.4.3.1 Evaluación económica de las propuestas	46
2.4.3.2 Cronograma de ejecución de propuestas.....	47
2.4.3.3 Elaboración de los Modelos Gráficos Sintetizados Resumen.....	47
2.5 Conclusiones parciales.....	48
Capítulo 3: “Aplicación de la Tecnología de Diagnóstico al Sistema de Abastecimiento de Agua en el Asentamiento de San Miguel de los Baños, Matanzas, Cuba”	49
3.1 Generalidades.....	49
3.2 Análisis de la prestación del servicio.....	49
3.2 .1 Fase I: Pre –factibilidad. Diagnóstico de la infraestructura operacional	49

3.2.1.1 Ubicación del sistema en el contexto regional.....	50
3.2.1.2 Consumidores, demanda de agua y derechos	52
3.2.1.3 Definición del modelo del SAAS para el análisis.....	58
3.2.1.4 Cálculo de la potencialidad del Sistema o Etapa de Producción	58
3.2.1.5 Cálculo de la Potencialidad del Sistema o Etapa de Distribución	61
3.2.2. Fase II: Programa de Desarrollo. Homogenización de los resultados	64
3.2.2.1 Aplicación del Método de Ordenamiento Integral o Taxonómico	64
3.2.2.2 Categorización del Sistema de Producción.....	64
3.2.2.3 Categorización del Sistema de Distribución	65
3.2.2.4 Categorización del SAAS	66
3.2.2.5 Definición de inversiones	67
3.2.3 Fase III. Soluciones propuestas de Mejoramiento y Desarrollo	68
3.2.3.1 Beneficios en el sistema del Pueblo de San Miguel de los Baños propuesto.....	69
3.2.3.2 Evaluación económica de las soluciones propuestas	70
3.2.3.2.1 Costo aproximado de la producción de agua	70
3.2.3.3 Cronograma de Ejecución.....	71
3.2.3.4 Elaboración de los Gráficos Sintetizados Resumen.....	71
3.3 Análisis de los resultados obtenidos	72
3.4 Conclusiones Parciales.....	72
Conclusiones	74
Recomendaciones	75
Referencias Bibliográficas	76
Anexos	81

INTRODUCCIÓN

El agua es el elemento más importante para la vida, de una importancia vital para el ser humano, así como para el resto de animales y seres vivos que nos acompañan en el planeta Tierra. Resulta curioso que el 70 por ciento de la Tierra sea agua y que el 70 por ciento de nuestro cuerpo también lo sea. Podría ser esto lo recomendable para tener una dieta saludable y una larga vida, comiendo alimentos con un porcentaje del 70 por ciento en agua. No obstante, el ser humano tiende a abusar de este rico elemento en perjuicio de su propia especie y de su propia existencia, así como la del resto de los habitantes de la Tierra. Se dice que el ser humano puede llegar a necesitar hasta 500 litros de agua potable al día, lo que supone un derroche extremadamente excesivo. De ahí la importancia al agua para el desarrollo de la vida en el planeta (Technology, 2018).

Los recursos hídricos disponibles en Cuba son limitados y están heterogéneamente distribuidos. La media nacional de 1 220 m³ de agua por persona al año sitúa al país en un nivel de estrés hídrico moderado. Diversos son los problemas relacionados con la gestión sostenible del agua en Cuba: el bajo índice de reposición anual de los recursos hídricos con el 13,7 %, la baja eficiencia en el uso del agua, las pérdidas en las redes de distribución por el envejecimiento de la infraestructura instalada y despilfarro entre otros. En consecuencia, el agua constituye para Cuba el principal desafío ambiental para garantizar su sostenibilidad en el desarrollo, así como su seguridad ambiental y alimentaria (Duque, 2018). El cambio climático agudiza este reto. El potencial hídrico de Cuba asciende a 38,1 km³, de los cuales 31,6 km³ (83 %) corresponden a las aguas superficiales y 6,5 km³ (17 %) a las aguas subterráneas. Según refiere Duque, de este potencial solo son aprovechables 24 km³ y disponibles 13,6 km³, con una mayor preponderancia en las aguas superficiales (67 %). El desarrollo de la Voluntad Hidráulica en Cuba ha posibilitado utilizar el 57 % de los recursos hídricos aprovechables, mediante la creación de la infraestructura técnica pertinente que incrementa en 200 veces la capacidad de embalse del país. Con esto se ha logrado que el 92,4 % de toda la población tuviese acceso al agua potable y el 95,8 % al saneamiento (Duque, 2018).

A lo largo de la década 2001-2010 se han identificado en Cuba más de dos mil fuentes contaminantes principales de diversos tipos y categorías, que incluyen tanto los residuales de origen doméstico como los industriales y agropecuarios. Estos residuales han provocado, por diferentes causas, determinada contaminación de las aguas interiores y marinas, los suelos y la atmósfera. Un aspecto notable en ello ha sido la concentración de instalaciones industriales en zonas urbanas, favoreciendo el empleo de las corrientes superficiales como receptoras de residuales crudos o parcialmente tratados, los que por lo general terminan en las cuencas hidrográficas y las zonas costeras (Duque, 2018). Este fenómeno, visto aisladamente, no considera el impacto producido por el mal manejo de los sistemas de abastecimiento de agua en pequeñas aglomeraciones, sobre todo en el uso del agua para otros fines privados y la mala operación de los sistemas, lo que junto al mal estado de las redes, y el servicio intermitente incrementan los riesgos a los que está sometida el agua ambiental de muchos ecosistemas importantes del país.

Estas actividades peligrosas en los entornos regionales donde se encuentran enclavados los Sistemas de Abastecimiento de Agua Urbanos (SAAU) son desentendidas en la práctica del planeamiento, la explotación y evaluación de inversiones, toda vez que el manejo del agua en las empresas sanitarias sigue siendo puntual, enfocado a las fugas y la sustitución de redes de tuberías. De esta manera, la importancia de los SAAU va cada vez en aumento, en atención a los múltiples propósitos que satisfacen en la sociedad, y el riesgo creciente para el mantenimiento de la calidad del agua, condiciones higiénico sanitarias del entorno y protección de los ecosistemas de agua dulce, que vulneran la garantía de la demanda de los consumidores y fiabilidad del SAAU (Carballo, 2018).

Las transformaciones en los primeros años del triunfo revolucionario, sin privilegios entre las ciudades y el campo, priorizaron la construcción de nuevos sistemas de abastecimiento en aquellas zonas más deprimidas y en el campo, donde se desarrollan poblados y pueblos de categorías inferiores. En consecuencia, en las ciudades provistas de sistemas de abasto, incluyendo poblados de 3er Orden como San Miguel de los Baños, con potencialidades turísticas, las inversiones y el mantenimiento fueron relegados, prevaleciendo el suministro por sobre cualquier otra actividad propia dentro del ciclo de vida de estos sistemas. De esta manera, los sistemas fueron convirtiéndose en momias de la Ingeniería Urbanística, donde

las averías, los malos hábitos de consumo, las pérdidas de agua y energía incrementan la baja potencialidad de sus componentes y la generación de importantes gastos para la economía nacional (Braga Pérez, 2017)

La realidad vivida en los Sistemas de Abastecimiento de Agua Simples (SAAS) en Pueblos de 3er Orden en Cuba, es el abastecimiento mediante sistemas precarios, pues las afectaciones se han incrementado como consecuencia de las roturas de tuberías por envejecimiento, daños de la infraestructura, despilfarros, bajo control en la operación, poca automatización, irrisorias tarifas desestimación, y la mala operación. No obstante, una recuperación vertiginosa de la cultura en la gestión de estos sistemas va resurgiendo. (Martínez Rodríguez, 2000)

Asociado al control de la operación se han realizado varios intentos en la optimización de los procedimientos para la definición de inversiones, pero siempre en función de conceptos incrementalistas, que no vinculan impactos de las extracciones en el medio, ni el efecto de todos los componentes de SAAS.

Entre los intentos de los últimos cinco años, el ingeniero Datniel Herrera López (Herrera López, 2016), en su trabajo de diploma estudia y analiza la problemática de los Sistemas de Abastecimiento de Agua Simples (SAAS), en relación con el enfoque actual de la gestión técnica y encausamiento de las inversiones. Esta investigación, introdujo una tecnología válida para la evaluación técnica, en correspondencia con los sistemas en el contexto regional, sugiriendo, la inclusión de los descriptores: "Grados de Potencialidad, Satisfacción y Explotación" y los "Esquemas Gráficos Sintetizados" para la evaluación del estado técnico de cada componente y su representación gráfica respectivamente (Braga Pérez, 2015). Sin embargo, aunque Datniel, en su trabajo, mejora las formas de evaluación de los SAAS, no completa un procedimiento para la categorización global del sistema, ni la definición de las inversiones, logrado con la aplicación de la (TI- DGD) en Pueblos y Poblados de 1ER Orden (Carballo, 2018; Álvarez Illa, 2018), por lo que se requiere la validación de ese último procedimiento en Pueblos de 3ER Orden.

Situación problemática: En la práctica de la explotación de los SAAS en asentamientos con categoría de Pueblo 3ER Orden, no se ha logrado la introducción de procedimientos integrales que relacionen su potencialidad con las inversiones requeridas, en correspondencia con el contexto regional y la sustentabilidad de los ecosistemas de agua dulce.

Problema científico: La no aplicación de una tecnología para el diagnóstico global y desarrollo de los SAAS en asentamientos con categoría de Pueblo 3ER Orden problematiza la definición de su potencialidad, de las inversiones y la sustentabilidad de los ecosistemas de agua dulce.

Campo de acción: Tecnología integrada para diagnóstico global y desarrollo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua Urbano (TI-DGD) en asentamientos con categoría de Pueblo 3ER Orden, con basamento en el planeamiento territorial.

Sobre la base de los elementos mencionados se plantea como **Hipótesis** lo siguiente:

Si se aplica la TI-DGD de los SAAU en asentamientos con categoría de Pueblo 3ER Orden, se conocería su potencialidad totalmente, contribuyéndose a la selección de inversiones más apropiadas y sustentabilidad de los ecosistemas de agua dulce.

Objetivo general: Adecuar la tecnología preliminar para el diagnóstico y desarrollo de los SAAS en asentamientos con categoría de Pueblo 3ER Orden que defina su potencialidad y un programa de inversiones garante de la sustentabilidad de los ecosistemas de agua dulce. Definido este objetivo general se obtienen los siguientes **objetivos específicos:**

1. Elaborar un marco teórico referencial sobre el diagnóstico y desarrollo de los sistemas de abastecimiento de agua en asentamientos con categoría de Pueblo 3ER Orden que demuestre sus potencialidades como procesos productivos, internacionalmente y en Cuba.
2. Adecuar la tecnología preliminar para diagnóstico y desarrollo de los SAAS para su manejo integrado en asentamientos con categoría de Pueblo 3ER Orden.
3. Aplicar la tecnología adecuada (TI-DGD) en el sistema de abastecimiento de agua del poblado de San Miguel de los Baños categorizado como pueblo 3, Matanzas, Cuba.

Variables de la investigación:

Variable independiente:

- Aplicación de la tecnología

Variables dependientes:

- La potencialidad del sistema de abastecimiento
- La idoneidad de las inversiones
- La sustentabilidad de los ecosistemas de agua dulce

Los métodos de investigación utilizados en el desarrollo del trabajo serán determinados por el objetivo general y las tareas de investigación realizadas.

- **Métodos teóricos:**

El análisis y la síntesis utilizada para el procesamiento de las fuentes de información a fin de determinar las características principales del sistema de abastecimiento.

El histórico-lógico, en el análisis del comportamiento de la demanda, las capacidades de la infraestructura, cuando analizamos en el momento de la definición de la inversión, el estado operacional de la infraestructura y sus potencialidades para responder la demanda en el tiempo.

El método hipotético – deductivo en la preparación de la hipótesis de la investigación.

- **Métodos empíricos:**

Se utiliza el método de observación científica en la revisión de la cartografía con los límites del territorio operacional del sistema analizado, la base económica regional, localización de las fuentes de abastecimiento, calidad de las aguas, morfología de la ciudad, las condiciones medioambientales. El método de la medición en la comparación de los descriptores introducidos. La aplicación de técnicas cuantitativas de la Estadística

Descriptiva y el uso del software ROKO, EPANET en la revisión de las redes de distribución y base informativa PRECONS II en la evaluación económica.

Estructura de la investigación:

La investigación se ha estructurado en: resumen, introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas del autor, bibliografía consultada y anexos.

Capítulo 1: “Estudio del Arte y de la Práctica de los Sistemas de Abastecimiento de Agua Simples”. Desarrolla todo el marco teórico asociado con la investigación y criterios aportados por el autor.

Capítulo 2: “Adecuación de la tecnología preliminar para diagnóstico y desarrollo de los SAAS para su manejo integrado en asentamientos con categoría de Pueblo de 3ER Orden”. Explica la investigación metodológica desarrollada que define la capacidad para mantener el balance oferta – demanda de los sistemas de abastecimiento de agua en explotación, la definición de inversiones garantes de la sustentabilidad de los ecosistemas de aprovisionamiento de agua dulce, durante su explotación.

Capítulo 3: “Aplicación de la Tecnología (TI-DGD) para SAAS en el Pueblo de 3ER Orden San Miguel de los Baños, Matanzas, Cuba”. Muestra la caracterización del sistema de abastecimiento existente y sus potencialidades para responder la demanda por etapas, categorizando el SAAS en su conjunto, definiendo las acciones y evaluando las inversiones.

Capítulo 1: “Estudio del Arte y de la Práctica de los Sistemas de Abastecimiento de Agua Simples”.

En este capítulo se describe el estado del arte del diseño y revisión de los sistemas de abastecimientos de agua a nivel mundial y en Cuba. Así como un conjunto de conceptos fundamentales para el entendimiento de los objetivos trazados en esta investigación, además de características fundamentales de los sistemas de abastecimiento de agua que van desde los tipos y componentes de estos y una mayor profundización en la gestión de los SAAS que abarca sus deterioros y el diagnóstico y desarrollo a nivel mundial y en Cuba.



Fig.1.1 Hilo conductor del Estudio del arte y la práctica. Fuente: Elaboración propia.

1.1 Importancia y desarrollo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua

La importancia de los Sistemas de Abastecimiento de Agua Urbanos (SAAU) va cada vez en aumento debido a sus diversos usos en la población, por ejemplo: la limpieza doméstica y la cocción de los alimentos. Además, se usa para fines comerciales, públicos e industriales; también en la irrigación, la generación de energía eléctrica, la navegación y en recreación (Ruiz Cortines, 2010). En fin, sus usos pueden ser diversos, ya sea en una

industria, en el mercado, en el trabajo y en cada uno de los hogares, es por ello que la falta total o parcial de este líquido, dificulta en distintos grados la realización de los deberes, según el uso que este tenga (Barahona Ulloa, y otros, 2013). Las dos funciones principales de los SAAU son la garantía de la demanda de los consumidores y la demanda contra incendio, y la tercera condición es ser fiable, durante las 24 horas del día y durante los 365 días del año (Hickey, 2008).

1.1.1 Evolución del Abastecimiento de Agua a nivel Mundial

La humanidad se ha preocupado desde hace más de 4000 años por encontrar agua de buena calidad y abundante para sus viviendas y tenerlas a su disposición. Varias ciudades importantes antes de nuestra era, al serle insuficiente los pozos, recurrieron a utilizar lagunas (que estaban alimentadas por manantiales, aún existentes) y de dichas lagunas se derivaban conductos hasta la ciudad, los cuales desembocaban en depósitos públicos, desde donde se llevaba el agua a las casas mediante cántaras. (Rojas, 1982)

Igualmente, la ciudad de Roma estuvo dotada de magnífico abastecimiento de agua, recurriendo en primer término a manantiales y cuando estos fueron insuficientes, a las aguas superficiales. Los canales eran de mampostería, subterráneos en su mayor parte y con pendiente natural y conducían el agua a unos grandes estanques para que se depositara el fango. La depuración ya despuntaba en la mente de los romanos. (Rojas, 1982)

Hasta los primeros siglos de la Edad Moderna, la elevación de agua era desconocida y aparecieron inventos como: el tornillo de Arquímedes y las bombas aspirantes e impelentes; como se hacía al principio de madera con poco metal, es lógico que las alturas de elevación no podían ser muy y grandes y se salvaba este inconveniente haciendo depósitos intermedios y elevaciones sucesivas. (Rojas, 1982)

En 1672 en Francia aparecen los primeros tubos de hierro fundido y aunque para las tuberías de aspiración e impulsión se seguía prefiriendo el plomo, el latón y el cobre, éstos tardan en ser aplicados a la red de distribución; el camino estaba abierto y el perfeccionamiento de las instalaciones de abastecimiento se había hecho viable. En 1765 James Watt, logró condensar el vapor fuera del cilindro, lo que permitió un enorme ahorro

de combustible y facilitó la aplicación de las máquinas de vapor en los acueductos para operar las bombas que daban impulso al agua. (Rojas, 1982)

1.1.2 Evolución del Abastecimiento de Agua en Cuba.

Al triunfo revolucionario la infraestructura hidráulica era casi inexistente ya que tan solo se contaba con 13 embalses pequeños, con apenas unos 48 MMm³ embalsados, distribuidos en las antiguas provincias de Las Villas, Camagüey y Oriente, de ellas 8 con capacidad de 3 hm³ para una capacidad de 41.7 hm³ (Voluntad Hidráulica , 2002).

De los 300 asentamientos con, más de 1000 habitantes solo 114 disponían de acueductos y 12 de alcantarillado; existían 16 instalaciones de cloración y 4 plantas potabilizadoras situadas en Camagüey, Santa Clara, Palma Soriano y Cienfuegos (Voluntad Hidráulica , 2002).

El alcantarillado de La Habana, con medio siglo de existencia, además de no cubrir las necesidades, estaba urgido de una labor de reconstrucción; la única planta de depuración de aguas residuales ubicada en Santa Clara, se encontraba abandonada, y los alcantarillados de Pinar del Río, Holguín y Guantánamo se mantenían en proceso de construcción. La cobertura de agua potable era de 64% y la de saneamiento de apenas 28% del total de la población (Voluntad Hidráulica , 2002).

Esta situación unida a las exigencias del Programa de Desarrollo Económico y Social que trazó el naciente gobierno revolucionario, determinó la priorización de un ambicioso plan de construcciones hidráulicas que se denominó “Voluntad Hidráulica”. La labor del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, creado en 1962, desempeñó entonces un papel de primer orden en este programa, pues las construcciones hidráulicas iban encaminadas a garantizar la disponibilidad de agua requerida, a pesar de las irregularidades del régimen de precipitaciones; así como a propiciar la protección de la vida y de los recursos materiales, ante el arribo de eventos meteorológicos como los huracanes, tan comunes en las zonas tropicales (Voluntad Hidráulica , 2002).

En octubre de 1963 luego del paso del huracán Flora se tomó la decisión de represar todos los ríos, a ello se destinaron cuantiosos recursos, con el objetivo de preservar el agua con

destino al uso humano, así como para el desarrollo de la agricultura, la industria y la ganadería (Voluntad Hidráulica , 2002).

En la actualidad, y como resultado de la labor desplegada durante el periodo, la infraestructura hidráulica está compuesta por 969 embalses con una capacidad total de 9291.6 hm³ (unas 200 veces más que en 1959), lo que contribuye a satisfacer las demandas actuales (humanas, agrícolas e industriales) en función del desarrollo sostenible. El 94.4% el total nacional se almacena en 239 embalses de más de 3 hm³ y el restante 5.6% en 730 pequeños embalses. Veinte embalses con capacidad superior a los 100 hm³ almacenan el 48% de la capacidad total, siendo la presa Zaza, con un volumen total de 1020 MMm³, la mayor del país (INRH, 2010).

Para la conducción y entrega del agua desde las fuentes hasta los sistemas se entrega a los usuarios, se operan 61 derivadoras; 759.63 km de canales magistrales; 8 grandes estaciones de bombeo; así como 1300.38 km de diques y 1009.14 km de canales, para la protección contra inundaciones (INRH, 2010).

Toda esta infraestructura hidráulica ha permitido que de un potencial hidráulico total del país de 38138hm³ anuales, de los cuales el 83% corresponden a aguas superficiales y el 17% a subterráneas, se hayan evaluado como aprovechables 23888 hm³ (75% superficiales y 25% subterráneas). De los recursos hidráulicos disponibles el 56% se encuentra reguladas (INRH, 2010).

Cuba presenta indicadores de abastecimiento de agua potable y saneamiento ambiental favorables respecto a los que exhiben un grupo numerosos de otros países. En la actualidad la cobertura nacional en agua potable y saneamiento alcanza la cifra de 96.4% y 96.1% respectivamente (INRH, 2010).

En nuestro país en los primeros años del triunfo revolucionario, debido a la voluntad política de hacer llegar el agua a todos los miembros de la sociedad, sin establecer privilegios entre las ciudades y el campo, se priorizó la construcción de nuevos sistemas de abastecimiento en aquellas zonas más deprimidas, como es el caso del asentamiento, San Miguel de los Baños con categoría de Pueblo 3 (MarcadorDePosición2).

1.1.3 Sistema de Abasto de Agua en el Pueblo San Miguel de los Baños

El sistema de abastecimiento de agua actual al pueblo de 3EER Orden San Miguel de los Baños, está conformado por dos fuentes de abasto, y una muy antigua red de distribución, con servicio interrumpido, en horario de (6: 00 – 8:00 am). La operación del sistema en sus inicios fue concebida con la entrega desde el pozo Hatillo, construido en la década de 30 del siglo XX y ubicado al Sureste del asentamiento en las coordenadas 334.25N - 466.00 E, por una conductora de diámetro 6” (150 mm) de hofo, y longitud aproximada de 2,6 Km hasta un tanque elevado de hormigón cercano a la iglesia,

Actualmente, se realiza un tiro directo hasta el punto de entrega en la Avenida 16 y la Calle Francisco Mirabal siguiendo el siguiente recorrido: del pozo por un terraplén hasta llegar a la Avenida 8 Héctor Pages, sube hasta llegar a la calle Francisco Mirabal y dobla izquierda hasta llegar al ‘punto de entrega a la red, por insuficiencias técnicas del tanque en desuso.

A partir de los años 80 del siglo pasado, por incremento de la demanda se construye una nueva fuente (Pozo Nuevo) en las coordenadas 337.70 N y 466.10 E, conduciéndose las aguas hasta el punto de entrega a la red, a la salida del tanque. La nueva fuente, consistente en un pozo profundo se 147.43 m de profundidad (el más profundo de la provincia de Matanzas), longitud de columna de 100.58 m, diámetro de 500mm, cota de terreno 122.08 m, nivel estático (NE) de 89.59, garantiza un gasto recomendado (Q) de 40lps, con nivel dinámico (ND) de 97.72 m, abatimiento de 8.13m y tiempo de explotación de 16 horas.

Las aguas provenientes del pozo son entregadas a un tanque apoyado de hormigón de 700 m³, ubicado a la salida del mismo en un recinto de 25x25 m. Mediante una estación de rebombeo las aguas son impulsadas a través de una conductora de diámetro 10” (250 mm) de Hofo, que atraviesa el monte, con una longitud aproximada de 3,0 Km, hasta el punto de entrega a la red en la Avenida 16 y la calle Francisco Mirabal, donde convergen las aguas del pozo Hatillo y el Nuevo.

En el momento del estudio, el SAAS cuenta solamente con el tanque (rectangular) apoyado, de hormigón, localizado en el recinto del Pozo Nuevo, de 700 m³ de capacidad, el cual se

encuentra en pésimo estado, y obliga a trabajar simultáneamente las bombas del pozo y rebombeo por las fugas que no admiten su utilización. La operación de este sistema se realiza en dos secciones: por la mañana y por la tarde (Quintana, 2019).

1.1.4 Tipos de Sistemas de Abastecimiento de Agua

Un sistema completo de aprovechamiento de agua incluye una fuente u origen, que puede ser un embalse, un río o agua subterránea. También será necesaria una captación, siendo precisas estructuras especiales, para los embalses y ríos. Si la fuente está situada a mucha distancia de la ciudad, será necesario una tubería o canal abierto para conducir el agua. Si el agua procede de corrientes superficiales, se requerirá normalmente una instalación de tratamiento, aunque el agua subterránea también se trata. (Manager, 2016)

Para dichos casos, los acueductos según su funcionamiento pueden ser: (Manager, 2016)

- A presión: donde la instalación hidráulica está formada por ciertos conjuntos de tanques elevados, tuberías de descarga y distribución, válvulas de control y de servicio, equipos de bombeo y generadores de agua caliente. Siendo este sistema el más complicado ya que depende mucho de las características del edificio y de los siguientes factores:
 1. Tipo de edificación. Edificio de una planta o de más de dos plantas.
 2. Tipo de servicio. Sanitario o distribución de agua.
 3. Agua necesaria. Depende del volumen de agua necesaria para dar soporte a la edificación.
 4. Servicios proporcionados. Se debe garantizar la simultaneidad de los servicios necesarios.
- Conducción libre: consiste en un conjunto de estructuras que llevan el agua desde una fuente elevada, hasta los puntos de consumo, ubicados más abajo. Funciona en base a la energía potencial que tiene el agua, esto debido a su altura. Sirve para distribuir el líquido desde un contenedor elevado, hasta varios puntos de consumo

ubicados más abajo, de forma más sencilla y económica que con otros sistemas de distribución (Portales Pérez, 2014).

Los Sistemas por gravedad o conducción libre (a través de canales o tuberías parcialmente llenas o totalmente llenas), aprovechan la fuerza gravitacional para conducir el agua hasta los usuarios, estos sistemas pueden ser (Barceló Pérez, y otros, 2016):

- Sin tratamiento: Cuando las fuentes son manantiales ubicadas en altura o aguas subterráneas de buena calidad. Sistemas de este tipo se presentan generalmente en el ámbito rural, donde los caudales de las fuentes no son apreciables.
- Con tratamiento: En este caso las fuentes son superficiales, es decir, ríos, lagos, embalses, etc. y para su consumo necesitan ser acondicionadas o tratadas. Estos sistemas son comunes en poblaciones urbanas y no descartadas para el ámbito rural.

Para los Sistemas a Presión se utilizan equipos de bombeo que requiere de energía mecánica, eléctrica y en muchos casos manual, para impulsar el agua hacia los puntos más altos de distribución a los usuarios, estos sistemas también pueden ser (Barceló Pérez, y otros, 2016):

- Por bombeo: aprovechamiento de aguas subterráneas que están por debajo del nivel de la población a beneficiarse, mediante la utilización de energía mecánica o eléctrica.
- Sin bombeo: la utilización de fuentes superficiales que están en un nivel superior a las poblaciones a beneficiarse, mediante la energía disponible en las captaciones.

1.1.5 Componentes de los Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable

Un sistema moderno de abastecimiento de agua se compone de instalaciones para la captación, almacenamiento, conducción, bombeo, tratamiento y distribución. Las obras de captación y almacenamiento permiten reunir las aguas aprovechables de ríos, manantiales y depósitos subterráneos; incluyen actividades como el desarrollo y cuidado de la cuenca de aportación, pozos y manantiales, así como la construcción de presas y de galerías filtrantes. La conducción incluye canales y acueductos, así como instalaciones

complementarias de bombeo para transportar el agua desde la fuente hasta el centro de distribución. El tratamiento es la serie de procesos que le dan al agua la calidad requerida. Finalmente, la distribución es dotar de agua al usuario, para su consumo (Ruiz Cortines, 2010).

El autor mantiene el criterio planteado por (Braga Pérez, 2017), expresando que están compuestos por varias instalaciones divididas en dos etapas, según criterios de la Superintendencia de Servicios Sanitarios de Chile (SISS, 2013):

- Etapa de Producción: Obras de captación, conducciones, aducciones, obras de regulación, plantas de potabilización, plantas elevadoras o estaciones de bombeo, equipos generadores eléctricos y componentes.
- Etapa de Distribución: Centros de desinfección, depósitos de regulación, plantas elevadoras (estaciones de rebombeo), conducciones, redes de distribución, estaciones reductoras de presión, acometidas, macro medidores, hidrantes contra incendio, válvulas.

1.2 Conceptualización de los Sistemas de Abastecimientos de Aguas Simples (SAAS)

En este acápite se presentan un grupo de términos, conceptos y definiciones relacionados con los sistemas de abastecimiento de agua, fundamental para el entendimiento de los objetivos trazados en esta investigación.

Sistema de Abastecimiento de Agua Simple (SAAS):

Es aquel sistema de abastecimiento de agua potable rural o urbano, constituido por dos etapas: Producción y Distribución, concebido para el suministro de la demanda esperada de un Caserío o Batey hasta una ciudad de 1er Orden, o a una zona de operación dentro de ciudades desde 3er Orden hasta Ciudad Capital.

Obras de captación:

Obra destinada a la captación de agua desde una fuente de suministro primaria; estas pueden clasificarse según el origen de sus aguas como Subterráneas (pozos, túneles, galerías de infiltración, manantiales, trincheras de captación), y Superficiales (ríos, arroyos, embalses, etc.) (ONN:NC971-1, 2013).

Obras de potabilización:

Conjunto de obras destinada a la adecuación mediante tratamientos físicos, químicos y bacteriológicos de la calidad de agua cruda de una fuente para que la misma pueda ser entregada con calidad potable (ONN:NC971-1, 2013).

Estación de bombeo:

Obra civil cuya función es asegurar la elevación y descarga de determinados fluidos mediante el uso de bombas hidráulicas, con el objetivo de transportar dichos productos desde el lugar de captación hasta un destino predeterminado (ONN:NC971-1, 2013).

Conductora:

Obra lineal o ramificada destinada a trasvasar fluido desde un punto de captación hasta el lugar de distribución. Estas pueden hacer su función de entrega mediante la gravedad o a través del uso de energía mecánica (ONN:NC971-1, 2013).

Depósitos:

Estructura utilizada para el almacenamiento adecuado de agua en función del suministro y la demanda estimada, permitiendo su entrega regulada. Los mismos se pueden clasificar según su función, colocación, y principio de trabajo (ONN:NC971-1, 2013).

Red de distribución:

Una red de distribución es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde tanques de servicio o de distribución hasta las tomas domiciliarias o hidrantes públicos. Su finalidad es proporcionar agua a los usuarios para consumo doméstico,

público, comercial, industrial y para condiciones extraordinarias como el extinguir incendios (Luege Tamargo, 2007).

Índices de consumo o dotación:

Volumen medio probable de consumo de agua en una población, expresado en litros por habitantes por día (L/hab.d), puede hallarse por el cociente del consumo total anual de todas las actividades entre la población servida, llevada a *L/hab.d*, se incluyen los volúmenes de agua no utilizados correspondientes a las pérdidas de agua (ONN:NC973, 2013).

Consumo por pérdidas o caudales no justificados:

Volúmenes de agua no contabilizados que se pierden en el balance de los consumos en el sistema de abastecimiento y que puede deberse a consumos no medidos, errores en medición o pérdidas físicas por fugas en los conductos y accesorios. Cuando el agua perdida es superior a un 20 % de toda el agua extraída de las fuentes es señal de baja eficiencia en la explotación del sistema o de un deterioro notable en los componentes del mismo (ONN:NC973, 2013).

Consumo medio:

Cociente del consumo total anual entre 365 días y se estima como demanda media por el producto de la población servida por la dotación (ONN:NC973, 2013).

Consumo máximo diario:

Consumo máximo que se presenta en el día de mayor consumo del año. Se denota como $Q_{\text{máx}}$ diario y se expresa en término de caudal en litros por segundo (L/s) (ONN:NC973, 2013).

Consumo máximo horario:

Consumo máximo que se presenta en la hora de mayor consumo dentro del día de máxima demanda. Se denota por $Q_{\text{máx}}$ horario y se expresa en términos de caudal en litros por segundo (L/s) (ONN:NC973, 2013).

Grado de Satisfacción:

El grado de Satisfacción, representa la magnitud en la que el elemento analizado es capaz de satisfacer la demanda necesaria, siendo esta en el caso de los sistemas hidráulicos el Caudal Máximo Horario, Máximo Diario o Promedio Diario, en acuerdo a cada elemento y a los criterios internacionales para el diseño de los mismos; se definirá como “Satisface (SA) o No Satisface (NS)”, cuando tome el valor 100 % o < 100 % respectivamente como resultado del diagnóstico del elemento (González Abreu, 2012).

Grado de Explotación:

Permite conocer hasta donde se están aprovechando la capacidad instalada del elemento analizado, dado también en porciento permite evaluar el estado técnico de dicho órgano o elemento; se definirá como Suficiente (SU), Sobre Explotado (SE) o a Plena Capacidad (PC) como resultado del diagnóstico (Herrera López, 2016).

Grado de Potencialidad:

El Grado de Potencialidad globaliza la problemática de los diferentes órganos componentes de un Sistema de Abastecimiento analizados, dejando muy clara en esa globalización las líneas principales de los programas de inversión a corto, mediano y largo plazo, pues con él, se sabe hasta donde se podría dar respuesta a las nuevas demandas de los núcleos urbanos, las zonas industriales, etc. Los valores del Grado de Potencialidad pueden ser negativos o positivos, reflejando la insuficiencia o la capacidad de respuesta respectivamente (Herrera López, 2016).

Operación:

La operación es un conjunto de actividades externas dirigidas, que tienen el propósito principal de conservar el buen funcionamiento de los mecanismos de todo un sistema con el objetivo de mantener el servicio para el que fue proyectado (Hickey, 2008).

Fiabilidad:

La fiabilidad es la probabilidad de que un sistema cumpla su función definida dentro de condiciones técnicas preestablecidas para un período determinado. A los sistemas en estado deficiente se le puede restituir su estado de operación óptimo mediante acciones de mantenimiento (Hickey, 2008).

Seguridad:

La seguridad de un sistema está dada por la probabilidad de que éste se encuentre operando correctamente en un instante futuro seleccionado al azar, esto es, estar dentro de las características técnicas admisibles y no requerir de reparaciones (Hernández Rossié, y otros, 2001).

1.3 La Gestión en los Sistemas de Abastecimientos de Agua

La gestión, en una organización de cualquier tipo, comprende las funciones clásicas de: planificación (establecimiento de objetivos, recursos necesarios para alcanzarlos y estrategias), control (actividad que trata de asegurar la puesta en práctica de las estrategias) y organización (asignación de la persona adecuada en el puesto adecuado) (Guilabert, 2008).

Las formas que pueden adoptar la gestión de los servicios de suministro de agua, bajo competencia municipal, pueden clasificarse en gestión directa o indirecta (2016):

La gestión directa se puede realizar por la propia Entidad Local (servicios municipales, mancomunidades de servicios), por un organismo autónomo local o por una sociedad mercantil cuyo capital social pertenezca íntegramente a la Entidad Local (Empresa Pública).

La gestión indirecta puede adoptar la forma de concesión, gestión interesada, concierto, arrendamiento o sociedad mercantil cuyo capital social pertenezca sólo parcialmente a la Entidad Local (Empresa Mixta).

El tipo de estructura de gestión que se adopte tiene consecuencias en todas las etapas del ciclo del proyecto, incluyendo el financiamiento de los costos de la infraestructura, la preparación, movilización, la administración de la construcción y la administración, operación del sistema. Como en el caso de los sistemas para una sola localidad, se considera que un “modelo” de gestión completo debe definirse no simplemente en términos de quién administra sino también en términos de quién opera y quién brinda los servicios de apoyo profesional (PAS, 2017).

La gestión técnica de los sistemas de abastecimiento de agua, de manera general se realiza con la intención de mejorar la calidad del servicio, procurando una mayor eficiencia y la fiabilidad del servicio; para lograrlo se necesita una adecuada capacidad de control sobre el sistema, que permita conocer el valor de las principales variables de presión, caudal, nivel, y otras actividades relacionadas con minimizar los costos energéticos mediante maniobras automatizada (Hernández Rossié, y otros, 2001).

1.3.1 Deterioro de los Sistemas de Abastecimientos de Agua Potable.

La disponibilidad del agua es un problema actual y complejo en el que interviene una serie de factores que van más allá del incremento poblacional que demanda cada vez más este recurso para uso del consumo humano, así como para llevar a cabo actividades económicas. El crecimiento urbano-industrial, la sobreexplotación, la contaminación de los recursos hídricos, los múltiples deterioros han generado han generado la escasez de agua, afectando de manera significativa a ciudades y localidades.

Según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú (2014) las acciones estarán en correspondencia con la capacidad de fondos del propietario, la categoría y magnitud de los deterioros, los cuales pueden clasificarse en:

- Deterioro estructural.
- Deterioro hidráulico o funcional.
- Deterioro de la calidad del agua.

Deterioro estructural:

Se manifiesta por una rotura de la tubería, fuga o el hundimiento de la calzada o pista. Se trata de un deterioro físico vinculado al envejecimiento. Las elevadas pérdidas de agua en una red de distribución de agua potable, ocupa el primer lugar de las causas fundamentales que pueden aconsejar la rehabilitación o renovación de tuberías.

Deterioro hidráulico o funcional:

Se manifiesta por una disminución de presión debido al estrechamiento de la sección interna (diámetro) de las tuberías, causado por depósitos de sedimentos, envejecimiento y la corrosión de partes metálicas, con los consecuentes desperdicios de energía entregada por el sistema. El abastecimiento debe garantizar en la acometida del usuario, como mínimo y en las horas punta de máxima demanda, 14 metros columna de agua como presión mínima (ONN:NC51-121, 1984).

Deterioro de la calidad del agua:

El deterioro de la calidad del agua se conoce a través de controles sistemáticos de los patrones establecidos, para el caso cubano según (ONN:NC827, 2012). El origen del deterioro, podría estar en las infiltraciones de sustancias o materias en las tuberías, contaminación de las fuentes de abasto de agua o por tratamiento deficiente del agua. Se manifiesta a través de un aumento de la turbidez, elevadas concentraciones de hierro y manganeso generadas por viejas tuberías de fundición y por excesivo incremento de los parámetros bacteriológicos.

1.3.2 Diagnóstico y desarrollo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua

El diagnóstico analiza el estado de cada uno de los componentes del sistema para cualquier condición de demanda, pero estos procedimientos no son bien claros en los casos de sistemas localizados en áreas de bajos recursos y falta de automatización. Para un mejor enjuiciamiento de la situación debe realizarse sobre la base de series cronológicas de datos, hechos, reclamaciones, régimen de explotación, recogidos y ordenados sistemáticamente (Carballo, 2018).

El diagnóstico tiene como objetivo confeccionar un informe del estado de la infraestructura y los aspectos operacionales incluyendo: el sistema de producción y distribución de agua potable; red de alcantarillado; planta de tratamiento; análisis del cumplimiento de los compromisos de inversión y expansión del servicio.

Uno de los métodos más empleados internacionalmente para el diagnóstico es el criterio de la Auditoría Volumétrica del Abastecimiento Urbano, asociando la capacidad y la gestión del sistema a la relación agua entregada contra el agua autorizada, incluyendo en dicho análisis las fugas en aducciones, depósitos y plantas de potabilización. La clasificación de la gestión se realiza a partir de un rendimiento global en por ciento (Hirner, 1998; AWWA, 1990), definiéndose las categorías de Excelente, Muy bueno, Bueno, Regular, Malo e Inaceptable. Otro concepto utilizado pero asociado, solamente al caso de la Red de distribución, es el de considerar el rendimiento partiendo del agua inyectada a la red, el agua registrada y el agua perdida en fugas (Almandoz, 1999), criterio matemático efectivo para los flujos financieros, no así desde el punto de vista ecológico, pues se fundamenta en un modelo consumista de aprovisionamiento de agua (Braga Pérez, 2015).

Entre las principales deficiencias que presenta la Auditoría Volumétrica del Abastecimiento Urbano se encuentran los que radican en que los costes del agua y la energía influyen en la renovación de tuberías, bajo el concepto de *Consumo Autorizado* donde asocian la capacidad y gestión del sistema a la relación agua entregada contra la autorizada, además de interrelacionar el agua inyectada a la red, el agua registrada (abonada) y el agua perdida en fugas (MDE, 2013).

El mecanismo "Plan de Desarrollo" es el más utilizado para el diagnóstico y manejo de los sistemas de abastecimiento de agua en América Latina, en cuanto a distribución y desarrollo del hábitat. Como instrumento tecnológico contabiliza los derechos de agua disponibles, determina la capacidad de las partes componentes e identifica como orientar las inversiones de forma más racional (Braga Pérez, 2015).

1.3.3 El diagnóstico y desarrollo de Sistemas de Abastecimiento de Agua en Cuba

El diagnóstico en Cuba se ha realizado en asentamientos urbanos mayores que categoría de Pueblo de 1er orden, bien dotados en equipamiento, personal e infraestructura donde las labores de maniobras, lectura y comprobación y la supervisión son factibles (Hernández Rossié, y otros, 2001).

Nacionalmente y en la provincia de Matanzas, dentro de los estudios de oportunidad del proceso inversionista no existía una metodología para la definición de inversiones de los sistemas de abasto hasta febrero del año 2015 (INRH, 2015), y mucho menos en pueblos de 3er orden, por lo que se dificultaba y dificulta aún la definición de inversiones, realizadas sin compatibilidad con el desarrollo prospectivo en ocasiones, pues el contexto regional aún no era incluido, tampoco la categorización del servicio en sus etapas de producción y distribución (Carballo, 2018).

En el año 2012 Julio, 2015 Iborra, en 2016 Datniel y en 2018 Wendy y Anet proponen un procedimiento para determinar la capacidad de cada componente de un Sistema de Abastecimiento de Agua Simple, incluyendo “Grados de Potencialidad, Satisfacción y Explotación” y los “Esquemas Gráficos Sintetizados” para la evaluación del estado técnico de cada componente y su representación gráfica respectivamente. Este procedimiento es una ventaja, que aplicado a una zona de operación de la ciudad de Matanzas, se acerca con su método a ser utilizado en sistemas menores, al generalizarlo a los SAAS, pero que no satisface porque el método mantiene las falencias de la no integralidad físico espacial en las soluciones, para la Fase de Pre – Inversión, en la elaboración de las ideas preliminares para el Estudio de Oportunidad, donde es imprescindible la definición de la potencialidad del sistema de abastecimiento en su conjunto.

El profesor Braga (2017) mejora las técnicas anteriormente utilizadas en otros ejercicios académicos, al homogenizar los resultados con la aplicación del Método de Ordenamiento Integral o Taxonómico como técnica multicriterial, para obtener la dispersión territorial de los problemas y su evaluación además de la categoría global del SAAU. En ese trabajo Braga demuestra las falencias de los métodos anteriores con respecto a la no integralidad físico espacial en las soluciones, para la Fase de Pre - Inversión, en la elaboración de las

ideas preliminares para el Estudio de Oportunidad, donde es imprescindible la definición de la potencialidad del sistema de abastecimiento en su conjunto, no cubiertos en los criterios de selección propuestos por INRH "Criterio de Calidad de Vida", "Criterio Técnico" y "Criterio Económico", pues se desentienden de los aspectos relativos a la Fiabilidad, su asociación al planeamiento de la renovación o completamiento de componentes de todo el sistema y la distribución espacial de los problemas en las unidades geográficas donde se encuentran localizados (Carballo, 2018).

Los Pueblos de 3er orden son los asentamientos humanos urbanos o rurales con población entre 2000 y 4999 habitantes, se caracterizan por ser pequeños, de menor importancia que las ciudades, y dada su importancia económica, las inversiones se desentienden en muchas ocasiones de métodos para la elección de las inversiones, e incluso de las condiciones del servicio, a veces precario. La tecnología propuesta permitió la categorización del SAAS integralmente, facilitando la prioridad de las inversiones en diferentes unidades geográficas componentes del paisaje tecnológico de un geosistema cualquiera. A los efectos de este trabajo de investigación, el autor considera que la introducción del método taxonómico aplicado por este en los SAAS, permitirá la distribución espacial de los problemas del SAAS de los pueblos de 3er orden como el de San Miguel de los Baños, y la categorización del mismo en su conjunto, facilitando la definición de prioridades en las inversiones entre diferentes asentamientos menores o mayores, dentro de un mismo geosistema o en otros situados en diferentes zonas de un territorio, región, zona, sub zona o escenarios. , garantizando la toma de decisión por grupos.

1.4 Conclusiones parciales

Después de haber tratado el tema de los sistemas de abastecimiento de agua en los asentamientos de tipo Pueblo 3 y el diagnóstico de los mismos, dentro del marco teórico referencial, se arribó a las siguientes conclusiones parciales:

1. La gestión del agua en Pueblos de 3er Orden deberá considerarse como un todo similar que, en las grandes ciudades, sobre todo en aquellas con potencialidades turísticas.
2. La gestión y desarrollo en SAAS es realizada con una mirada puntual del manejo del agua, asociado principalmente a la reposición de redes, y ausencia de procedimientos científicos para la toma de decisiones.
3. En el caso cubano la gestión del agua tiende a un mejoramiento de las técnicas de control e implantación de la micromedición, pero aún con limitaciones en la integralidad del manejo y el desentendimiento de la importancia de los impactos por desobediencia de los Derechos de Agua.

CAPÍTULO 2: “ADECUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA PARA DIAGNÓSTICO GLOBAL Y MANEJO INTEGRADO DE LOS SAAU EN PUEBLOS DE TERCER ORDEN.”

2.1 Generalidades

En el capítulo el autor de este trabajo aplica la (TI-DGD) sugerida por Braga (2017) para la definición de la problemática de un SAAS, en pueblos de 3er orden, válida en la justificación de las acciones de la Etapa de Oportunidad del proceso inversionista.

Este método propuesto, permite el análisis del comportamiento de fuentes, conductoras, depósitos y redes de distribución, componentes del SAAS, interrelacionando diferentes elementos del contexto regional, como basamento para la elaboración de los programas de desarrollo y la toma de decisiones, una vez determinadas sus potencialidades.

2.2 Tecnología para el Diagnóstico de los SAAS

Según Braga (2017) deberá analizarse el SAAS como un proceso industrial, atendiéndose además de su estado técnico, todas aquellas operaciones garantes de la sostenibilidad del servicio como un todo. Pero este análisis que también debe ser sistémico, cada vez es más complejo por el desarrollo caótico de barrios y ciudadelas, que imponen sobrecargas en los sistemas de abasto, limitan sus potencialidades y hacen más complicada la gestión con procedimientos y toma de decisiones aisladas.

Un diagnóstico certificativo de las potencialidades de un SAAU requiere información detallada, y no es suficiente en la mayoría de los casos, dadas las restricciones que se imponen a este tipo de datos por los operadores. De la misma manera que en un SAAU el análisis de la potencialidad de un SAAS en un pueblo de 3er orden no se satisface con la caracterización parcial de las redes, haciéndose imprescindibles modelaciones de su estado técnico integralmente, en correspondencia con el desarrollo planificado para el territorio, lo que no se realiza habitualmente por su menor importancia.

El autor, aplica en esta investigación la técnica multicriterio correspondiente al Método de Ordenamiento Integral o Taxonómico (Boudeville, 1966). En la caracterización del SAAS del pueblo de 3er orden en su conjunto, atendiendo a las características del sistema (ver 1.1.4 y 1.1.5),

lo que facilitará la clasificación del estado técnico de cada componente y del sistema integralmente con la justificación de las inversiones mínimas, condición limitada en la tecnología aplicada a los SAAS en otros trabajos de pregrado (González Abreu, 2012; Igorra Medina, 2015; Fundora Caraballo, 2016; Sánchez Falcón, 2016; Herrera López, 2016).

Esta forma de enfocar la gestión de los SAAS en pueblos de 3er orden como tratamiento psicosomático de las enfermedades en el hombre, permite un mejoramiento del método de las sumas ponderadas (Almandoz, y otros, 2004), el método de la programación por compromisos y la jerarquía analítica difusa (Parra, 2006); (Koppel, y otros, 2018)), aplicados exitosamente en la definición de la renovación de tuberías, al reformar la distribución de los pesos de los criterios con el uso del Método Taxonómico e incorpora además a la gestión del análisis de las Redes de distribución el Sistema de Producción de forma más profunda que Herrera (2016).

Aunque realiza la Auditoría Hídrica en redes, esta se hace sobre la base de la introducción del índice de consumo requerido por norma para el rango de población correspondiente al pueblo de 3er orden, de la misma forma que Braga (2017) para los SAAU de ciudades en los nuevos descriptores utilizados, e incorpora el criterio de energía útil entregada y la eficiencia en el aprovechamiento de la misma por la red, utiliza el software cubano ROKO (Chiong Rojas, y otros, 2002) en su diseño óptimo y revisión.

Mediante el concepto de un proceso de mejora continua, una vez realizado el diagnóstico, la homogenización de los resultados, la propuesta de mejoramiento y desarrollo en el SAAS del pueblo de 3er orden en su totalidad, regresa a las condiciones del entorno regional manteniendo un ciclo de actualización y acción (Ver Fig 2.1), de forma similar que en ciudades mayores se evaluaron los SAAS de una unidad geográfica a otra.

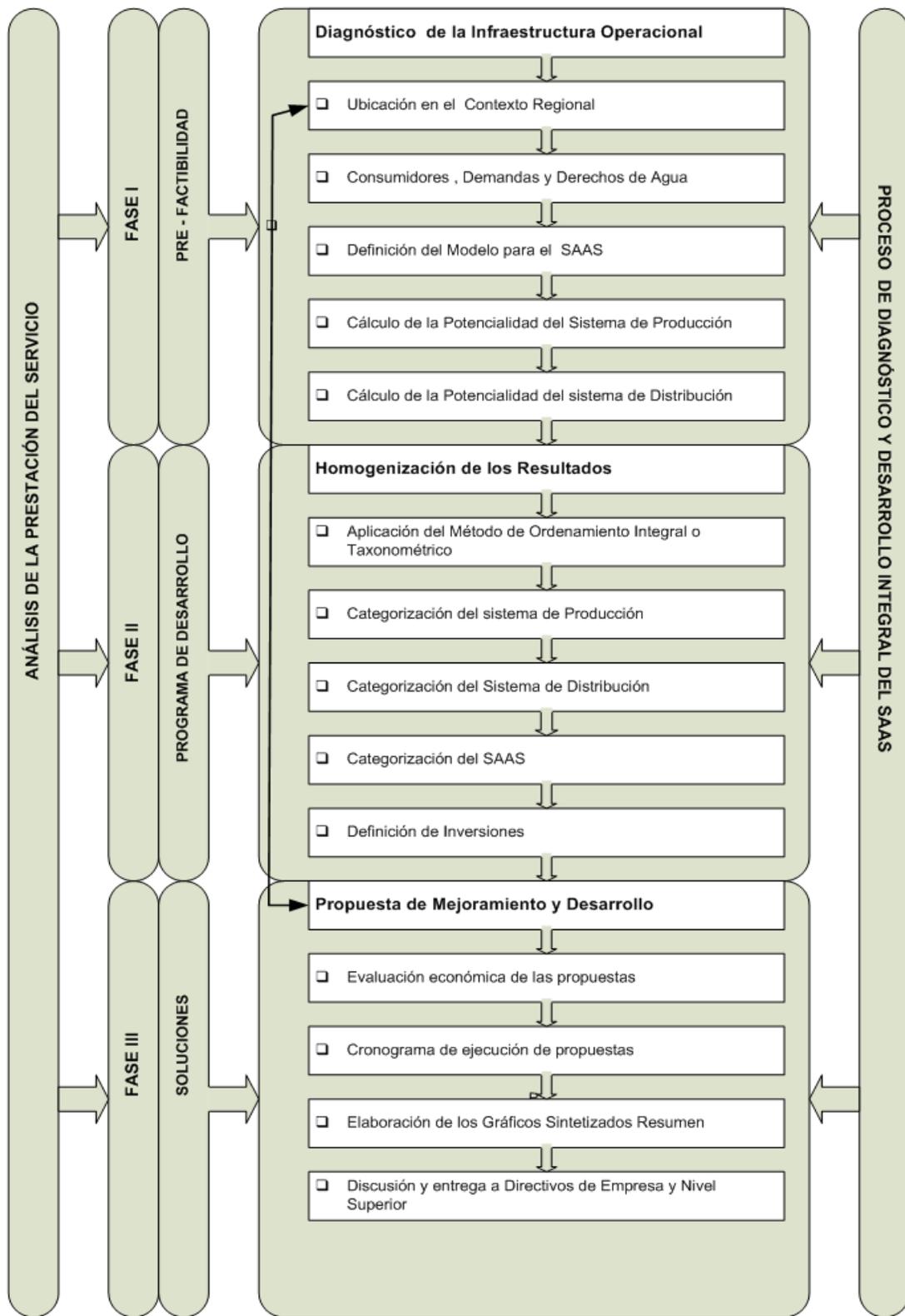


Fig. 2.1- Diagrama de la tecnología para el diagnóstico y desarrollo de los SAAU.

Fuente: (Braga Pérez, 2017)

2.3 Apogemas para la realización del análisis de la prestación del servicio en un SAAS de pueblo de 3er orden

- Se entenderá como "Análisis de la Prestación del Servicio", la elaboración de un documento contentivo dentro de los estudios de oportunidades de la etapa de Pre Inversión del Proceso Inversionista, como un Programa General de Inversiones de posible solución a los problemas de baja potencialidad, y valores referenciales sobre la base de la moneda en vigor para este tipo de trabajos.
- Se analizarán la potencialidad de ampliación del servicio para responder oportunamente con calidad la demanda, según etapas de los Planes Generales de Reordenamiento Territorial y Urbanos o en un momento cualquiera dado por inversiones en dicho territorio, rehabilitación o ampliación del límite operacional, como son la localización de viviendas aisladas o conjuntos habitacionales.
- La característica de estos documentos que se elaboren debería tener un período de análisis entre 5, 15 y 30 años (corto plazo, vida media y útil de estas obras, según la certidumbre del escenario económico nacional, regional e internacional), estando sujeta su periodicidad a ampliaciones por inversiones fortuitas dentro de los planes de los gobiernos de los territorios o nacionales.
- A los efectos de su aplicación se establecerán tres etapas, la Fase I PRE –FACTIBILIDAD, Fase II PROGRAMA DE DESARROLLO, hasta categorizar cada componente del sistema, según la valoración del Índice de Potencialidad y la Fase III SOLUCIONES donde una vez definidas las inversiones se realiza una Evaluación Preliminar (ver Fig.2.1).
- Todas las consideraciones de la tecnología tomaran como guía el Modelo Tipo de un SAAS, considerando dos etapas: Producción y Distribución., el que servirá de orientación de los caminos de análisis (Fig. 2.2 y Anexo 2.1).
- En el diagnóstico de la infraestructura lo más significativo de cada análisis podrá ser definido, adecuado, mejorado, rechazado en etapas subsiguientes con las ideas conceptuales y los proyectos de detalle a contratar por los operadores.

- Se utilizará el indicador técnico ambiental “Índice de Potencialidad”, que está en función de los descriptores Grados de Explotación, Satisfacción y Potencialidad de cada componente del Sistema de Abastecimiento, como elemento certificativo del estado operacional y la capacidad del sistema.
- La definición del “Programa de Desarrollo” se realizará sobre la base, del Índice de Potencialidad de cada componente del sistema de abastecimiento, de la zona analizada y de toda la ciudad en caso de tener más de una zona de operación.
- Posterior a la presentación del documento ante los directivos de la empresa, se deberá establecer la retroalimentación necesaria con los proyectistas, la incorporación de los índices de roturas, los resultados de la simulación de redes hasta el ajuste definitivo del documento (Programa de Desarrollo o Pre inversión).
- Si se utiliza en el documento información veraz mejorará la elaboración de Tareas Técnicas y la planificación de las reposiciones mínimas, amortizaciones, aportes reembolsables, tarifas e inversiones por etapas de la empresa, a manera de esquemas, y constituirá una herramienta importante para la toma de decisión y organización de los planes de desarrollo locales.
- El documento obedecerá los intereses propios de las empresas sanitarias y los vinculará con las soluciones óptimas para la sostenibilidad local.
- Al final del documento se confeccionará el gráfico del Ciclo Urbano del Agua con los detalles del balance volumétrico y costos asociados (Picazo Pardo, 2010).

Modelo Tipo del SAAS para la implementación de la Tecnología

El modelo servirá para conducir el análisis de los sistemas en su conjunto, facilitará la agrupación de problemas por componente (Etapa de Producción y Etapa de Distribución), las que se han hecho coincidir con las consideraciones del Plan de Desarrollo Chileno como puede apreciarse en la Fig.2.2, y se toma el esquema de SAAS que le corresponda (Anexo2.1).

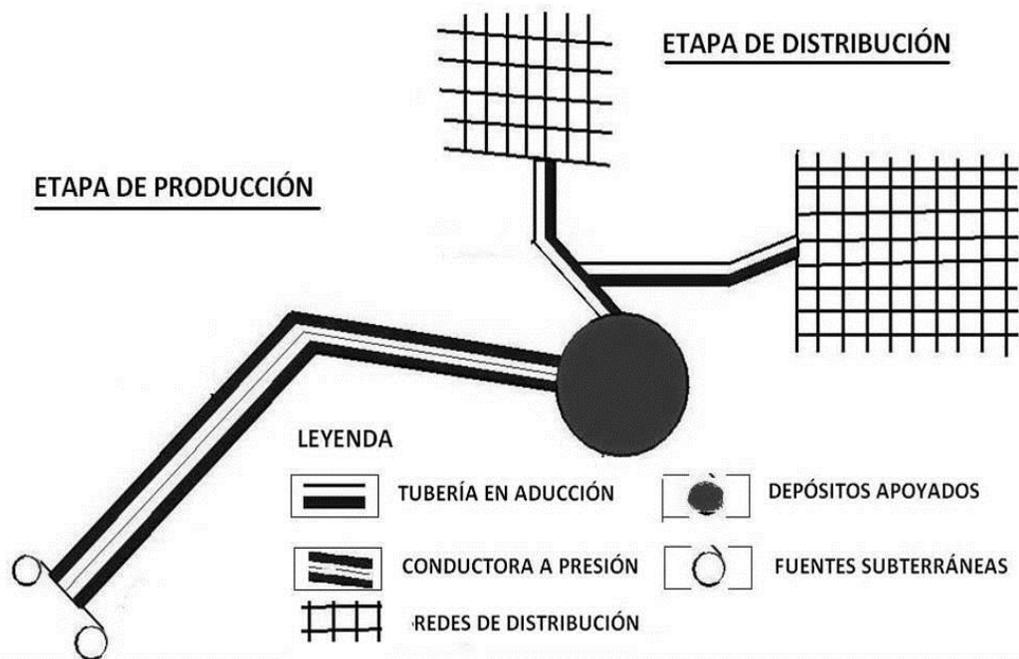


Figura 2.2 Modelo Tipo para un SAAS con fuentes subterráneas.

Fuente: (Braga Pérez, 2017)

2.4 Descripción de los procedimientos

2.4.1 Fase I: Pre –factibilidad. Diagnóstico de la infraestructura operacional

En la pre - factibilidad (Fase I), se describe el sistema y define el estado técnico de las etapas de producción y distribución del SAAS para el cálculo de sus capacidades presentes y futuras, se utilizó para ello la información recopilada en las empresas sanitarias, se resume el balance Oferta - Demanda, que será el señalamiento del déficit de las instalaciones para satisfacer las nuevas condiciones (ONN:NC-ISO9000, 2005).

Para el diagnóstico de la Infraestructura operacional se utilizarán los Procedimientos de Apoyo o herramientas siguientes:

- Ubicación del Sistema en el contexto Regional
- Resumen de consumidores
- Resumen de demanda, derechos y calidad de agua
- Definición del modelo del SAAS a utilizar

- Cálculo de la potencialidad del Sistema de Producción
- Cálculo de la potencialidad del Sistema de Distribución

2.4.1.1 Ubicación del sistema en el contexto Regional

El análisis del sistema de abastecimiento de agua "base o actual", en el contexto regional, se fundamenta en el concepto de "Regionalización Económica" cuyos objetivos o significación, según acepciones más modernas, es la tendencia de definir unidades espaciales que fuesen uniformes desde el punto de vista de las realizaciones entre el medio geográfico, el fenómeno social y la vida económica (Boudeville, 1966), en atención a la necesidad del encuadre espacial de los diferentes fenómenos humanos.

Algunos aspectos como la consideración actual del agua como recurso no renovable, problemas geopolíticos, distribución del agua en los espacios geográficos, demanda creciente, tarifas, contaminación por residuos líquidos, limitaciones en las finanzas estatales, y necesidad de producción de naturaleza, hacen que los sistemas de abastecimiento sean vistos como un problema territorial; no aplicar esta herramienta es dar paso a la vulnerabilidad del sistema.

2.4.1.2 Consumidores, demanda de agua y derechos

El análisis de Derechos de Agua, en el caso de nuestro país, donde el Estado ejerce la soberanía sobre los recursos naturales, corresponde al análisis de la capacidad de explotación en fuentes de abastecimiento autorizada por el INRH. En otros países corresponde a derechos de uso consuntivo o no consuntivo de la empresa sanitaria por unidad de captación, que es considerada un activo fijo del explotador y no del estado.

Consumidores: corresponden con la población, la industria, grandes instalaciones educacionales, de salud, otras instalaciones distribuidas dentro del territorio operacional. En el caso de la población, se realizarán las estimaciones por cualquiera de los métodos establecidos para ello, recomendando el autor en su tecnología el uso de la fórmula del interés compuesto cuando no se tienen los datos oficiales.

Fórmula del interés compuesto:

$$Pf = Pa(1 + r)^n \dots\dots\dots (2.1)$$

Donde:

Pf – Población futura, en habitantes.

Pa – Población actual, en habitantes.

n – Número de años del período de diseño.

r – Tasa de crecimiento anual de la población, en valores decimales.

- **Demanda de Agua:** Se definirá la demanda de agua partiendo del rango de población o tipo de consumidor, según las normas de consumo del país (ver punto 1.2).
- **Dotación media:** Se realizará la determinación de las entregas per cápita, con el objeto de definir cuanto satisface la demanda, las restricciones en la explotación de fuentes que deberán aplicarse y el estado teórico de la infraestructura.
- **Estadísticas de la producción de agua en el año base:** análisis de la producción de agua que permitirá conocer la potencialidad del Sistema de Producción y Distribución en el año base, utilizándose funciones estadísticas de tendencias:

CV: Coeficiente de variación.

IC: Intervalo de confiabilidad.

S: Desviación Standard

X: Valor medio de la muestra.

2.4.1.3 Definición del modelo del SAAS para el análisis

Es la selección del tipo de sistema de abastecimiento que se tiene (ver 1.1.4 y 1.1.5), incorporándole los componentes que le correspondan; si se trata de una ciudad con varias zonas habrá que realizar el análisis en particular para cada una de ellas.

2.4.1.4 Cálculo de la potencialidad del Sistema o Etapa de Producción

La potencialidad de los Sistemas de Producción y Distribución de un SAAS se determina según resultados de los grados de explotación, satisfacción y potencialidad, como descriptores primarios bases del Índice de Potencialidad.

- **Determinación de los Descriptores Primarios en los componentes de los SAAS**

Grado de Satisfacción: magnitud en la que el elemento analizado es capaz de satisfacer la demanda, siendo esta en el caso de los sistemas hidráulicos el Caudal Máximo Horario, Máximo Diario o Promedio Diario, en acuerdo a cada elemento y a los criterios internacionales para el diseño de los mismos dado en porciento; se definirá como "Satisface (SA) o No Satisface (NS)", cuando tome el valor 100 % o < 100 % respectivamente como resultado del diagnóstico del elemento.

El Grado de Satisfacción para su interpretación se presenta como:

$$\text{Grado de Satisfacción} = \frac{Q_{\text{explotado}}}{Q_{\text{necesario}}} * 100 \dots \dots \dots (2.2)$$

Donde:

Q_{explotado}: Caudal conducido por el elemento o volumen explotado, según elemento y las unidades que correspondan.

Q_{necesario}: Caudal o volumen que es necesario ser conducido por el elemento en las unidades que correspondan.

G_{satisfacción}: Grado de Satisfacción, el valor se expresa en porciento.

Grado de Explotación: aprovechamiento de la capacidad instalada del elemento analizado, dado también en por ciento permite evaluar el estado técnico de dicho órgano; se define como Suficiente (SU), Sobre Explotado (SE) o a Plena Capacidad (PC) como resultado del diagnóstico.

Su expresión se presenta como:

$$\text{Grado de Explotación} = \frac{Q_{\text{explotado}}}{Q_{\text{capacidad}}} * 100 \dots\dots\dots (2.3)$$

Donde:

Q_{explotado}: Caudal conducido por el elemento o volumen explotado, según elemento y las unidades que correspondan.

Q_{capacidad}: Caudal o volumen que es capaz de conducir o almacenar, según elemento y las unidades que correspondan.

Grado de potencialidad: globaliza la problemática esclareciendo las líneas principales de los programas de inversión, pues con él, se sabe hasta donde se podría dar respuesta a las nuevas demandas, su valor puede ser negativo o positivo, refleja la insuficiencia o la capacidad de respuesta respectivamente.

La expresión se presenta como:

$$\text{Grado de Potencialidad} = \left(\frac{Q_{\text{capacidad}}}{Q_{\text{necesario}}} - 1 \right) * 100 \dots\dots\dots (2.4)$$

Q_{capacidad}: Caudal o volumen que es capaz de conducir o almacenar, según elemento y las unidades que correspondan.

Q_{necesario}: Caudal o volumen, que es necesario ser conducido por el elemento en las unidades que correspondan.

A los efectos de la Fase I, el Grado de Potencialidad se identificará como **Con Potencialidad (CP)** o **Sin Potencialidad (SP)**”, cuando tome el valor ≥ 0 o < 0 respectivamente. En la Fase II, definirá el **Índice de Potencialidad**, homogenizando los resultados y categorizando parcial o globalmente el SAAS, o SAAU (Tabla 2.2).

Estos descriptores primarios serán utilizados independientemente en la etapa **Producción o Distribución**, simplifican los conceptos de *Insuficiencia sanitaria, Insuficiencia de suministro e Insuficiencia hidráulica* utilizados en la Auditoría Hídrica propuesta por (Almandoz, 1999) y citada por (Picazo Pardo, 2010) para rehabilitación o renovación de tuberías. Su evaluación, podría ser representada en Modelos Gráficos Sintetizados, mediante colores, de forma opcional en versión de mapas (Herrera López, 2016).

- **Valores de capacidad por componentes**

En las conducciones se recomienda por el autor la fórmula de Williams-Hazen para la definición de la capacidad, se toma el valor para el coeficiente de rugosidad según el tiempo de explotación y material de la tubería para cada caso (Mendoza, 1969), o cualquiera otra fórmula para el cálculo de pérdidas de carga existente en la literatura:

$$Q_{cap} = 35,834 \times 10^{-7} \times C \times D^{2,63} \times S^{0,54} \dots\dots\dots (2.5)$$

Donde:

Q: Gasto en *L/seg*.

D: Diámetro del conducto, en *mm*.

C: Coeficiente de Rugosidad o transporte.

S: Gradiente hidráulico.

En las captaciones deberá utilizarse en el análisis, como caudal capacidad, aquel recomendado para su explotación, que se obtiene de las pruebas de Gasto Variable y Gasto Constante en el pozo. En el caso de los depósitos como volumen necesario podría estimarse un valor del 25 - 50% y 10-15% del Caudal Máximo Diario en tanques apoyados y elevados respectivamente.

- **Análisis de la calidad del agua del sistema de producción**

Se revisarán los resultados de los análisis físico - químico y bacteriológicos de series de datos existentes en la empresa operadora o laboratorios reconocidos, en el caso de Cuba del Centro de

Higiene y Epidemiología o del Instituto de Recursos Hidráulicos, se define su potencialidad en correspondencia con la Tabla 2.1

Tabla 2.1. Análisis de la dureza del agua en las fuentes y redes.

<i>Concentración (mg/L)</i>	<i>Evaluación (Fase I)</i>	<i>Categorización (Fase II)</i>
<i>17,1 – 60</i>	<i>Ligeramente Dura</i>	<i>Excelente</i>
<i>60 – 120</i>	<i>Moderadament e Dura</i>	<i>Muy Bueno</i>
<i>120 – 180</i>	<i>Dura</i>	<i>Bueno</i>
<i>180 -250</i>	<i>Muy Dura</i>	<i>Regular</i>
<i>>250</i>	<i>Extra Dura</i>	<i>Malo</i>

Fuente: HELVEXCUBA – (Braga Pérez, 2017)

2.4.1.5 Cálculo de la Potencialidad del Sistema o Etapa de Distribución

El diagnóstico de la red debe estar apoyado en la simulación de su funcionamiento, tratando de describir su comportamiento hidráulico para la demanda de agua en el momento del año cero en la Fase I, en un mediano plazo y en el período de vida útil. El interés es simular lo que sucede en realidad en la red, con la ayuda de formulaciones contenidas en software existentes o algoritmos, con basamento en un modelo hidráulico –matemático, en ocasiones resueltos por programación lineal. La representación y la precisión del modelo, dependerá de datos disponibles, el nivel de detalle deseado y la experiencia del especialista, condicionándose los resultados de la modelación.

Harrouz (1996) distingue varios tipos de modelos para la simulación:

- Modelo para el dimensionado de la red
- Modelo del análisis del funcionamiento hidráulico y diagnóstico
- Modelo para la gestión de la red

La tecnología propuesta utiliza el Modelo del análisis del funcionamiento hidráulico y diagnóstico. En este caso, el modelo procura describir el funcionamiento de la red existente mediante la determinación del estado de las tuberías, e introduce su valor de rugosidad y la demanda teórica

de los consumidores. El diagnóstico de lo existente o el nuevo diseño geométrico para las condiciones de la demanda futura, según la fase que corresponda, parten del conocimiento de la localización de las redes existentes, de un supuesto caudal necesario en cada nudo de la red según población, una presión mínima requerida según energía necesaria por el tipo de urbanización y una condición de calidad de las aguas inicial en tanque y nodos, utilizándose para ello los programas de simulación de redes: EPANET y ROKO.

- **Análisis de la Calidad del Agua en la red de distribución**

En atención a que la falta de calidad del agua suministrada, es una situación prioritaria, dado los riesgos a la salud de la población que obliga a los prestadores de servicios a dar una atención esmerada inmediata, se consideró evaluar someramente en el estudio las características del agua en el tanque y la distribución espacial del comportamiento del cloro residual y Dureza Total, mediante la utilización del programa EPANET.

El autor recomienda analizar las concentraciones de Cloro requeridas para los volúmenes promedios de agua que entran al depósito utilizando el programa EPANET, como si este fuera la cámara de contacto, y no en la fuente, pues se considera que en la práctica internacional de los SAAS muchas veces se prefiere clorar directamente en este punto.

Formulación para la determinación del volumen requerido de la cámara de contacto:

$$V = 0,041 * Q \dots\dots\dots (2.6)$$

Donde:

V: Volumen de la cámara que garantiza un tiempo de contacto de 60 min; en (m³)

Q: Caudal promedio que entra (m³/ día.)

Observación: 60 minutos /1440 minutos = 0,041 día

El EPANET muestra la dispersión espacial del problema teóricamente, apreciando el riesgo de afectación de la calidad, por crecimiento de los cultivos bacterianos o productos derivados de la cloración, advierte velocidades bajas y la retención excesiva en los depósitos (Cox, 1979), será

prudente analizar al sistema de cloración en todos sus aspectos, porque la práctica establece mantener las concentraciones de cloro libre residual con valores de 0,1 - 0,4 mg/l (Cox, 1979).

- **Análisis del balance energético de la red**

El balance energético como un indicador del aprovechamiento del potencial instalado por la empresa sanitaria en el Sector, tiene su fundamento en concepciones de Diseño Optimo de las Redes y el cálculo de los costos de las mismas, a partir de la necesidad energética exigida por la volumetría de la arquitectura existente en la trama urbana. Incluye el análisis, factores de consumo energético similares al utilizado en redes de otros servicios para la determinación de los costos como aparece en expresión general (ecuación 2.10), fundamentado en el principio de conservación de la energía, la que tradicionalmente se asocia a los costos en estaciones de bombeo en fuentes, pero no asociada a la red de distribución.

Independientemente a que en la realidad consumos, presiones, dependen de las demandas en el horario del día, el análisis se realiza sobre la base de un flujo permanente, asociado a un instante de tiempo en el que se realiza la simulación, donde las velocidades en las redes y la energía (P) dependen de sus coordenadas en el espacio, asociadas a los conductos de la red principal y volumetría de la urbanización:

$$P = f x, y, z ; V = f x, y, z \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\frac{dPx}{dt} = 0 ; \frac{dPy}{dt} = 0 ; \frac{dPz}{dt} = 0 \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\frac{dvx}{dt} = 0 ; \frac{dvy}{dt} = 0 ; \frac{dvz}{dt} = 0 \dots\dots\dots (2.9)$$

Para el diagnóstico puede usarse la siguiente expresión cuantitativa general del costo de energía (Martínez Rodríguez, y otros, 2002):

$$Ke = CC2 * Ne_{j=1} Qj * Hj \dots\dots\dots (2.10)$$

Donde:

Ne = número de puntos de entrada a la red

Q_j = gasto en cada nudo de la red (m^3/s)

H_j = carga a presión que se entrega en cada nudo (m)

$CC2 = PKH * HORAS * G * RHO$

RHO = densidad del agua (t/m^3)

G = aceleración de la gravedad ($9.81 m/s^2$)

PKH = precio unitario del KW-h (pesos/kW-h)

HORAS = cantidad de horas de trabajo en el año

El programa ROKO, recomendado para el análisis de la eficiencia de la red, realiza la optimización en el diseño de nuevas zonas sin abastecimiento y de la red existente en una combinación de presiones fijas y presiones especiales declaradas en el diagnóstico.

En el análisis el sistema puede dar como resultado un exceso (E) de presión en un nodo de presión especial, y en otros nudos de la red, lo que es entendido como parte de la energía desaprovechada, igualmente que aquella consumida por la red en forma de pérdidas por fricción (Chiong Rojas, 1985). El diagnóstico o propuesta de solución de máximo aprovechamiento de la energía recibida por la red, viendo las redes de abastecimiento como una solución territorial, en correspondencia con el medio ambiente y el óptimo ordenamiento del suelo, permite conocer los beneficios en términos de una renovación urbana, y esta es la condición de potencialidad que se evaluará.

Por lo tanto, se entenderá en la tecnología propuesta como potencialidad de la red, la eficiencia a partir de la energía requerida por la tipología de la vivienda actual en el Sector estudiado y la presión recibida de la Red como:

$$Efic = \frac{Eu}{Er} \dots\dots\dots(2.11)$$

Donde:

E_U = Energía útil entregada por la red (KW)

E_R = Energía recibe de una fuente potencial (KW)

Para su interpretación debe entenderse en la ecuación (2.10) que la energía es proporcional a QH o q_1H_1 , y que en todos los nudos de la red principal de la zona se producen entregas, siendo Q y q_1 , los caudales que entrega en los puntos o transitan por las tuberías y el que recibe la red en el nodo de entrada respectivamente. Según el principio de conservación de la energía, deberá cumplirse que la energía recibida y la entregada por la red será igual a la energía consumida por ella.

Por estas razones, el uso del ROKO potencia los análisis de las redes al entregar los resultados energéticos que se omiten internacionalmente al facilitar el balance:

a) *Energía recibida = Energía entregada + Energía consumida*

$$q_1H_1 = N \sum_{j=2} Q_j * H_j + N \sum_{i=1} Q_i * h_{fi} \dots\dots\dots (2.12)$$

Donde:

N_f = número de puntos de entrega en la red

N_i = número de tramos en la red

Q_j = gasto en cada nudo de entrega en la red (m³/s)

H_j = carga a presión que se entrega en cada nudo (m)

Q_i = gasto por tramos de la red (m³/s)

h_{fi} = pérdidas de carga en el tramo (m)

q_1H_1 = energía recibida por la red (Kw)

b) *Energía útil entregada*

Aquella que se cumple en el punto crítico donde debe garantizarse la presión mínima para la urbanización en estudio:

$$H_i = p_i + z_i \dots \dots \dots (2.13)$$

Donde:

H_i = carga total en el nudo i (m)

p_i = carga a presión requerida en el nudo i (m)

z_i = carga de elevación respecto al plano de referencia (n.m.m)

$$Efici = \frac{Q_p \text{ crítico} (P_p \text{ crítico} + Z_p \text{ crítico})}{q_1 H_1} = 1 - N_{f_j=2} Q_j * H_j + N_{i=1} Q_i * h_{fi} \dots \dots (2.14)$$

La combinación del uso del ROKO y EPANET permiten la evaluación de la red de distribución, sobre la base de cinco criterios: las presiones de trabajo e incendio, la eficiencia energética, el análisis del cloro residual, la dureza total y la distribución espacial de todos los criterios, aspectos a evaluar según valores de la Tabla 2.2.

2.4.2 Fase II: Programa de Desarrollo. Homogenización de los resultados

En esta investigación se hace un planteamiento multicriterio para la Fase II, que puede combinar razones técnicas, económicas, hidráulicas y heurísticas, demostrando la utilidad que representa implantarse como tecnología preliminar, para el entendimiento espacial del problema y el mejoramiento de la toma de decisión.

2.4.2.1 Aplicación del Método de los Índices Variables o Taxonómico

Braga(2017) buscando unificar la naturaleza de los descriptores primarios aplicados en la Fase I, introdujo el descriptor Índice de Potencialidad como indicador técnico ambiental, estableciendo una categoría en función de sus resultados para la evaluación global del SAAU, en correspondencia con los aspectos cuantitativos y cualitativos determinados en la Fase I (ver 2.4.1), los que serán usados por el autor en este trabajo para pueblos de 3er orden, por las ventajas que garantiza en la definición de inversiones.

- **Criterios y definición del Índice de Potencialidad**

La toma de decisión se ha considerado como una *Política Activa*, de actuación previa al fallo bajo consideraciones técnicas, no como *Política Reactiva* donde se espera a que se produzca la rotura o el colapso de alguno de los componentes, condensando en el Índice de Potencialidad criterios con basamento técnico y aspectos administrativos como:

1. Grado de Potencialidad de los componentes del SAAS
2. Dureza Total del agua en fuentes y red de distribución
3. Cloro Residual en la red
4. Presión de trabajo disponible en la red
5. Presión contra incendio garantizada, estado de la red
6. Eficiencia energética de la red

Tabla 2.2- Valores propuestos para Índice de Potencialidad en Redes de Distribución.

Grados Potencialidad (%)	Calidad (mg/L)		Índice de Potencialidad	
	Dureza Total	Cloro Residual		
$POT \geq 80$	17,1 - 60	0,3 - 0,4	5	Excelente
$50 \leq POT < 80$	60 - 120	0,2 - 0,3	4	Muy Bueno
$20 \leq POT < 50$	120 - 180	0,1 - 0,2	3	Bueno
$0 \leq POT < 20$	180 - 250	>4	2	Regular
$-50 < POT < 0$	>250	< 0,1	1	Malo
<i>Nota: Usar columna 1 para indicadores no especificados</i>				
Eficiencia energética (%)	Presiones		Índice de Potencialidad	
	Trabajo	Incendio		
$Ef \geq 80$	$30 \leq P < 50$	$25 \leq P < 50$	5	Excelente
$50 \leq Ef < 80$	$25 \leq P < 30$	$20 \leq P < 25$	4	Muy Bueno
$20 \leq Ef < 50$	$20 \leq P < 25$	$14 \leq P < 20$	3	Bueno
$0 \leq Ef < 20$	$14 \leq P < 20$	$7 \leq P < 14$	2	Regular
$-50 < Ef < 0$	$0 \leq P < 14$	$0 \leq P < 7$	1	Malo

Fuente: Braga (2017)

- **Principios generales para la aplicación del Método de los Índices Variables o Taxonómico**

“El Método de los Índices Variables”, también conocido como “Método Taxonómico” (Celis, y otros, 1971), es una técnica de análisis multicriterio aplicada en la definición de unidades geográficas homogéneas en los estudios de planeamiento regional, se aplica eligiendo los índices ponderados de las variables analizadas por zonas para reflejar las condiciones de cada componente, y definir el número de zonas y regiones.

En el estudio de los sistemas de abastecimiento de agua no había sido utilizado en pueblos de 3er Orden, por lo que se aplica por el autor, en este caso a un SAAS en un asentamiento con esta categoría, determinando los índices normalizados proporcionales a cada etapa y en su conjunto en el SAAS, aprovechando las oportunidades de este método lógico para tener un criterio de comparación de categorías, a diferencia del empirismo actual (Herrera López, 2016).

Aplicado a una región con varios pueblos de 3er orden, se considerarían (n) SAAS de base, y los componentes Captaciones, Conducciones, Depósitos para Etapa de Producción y estado de Redes, Cobertura, Dotación, Conducciones y Aducciones, Presiones de Servicio, Calidad del agua, Eficiencia energética para la Etapa de Distribución. Se calcula el peso de los *Índices de Potencialidad* correspondiente a cada componente de las unidades geográficas consideradas (pueblos de la zona), se determinan las matrices normalizadas, las matrices consolidadas y luego se definen los límites de agregación a las unidades geográficas de base en función de las categorías establecidas en Tabla 2.2, se evalúa el componente, sistema, o conjunto de pueblos a la categoría más cercana, a partir de las formulaciones teóricas del método matemático estadístico seleccionado:

$$X_{IJ} = \frac{X_{ij} - X_j}{S_j} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$S_j = \frac{1}{n} \sum_i X_{ij} - X_j^{2^{1/2}} \dots\dots\dots (2.16)$$

Donde:

X_{IJ} = Valor normalizado de la característica j en la zona i

X_{ij} = Valor absoluto de la característica j en la zona i

X_j = Valor medio de la característica j

S_j = Desviación standard de todas las unidades geográficas

Paso 1

Elaboración de Matriz Base con índice de Potencialidad por componente por fila y total

<i>Unidad Geográfica</i>	<i>Componente 1</i>	<i>Componente 2</i>	<i>Componente 3</i>	<i>Componente m</i>	<i>Total</i>
<i>Pueblo 1</i>	IP_{C1}^1	IP_{C2}^1	IP_{C3}^1	IP_{Cm}^1	IP_{Ct}^1
<i>Pueblo 2</i>	IP_{C1}^2	IP_{C2}^2	IP_{C3}^2	IP_{Cm}^2	IP_{Ct}^2
<i>n</i>	IP_{C1}^n	IP_{C2}^n	IP_{C3}^n	IP_{Cm}^n	IP_{Ct}^n

IP_{Cj}^i : Valor del Índice de Potencialidad del componente j en el pueblo i

IP_{Ct}^i : Σ Valor del Índice de Potencialidad de la fila

Paso 2

Cálculo del peso del Índice de Potencialidad (IP) en el pueblo n

$$\frac{IP_{C1}^n}{IP_{Ct}^n} = P_{C1}^n ; \frac{IP_{C2}^n}{IP_{Ct}^n} = P_{C2}^n ; \frac{IP_{C3}^n}{IP_{Ct}^n} = P_{C3}^n ; \frac{IP_{Cm}^n}{IP_{Ct}^n} = P_{Cm}^n \dots\dots\dots (2.17)$$

P_{Cn}^n : Coeficiente de ponderación que resulta diferente para cada pueblo y componente

Paso 3

Elaboración de Matriz Normalizada con índice de Potencialidad por componente por pueblo obtenida colocando el valor del Índice de Potencialidad según su coeficiente:

$$W_{ij} = (P_{Cn}^n) * IP_{Cn}^n \dots\dots\dots (2.18)$$

<i>Unidad Geográfica</i>	<i>Componente 1</i>	<i>Componente 2</i>	<i>Componente 3</i>	<i>Componente m</i>
<i>Pueblo 1</i>	W_{11}	W_{12}	W_{13}	W_{1n}
<i>Pueblo 2</i>	W_{21}	W_{22}	W_{23}	W_{2n}
<i>n</i>	W_{n1}	W_{n2}	W_{n3}	W_{nm}

Finalmente se obtiene la Matriz consolidada sumando los valores de las unidades geográficas o pueblo de operación de la matriz normalizada, que darán la categoría del pueblo. En el caso de valores límites entre dos categorías para su evaluación, se determina la media del pueblo contiguo, se calcula la desviación del valor límite con respecto a esa media calculada restándosele a la misma, y si es mínima esta desviación se aproxima al valor mayor.

$$Pueblo i = W_{i1} + W_{i2} + W_{i3} + W_{im} \dots\dots\dots (2.19)$$

2.4.2.2 Categorización del SAAS

La categorización del SAAS se realizará aplicando el procedimiento descrito a cada etapa, *Sistema de Producción y Sistema de Distribución*, en cada pueblo de la región por separado, en caso de disponerse de más de un SAAS, mediante la aplicación del Método (ver 2.4.2.1).

2.4.2.3 Definición de inversiones

Se define el programa de acciones, estableciendo las prioridades para el estado malo y regular, en ese orden, Índice de Potencialidad (IP) 1 y 2., definidos en el paso anterior pero aún sin pretender establecer prioridades dentro de ellas con esta tecnología.

2.4.3 Fase III: Soluciones. Propuestas de mejoramiento y Desarrollo

Todas las inversiones definidas en el programa de desarrollo de la Fase II conformarían un presupuesto estimativo, a discutir como una evaluación económica referencial.

La evaluación se realiza a partir de los déficit estimados en la Fase I y categorización en Fase II, utilizando indicadores económicos referentes (INRH, 2016) y valores de algunas actividades existentes en el PRECONS II, tomados de otros estudios disponibles.

2.4.3.1 Evaluación económica de las propuestas

La evaluación económica se considera deberá realizarse en tres partes, la que corresponde con los costos capitales del Sistema de Producción, Sistema de Distribución y los gastos anuales en correspondencia con el crecimiento del valor del dinero en el tiempo. Esto significa el análisis de la inversión capitalizada o anualizada:

$$I = \sum_{i=1}^n CSP + \sum_{i=1}^m CSD \dots\dots\dots (2.20)$$

Donde:

CSP: Costos de los n componentes del sistema de producción a renovar (pesos)

CSD: Costos de los m componentes del sistema de distribución a renovar (pesos)

El costo (K) de inversión por unidad de longitud de una tubería, en el caso de las redes principales calculadas por el programa ROKO, se expresa (en pesos/m) y se calcula a través de la fórmula (2.21), teniéndose en cuenta todo el costo de tubería hasta su colocación final, se toma como base costos de construcción por diámetros (INRH, 2016).

$$K = CC1 * DIAM^{AM} \dots\dots\dots (2.21)$$

Donde:

CC1: Coeficiente obtenido mediante ajuste empírico de los diámetros y costos unitarios disponibles

AM: Exponente obtenido mediante ajuste empírico de los diámetros y costos unitarios disponibles

DIAM: Diámetro de la tubería en (m)

Para la determinación de los costos de las redes secundarias, definidas las cantidades por reemplazo y refuerzo, se utilizan los índices de costos de construcción de diámetro 110 mm (INRH, 2016). Igualmente, se procede para los costos de las conducciones y aducciones, obras de captación, centros de distribución, tanques apoyados.

Para la homogenización de los costos se anualiza la inversión en el corto plazo y en el período de vida útil de la obra, medido a partir del año cero, lo que facilita la comparación de alternativas sobre la base del valor del m³ de agua producido.

El costo anualizado (K_a) se determina multiplicando el valor total de la inversión (I) por el factor de anualización (FNU) (Martínez Rodríguez, 2000) según la expresión siguiente:

$$K_a = FNU * I \dots\dots\dots (2.22)$$

Donde:

$$FNU = \frac{a}{p} = \text{anualidad de un valor presente}$$

El cálculo del Costo Anualizado Total (CAT) se realiza sobre los criterios básicos de Matemática financiera, por la siguiente expresión:

$$CAT = FNU * I + a \dots\dots\dots (2.23)$$

2.4.3.2 Cronograma de ejecución de propuestas

Realizada la evaluación económica del SAAS o SAAU, se revisan las necesidades del contexto regional, donde se encuentra enclavado el sistema de abastecimiento, y se compatibilizan las inversiones de zonas contiguas, analizándose las posibilidades de compensación de gastos con obras que permitan la redundancia de la red externa y la solución combinada con zonas que potencien el desarrollo concéntrico de la ciudad, de forma que se posterguen obras de menor importancia y se decidan obras de beneficios integrados. El cronograma de obras puede estar soportado en Microsoft Project u otro software de administración similar.

2.4.3.3 Elaboración de los Modelos Gráficos Sintetizados Resumen

Los "Modelos Gráficos Sintetizados" son un complemento gráfico de todo el análisis de las fases de la tecnología propuesta, donde se representa la zona de operación, las características en general de los componentes y el sistema. Es un procedimiento ordenado, que identifica problemas y soluciones de forma simplificada. El autor, utiliza el procedimiento dentro de un formato estandarizado, donde se combinan colores y esquemas que distorsionan las dimensiones reales de

las obras y definen el estado del elemento evaluado de forma independiente, muy práctica para la protección de informaciones comerciales y la explicación breve ante personal no especializado. Su ventaja con relación a los planos de proyectos de detalle, es la ilustración gráfica de las dificultades, y la presentación de la síntesis de la problemática a directivos, funcionarios de gobierno, y otras instancias de menor especialización también involucradas.

2.5 Conclusiones parciales

Una vez planteado el procedimiento de la Tecnología para el Diagnóstico de SAAS en Pueblos de 3ER Orden y cumplir con los objetivos de obtener un instrumento técnico que fundamente las decisiones, alerte oportunamente y de forma planificada la acción se puede concluir que:

1. La aplicación de la tecnología propuesta, mejora su contribución desde el punto de vista metodológico en la definición preliminar de inversiones en la fase de oportunidades del proceso inversionista al facilitar la dispersión y homogenización de los problemas.
2. Es imprescindible disponer de información veraz de los sistemas en explotación para definir las acciones concretas y los montos involucrados.
3. La tecnología propuesta contribuye a una categorización cualitativa integral en Pueblos de 3ER Orden, identificativa de todo el SAAS, facilitando un instrumento práctico, que potencia el proceso inversionista para estos pueblos, en ocasiones subestimados sus impactos.
4. La introducción del análisis energético de la red en el procedimiento facilita el diseño urbano sobre bases óptimas de aprovechamiento del suelo y la protección de los Derechos de Agua.

CAPÍTULO 3: “APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE DIAGNÓSTICO AL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL ASENTAMIENTO SAN MIGUEL DE LOS BAÑOS, MATANZAS, CUBA”.

3.1 Generalidades

En el presente capítulo se aplica la tecnología de diagnóstico y desarrollo de los SAAS, propuesta como método en el Capítulo 2, al sistema de abastecimiento de agua en el Pueblo de 3er Orden San Miguel de los Baños. El análisis se realiza sobre los componentes para el año cero, año 2019, para un período de cuatro años, el año 2023 y un período de largo plazo correspondiente al período de vida útil del sistema 30 años, año 2049., expresándose sus resultados mediante tablas resúmenes, gráficos y los Gráficos Sintetizados Resumen que se adjuntan en los Anexos.

3.2 Análisis de la prestación del servicio

3.2 .1 Fase I: Pre –factibilidad. Diagnóstico de la infraestructura operacional

El pueblo de 3er Orden San Miguel de los Baños en el año 2019 posee 984 unidades de alojamiento (viviendas), 1 policlínico, 1 escuela primaria, 1 escuela secundaria y 1 pre- universitario, satisfaciendo los servicios de electricidad en un 99.8%, de acueducto en un 87.8% y el tratamiento de residuales se realiza mediante fosas (ONE, 2017). La red del SAAS está compuesta por 2 circuitos principales unidos a la maestra de entrega.

En los recorridos por diferentes zonas del pueblo se detectaron pequeños salideros y encharcamientos, principalmente en la Avenida Héctor Pagés de la zona Matadero, Pasaje 13B en zona Hatillo, donde las conexiones hidráulicas son precarias. Los trabajadores de la Empresa de Acueducto plantean tener las mayores dificultades de servicio en el tanque apoyado localizado en la denominada Fuente Nueva, y en el barrio ubicado al Este del pueblo donde el servicio es insuficiente, debiéndose realizar el suministro a los pobladores mediante pipas, eventos que podrán apreciarse en los resultados de los programas Roko y Epanet (Anexo 3.17 y 3.18).

Para la definición de las potencialidades del SAAS del Pueblo de 3er Orden San Miguel de los Baños en los años 2019, 2023 y 2049 se aplicará la tecnología de diagnóstico infraestructura en la Etapa de Producción y Etapa de Distribución del sistema, la cual permite a través de los indicadores

técnico ambientales grados de satisfacción, explotación y potencialidad, expresar los resultados según informaciones disponibles (Anexos 3.3 a 3.18).

3.2.1.1 Ubicación del sistema en el contexto regional

La localidad de San Miguel de los Baños está ubicada en la porción Este de la región físico-geográfica de las Alturas Bejucal-Madruga-Coliseo, abarca la casi totalidad del Consejo Popular del mismo nombre en el municipio de Jovellanos y comprende un área de aproximadamente 24 Km² Distanciado a 141 km de la capital provincial, en las coordenadas 22°51'12.69" N, 81°19'59.17" W. El asentamiento perteneciente al municipio de Jovellanos, ubicado a 7 km al Sur de la Carretera Central, se caracteriza por disponer de yacimientos de aguas subterráneas con grandes propiedades medicinales lo que propició el desarrollo económico local entre los años 1920 y 1929, con la construcción de tres hoteles y un balneario de alta demanda internacional. (Anoyvega Mora)

- **Condiciones naturales y medio ambiente**

Relieve: Un relieve de alturas heterogéneas, donde armonizan y contrastan los elementos morfoestructurales y morfoesculturales cuyo punto culminante se encuentra en la loma de Jacán con 317m sobre el nivel medio del mar, circundan un valle central cuyo desarrollo fluvial está constituido por un sistema de cañadas y corrientes tributarias al arroyo Biajaca y el río Copey. Localizándose en la subregión Bejucal- Madruga-Coliseo con colinas que no rebasan los 200 metros sobre el nivel del mar y donde predominan las rocas magmas y calizas. (Anoyvega Mora)

Suelos: La diferenciación de los suelos es significativa a pesar de su pequeña extensión, se encuentran ocho tipos y 11 subtipos de suelos cuyas características generales corresponden a los diferentes procesos de formación de suelo a partir de la litología subyacente. Ferralíticos Rojos. La superficie agrícola representa un 78.5% y la no Agrícola un 21.5%. Los suelos del valle son rocosos, los existentes al norte y al nordeste son los calcáreos, al este predominan serpentininas y la hepatitis roja, pero también se encuentran potasa y vestigios de hierro cromado (Anoyvega Mora)

Geología: Presencia de secuencia serpentinitico – ultrabásicas y clásticos – vulcanógenas. Entre ellas, la de mayor interés es la Formación Chrino del Cretácico Inferior Albiano- Cenomaniano.

Las listvanitas aparecen en toda la zona de contacto entre las rocas ultrabásicas y las rocas vulcanógeno- sedimentarias, afectando el complejo rocoso. (Gonzales Rodríguez, 2015)

Hidrogeología: Por el Sur se encuentra el parte agua de la provincia encargado de que no ocurran inundaciones, por el Norte la cuenca M-IV-1, por el Oeste la M-I, M-II-1, M-II-2, donde se localiza la Fuente Nueva en la cual se centrará estudio. (Sánchez, 2019)

Tabla 3.1- Datos del Tramo Hidrológico M-II-2

<i>COORDENADAS</i>		<i>Lluvias Anuales a Diferentes Probabilidades</i>			
<i>353.00-366.00 N 448.0-468.50 E</i>	<i>Probabilidades</i>	<i>50%</i>	<i>75%</i>	<i>95%</i>	
	<i>Lluvias (mm)</i>	<i>1326</i>	<i>1185</i>	<i>1024</i>	
<i>Extensión Superficial (km²)</i>	<i>Total</i>	<i>Poco acuifera</i>	<i>Salina</i>	<i>Acuífera</i>	
	<i>168</i>	<i>25</i>	<i>42</i>	<i>101</i>	
	<i>100%</i>	<i>14.88</i>	<i>25</i>	<i>60.12</i>	
<i>Recursos Disponibles Hm³ / Año</i>			<i>Recursos Explotables Hm³ / Año</i>		
<i>50%</i>	<i>75%</i>	<i>95%</i>	<i>50%</i>	<i>75%</i>	<i>95%</i>
<i>15.28</i>	<i>13.29</i>	<i>10.24</i>	<i>13.75</i>	<i>11.96</i>	<i>9.21</i>

Fuente: INRH (2019).

Escenario económico regional: En la década del 60 se promueve una política económica de transformaciones en plan de desarrollo forestal aprovechando las potencialidades topográficas y de los suelos. Consecuentemente se implanta una nueva infraestructura técnico-material y económica por la Empresa Forestal Integral Matanzas, así como un programa de inversiones como base para desarrollar la actividad silvícola en la localidad resultando éste el punto de partida de otra alternativa económica para la localidad de San Miguel de los Baños. Otro rubro económico resulta la actividad agropecuaria fundamentalmente del sector cooperativo y privado destinado al autoconsumo. En menor escala se pueden señalar otras actividades productivas y de servicios que complementan la economía local.

3.2.1.2 Consumidores, demanda de agua y derechos

La fuente "Nueva" poseen en el 2019 los siguientes derechos de agua (ver Anexo 3.10).

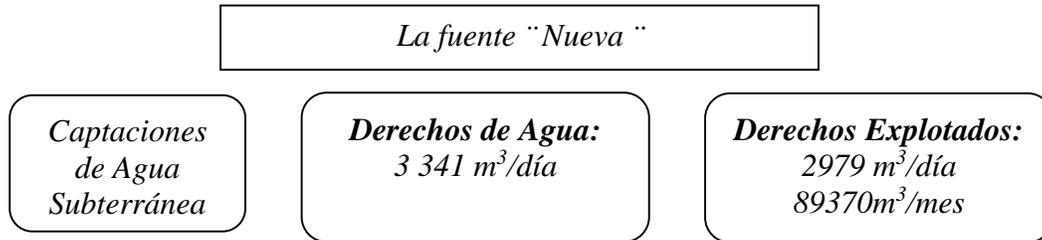


Fig. 3.1 Derechos de agua

- **Consumidores**

Los consumidores considerados en el estudio del año base 2019, el año 2023 y el período de diseño 2049, corresponden con el escenario actual de los límites operacionales del acueducto del pueblo se San Miguel de los Baños.

El autor procesa los valores de población (ONE, 2017) del período 2007 al 2018 y estima la tasa de crecimiento y la población de diseño por un despeje de la fórmula del interés compuesto (ecuación 2.1) para cada período según se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2-Población y tasas de crecimiento en pueblo de San Miguel de los Baños.

Años	Población (habitantes)	Tasa de crecimiento
2007	2917	
2015	3350	0.017451
2016	3358	0.002388
2017	2374	-0.293031
2018	3387	0.426705
<i>Promedio ciudad</i>		0.0383783
<i>Promedio por municipios</i>		0,0059
<i>Promedio general 2007-2018</i>		0.022139

Como basamento para las estimaciones para el planeamiento preliminar de las obras, se decide, determinar la población del 2019 utilizando el promedio de la ciudad (tabla 3.2) definido para el período de 2007 y 2018 (tasa de $r = 0.038$) y para los años 2023 y 2049 se decide el promedio

resultante entre la tasa de la ciudad y por municipios de la provincia, ($r = 0.022$), asumidas como válidas a los efectos del estudio dadas las indefiniciones en la base económica de los próximos años

Demanda de agua para población

La demanda de agua fue calculada utilizando la (ONN:NC973, 2013), y en el caso de los caudales concentrados de todas las instalaciones existentes dentro del área beneficiada en el año 2019, 2023 y 2049, definidas por el autor para esta investigación, como elemento básico para los análisis subsiguientes como se muestra en la Tabla 3.3. se utilizó la Resolución 45-1 del INRH.

Tabla 3.3 Consumidores y demandas teóricas del pueblo de San Miguel de los Baños.

<i>Zona</i>	<i>Consumidores (habitantes)</i>			<i>Demanda (Qprom.) (m³/día)</i>		
	<i>2019</i>	<i>2023</i>	<i>2049</i>	<i>2019</i>	<i>2023</i>	<i>2049</i>
<i>Medio del Pueblo</i>	<i>468</i>	<i>511</i>	<i>484</i>	<i>345</i>	<i>318</i>	<i>14604</i>
<i>Jacán</i>	<i>876</i>	<i>958</i>	<i>4687</i>	<i>636</i>	<i>601</i>	<i>2944</i>
<i>Circulo Infantil</i>	<i>771</i>	<i>832</i>	<i>775</i>	<i>531</i>	<i>513</i>	<i>535</i>
<i>Matadero</i>	<i>266</i>	<i>291</i>	<i>269</i>	<i>162</i>	<i>176</i>	<i>162</i>
<i>Fin del Siglo</i>	<i>682</i>	<i>748</i>	<i>694</i>	<i>434</i>	<i>459</i>	<i>443</i>
<i>Hatillo</i>	<i>453</i>	<i>496</i>	<i>460</i>	<i>274</i>	<i>299</i>	<i>279</i>
<i>Total</i>	<i>3516</i>	<i>3836</i>	<i>7369</i>	<i>2382</i>	<i>2366</i>	<i>18967</i>

Fuente: Elaborada por el autor.

- **Dotación media del Pueblo de San Miguel de los Baños**

Como dotación de diseño y revisión del pueblo San Miguel de los Baños en los horizontes temporales 2023 y 2049 se consideran 210 lppd según (ONN:NC973, 2013) para el rango de población correspondiente, proyectándose un 100% de cobertura, mientras que para el año actual se analizaron las condiciones existentes con un 87.8% de cobertura. En el año actual 2019 se determinó la dotación según el régimen de operación del pueblo (Quintana, 2019) obteniéndose dotaciones superiores a la necesaria (Anexo 3.8).

Tabla 3.4-Dotación media en el pueblo de San Miguel de los Baños.

Zonas	Dotación 2019 (lppd)	Dotación 2023 (lppd)	Dotación 2049 (lppd)	Cobertura %
Medio del Pueblo	735	210	210	87.8
Circulo Infantil	735	210	210	87.8
Hatillo	735	210	210	87.8
Fin del Siglo	735	210	210	87.8
Jacán	735	210	210	87.8
Matadero	735	210	210	87.8

Fuente: Elaborada por el autor.

- **Estadísticas de la producción de agua en el año base (2019)**

Para el análisis estadístico se toma como muestra la producción de agua desde el año 2013 al 2019 (EAALM, 2019), estimándose los valores medios correspondientes a la media acotada, máximo, mínimo, la desviación estándar, el intervalo de confiabilidad y el coeficiente de variación del conjunto de datos analizados, datos que se muestran en la Tabla 3.5, y facilitan comprender las tendencias de la producción de agua en el SAAS

Tabla 3.5-Analisis estadístico de la producción.

Meses	Producción de agua desde el año 2013 al 2019						
	X	S	MAX	MIN	IC	PROB	CV
Enero	75.218	4667.87	86.474	74.555	1610.93	1	6
Febrero	70.204	4356.59	80.709	69.585	1503.53	1	6
Marzo	77.725	4823.37	89.356	77.040	1664.62	1	6
Abril	75.218	4667.87	86.474	74.555	1610.96	1	6
Mayo	77.75	4823.37	89.356	77.040	1664.62	1	6
Junio	75.218	4667.87	86.474	74.555	1610.96	1	6
Julio	77.725	4823.37	89.356	77.040	1664.62	1	6
Agosto	77.725	4823.37	89.356	77.040	1664.62	1	6
Septiembre	75.218	4667.87	86.474	74.555	1610.96	1	6
Octubre	77.725	4823.37	89.356	77.040	1664.62	1	6
Noviembre	75.218	4667.87	86.474	74.555	1610.96	1	6
Diciembre	75.218	4667.87	86.474	74.555	1610.96	1	6
Total Anual	912.647		1,049,215	904,600			

Fuente: Elaborado por el autor.

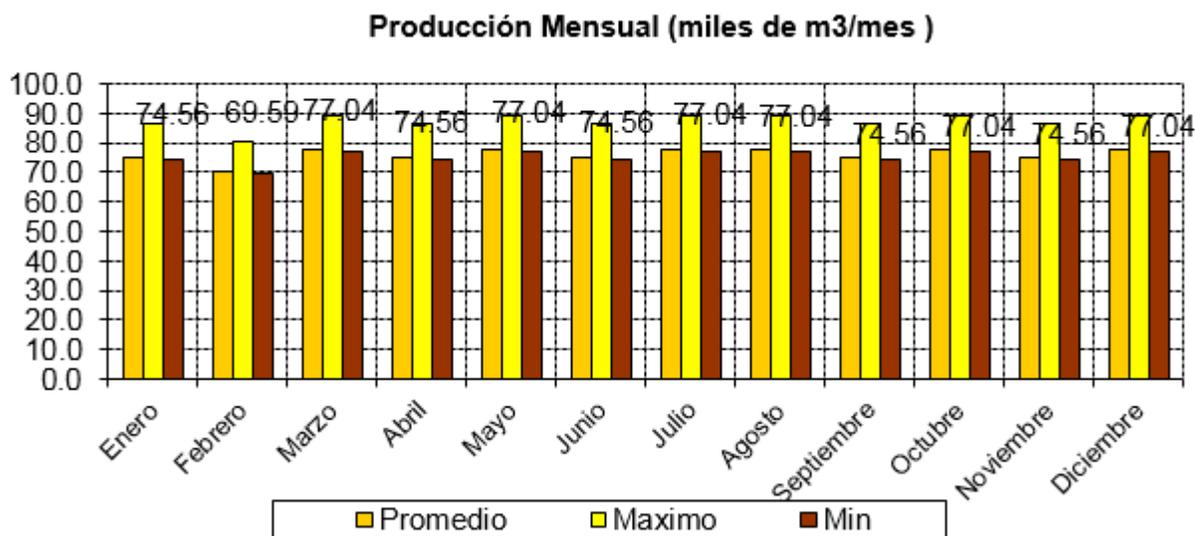


Fig. 3.2 Comportamiento mensual de la producción.

La Tabla 3.6.1 y 3.6.2 muestra la producción por meses estimada según el análisis estadístico teniendo en cuenta la producción de agua desde el 2013 hasta el 2019 y los requisitos de la norma (ONN:NC973, 2013)

Tabla 3.6.1-Producción y demanda media considerada (Enero - Septiembre).

Meses	Producción Considerada			Demanda Considerada		
	Promedio			Promedio		
	m ³ /mes	m ³ /día	Lts/seg (24 h)	m ³ /mes	m ³ /día	Lts/seg (24 h)
Enero	75.218	2507	53.36	21.491	716	15.24
Febrero	70.204	2507	53.36	20.058	716	15.24
Marzo	77.725	2507	53.36	22.207	716	15.24
Abril	75.218	2507	53.36	21.491	716	15.24
Mayo	77.725	2507	53.36	22.207	716	15.24
Junio	75.218	2507	53.36	21.491	716	15.24
Julio	77.725	2507	53.36	22.207	716	15.24
Agosto	77.725	2507	53.36	22.207	716	15.24
Septiembre	77.218	2507	53.36	21.491	716	15.24

Tabla 3.6.2-Producción y demanda media considerada (Octubre - Diciembre).

<i>Octubre</i>	<i>77.725</i>	<i>2507</i>	<i>53.36</i>	<i>22.207</i>	<i>716</i>	<i>15.24</i>
<i>Noviembre</i>	<i>75.218</i>	<i>2507</i>	<i>53.36</i>	<i>21.491</i>	<i>716</i>	<i>15.24</i>
<i>Diciembre</i>	<i>77.725</i>	<i>2507</i>	<i>53.36</i>	<i>22.207</i>	<i>716</i>	<i>15.24</i>
<i>VALOR.MIN</i>	<i>69.585</i>	<i>2320</i>	<i>36.89</i>	<i>18.881</i>	<i>633</i>	<i>14.11</i>
<i>VALOR.PROM</i>	<i>76.054</i>	<i>2535</i>	<i>40.31</i>	<i>21.730</i>	<i>724</i>	<i>15.41</i>
<i>VALOR.MAX</i>	<i>89.356</i>	<i>2979</i>	<i>47.37</i>	<i>25.530</i>	<i>851</i>	<i>18.11</i>
<i>Coef.Irreg.Diaria</i>	<i>1.2</i>					
<i>Coef.Irreg.Horaria</i>	<i>3,34</i>					

Fuente: Elaborado por el autor.

El análisis de las tablas de producción y los gráficos de la Fig. 3.3 muestran los valores bombeados y las demandas el esfuerzo que tiene que ser realizado por los funcionarios para lograr una cobertura del 87.8% (ONE, 2017), tratando de mantener los parámetros de calidad y consumo en atención a volúmenes de fuga producidos y poca aplicación de nuevas tecnologías. Los resultados estadísticos son significativos, pues las pérdidas son del 39.19% (Anexo 3.10), muy cercanos a la realidad, se conoce que países con baja tecnología, tienen pérdidas del Primer Grupo del orden del 15 - 30% y las del Segundo Grupo del 35 - 50% (Mirashiisky, y otros, 1987).

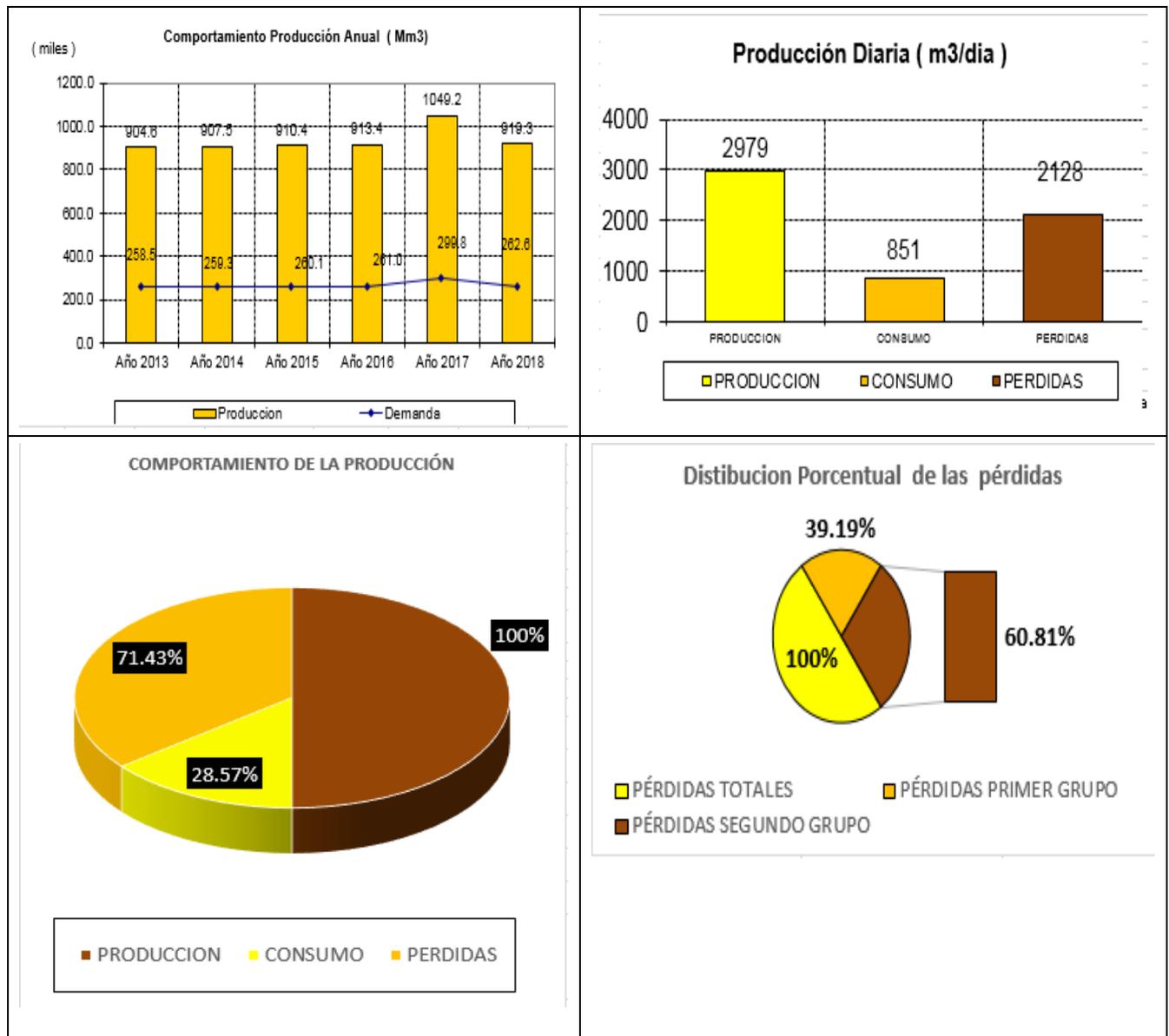


Fig. 3.3 Auditoría hídrica elaborada por el tutor.

3.2.1.3 Definición del modelo del SAAS para el análisis

El modelo escogido para la realización del estudio es el que corresponde con la figura 3.4 coincidente con un sistema abastecido por fuentes de agua subterránea y una zona de operación.

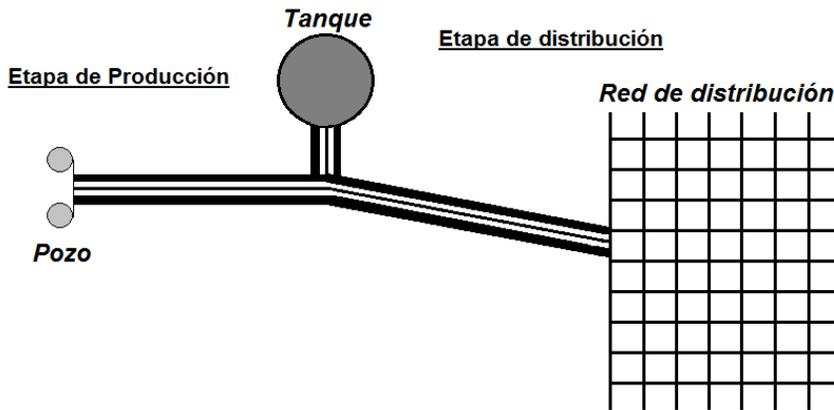


Figura 3.4 - Fuente: Modelo propuesto por el autor.

3.2.1.4 Cálculo de la potencialidad del Sistema o Etapa de Producción

Para el análisis del estado operacional de los componentes de esta etapa se utilizó la información disponible sobre la infraestructura técnica (EAALM, 2019), valores de la calidad del agua (INRH, 2019) los que se comparan con el Límite máximo admisible (LMA) según (ONN:NC827, 2012), las entregas de agua, los depósitos y se calcularon los tres descriptores primarios: Satisfacción, Explotación y Potencialidad para la evaluación (ver 2.4.1.4).

- **Análisis de la calidad del agua del Sistema de Producción**

Tabla 3.7 Análisis Físico-Químico del agua en las fuentes.

Origen	pH	Dureza. Total	Alcal. Total	Cloruros	O Disuelto.	NO ₂	Color	Turbid.	NO ₃
	u	mg/CaCO ₃	mg/CaCO ₃	mg/l	mg/l	mg/l	-	-	mg/l
Fuente	7.52	350	255	18	6	0.01	0	0.05	20

Fuente: INRH (2019).

De la Tabla 3.7, puede evaluarse las aguas del SAAS desde el punto de vista de las características físico-químicas que pueden afectar las propiedades organolépticas del agua potable y de los

componentes orgánicos e inorgánicos que influyen sobre la salud, como de excelente calidad, dado a que en todos los casos las concentraciones no pasan del Límite Máximo Admisible (LMA).

Desde el punto de vista de la Dureza total, aunque cumple con la Norma Cubana (ONN:NC827, 2012) internacionalmente, las aguas se clasifican como EXTRADURAS (HELVEXCUBA, 2013), y a los efectos del estudio por considerarlas de alto impacto en el deterioro de las redes y la desprotección de los ecosistemas de agua dulce, como agua de Categoría Mala, (Sánchez Falcón, 2016) y sin potencialidad (SP) ver Anexo 3.11.

Los nitratos (NO₃) aunque están dentro del LMA es significativa, aunque no alarmante la concentración por su vinculación con la contaminación orgánica debiéndose revisar los tratamientos de residuales y actividades de las instalaciones especiales de la zona.

- **Diagnóstico de las obras de captación**

El diagnóstico de las obras de captación consistió en la evaluación de los caudales entregados por las fuentes, según el régimen de explotación actual en el horario: 06:00AM – 05:00PM para la fuente “Nueva” con intervalos de 2 horas y explotación de 2260.46m³/día mediante la conductora existente con capacidad para 40 L/s y entrega de 44.85 L/s y en la fuente de “Hatillo” de 06:00AM-02:00 sin interrupción, donde se explotan 582.51m³/día, considerando que la conductora existente tiene capacidad para 18 L/s y entrega 22.79 L/s, atendiendo a datos de aforo de los pozos (Quintana, 2019)

Evaluación de las fuentes de abastecimiento

Tabla 3.8 Potencialidad de las fuentes

Año	Caudales			Grados (%)			Evaluación	IP
	<i>Q_{ent}</i> m ³ /día	<i>Q_{cap}</i> m ³ /día	<i>Q_{nec}</i> m ³ /día	<i>SATISF</i>	<i>EXPLOT</i>	<i>POT</i>		
2019	2843	3341	1280	222.03	85.10	160.91	CP	5
2023	2843	3341	1388	204.759	85.10	140.61	CP	5
2049	2843	3341	3426	82.99	85.10	-2.48	SP	2

Fuente: Elaborado por el autor.

En todos los casos se analiza la potencialidad con las dos fuentes trabajando, no obstante, la fuente “Nueva “sería suficiente para el abastecimiento hasta el año 2023. Según el autor de cumplirse el desarrollo turístico considerado en este trabajo será necesario la investigación de nuevas alternativas de fuentes de abasto.

- **Evaluación de las conducciones**

Fueron evaluadas las conductoras de Hatillo y fuente Nueva considerando el trabajo independiente de cada una para responder la demanda del pueblo de 3 Orden San Miguel de los Baños apreciándose la sobreexplotación y potencialidad en los diferentes horizontes temporales (Tabla 3.9), (Ver Anexos 3.12 – 3.13)

Tabla 3.9 Potencialidad de la conductora.

<i>Potencialidad de la conducción</i>								
<i>Año</i>	<i>Desde</i>	<i>Hasta</i>	<i>Qcap</i>	<i>Grados (%)</i>			<i>Evaluación</i>	<i>IP</i>
			<i>L/s</i>	<i>SATISF</i>	<i>EXPLOT</i>	<i>POT</i>		
2019	<i>F. Nueva</i>	<i>Tanque</i>	33	303	136	123	<i>CP</i>	5
	<i>F.Hatillo</i>	<i>Tanque</i>	8	154	285	-46	<i>SP</i>	1
2023	<i>F. Nueva</i>	<i>Tanque</i>	33	279	136	105	<i>CP</i>	5
	<i>F.Hatillo</i>	<i>Tanque</i>	8	142	285	-50	<i>SP</i>	1
2049	<i>F. Nueva</i>	<i>Tanque</i>	25	113	179	-37	<i>SP</i>	1
	<i>F.Hatillo</i>	<i>Tanque</i>	5	57	456	-87	<i>SP</i>	1

Fuente: Elaborado por el autor.

- **Evaluación de los depósitos de almacenamiento de agua.**

El SAAS del pueblo de San Miguel de los Baños posee 2 tanques, uno de hormigón apoyado tipo cisterna prefabricado en la fuente Nueva de capacidad igual 700 m³ el cual se explota a plena capacidad pero sin potencialidad desde el punto de vista energético(no garantiza presiones mínimas en la red) con un estado técnico malo pues se aprecian muchas filtraciones elemento que puede constatarse en las humedades presentes por las uniones lo que obliga a su aprovechamiento durante la explotación de la fuente debido a su incapacidad para retener el volumen de agua necesario. Existe otro tanque elevado de hormigón de volumen igual a 95m³ en mal estado ubicado

entre la calle Francisco Mirabal y avenida 16 que se encuentra inhabilitado para el servicio por lo que no se tuvo en cuenta como capacidad disponible de almacenamiento (Tabla 3.10) y (Anexo 3.12).

Tabla 3.10 Potencialidad del depósito de almacenamiento de agua.

Año	Volúmenes				Grados (%)			Evaluación
	<i>Vexist</i> <i>m³</i>	<i>Vexplot</i> <i>m³</i>	<i>Vcap</i> <i>m³</i>	<i>Vnec</i> <i>m³</i>	<i>SATISF</i>	<i>EXPLOT</i>	<i>POT</i>	
2019	700	700	700	707	99	100	-1	SP
2023	700	700	700	761	92	100	-8	SP
2049	700	700	700	1354	52	100	-48	SP

Fuente: Elaboradas por el autor.

3.2.1.5 Cálculo de la Potencialidad del Sistema o Etapa de Distribución

- **Calidad del agua en la Red de distribución del Pueblo de San Miguel de los Baños**

Se analizaron las informaciones referentes a la potabilización de las aguas en la fuente (Sánchez, 2019) y se simuló la distribución teórica del cloro residual, siendo de categoría Mala en la totalidad de los puntos de distribución de la red. El Cloro Residual en la red, se simula con el software EPANET, adicionando 5 mg/L en el tanque durante 24 horas de servicio, obteniéndose valores menores de 0,1 y 0,2 mg/L en más del 90% de la red. (Anexo 3.15) por lo que se puede evaluar de Mala la red con respecto a la permanencia del cloro residual. Los datos referentes a Dureza total corresponden con simulación realizada a partir del dato de la fuente (INRH, 2019) categorizando las aguas en las redes como EXTRADURA (Anexo 3.14).

La calidad del agua desde el punto de vista bacteriológico es excelente con parámetros aceptables en todas las muestras de los años analizados (INRH, 2019), independientemente a los problemas de insatisfacción de la infraestructura.

- **Análisis del estado técnico de la red**

El estado técnico de la red muy antigua (1920), se evaluó de Mala (SP), se muestra su dispersión (Anexo 3.16), según criterios teóricos útiles para la fase (Ariza, y otros, 1980), (SISS, 2013):

- a) **Período de vida útil:** conductoras y redes de distribución 30 años; acometidas y otros accesorios 20 años.
- b) **Estado Técnico Bueno:** órganos con tiempo menor que el 50% de su vida útil o mayor pero que se le hayan realizado reparaciones capitales o rehabilitaciones. Conductoras y redes de distribución con menos de 15 años de explotación. Acometidas con menos de 10 años o aun teniendo más se le hayan realizado alguna reparación a más del 50% del sistema.
- c) **Estado Técnico Malo:** órganos con tiempo mayor que su periodo de vida útil o que tienen menor tiempo pero que la frecuencia de roturas los clasifica como no confiables. Conductoras y redes de distribución con más de 30 años o que teniendo menos tiempo la rotura afecta el servicio frecuentemente. Acometidas con más de 20 años o con tiempo menor y más del 50% requiere reparación.
- d) **Estado Técnico Regular:** órganos con tiempo mayor que el 50% de su vida útil o mayor pero que se le hayan realizado rehabilitación. Conductoras y redes de distribución con tiempo de explotación entre 15 y 30 años o con menos tiempo de uso, pero frecuentes roturas afectan el servicio. Acometidas con 10 y 20 años.

- **Análisis del balance energético de la red**

Se realiza el balance energético de la Red de Distribución actual del Pueblo San Miguel de los Baños, utilizándose los programas ROKO y EPANET, para las dos condiciones de presión mínima 0,14 MPa y 0,07 MPa, para servicio en zonas de una o dos plantas, y presión mínima contra incendio respectivamente (Anexo 3.17 y 3.18).

La simulación realizada demostró la incapacidad del tanque existente de en cuanto a suministro de presión requerida en algunas zonas, la respuesta a los requisitos contra incendio, el aprovechamiento de la energía disponible en la fuente de potencial energético y las distribuciones

de presiones para la tipología de vivienda predominante, demostrado con el 4% de eficiencia de la red que posee (Anexo 17).

Los criterios de potencialidad energética determinados mediante la aplicación de las expresiones (ecuación 2.14) del balance de energía en la red (Chiong Rojas, 1985), donde se introducen los datos resultantes de la simulación hidráulica, muestran los riesgos medioambientales desde el punto de vista tecnológico como aparece en Tabla 3.11.

Tabla 3.11 Análisis energético de la red Año 2019.

<i>Puntos Fijos</i>	<i>Kw/h-año</i>
<i>Energía recibida por la red</i>	<i>297764</i>
<i>Energía requerida</i>	<i>115.29</i>
<i>Energía Útil entregada</i>	<i>12513</i>
<i>Energía en exceso</i>	<i>85049</i>
<i>Eficiencia de la red (%)</i>	<i>4</i>
<i>Costo de energía desperdiciada (\$)</i>	<i>424729</i>

Fuente: Elaborado por el autor.

Con el programa ROKO, se define las condiciones de entrada a la red para asegurar la presión mínima en el Nudo 4, punto crítico, obligando a tener una huella energética hidráulica superior a 48.34 m para satisfacer esta condición y de 123.17 m para incendio (Anexo 3.41 y 3.37), corroborándose los problemas técnicos reales en la zona que la categorizan como Red Sobreexplotada (SE), y sin potencialidad (SP) por su baja Eficiencia del 4% (ver Tabla 3.12 y Anexos 3.16 – 3.18).

Tabla 3.12 Análisis de la potencialidad energética de la red Año 2019.

<i>Año</i>	<i>Cargas</i>			<i>Grados (%)</i>			<i>Evaluación</i>
	<i>Carga Requerida</i>	<i>Carga Instalada</i>	<i>Carga Explotada</i>	<i>SATISF</i>	<i>EXPLOTT</i>	<i>POT</i>	
	<i>(m)</i>	<i>(m)</i>	<i>(m)</i>				
<i>2019</i>	<i>115.29</i>	<i>115.52</i>	<i>159.86</i>	<i>138.66</i>	<i>138.38</i>	<i>0.20</i>	<i>SP</i>

Fuente: Elaborado por el autor.

3.2.2. Fase II: Programa de Desarrollo. Homogenización de los resultados

Conocido y analizado el estado técnico de los componentes del SAAS en la Fase I, se definieron en la fase II los valores del Índice de Potencialidad, como descriptor para facilitar la homogenización de los resultados, partiendo de la categorización del descriptor grado de potencialidad.

3.2.2.1 Aplicación del Método de Ordenamiento Integral o Taxonómico

Se utilizó el descriptor Índice de Potencialidad, con valores del 1 al 5 (ver 2.4.2.1) para evaluar cada uno de los componentes y se conforman las matrices para la caracterización parcial e integral del SAAS del Pueblo de 3er Orden San Miguel de los Baños, facilitando la categorización por elementos en la Etapa de Producción y en la Etapa de Distribución, además de su categorización integralmente.

3.2.2.2 Categorización del Sistema de Producción

Paso 1

Elaboración de Matriz Base con índice de Potencialidad por componente por fila y total

<i>SAAS San Miguel de los Baños</i>	<i>Captación</i>	<i>Dureza</i>	<i>Conducciones</i>	<i>Depósito</i>	<i>Total</i>
<i>Sistema Producción</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>

Paso 2

Cálculo del peso de cada criterio en el Sistema de Producción (ver ecuación 2.17)

Tabla 3.13 Distribución de los pesos por criterio.

<i>Criterio</i>	<i>Coeficiente</i>
<i>Captación</i>	<i>0.40</i>
<i>Dureza</i>	<i>0.20</i>
<i>Conducciones</i>	<i>0.20</i>
<i>Depósito</i>	<i>0.20</i>

Fuente: Elaborado por el autor

Paso 3

Elaboración de Matriz Normalizada según procedimiento (ver ecuación 2.18)

<i>SAAS San Miguel de los Baños</i>	<i>Captación</i>	<i>Dureza</i>	<i>Conducciones</i>	<i>Depósito</i>
<i>Sistema Producción</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>

Paso 4

Elaboración de Matriz Consolidada según procedimiento (ver ecuación 2.19)

<i>SAAS San Miguel de los Baños</i>	<i>IP</i>	<i>Categoría</i>
<i>Sistema Producción</i>	<i>1</i>	<i>Malo</i>

3.2.2.3 Categorización del Sistema de Distribución

Paso 1

Elaboración de Matriz Base con índice de Potencialidad por componente por fila y total.

<i>SAAS San Miguel de los Baños</i>	<i>Redes</i>	<i>Cobertura</i>	<i>Dotación</i>	<i>Dureza</i>	<i>Cloro Res.</i>	<i>Incendio</i>	<i>Energía</i>	<i>Total</i>
<i>Sistema distribución</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>9</i>

Paso 2

Cálculo del peso de cada criterio en el Sistema de Distribución (ecuación 2.17)

Tabla 3.14 Distribución de los pesos por criterio.

<i>Criterio</i>	<i>Coeficiente</i>	<i>Criterio</i>	<i>Coeficiente</i>
<i>Redes</i>	<i>0.11</i>	<i>Cloro Res.</i>	<i>0.11</i>
<i>Cobertura</i>	<i>0.33</i>	<i>Incendio</i>	<i>0.11</i>
<i>Dotación</i>	<i>0.11</i>	<i>Energía</i>	<i>0.11</i>

Fuente: Elaborado por el autor

Paso 3

Elaboración de Matriz Normalizada según procedimiento (ecuación 2.18)

<i>SAAS San Miguel de los Baños</i>	<i>Redes</i>	<i>Cobertura</i>	<i>Dotación</i>	<i>Dureza</i>	<i>Cloro Res.</i>	<i>Incendio</i>	<i>Energía</i>
<i>Sistema distribución</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>

Paso 4

Elaboración de Matriz Consolidada según procedimiento (ecuación 2.19)

<i>SAAS San Miguel de los Baños</i>	<i>IP</i>	<i>Categoría</i>
<i>Sistema Distribución</i>	<i>1</i>	<i>Malo</i>

3.2.2.4 Categorización del SAAS

Paso 1

Elaboración de Matriz Base con índice de Potencialidad por componente por fila y total

<i>SAAS San Miguel de los Baños</i>	<i>Sist. Producción</i>	<i>Sist. Distribución</i>	<i>Total</i>
<i>Sistema de Abastecimiento Total</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>2</i>

Paso 2

Cálculo del peso de cada criterio en el Sistema de Abastecimiento de la zona (ecuación 2.17)

Tabla 3.15 Distribución de los pesos por criterio.

<i>Criterio</i>	<i>Coeficiente</i>
<i>Sistema de Producción</i>	<i>0,5</i>
<i>Sistema de Distribución</i>	<i>0,5</i>

Fuente: Elaborado por el autor

Paso 3

Elaboración de Matriz Normalizada según procedimiento (ecuación 2.18)

<i>San Miguel de los Baños</i>	<i>Sist. Producción</i>	<i>Sist. Distribución</i>
<i>Sistema de Abastecimiento Total</i>	<i>0,5</i>	<i>0,5</i>

Paso 4:

Elaboración de Matriz Consolidada según procedimiento (ecuación 2.19)

<i>SAAS San Miguel de los Baños</i>	<i>IP</i>	<i>Categoría</i>
<i>Sistema de la zona</i>	<i>1</i>	<i>Malo</i>

Se toma Índice de Potencialidad igual 1 respecto al rango de valores, como media de las dos etapas donde queda claramente definido tanto para el Sistema de Producción como el de Distribución que poseen $IP=1$ con una categorización de Malo, para el régimen de operación actual. Por lo tanto, la categoría del sistema de abastecimiento de agua del Pueblo San Miguel de los Baños integralmente como SAAS es evaluada de Malo, según el valor obtenido en la matriz consolidada. Las inversiones según este análisis deben encaminarse al mejoramiento de conductora, depósito, y las redes, aspectos malos según resultados del procedimiento (Anexos 3.19 -3.23).

3.2.2.5 Definición de inversiones

En acuerdo con el mal estado de los diferentes componentes del SAAS, aquellos con ***Índice de Potencialidad (IP) igual 1***, pudo definirse la prioridad en el "Programa de Acción", en virtud de mantener el equilibrio de la oferta – demanda en el SAAS (Anexos 3.25 – 3.26), teniendo en cuenta la Ubicación en el Contexto Regional, con una base económica de gran potencialidad para el desarrollo turístico futuro inmediato, garante de un desarrollo local sostenible, la preservación del medio ambiente y los diferentes ecosistemas de la zona, según Preobrazhenskii (1989), que definieron las siguientes actividades:

- Construcción e instalación de redes y piezas especiales según proyecto.
- Construcción de un tanque apoyado nuevo con $V=1000 \text{ m}^3$ ($V_{nec}=1354 \text{ m}^3$), tipo almacenaje puro siempre que no sea definido un programa turístico detallado que reconsidere la ubicación de un tanque apoyado en fuente “Nueva” con cota y volumen según demanda de las inversiones preliminares o mayor.
- Construcción de la maestra de entrega para mejorar el servicio de abastecimiento del pueblo en el año 2049.
- Realizar investigaciones para buscar una nueva fuente de abasto según programa turístico al año 2049.

Tabla 3.16 Inversiones preliminares.

<i>Depósitos de almacenamiento</i>						
<i>Año</i>	<i>Vol.exist</i>	<i>Vol.nec</i>	<i>Vol. a construir</i>			
	<i>m³</i>	<i>m³</i>	<i>m³</i>			
<i>2019</i>	<i>700</i>	<i>707</i>	<i>7</i>			
<i>2023</i>	<i>700</i>	<i>761</i>	<i>61</i>			
<i>2049</i>	<i>700</i>	<i>1354</i>	<i>1000</i>			
<i>Redes de distribución</i>						
<i>Años</i>	<i>Red Principal</i>	<i>Red Secundaria</i>	<i>Refuerzo</i>	<i>Reemplazo</i>	<i>Acometidas</i>	<i>Válvulas</i>
	<i>ML</i>	<i>ML</i>	<i>ML</i>	<i>ML</i>	<i>UDES</i>	<i>UDES</i>
<i>2019</i>	<i>2617</i>	<i>1745</i>	<i>1318</i>	<i>3044</i>	<i>145</i>	<i>17</i>
<i>2023</i>	<i>3022</i>	<i>2015</i>	<i>1993</i>	<i>3044</i>	<i>158</i>	<i>20</i>
<i>2049</i>	<i>7489</i>	<i>4992</i>	<i>9437</i>	<i>3044</i>	<i>303</i>	<i>50</i>

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Fase III. Soluciones propuestas de Mejoramiento y Desarrollo

Definido el programa de inversiones en la Fase II (Anexo 3.25 – 3.26), se analizan las condiciones del contexto regional y las condiciones propias del SAAS de San Miguel de los Baños, garantizando la vinculación entre las diferentes zonas, de manera que se garantice un servicio continuo.

En el estudio se propone el remplazo de la red existente, apoyándose con la construcción de un nuevo depósito en el área de la Fuente Nueva, con volumen superior al necesario en al año 2049 y una maestra de entrega y la ampliación de un nuevo circuito hacia la zona de Jacán para asimilar los crecimientos futuros previstos, además de mejorar el servicio de abastecimiento en el núcleo urbano actual, elementos que potenciarían o un desarrollo turístico importante en el pueblo de San Miguel de los Baños.

3.2.3.1 Beneficios en el sistema del Pueblo San Miguel de los Baños propuesto

Tabla 3.17 Potencialidad en depósitos

Año	Volúmenes			Grados (%)			IP	Categoría
	<i>Vexp</i> <i>m³</i>	<i>Vcap</i> <i>m³</i>	<i>Vnec</i> <i>m³</i>	<i>SATISF</i>	<i>EXPLOT</i>	<i>POT</i>		
2023	1700	1700	761	223	223	123	5	CP
2049	1700	1700	1354	126	126	26	5	CP

Fuente: Elaborado por el autor

En la Tabla 3.17 se aprecian las potencialidades que se obtendrían en los depósitos con la solución propuesta, garantizando hasta el 126 % en el 2049, en atención a la demanda necesaria total para tanques apoyados calculada (tabla 3.16), precisado el programa turístico se completará el volumen en tanque apoyado requerido o se satisfará el $V = 1700 \text{ m}^3$, correspondiente a la demanda en tanque apoyado y un valor constructivo de $V = 1000 \text{ m}^3$.

La solución propuesta otorgará beneficios al Pueblo San Miguel de los Baños al localizar un nuevo tanque tipo almacenaje puro, en cota de fondo superior al existente, que garantiza las presiones mínimas en el punto crítico de la nueva red principal. Esta solución garantiza que el exceso de presión en el tanque sea igual a 0, lo que significa que la huella energética correspondería con la potencialidad del tanque instalado con valores significativos del aprovechamiento de la energía en la red, obteniéndose un costo del exceso de energía el 12,8% del costo total muy inferior a las condiciones actuales con un valor de 23.3% del costo total, garantizando una potencialidad superior al 87.2% al final del período de diseño.

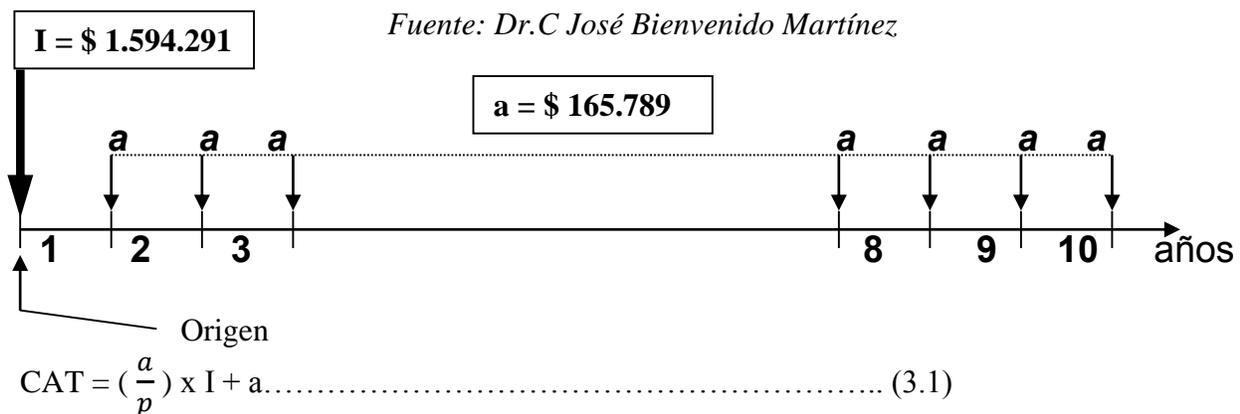
3.2.3.2 Evaluación económica de las soluciones propuestas

Para la evaluación económica preliminar de las obras se utilizan índices de construcción del INRH (Romero Perera, 2016) y otros indicadores propios de actividades de planeamiento, por inconvenientes presentados para la utilización del PRECONS II, pero igualmente válidos para este tipo de trabajos (Anexo 3.44).

3.2.3.2.1 Costo aproximado de la producción de agua

Una vez definida la propuesta de mejoramiento del sistema de abastecimiento al Pueblo de 3er Orden San miguel de los Baños, conocida la demanda teórica de producción en el año 2048 (1 250 402 m³/año), habiéndose calculado el monto de la inversión para la ampliación de los límites operacionales (I = \$1.594.291), la anualidad (a = \$ 165.789) se puede llegar al costo mínimo que debería tener el m³de agua, anualizando este valor presente y calculando el costo anualizado total (CAT) para la recuperación de la inversión en 5 y 10 años. Para ello se asume un interés del 5%, y que los costos de operación y mantenimiento son del orden del 5%, la depreciación estimada del 0,5% en empresas sanitarias, y el período de análisis entre el año 2019 y el año 2028. Luego como resultado final de la tecnología aplicada se plantea el siguiente gráfico de costo como ilustración del análisis, y se aplican las fórmulas de interés compuesto para determinar los valores del producto y análisis de su factibilidad.

Fig.3.5-Gráfico de costo



$\left(\frac{a}{p}\right)$: Anualidad de un valor presente 0

Tabla 3.18 Costo teórico del agua.

Tiempo de Análisis	CAT	Tasa (%)	Factor Anualización (a/p)	Costo m ³ (\$)
5 años	932.576	5	0,065	1.12
10 años	1.761.524	5	0,065	2.11

Fuente: Elaborado por el autor.

3.2.3.3 Cronograma de Ejecución

Después de realizada la evaluación económica de las propuestas, se brindaron prioridades a las inversiones categorizadas con IP=1 y se adecuaron en atención a los fondos disponibles de la entidad inversionista, a los criterios de subordinación nacional y otros de dominio privado, de manera que sean compatibilizadas con los planes de ordenamiento territorial, fuera del alcance del estudio realizado.

	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
1	Redes principales de San Miguel de los Baños	80 días	lun 19-06-23	vie 06-10-23
2	Redes secundarias de San Miguel de los Baños	80 días	lun 19-06-23	vie 06-10-23
3	Maestra de enterga	40 días	lun 19-06-23	vie 11-08-23
4	Tanque V=1000m3	30 días	lun 19-06-23	vie 28-07-23

Fig. 3.6 Cronograma teórico.

3.2.3.4 Elaboración de los Gráficos Sintetizados Resumen

Los *Gráficos Sintetizados Resumen* son la representación espacial de los problemas y soluciones del estudio para formar un grupo de paisajes especializados que faciliten la interpretación de los problemas hallados y la toma de decisiones, ilustrando la situación independientemente de los componentes del SAAS y de los peligros a los que está sometido el geosistema conformado por el Contexto Regional (Anexos 3.1 – 3.31), visualizándose todos los impactos y las interrelaciones sociedad, medio ambiente, economía y tecnologías. Se podrán utilizar en las sesiones técnicas dado su simplicidad, resumiendo categorías y la evaluación como un todo del sistema de abastecimiento.

3.3 Análisis de los resultados obtenidos

Se identificó que dentro del SAAS de San Miguel de los Baños, las potencialidades de las redes de distribución en cuanto a garantías del servicio de incendio y presiones, limitan la capacidad técnica de la infraestructura dentro del sistema.

Se mostró que el mal estado que poseen las redes de distribución, imponen que las concentraciones de cloro residual se encuentran en Mal estado, aunque dese el punto de vista bacteriológico cumpla con los requisitos establecidos.

La tecnología demostró la potencialidad de mostrar los resultados de forma espacial, determinando el estado de cada uno de los componentes del SAAS al aplicarse en la zona de Operación del Pueblo de 3ER Orden San miguel de los Baños, garantizando la mejor comprensión y análisis de los resultados y facilitando la toma de decisiones en la definición de inversiones.

La tecnología evidencia la situación tanto actual como en el futuro del sistema de abastecimiento de agua del Pueblo de 3er Orden San miguel de los Baños, y la necesidad de un rescate de los estudios prospectivos en la década de los 80. La investigación contribuye a la aplicación de cualquiera de los métodos geoestadísticos de estimación espacial, en la definición de funciones de probabilidad del comportamiento de los SAAS y el pronóstico de inversiones asociadas a su desarrollo.

3.4 Conclusiones Parciales

1. La tecnología adecuada permite la determinación de la potencialidad de cada uno de los componentes de los sistemas de Abastecimiento de Agua Simple en el pueblo de 3er Orden Martí, así como la determinación de la huella energética del agua a partir de los instrumentos de apoyo utilizados.
2. La tecnología aplicada demostró la insuficiente potencialidad de la, conductora, depósito y redes de distribución del SAAS del Pueblo Martí para el régimen de explotación y límites operacionales actuales y futuros.

3. Mediante la utilización del Método Taxonómico, se categorizó el SAAS completo como Malo, mediante la introducción del descriptor Índice de Potencialidad (IP), facilitando el orden de prioridades en los programas de inversiones.

CONCLUSIONES

Luego del desarrollo de la siguiente investigación se concluye que:

1. Se elaboró un marco teórico referencial sobre el diagnóstico y desarrollo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua Simple (SAAS) como proceso productivo, contribuyendo a la definición de su potencialidad, y las influencias en la sustentabilidad de los ecosistemas de agua dulce.
2. Se adecuó la tecnología preliminar para diagnóstico y desarrollo de los SAAS demostrando la importancia de la distribución espacial de la problemática en la definición de inversiones, mediante el uso del Método de los Índices Variables que categorizó al SAAS con IP=1, estado Malo.
3. Se aplicó la tecnología adecuada (TI-DGD) en el SAAS del Pueblo de 3er Orden San Miguel de los Baños, certificando la explotación de la fuente al 100%, entregando una dotación promedio de 735 lppd, superior a la necesaria (210), la Sobreexplotación de la conductora Fuente Nueva al 136% y Hatillo 285%, y se comprobó que el consumo es del 28.57% y las pérdidas totales de 71,43%, de ellas el 39.19 % pertenecientes al Grupo I, y 60,81% al Grupo II, indicadores que evidencian la existencia de grandes consumos fortuitos en este tipo de pueblos y los riesgos a los ecosistemas de agua dulce.
4. Se validó la tecnología adecuada (TI-DGD) demostrando la potencialidad del SAAS a corto, mediano y largo plazo bajo nuevas condiciones de operación y dentro de los límites operacionales actuales.
5. La tecnología adecuada demostró una baja eficiencia en el aprovechamiento de energía de la red existente bajo las condiciones actuales de operación, el incumplimiento de las normas contra incendio, la calidad EXTRADURA del agua en la red, y la incapacidad de la red para mantener los requisitos del cloro residual.

RECOMENDACIONES

Con el objetivo de continuar mejorando las condiciones del SAAS del Pueblo de 3er Orden San Miguel de los Baños y aumentar el nivel de esta investigación se recomienda:

- Al INRH la actualización de los análisis físico-químico y bacteriológico de las fuentes.
- Al INRH realizar los estudios de las capacidades de las fuentes mediante aforos de gasto variable y gasto constante de 24 y 48 horas respectivamente.
- Al INRH se recomienda realizar un estudio pitométrico en la conductora, en la fuente y a la llegada del tanque que permitan mayor exactitud de estos estudios de factibilidad.
- Al INRH viabilizar las gestiones que correspondan para la implantación de la micromedición en el pueblo y eliminación de actividades subrepticias.
- Al INRH realizar la construcción de un tanque apoyado de almacenaje puro que garantice su máximo aprovechamiento energético.
- Al INRH aprovechar las capacidades energéticas instaladas en equipos de bombeo y tanques, con horarios y régimen de explotación continuo, evitando los gastos energéticos actuales que mejorarían la gestión en el manejo del recurso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Luege Tamargo, José Luis. 2007.** *MANUAL DE AGUA POTABLE*,. México : s.n., 2007.
- Ruiz Cortines, Boulevard Adolfo. 2010.** *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de redes de distribución de agua.* México : s.n., 2010.
- Abreu Ramírez, Liban. 2017.** *Solicitud de Licencia Ambiental para inversión: Acueducto Martí.* Matanzas : s.n., 2017.
- Almandoz, J y Cabrera, J. 2004.** "Renovacion de redes mediante sistemas de soporte de toma de decisiones multicriterio". *Análisis, diseño, operación y gestión de redes de agua con Epanet.* 2004, Vol. II. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8426/tesisUPV3310.pdf>.84.
- Almandoz, J., y otros. 1999.** Unaccounted for water discrimination:leakage and unregistered water. *Journal of Water Resorces Planing.* 1999.
- Álvarez Illa, Anet. 2018.** *ADECUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA PRELIMINAR PARA DIAGNÓSTICO Y DESARROLLO DE LOS SISTEMAS DE ABASTO DE AGUA SIMPLES EN POBLADO DE IER ORDEN: APLICACIÓN EN SISTEMA ABASTO ASENTAMIENTO ASENTAMIENTO cRLOS rODRÍGUEZÍ.* Matanzas.Cuba : Universidad de Matanzas, 2018.
- Anoyvega Mora, Juana Daisy .** *Estrategia y Gestión Ambiental Local. Un estudio de caso: San Miguel de los Baños.* Matanzas. Cuba. Matanzas : s.n.
- Ariza, Ales y Daniel, Ignacio y Braga Pérez, Fulgencio José. 1980.** *Trabajo de Diploma.* ISPJAE. Habana : s.n., 1980.
- AWWA. 1990.** *Water audits and leak detection.* Colorado (USA) : s.n., 1990.
- Barahona Ulloa, Tatiana Isabel , Rivera Cáliz, Eddyn Ariel y Chévez Navarro, Roberto Carlos. 2013.** *Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable para la comunidad.* Miramar, Nagarote : s.n., 2013.
- Barceló Pérez, Carlos y González Sánchez, Yamile. 2016.** *Evolución Mundial del Abastecimiento de agua y el saneamiento.* Matanzas : Científico-Técnico, 2016.
- Boudeville, J. R. 1966.** *Edinburgh, Problems of Regional Economic Planning.* University Press. 1966.
- Braga Pérez, Fulgencio José. 2015.** *Tecnología para el diagnóstico y gestión integrada de los sistemas de abastecimiento de agua. Caso de estudio: ciudad Matanzas.* Habana. XII Congreso de Ingeniería Hidráulica. 2015.
- Braga Pérez, Fulgencio José. 2014.** *Peritaje Contaminación Cental México. Expediente 74/2014.* Matanzas : CITMA, Delegación Territorial Matanzas, 2014.
- . **2017.** *Tecnología integrada para diagnóstico global y desarrollo de los Sistemas de Abasto de Agua Urbanos: Aplicación en Zona Pueblo Nuevo, ciudad Matanzas.* Facultad de Ingeniería Industrial - Economía, Universidad de matanzas camilo Cienfuegos. Matanzas : s.n., 2017. Tesis de grado en opción al Grado Científico de Master en Administración de Negocios.
- . **2017.** *Tecnología integrada para diagnóstico global y desarrollo de los Sistemas de Abasto de Agua Urbanos: Aplicación en Zona Pueblo Nuevo, ciudad Matanzas.* Matanzas : s.n., 2017.

- . 2015. *Tecnología para el diagnóstico y gestión integrada de los sistemas de abastecimiento de agua. Caso de estudio: ciudad Matanzas. Habana*. 2015. XII Congreso de Ingeniería Hidráulica.
- Carballo, Wendy Martínez. 2018.** *ADECUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA PRELIMINAR PARA DIAGNÓSTICO Y DESARROLLO DE LOS SISTEMAS DE ABASTO DE AGUA SIMPLÉS EN PUEBLOS DE 1ER ORDEN: APLICACIÓN EN SISTEMA ABASTO ASENTAMIENTO MARTÍ*. 2018.
- Cauvin, y otros. 1964.** *Distribución de Aguas en las Aglomeraciones*. Barcelona : Riverté, 1964.
- Celis, Francisco y García, Carlos. 1971.** *Determinación de Regiones Homogéneas*. La Habana : s.n., 1971. Boletín de Planificación Física.
- Chiong Rojas, Cristina. 1985.** *Optimización de redes cerradas*. Universidad CUJAE. La Habana (Cuba) : s.n., 1985. tesis Ph.D.
- Chiong Rojas, Cristina y Martínez Rodríguez, Bienvenido. 2002.** *Manual del Usuario Sistema ROKO. Cálculo y Diseño óptimo de Redes Hidráulicas Urbanas*. ISPJAE, Centro de Investigaciones Hidráulicas. La Habana : s.n., 2002.
- Cox, Charles R. 1979.** *Práctica y Vigilancia de las Operaciones de Tratamiento de Agua*. La Habana (Cuba) : Editorial Científico Técnica, 1979.
- de las Cuevas Toraya, Juan. 2001.** *500 años de las construcciones en Cuba*. Madrid : Chavín : s.n., 2001.
- Duque, José Antonio Díaz. 2018.**
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382018000200004.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382018000200004. [En línea] 2018. [Citado el: 9 de 1 de 2019.]
- EAALM. 2019.** *Informe del Departamento de Operaciones*. INRH. Matanzas.Cuba : s.n., 2019.
- EIPI. 2004.** *Proyección y Ampliación acueducto Martí*. Matanzas : s.n., 2004.
- . 2016. *RC-210 Acueducto Martí. Calidad del Agua*. 2016.
- Eldridge, Henry. 1982.** *Construcción. Desperfectos Comunes*. Gustavo Gilí SA. Barcelona : s.n., 1982.
- ENAST. 2017.** *INFORME FINAL DE RESULTADOS DE ENSAYO*. UEB Colón. Matanzas : s.n., 2017.
- Fundora Caraballo, Abdel A. 2016.** *Tecnología para diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua en Regiones Motrices*. Universidad de Matanzas. 2016. Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil.
- Gonzales Rodríguez, Esther María. 2015.** *TOBAS CON NOTABLES CONTENIDOS DE POTASIO EN LA REGION HABANA – MATANZAS*. 2015.
- González Abreu, Julio. 2012.** *Tecnología Preliminar para Diagnóstico de los Sistemas de Abasto de Agua.Caso:Sistema de Abasto a Refinería Matanzas*. Ingeniería Civil, Universidad de Matanzas Sede Camilo Cienfuegos. Matanzas, Cuba : s.n., 2012.
- Guerra, Evaldo. 2016.** *Informe de Morbilidad por Hepatitis A (enero-diciembre)*. Matanzas : CPHE : s.n., 2016.
- Guilabert, Lucía. 2008.** *La Gestión del Abastecimiento de Agua a las Ciudades: El Caso de Tenerife*. 2008. pág. 71.
- Harrouz, O. 1996.** *Conséquences de la squelettisation des réseaux d'alimentation en eau potablesur le diagnostic, modèle de simplification*. Université Louis Pasteur. 1996. Thèse

de doctorat en génie de l'environnement. <http://scienceenvironnement.free.fr/biblio/Cemagref%20Bordeaux>. Citado el 18 de febrero del 2018.

HELVEXCUBA. 2013. *Ideas que dan valor a un mundo mejor*. La Habana. Cuba. : s.n., 2013.

Hernández Rossié, Armando , Talavera García, José y Fornaguera Vázquez, Marlene. 2001. *Redes Hidráulicas y Sanitarias*. La Habana : s.n., 2001.

Herrera López, Datniel. *Tecnología ^Preiminar para .*

—. **2016.** *Tecnología preliminar para diagnóstico y desarrollo de los Sistemas de Abasto de Agua Simples*. Ingeniería Civil, Universidad de Matanzas. Matanzas : s.n., 2016. pág. 124.

Hickey, Harry. 2008. Water Supply Systems and Evaluation Methods. *Water Supply System Concepts*. 2008, Vol. I, pág. www.fao.org/.../water/.../UNW_MONITORING_R. Citado el 19 de diciembre de 2017.

Hirner, W. 2000. Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology. [En línea] 2000. [Citado el: 20 de enero de 2018.] <http://www.iwahq.org.uk/bluepages>.

Hirner, W. 1998. *Definition of performance indicators:the example of water losses*. IWSA. Montpellier (France) : s.n., 1998.

Igorra Medina, Yamilé. 2015. *Tecnología Preliminar para Diagnostico de los Sistemas de Abastecimiento de Agua Simples*. Universidad de Matanzas. 2015. Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil. Dato de acceso: Repositorio de Tesis carrera de Ingeniería Civil.

INRH. 2015. *Acercamiento a Método para la selección de Inversiones en Abasto y Saneamiento*. Dirección Nacional Planeamiento. La Habana : s.n., 2015.

—. **2019.** *Calidad del agua en San Miguel de los Baños*. 2019.

—. **2010.** El agua y el saneamiento en Cuba. *Fondo del Agua*. 2010. <http://www.fondodelagua.aacid.es/es/fcas/donde-trabaja/paises/cuba.html>.

—. **2016.** *Índices de valor total de conductoras por diametro y por km de ejecucion*. Matanzas. Cuba : s.n., 2016.

—. **1997.** *Proyecto para la Construcción del Acueducto de Martí*. Matanzas : s.n., 1997.

INRH y EIPI. 2004. *Reproyección y Ampliación del Acueducto Martí*. Matanzas : s.n., 2004.

IPF. 2012. *Plan General de Ordenamiento Territorial de la Base Económico - Productiva. Municipio Martí*. Matanzas (Cuba) : s.n., 2012.

IWA. 2002. Water Losses Management and Techniques. *Water Science and Technology*. 2002, pág. www.iwahq.org.aol./AOandJGLamber. citado el 20 de enero del 2018.

Koppel, Tiit, Ainola, Leo y Puust, Raido. 2018. A mathematical model for the determination of leakage in mains and water distribution networks. [En línea] 3 de marzo de 2018. <http://www.kirj.ee/public/Engineering/2007/>.

2016. *La gestión del abastecimiento de agua .* Tenerife : s.n., 2016.

López Cualla, Ricardo Alfredo. 1995. *Elementos de diseño para acueducos y alcantarillados*. s.l. : Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1995. pág. 541.

Manager, Community. 2016. *Sistema de abastecimiento por presión*. 2016.

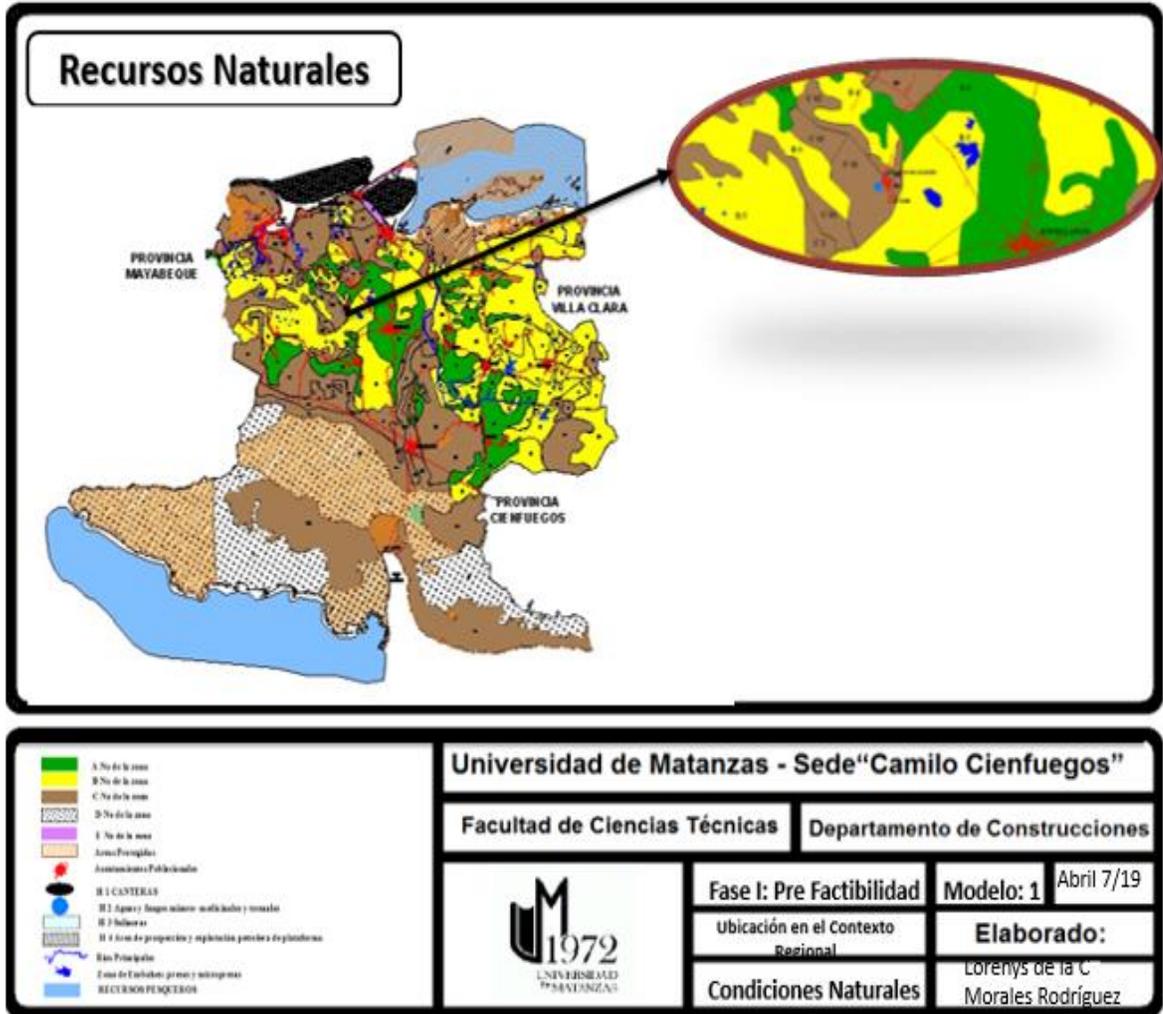
Mártínez Rodríguez, Elena. 2007. Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una PYME. *Anuario Jurídico y Económico Escorialense*. 2007, 1133-3677. emartinez@ccee.ucm.es.

- Martínez Rodríguez, José Bienvenido. 2000.** *Economía de los Recursos Hidráulicos*. La Habana : CIH - ISPJAE, 2000.
- . **2000.** *Economía de los Recursos Hídricos*. Habana : CUJAE, 2000.
- Martínez Rodríguez, José Bienvenido y Chiong Rojas, Cristina. 2002.** *Manual de usuario del sistema ROKO: cálculo y diseño óptimos de Redes Hidráulicas Urbanas. Sistema de programas integrados*. Facultad de Ingeniería Civil, I.S.P.J.A.E Centro de Investigaciones Hidráulicas. La Habana : s.n., 2002.
- Martínez, Maite González. 2017.** [En línea] 29 de 12 de 2017. [Citado el: 16 de 1 de 2019.]
- MDE. 2013.** Guidance for Preparing Water Audits and Water Loss Reduction Plans. *Maryland Department Of The Environment*. [En línea] 2013. [Citado el: 17 de diciembre de 2017.] <http://www.mde.state.md.us>.
- Mendoza, Gastón. 1969.** *Cálculo Hidráulico de Conductos Circulares Trabajando a Presión*. La Habana : Centro de Información y Documentación Agropecuaria, 1969.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. 2014.** *Guía de métodos para rehabilitar y renovar redes de abastecimiento de agua potable*. Perú : s.n., 2014.
- Mirashiisky, Lioboniz y Dinovksy, Cristo. 1987.** *Influencia de la pérdida económica, técnica y ecológica de las pérdidas de agua en los sistemas de acueducto y alcantarillado*. La Habana. Cuba : Revista Ingeniería Civil, 1987. 0020-1022.
- Olaiz, G. 1994.** *NORMA OFICIAL MEXICANA NOM127SSA11994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANOLIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION"*. 1994. pág. 7. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>.
- ONE. 2017.** *Nomenclador nacional de asentamientos humanos*. La Habana (Cuba) : s.n., 2017. Oficina Nacional de Estadísticas.
- ONN:NC51-121. 1984.** *NC 51-121:Acueducto*. La Habana(Cuba) : s.n., 1984.
- ONN:NC827. 2012.** *NC 827, 2012 Agua Potable:Requisitos Sanitarios*. La Habana (Cuba) : s.n., 2012.
- ONN:NC971-1. 2013.** *NC 971-1:Requisitos de Alcance y Contenido de los Servicios Técnicos para Inversiones de Acueducto*. La Habana (Cuba) : s.n., 2013.
- ONN:NC973. 2013.** *NC 973: Determinación de la demanda de agua potable en pobaciones urbanas*. La Habana (Cuba) : s.n., 2013.
- ONN:NC-ISO9000. 2005.** *2005.NC - ISO 9000: Sistemas de Gestión de la Calidad - Fundamentos y Vocabulario*. La Habana (Cuba) : s.n., 2005.
- Parra, J. C. 2006.** Renovación de redes mediante sistemas soporte a la toma de decisiones multicriterio. *Diploma de estudios avanzados*. [En línea] 2006. [Citado el: 16 de marzo de 2018.] www.redraus.org/Memorias-Congreso-ANCA.pdf.
- PAS, GTASR. 2017.** *Pequeños Sistemas de abastecimiento de agua para múltiples localidades*. 2017.
- Pérez Monteagudo, Fernando. 1999.** *Introducción a la Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. La Habana : Pueblo y Juventud, 1999.
- Picazo Pardo, Miguel Angel. 2010.** Influencia de los costes del agua y la Energía en la renovación de tuberías. [En línea] 2010. [Citado el: 28 de enero de 2017.] Tesis Doctoral.Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/tesisUPV3310.pdf>.

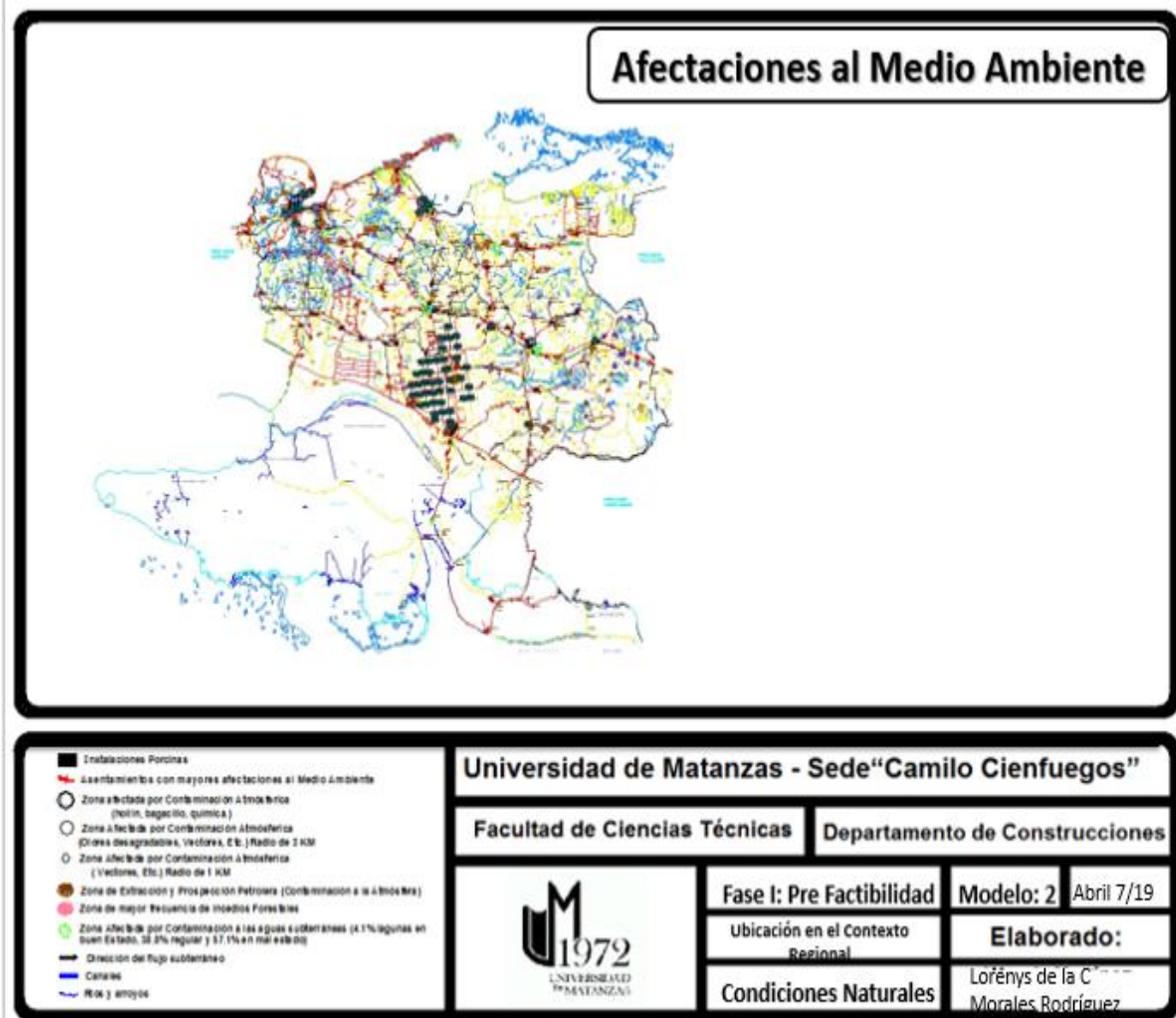
- Portales Pérez, Gustavo Arturo. 2014.** *Distribución por gravedad.* 2014.
- Quintana, Joaquin. 2019.** Consultas sobre operacion del Acueducto de San Miguel de los Baños. Matanzas : EAALCM, 10 de marzo de 2019.
- . **2016.** *Reportes de entregas mensuales enero - septiembre 2016.* Matanzas : EAALCM, 2016.
- Rojas, José Antonio. 1982.** *Acueductos.* La Habana : Pueblo y Educación , 1982.
- Rojas, José Antonio. 1969.** *Proyecto para la Construcción del Acueducto de Martí.* Matanzas : s.n., 1969.
- Romero Perera, Javier. 2016.** *Indices de valor total de conductoras por diametro y por km de ejecucion.tanques.obras de captación.* Departamento de Planeamiento. Matanzas :INRH : s.n., 2016.
- Romero, Janier. 2017.** *Análisis del agua en Red de Distribución poblado Carlos Rodríguez.* Matanzas : INRH, 2017.
- Sánchez Falcón, Marlon. 2016.** *Procedimiento para la elaboración de mapas de dureza total de las aguas en los Sistemas de Abastecimiento Urbanos.* Universidad de Matanzas. 2016. Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil.
- Sánchez, Bárbara. 2019.** *Calidad de las aguas.* Administración de los recursos, INRH. Matanzas : s.n., 2019.
- Serrano, J. 2009.** *Proyecto de un sistema de abastecimiento de agua potable en Togo.* 2009. <http://e-archivo.uc3m.es>.
- SISS. 2013.** Guía para Elaboración Planes de Desarrollo. [En línea] 2013. [Citado el: 20 de enero de 2018.] <https://www.u-cursos.cl/fau/2011/>.
- 2017.** Situación de los recursos hídricos en Cuba. Breve historia. [En línea] 2017. [Citado el: 5 de febrero de 2018.] <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia30/HTML/articulo05.htm>.
- Technology, Swimtonic. 2018.** <https://www.swimtonictech.com/es/2018/03/22/la-importancia-del-agua-la-vida>. <https://www.swimtonictech.com/es/2018/03/22/la-importancia-del-agua-la-vida>. [En línea] 22 de marzo de 2018. [Citado el: 9 de enero de 2019.] <https://www.swimtonictech.com/es/2018/03/22/la-importancia-del-agua-la-vida>.
- Voluntad Hidráulica . INRH. 2002.* cuba : s.n., 2002.

ANEXOS

Anexo 3.1: Fase I Pre - Factibilidad. Ubicación en el Contexto Regional. Recursos Naturales.

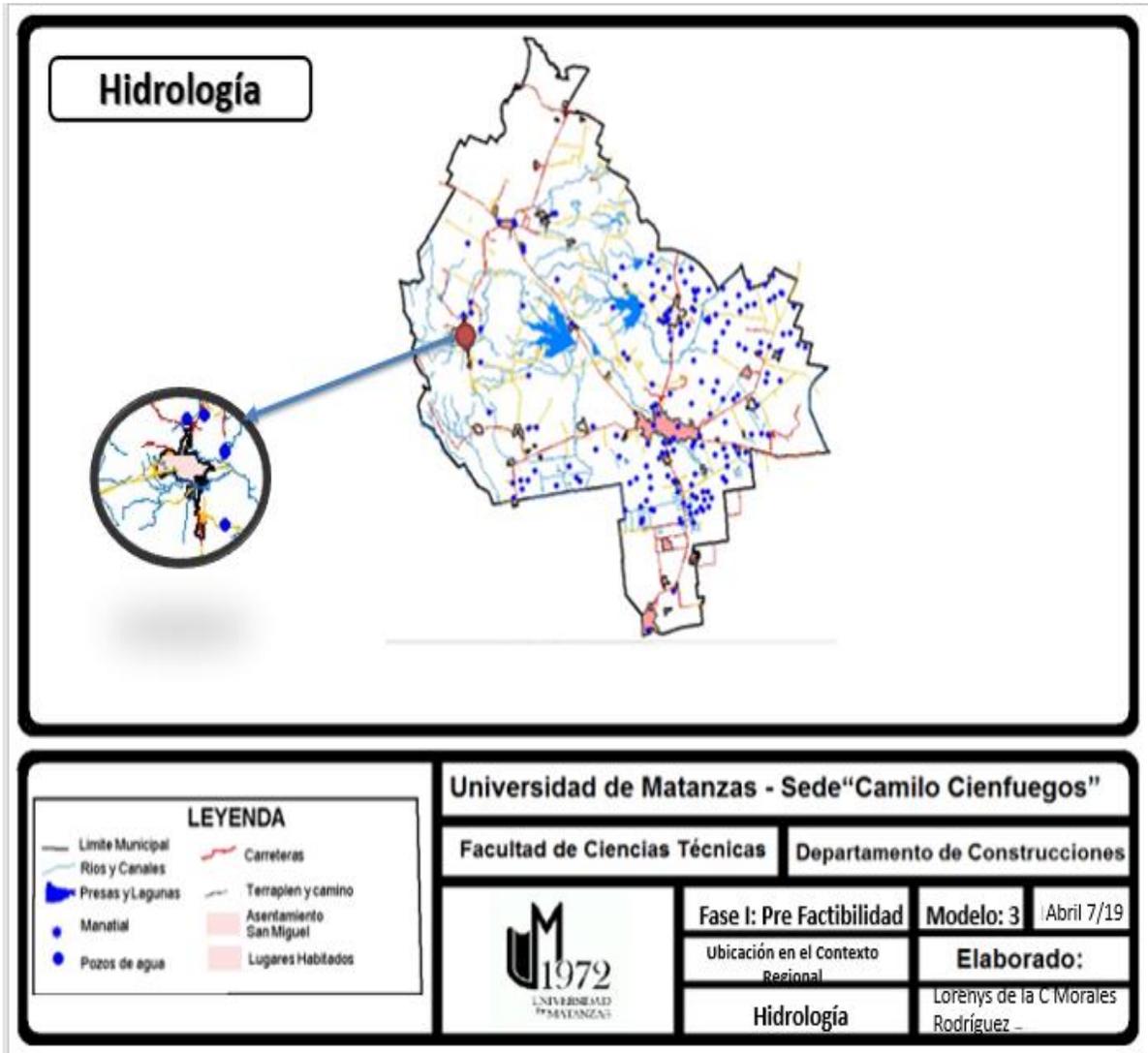


Anexo 3.2: Fase I Pre - Factibilidad. Ubicación en el Contexto Regional. Condiciones Naturales. Afectaciones al medio ambiente.



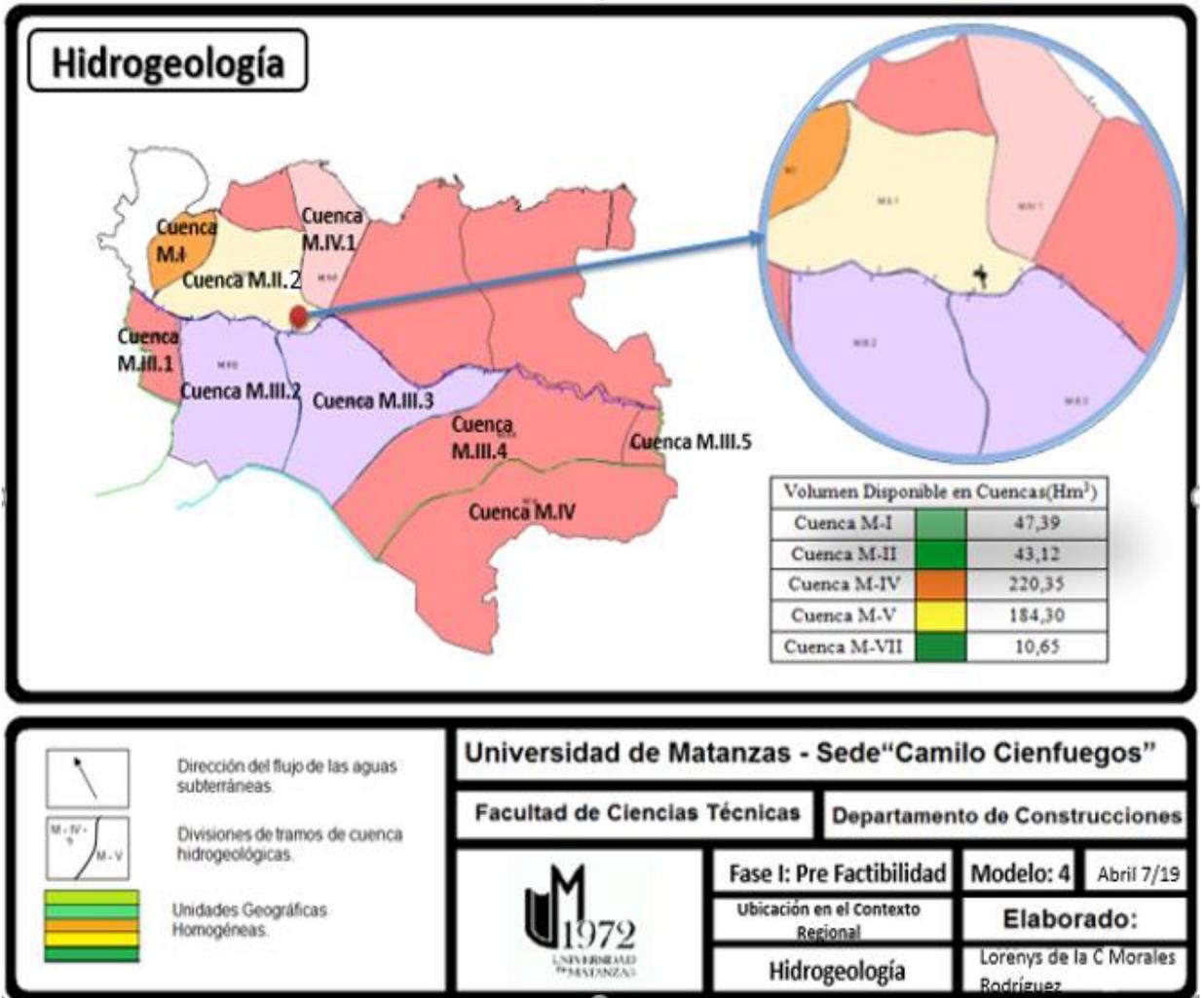
Fuente: IPF de Matanzas

Anexo 3.3: Fase I Pre - Factibilidad. Ubicación en el Contexto Regional. Hidrología.



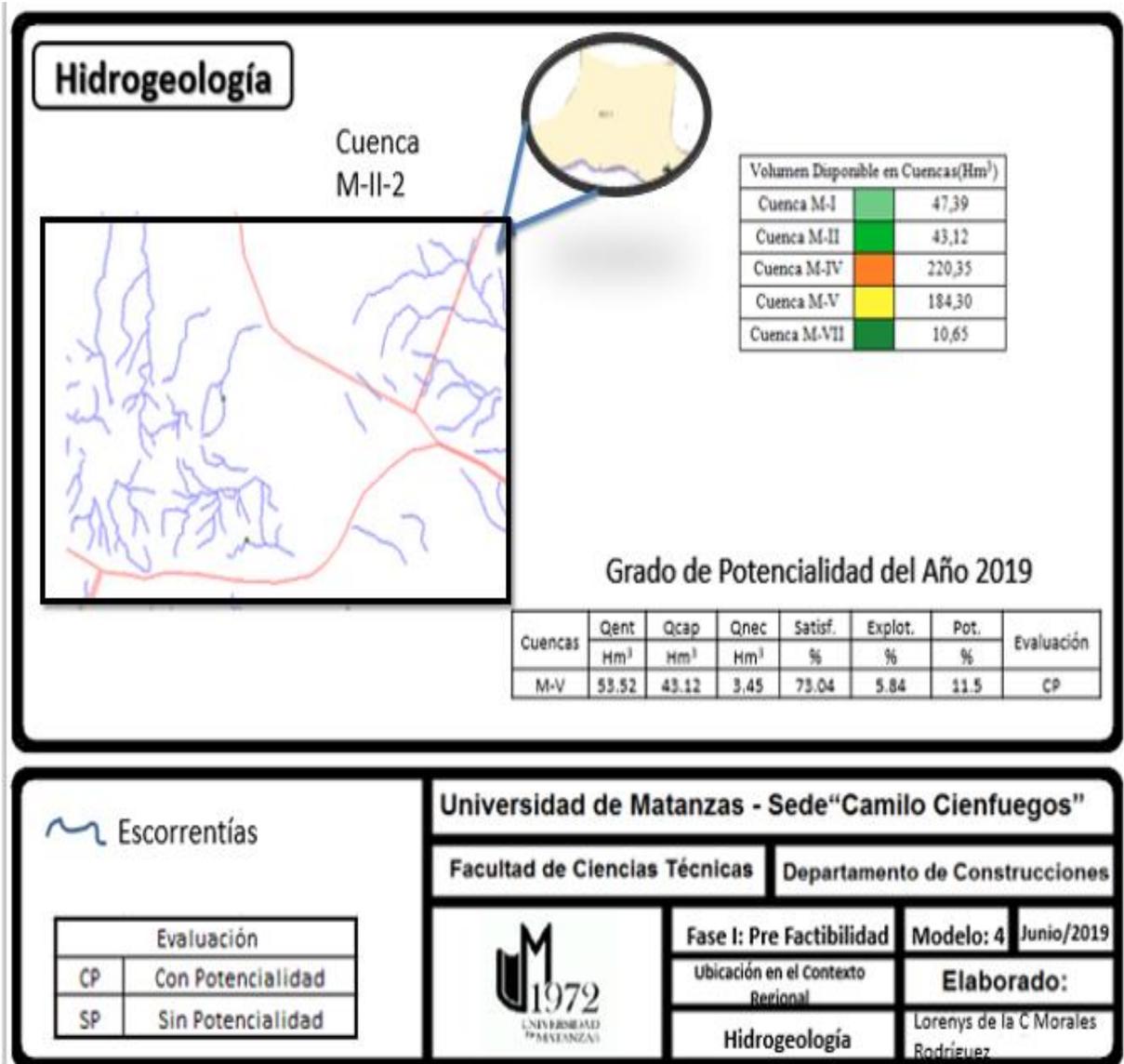
Fuente: IPF de Matanzas

Anexo 3.4: Fase I Pre - Factibilidad. Ubicación en el Contexto Regional. Hidrología. Volumen disponible en cuencas contiguas.



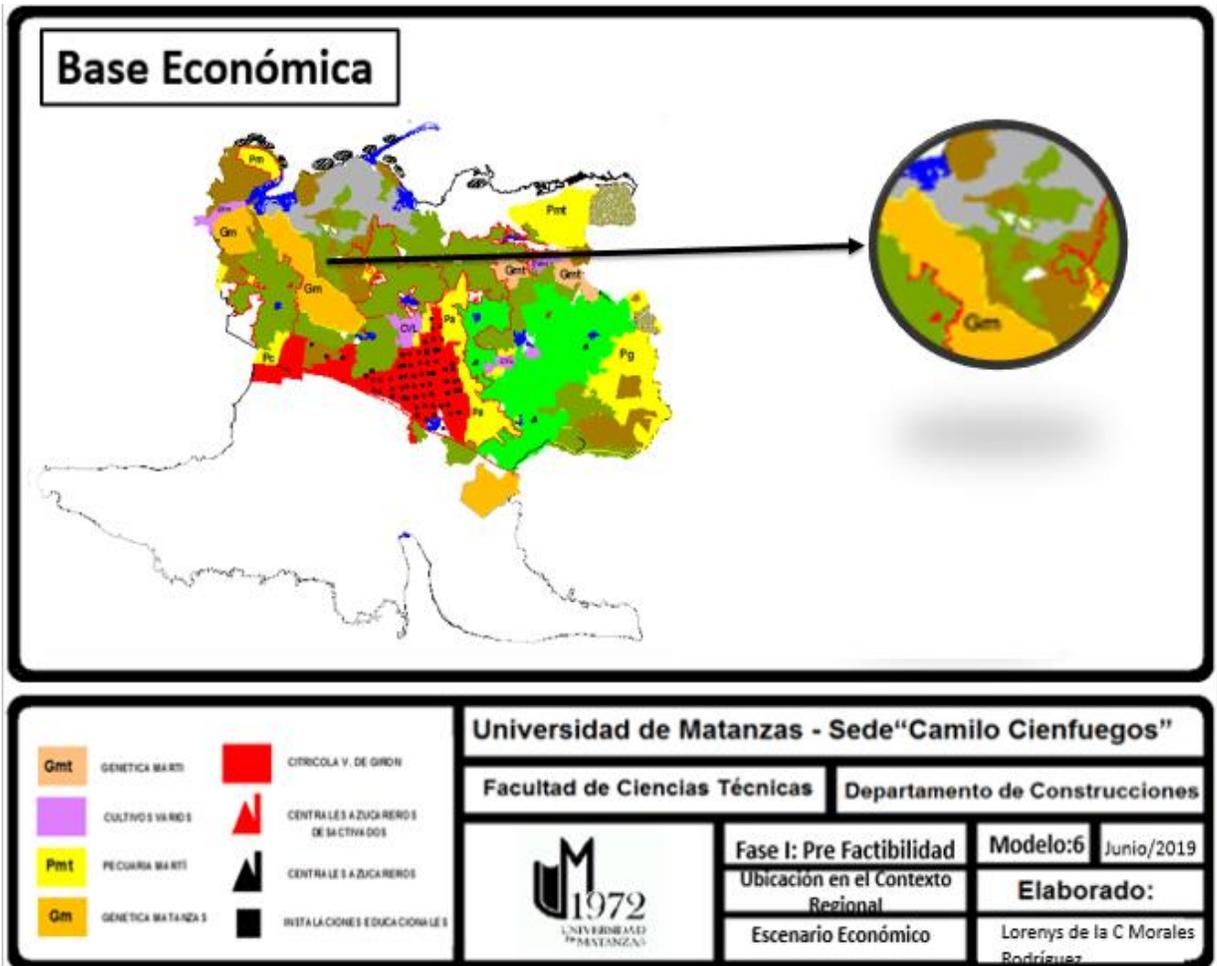
Fuente: IPF de Matanzas.

Anexo 3.5: Fase I Pre - Factibilidad. Ubicación en el Contexto Regional. Hidrología. Potencialidad en cuencas subterráneas.



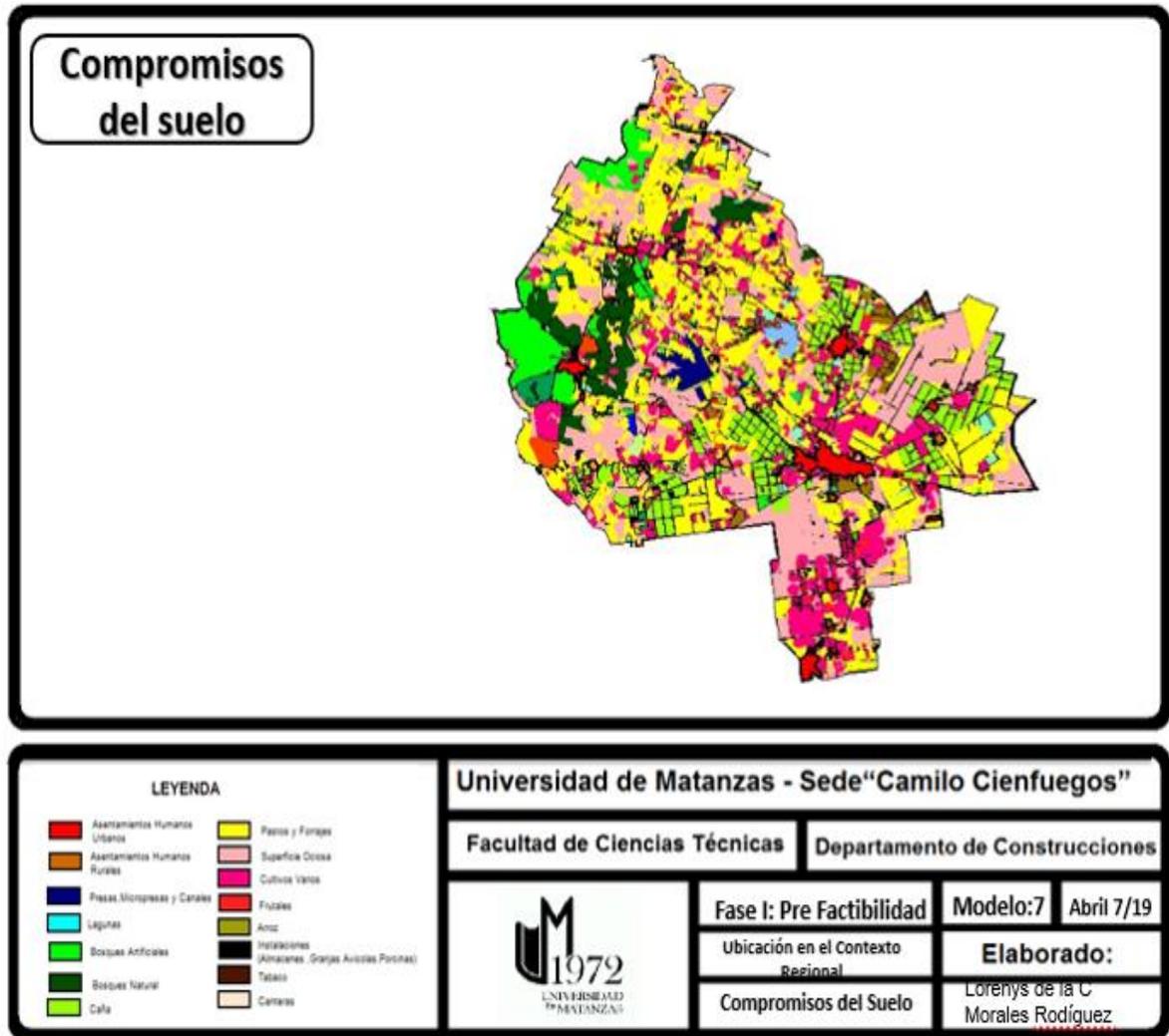
Fuente: IPF de Matanzas.

Anexo 3.6: Fase I Pre - Factibilidad. Ubicación en el Contexto Regional. Escenario económico.



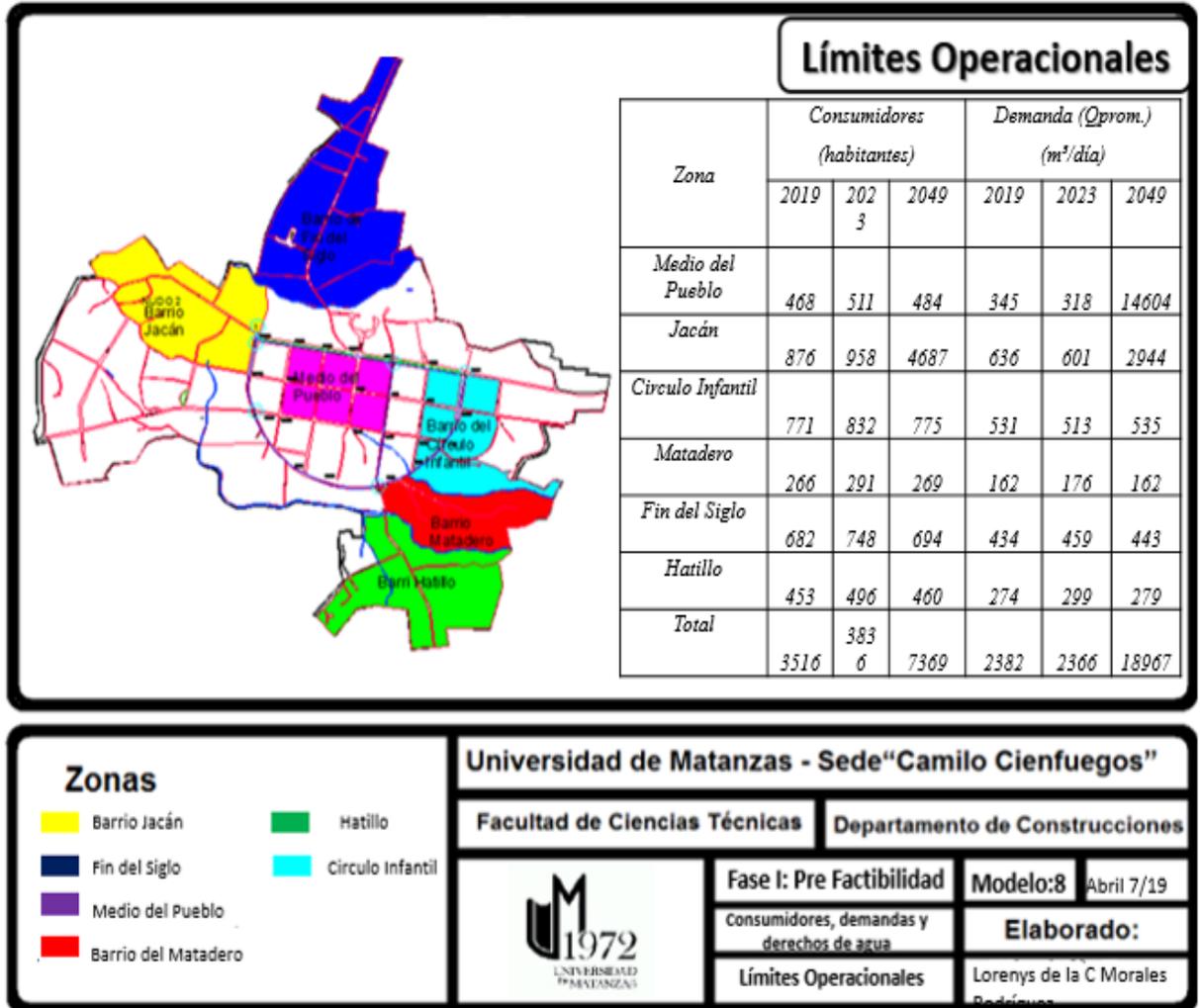
Fuente: IPF de Matanzas.

Anexo 3.7: Fase I Pre - Factibilidad. Ubicación en el Contexto Regional. Compromisos del suelo.

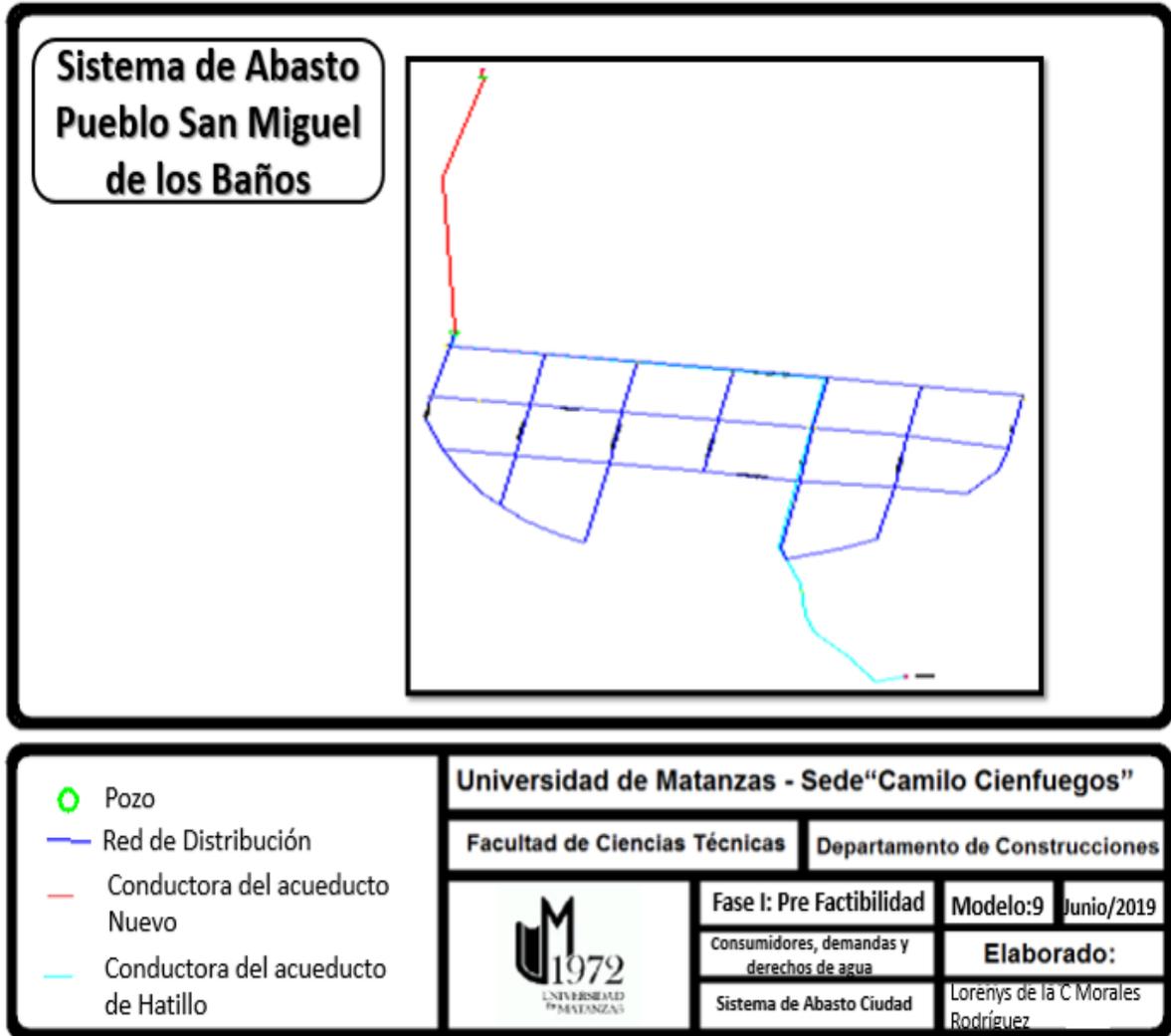


Fuente: IPF de Matanzas.

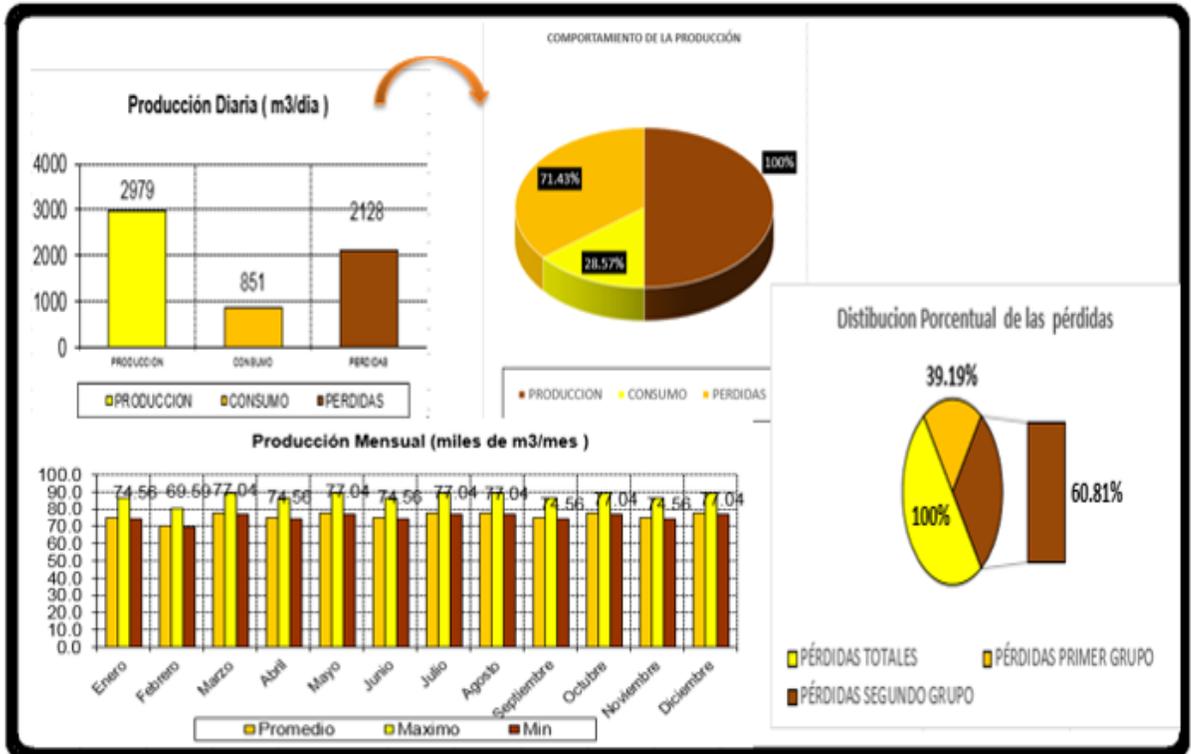
Anexo 3.8: Fase I Pre - Factibilidad. Consumidores, demandas y derechos de agua. Límites Territoriales.



Anexo 3.9: Fase I Pre - Factibilidad. Consumidores, demandas y derechos de agua. Sistemas de abasto en la ciudad.

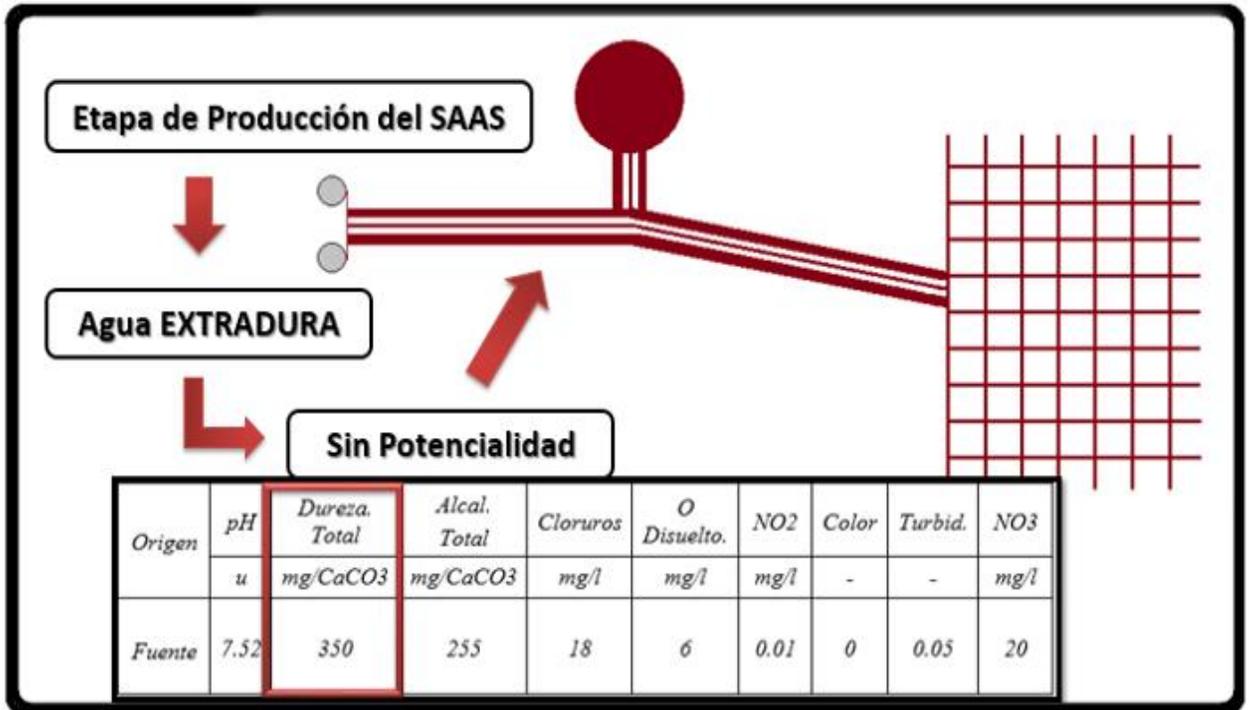


Anexo 3.10: Fase I Pre - Factibilidad. Consumidores, demandas y derechos de agua. Auditoría hídrica.



	Universidad de Matanzas - Sede "Camilo Cienfuegos"		
	Facultad de Ciencias Técnicas	Departamento de Construcciones	
		Fase I: Pre Factibilidad	Modelo:10 Junio/2019
		Consumidores, demandas y derechos de agua	Elaborado:
Auditoría Hídrica	Lorenys de la C Morales Rodríguez		

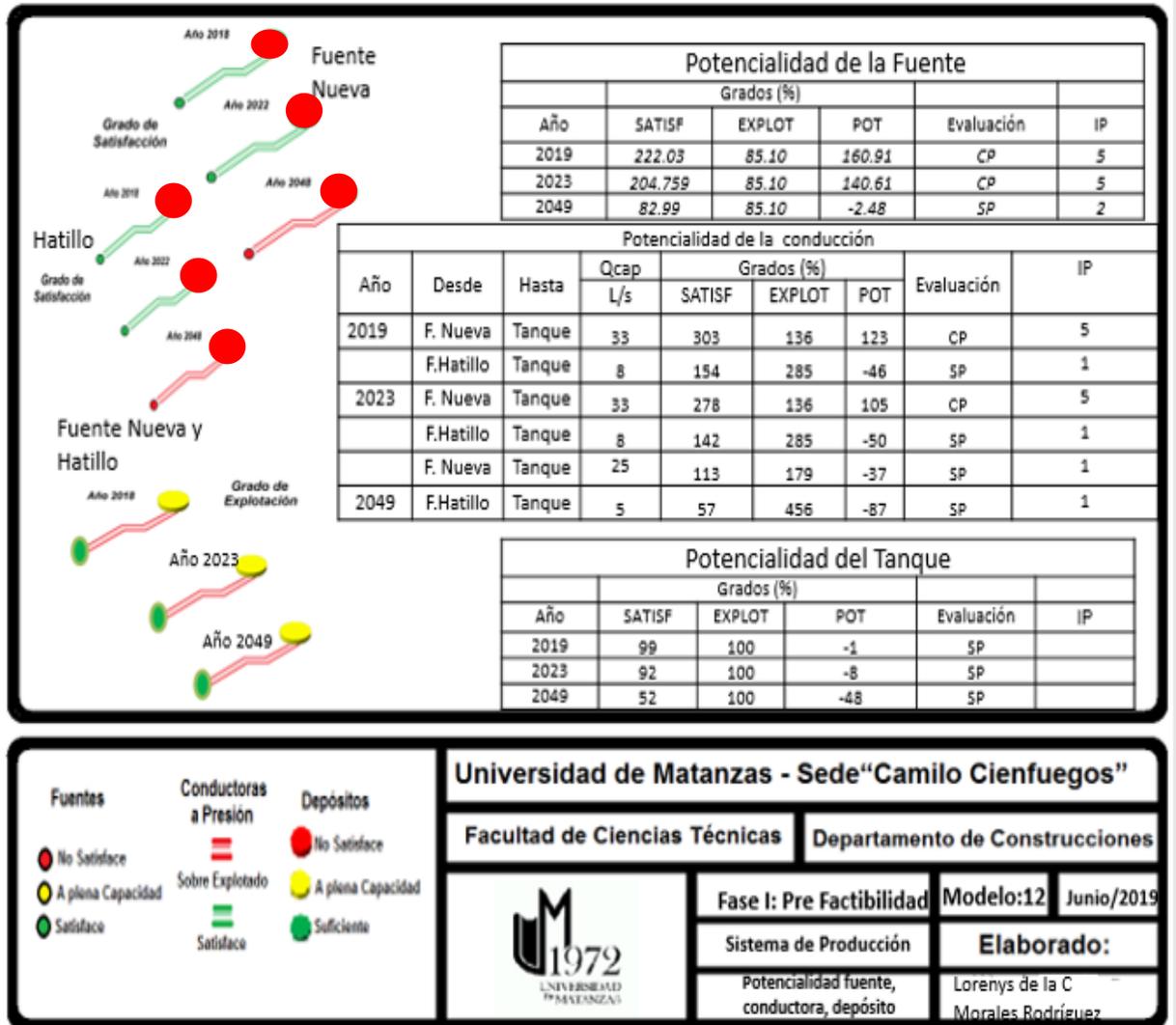
ANEXO 3.11 Fase I Pre - Factibilidad. Sistemas de Producción. Potencialidad fuentes.



Concentración (mg/L)	Evaluación (Fase I)	Categorización (Fase II)
17,1 - 60	Ligeramente Dura	Excelente
60 - 120	Moderadamente Dura	Muy Bueno
120 - 180	Dura	Bueno
180 -250	Muy Dura	Regular
>250	Extra Dura	Malo

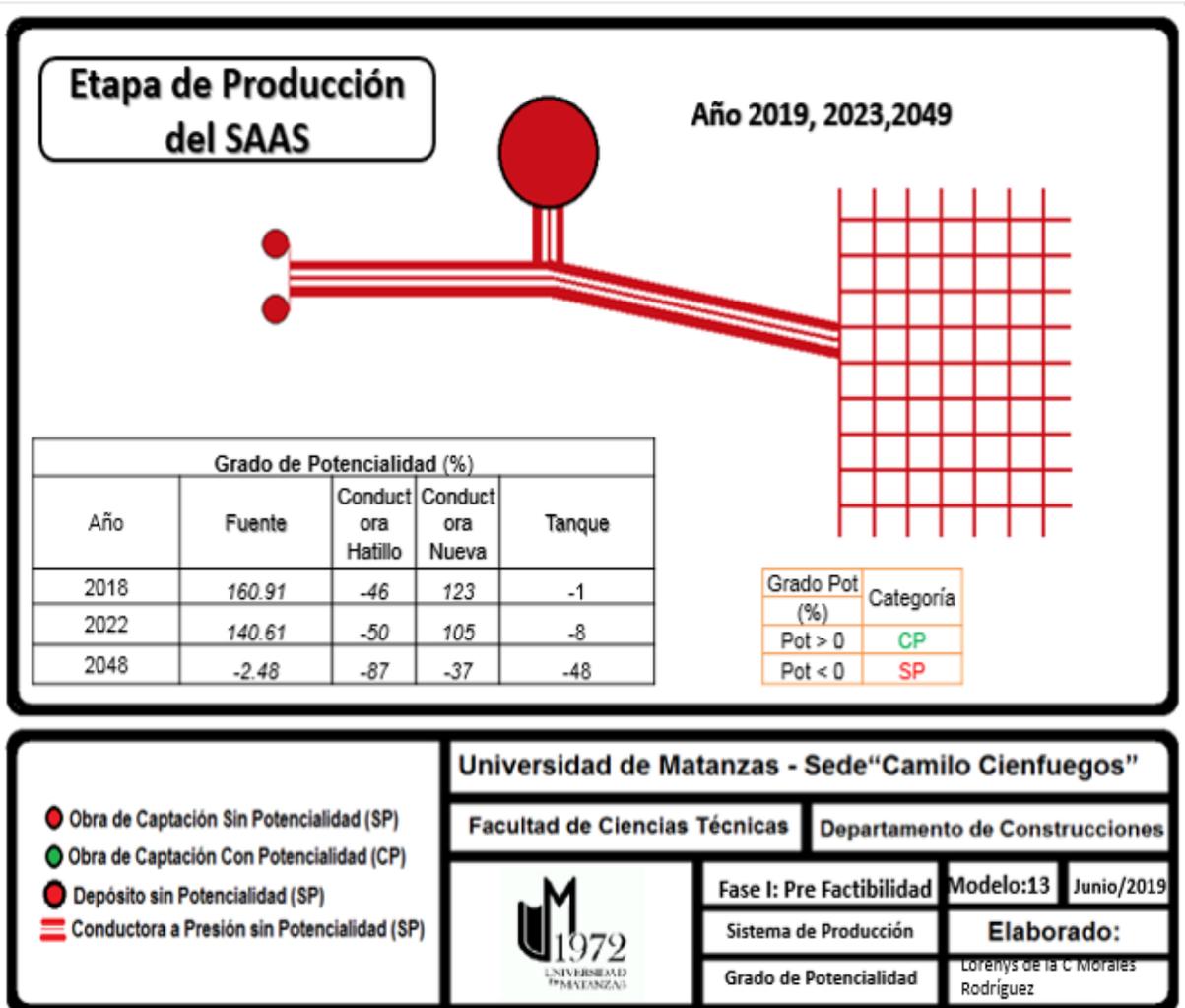
Universidad de Matanzas - Sede "Camilo Cienfuegos"			
Facultad de Ciencias Técnicas		Departamento de Construcciones	
	Fase I: Pre Factibilidad	Modelo: 11	Junio/2019
	Sistema de Producción	Elaborado:	
	Potencialidad Fuente	Lorenys de la C Morales Rodríguez	

Anexo 3.12: Fase I Pre - Factibilidad. Sistema de Producción. Potencialidad fuentes, conductoras, depósitos.

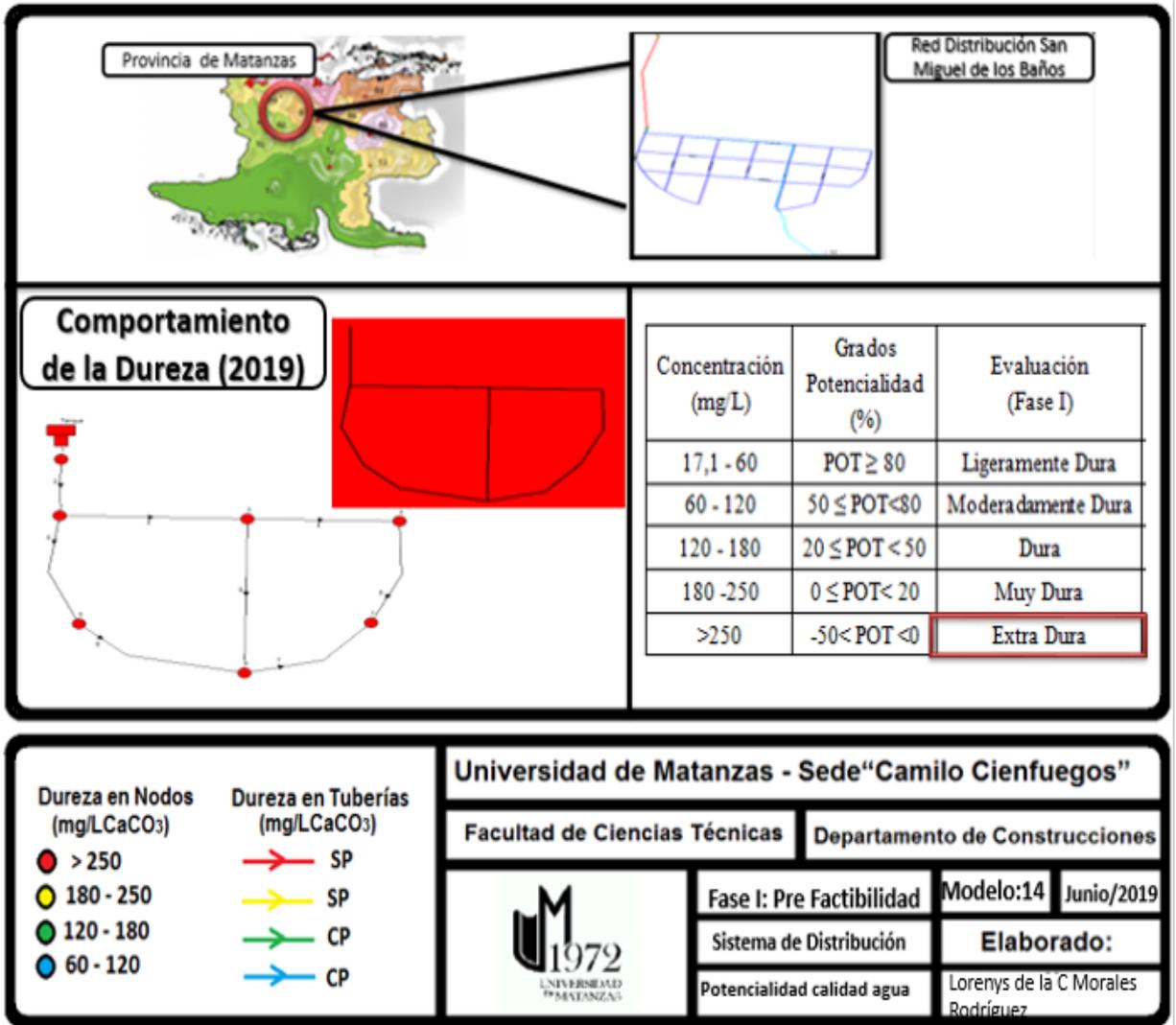


Fuentes ● No Satisface ● A plena Capacidad ● Satisface		Conductoras a Presión = Sobre Explotado = Satisface		Depósitos ● No Satisface ● A plena Capacidad ● Suficiente	
Universidad de Matanzas - Sede "Camilo Cienfuegos"					
Facultad de Ciencias Técnicas			Departamento de Construcciones		
		Fase I: Pre Factibilidad		Modelo:12 Junio/2019	
		Sistema de Producción		Elaborado:	
		Potencialidad fuente, conductora, depósito		Lorenys de la C Morales Rodríguez	

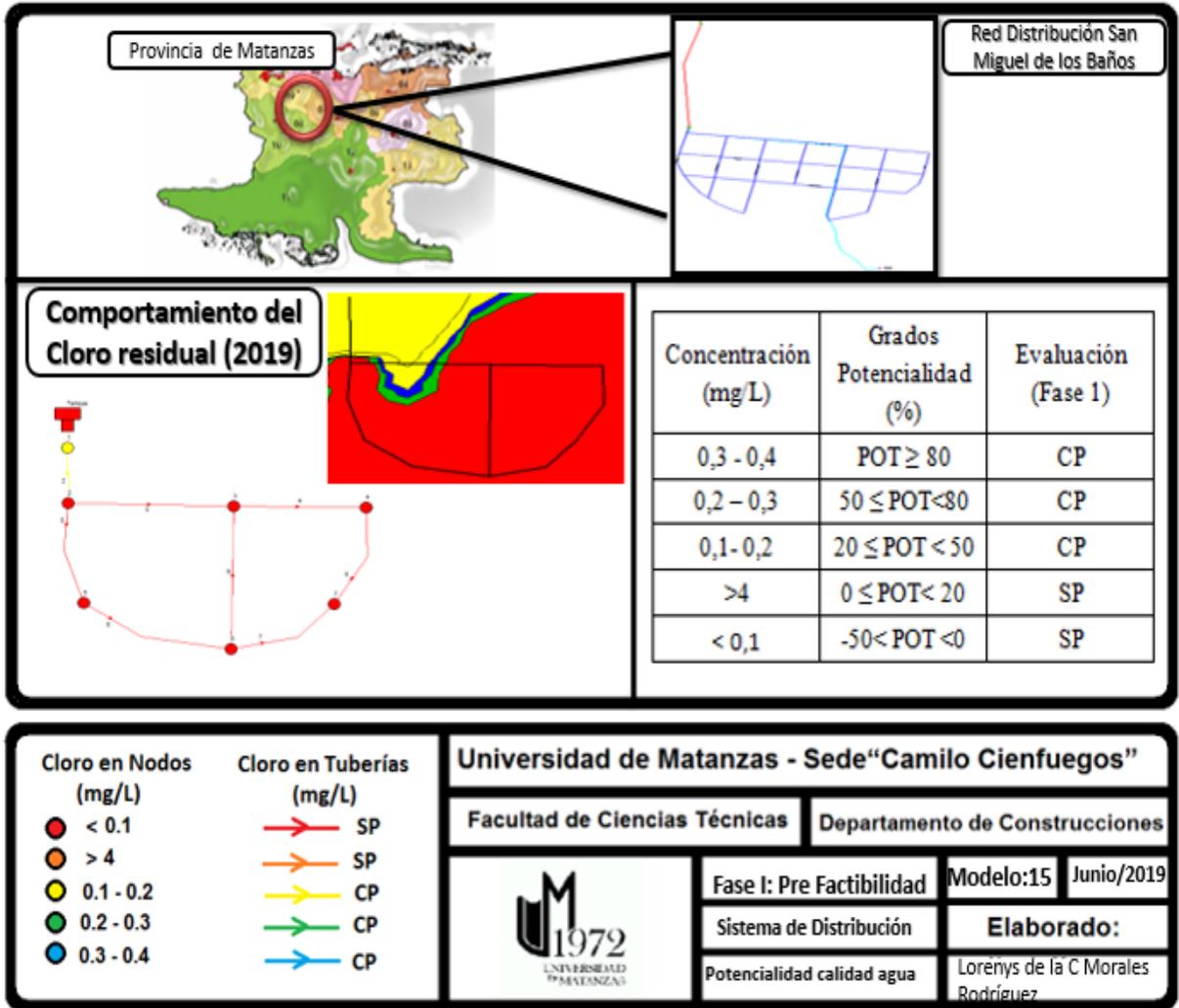
Anexo 3.13: Fase I Pre - Factibilidad. Sistema de Producción. Grado de Potencialidad.



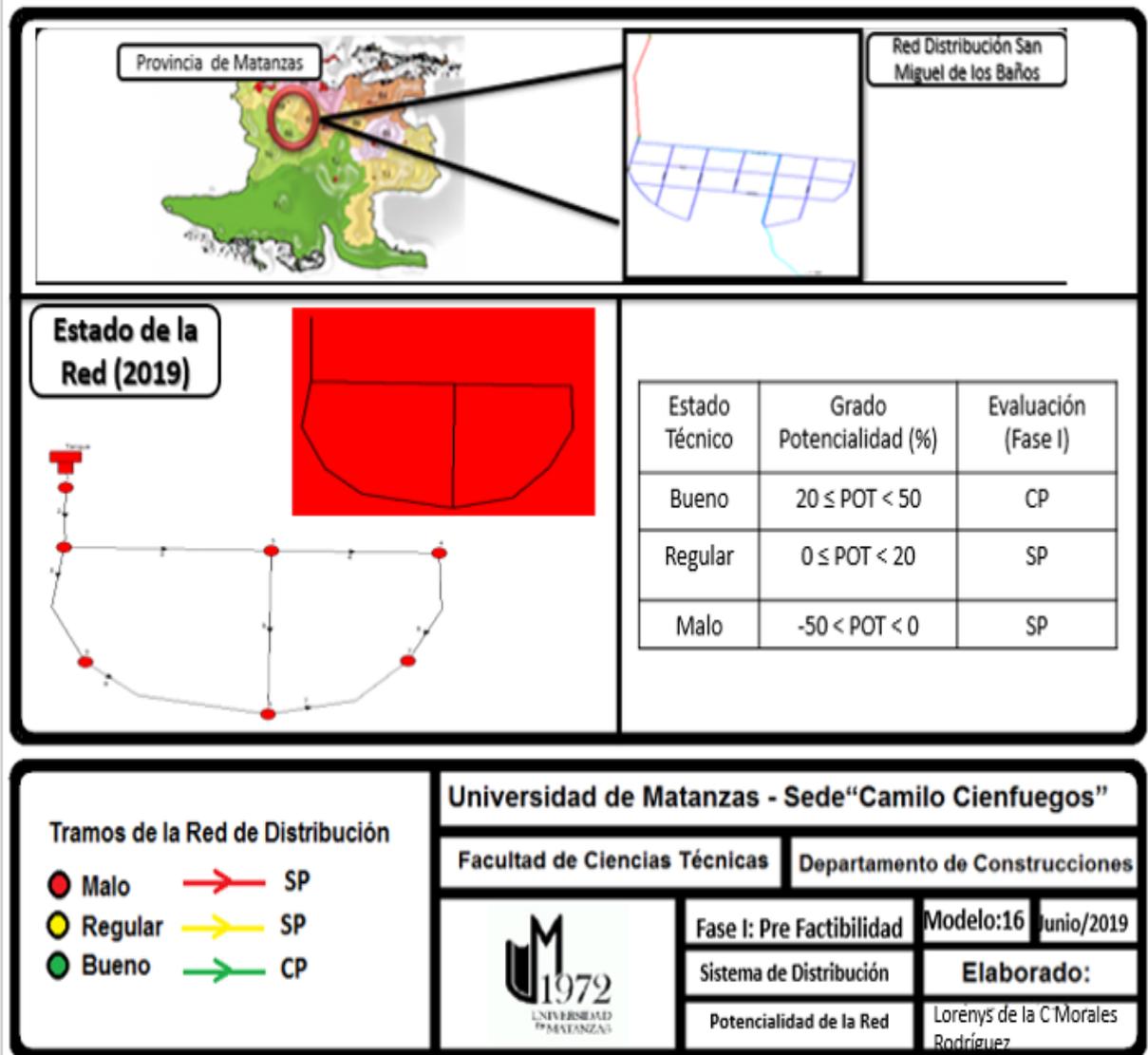
Anexo 3.14: Fase I Pre - Factibilidad. Sistema de Distribución. Potencialidad de la calidad del agua. Dureza Total.



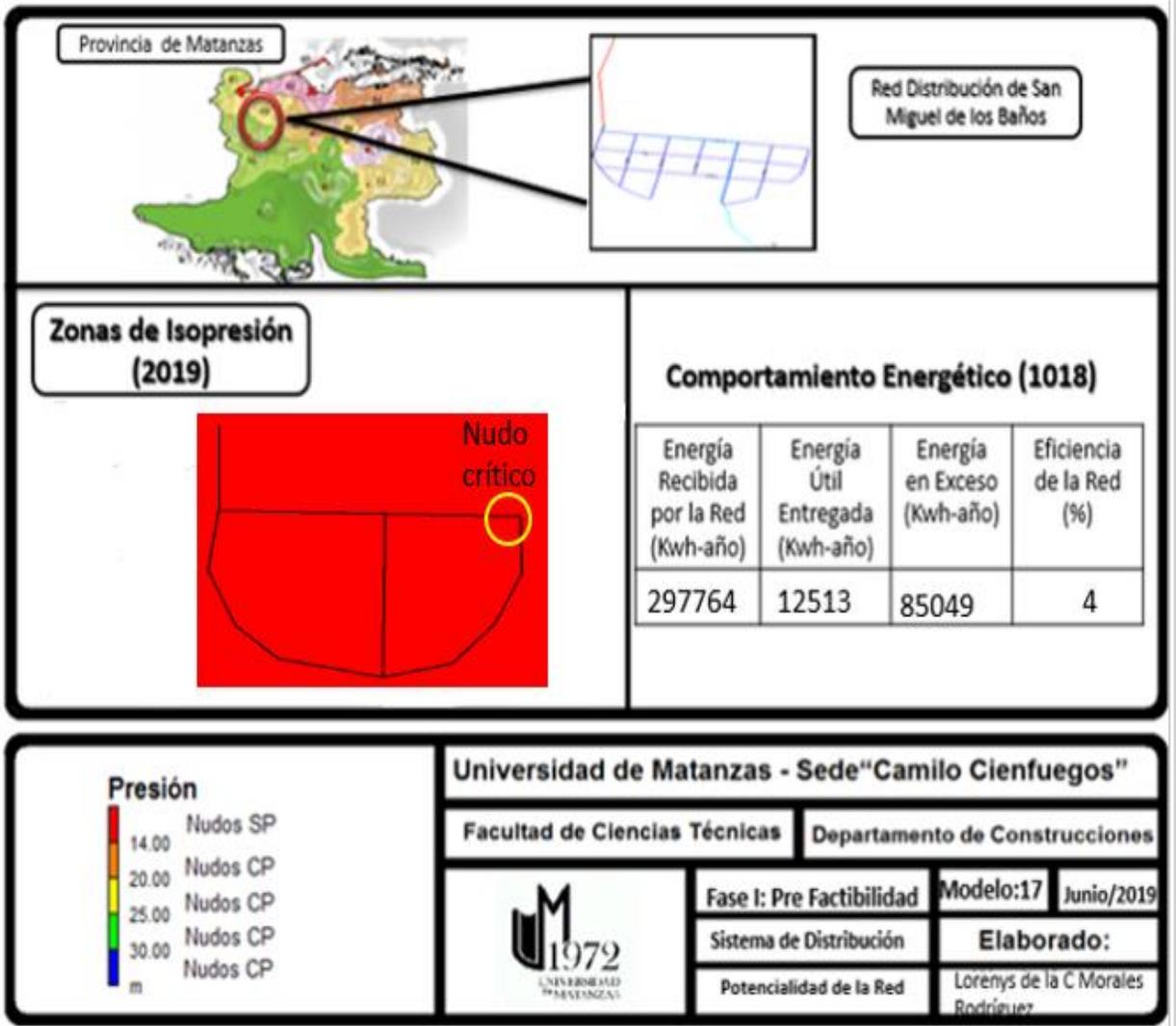
Anexo 3.15: Fase I Pre - Factibilidad. Sistema de Distribución. Potencialidad de la calidad del agua. Cloro residual.



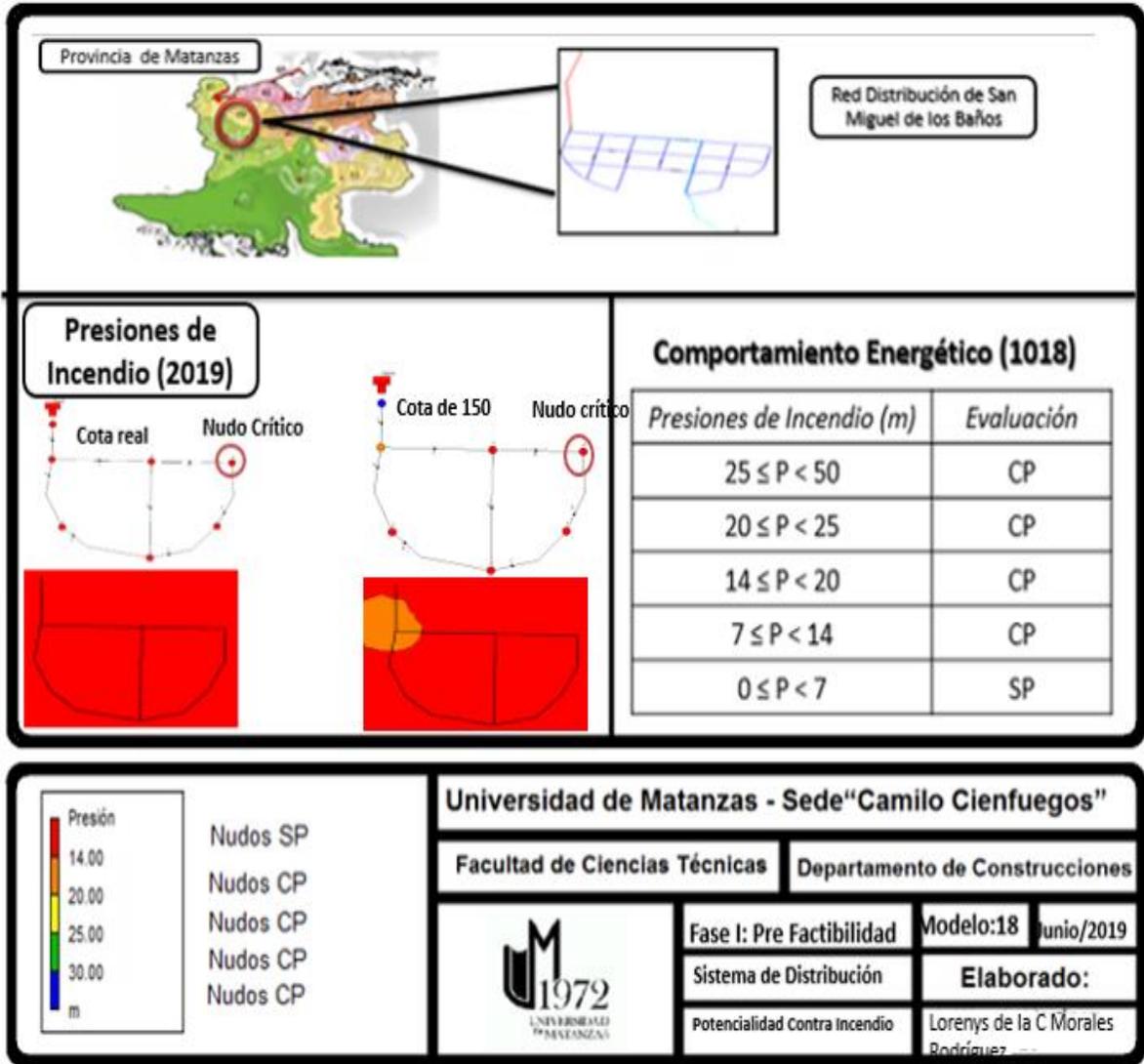
Anexo 3.16: Fase I Pre - Factibilidad. Sistema de Distribución. Potencialidad de la Red de distribución. Estado técnico teórico.



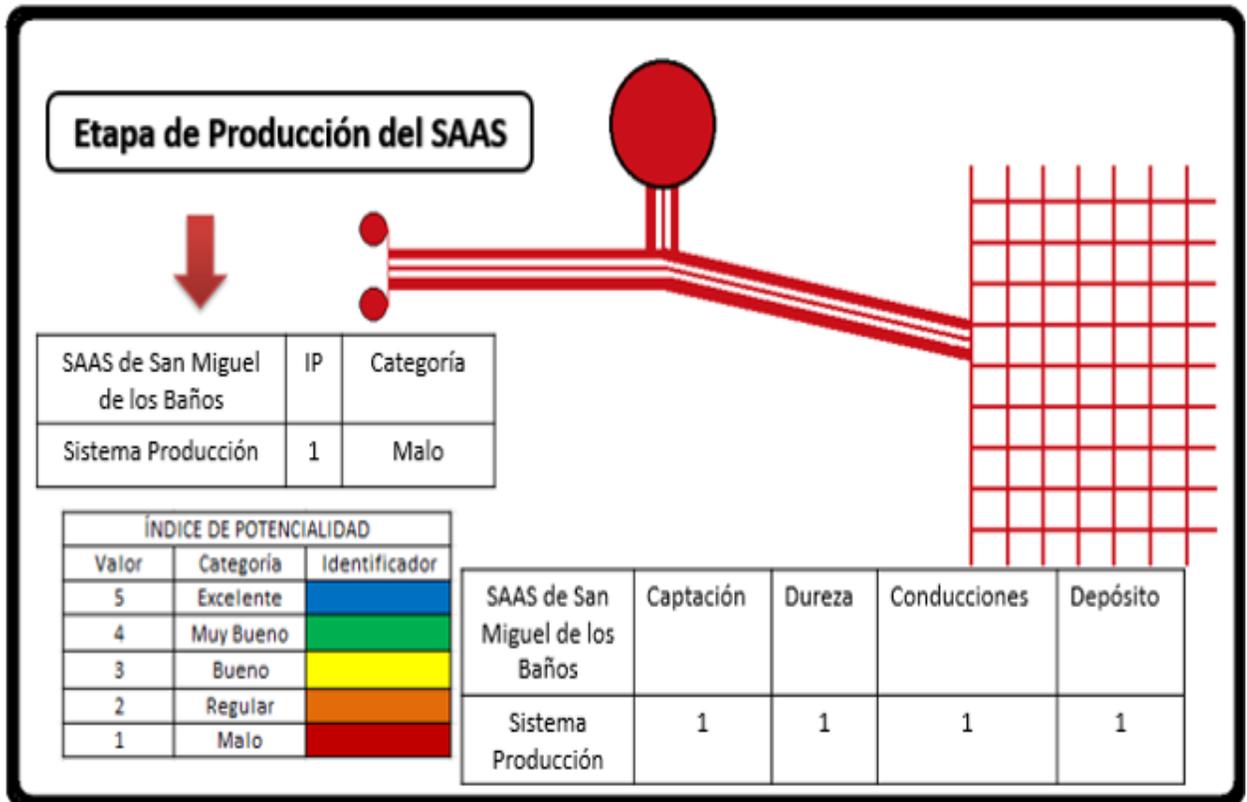
Anexo 3.17: Fase I Pre - Factibilidad. Sistema de Distribución. Potencialidad de la Red de distribución. Comportamiento energético.



Anexo 3.18: Fase I Pre - Factibilidad. Sistema de Distribución. Potencialidad de la Red de distribución. Comportamiento contra incendio.

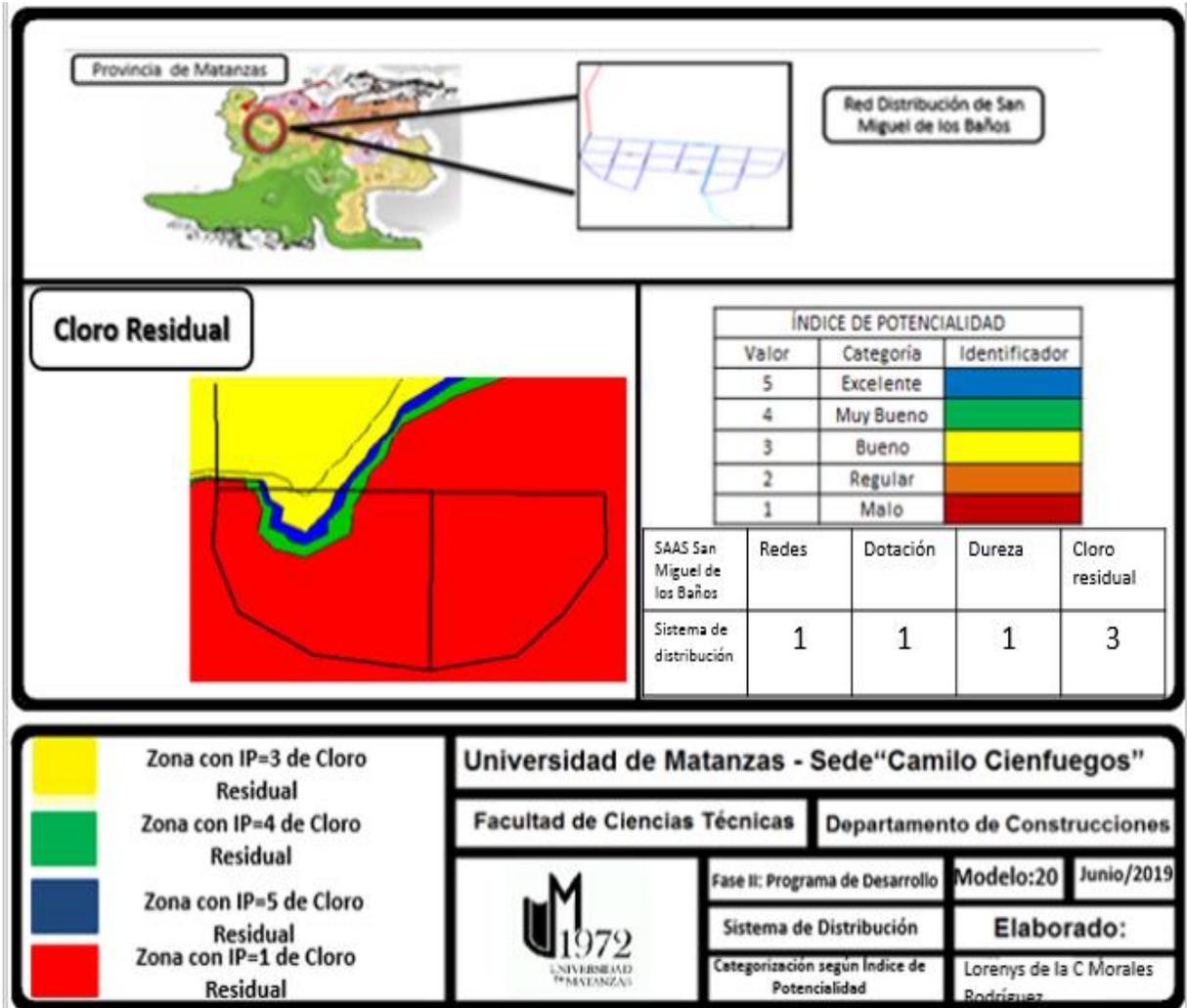


Anexo 3.19: Fase II Programa de Desarrollo. Categoría según Índice de Potencialidad. Sistema de Producción.

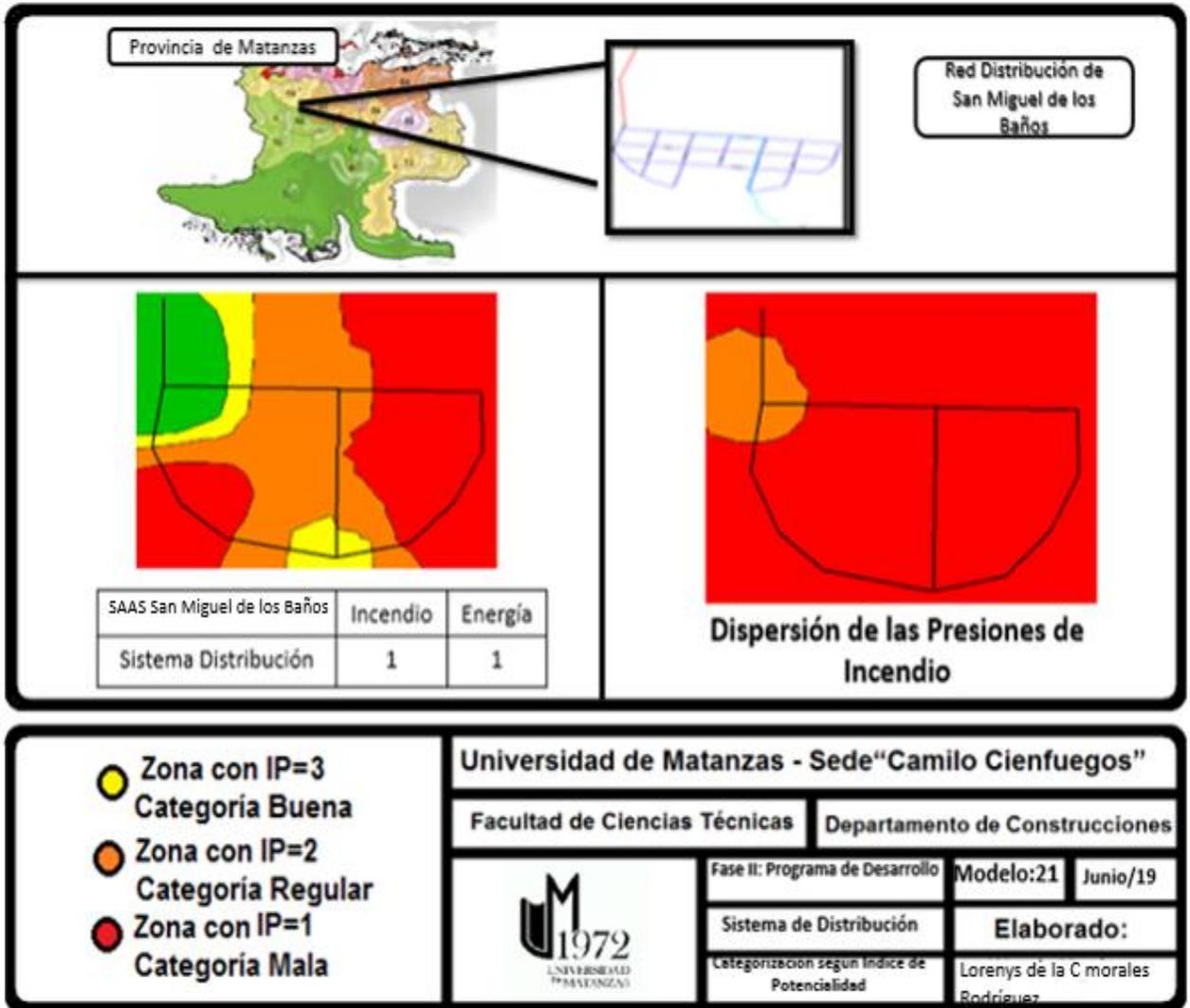


<ul style="list-style-type: none"> Obra de Captación IP = 1 Depósito IP = 1 Conductora a Presión IP = 1 	Universidad de Matanzas - Sede "Camilo Cienfuegos"		
	Facultad de Ciencias Técnicas		Departamento de Construcciones
		Fase II: Programa de Desarrollo	Modelo: 19 Junio/2019
		Sistema de Producción	Elaborado:
	Categorización según Índice de Potencialidad	Lorenys de la C Morales Rodríguez	

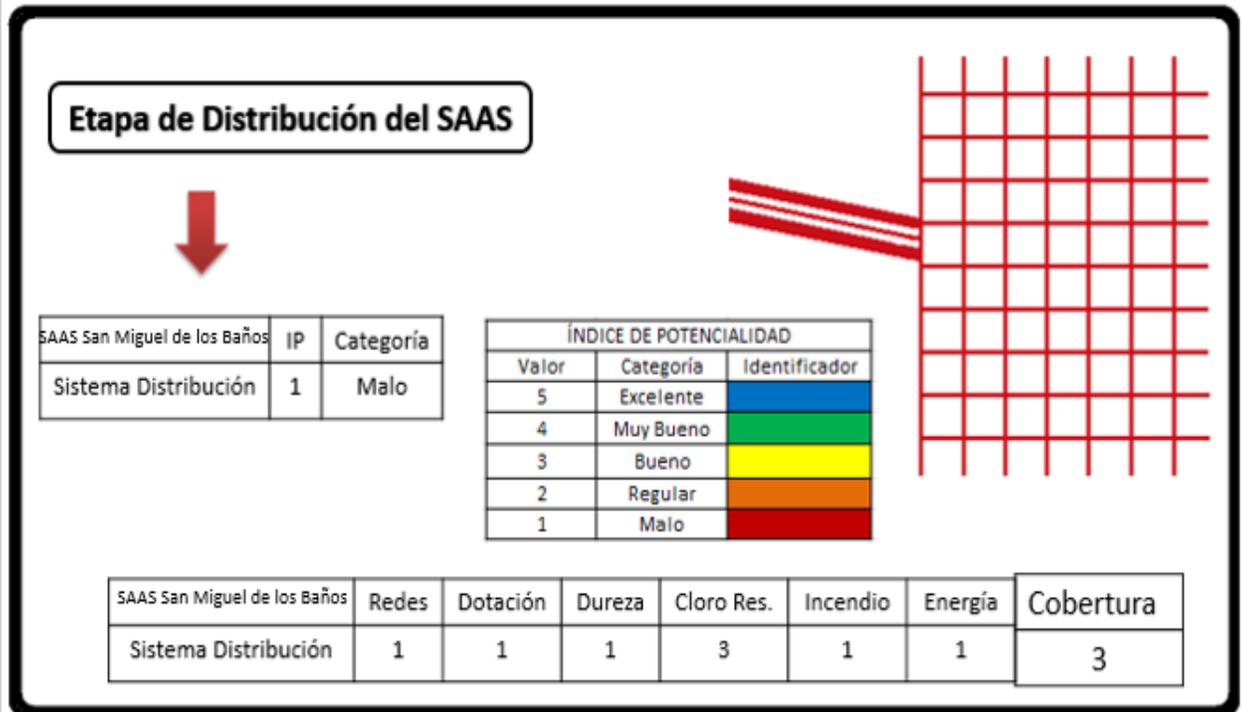
Anexo 3.20: Fase II Programa de Desarrollo. Categoría según Índice de Potencialidad. Sistema de Distribución. Cloro residual.



Anexo 3.21: Fase II Programa de Desarrollo. Categoría según Índice de Potencialidad. Sistema de Distribución. Energía y presión contra incendio.

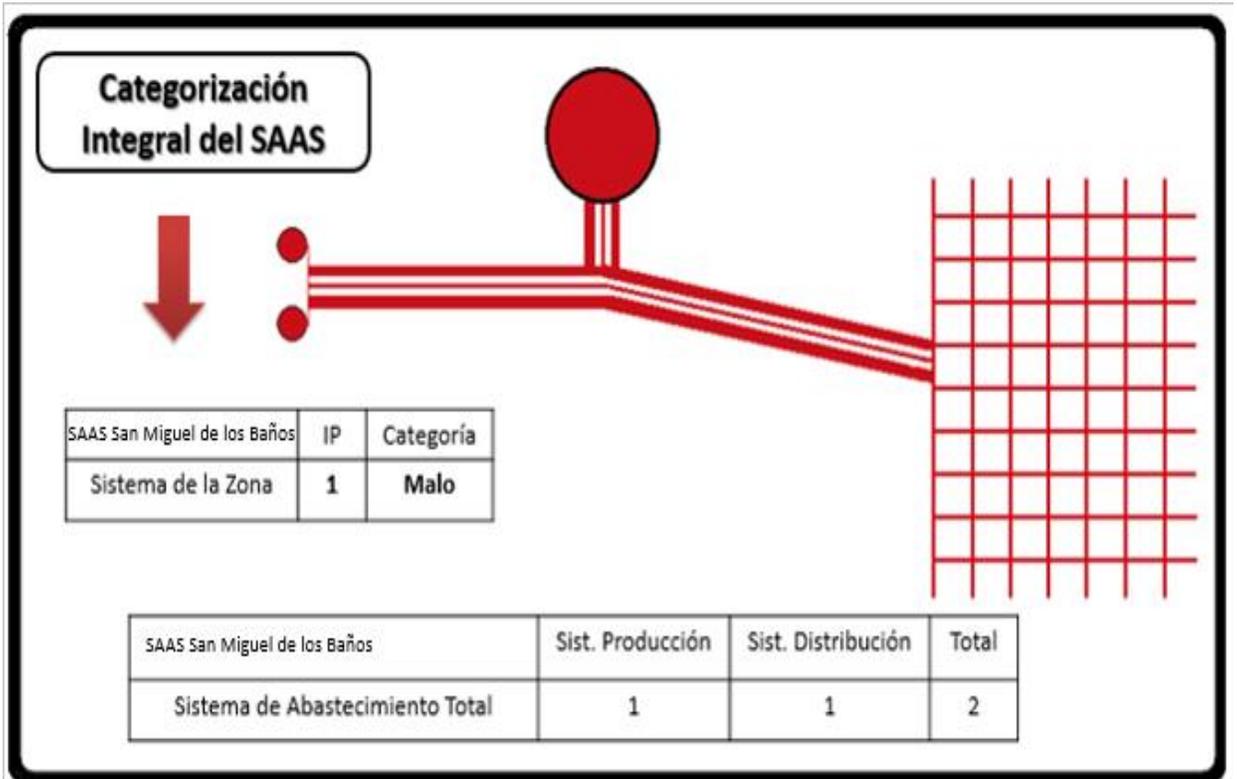


Anexo 3.22: Fase II Programa de Desarrollo. Categoría según Índice de Potencialidad. Sistema de Distribución.



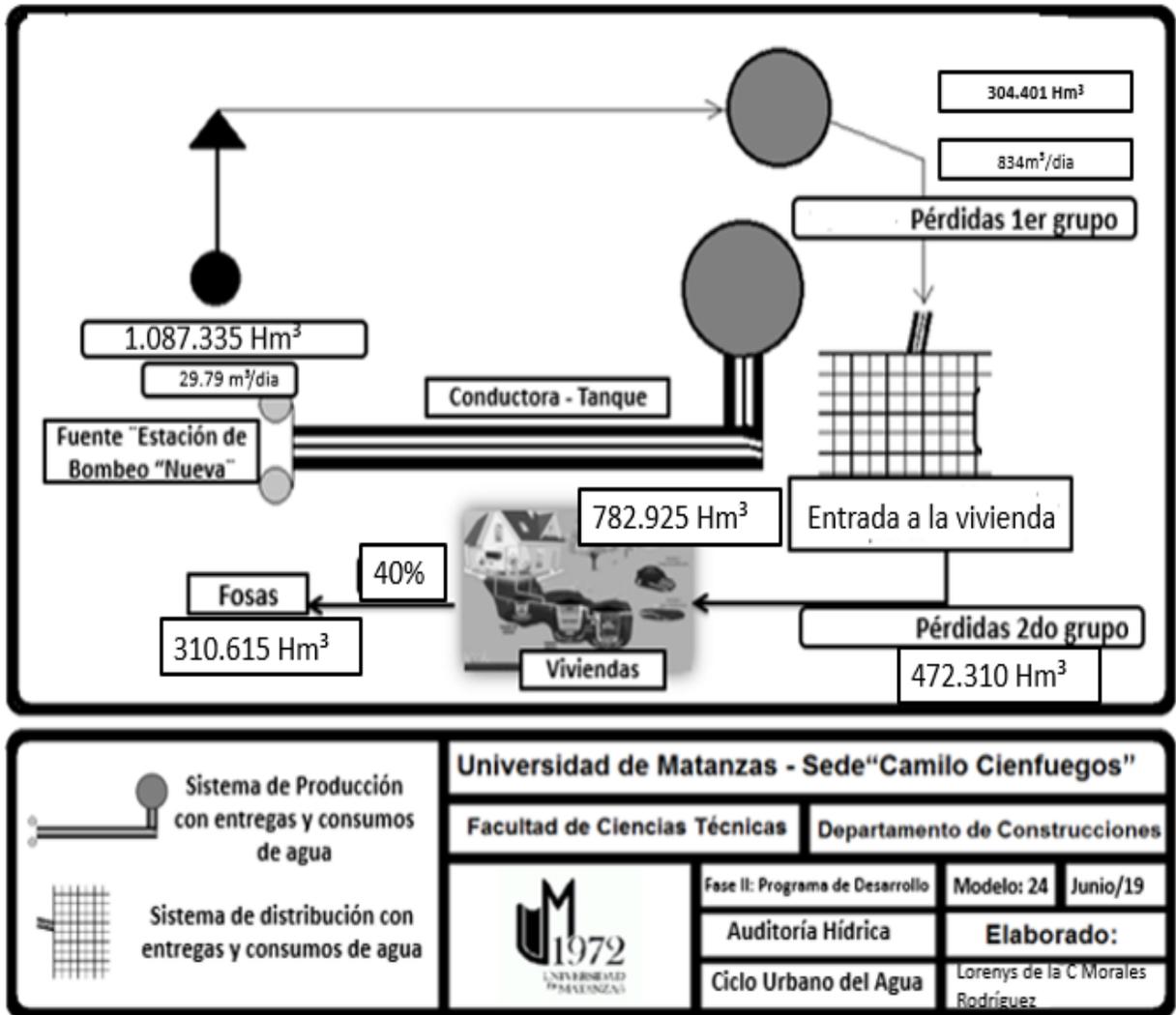
<p>Sistema de Distribución con IP = 1 (Categoría: Malo)</p>	Universidad de Matanzas - Sede "Camilo Cienfuegos"		
	Facultad de Ciencias Técnicas		Departamento de Construcciones
		Fase II: Programa de Desarrollo	Modelo: 22 Marzo/18
		Sistema de Distribución	Elaborado:
Categorización según Índice de Potencialidad		Lorénys de la C Morales Rodríguez	

Anexo 3.23: Fase II Programa de Desarrollo. Categoría según Índice de Potencialidad. SAAS integralmente.

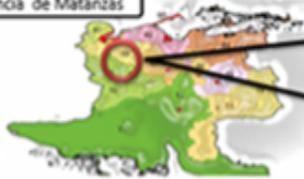


<p>Sistema de Producción con IP = 1 (Categoría: Malo)</p>	Universidad de Matanzas - Sede "Camilo Cienfuegos"			
	Facultad de Ciencias Técnicas		Departamento de Construcciones	
<p>Sistema de Distribución con IP = 1 (Categoría: Malo)</p>	<p>UNIVERSIDAD DE MATANZAS</p>	Fase II: Programa de Desarrollo	Modelo: 23	Junio/19
		Potencialidad del SAAS	Elaborado:	
Categorización según Índice de Potencialidad	Lorenys de la C Morales Rodríguez			

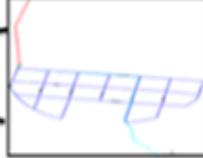
Anexo 3.24: Fase II Programa de Desarrollo. Auditoría hídrica. Ciclo Urbano del agua.



Anexo 3.25: Fase II Programa de Desarrollo. Definición de inversiones. Sistema de Producción.



Provincia de Matanzas

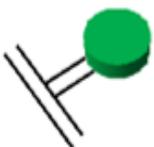


Red Distribución de San Miguel de los Baños

Inversiones en Depósito



Año	Vol.exist	Vol.nec	Vol. a construir
	m3	m3	m3
2019	700	707	7
2023	700	761	61
2049	700	1354	654



Depósito de Almacenamiento de Agua IP = 5

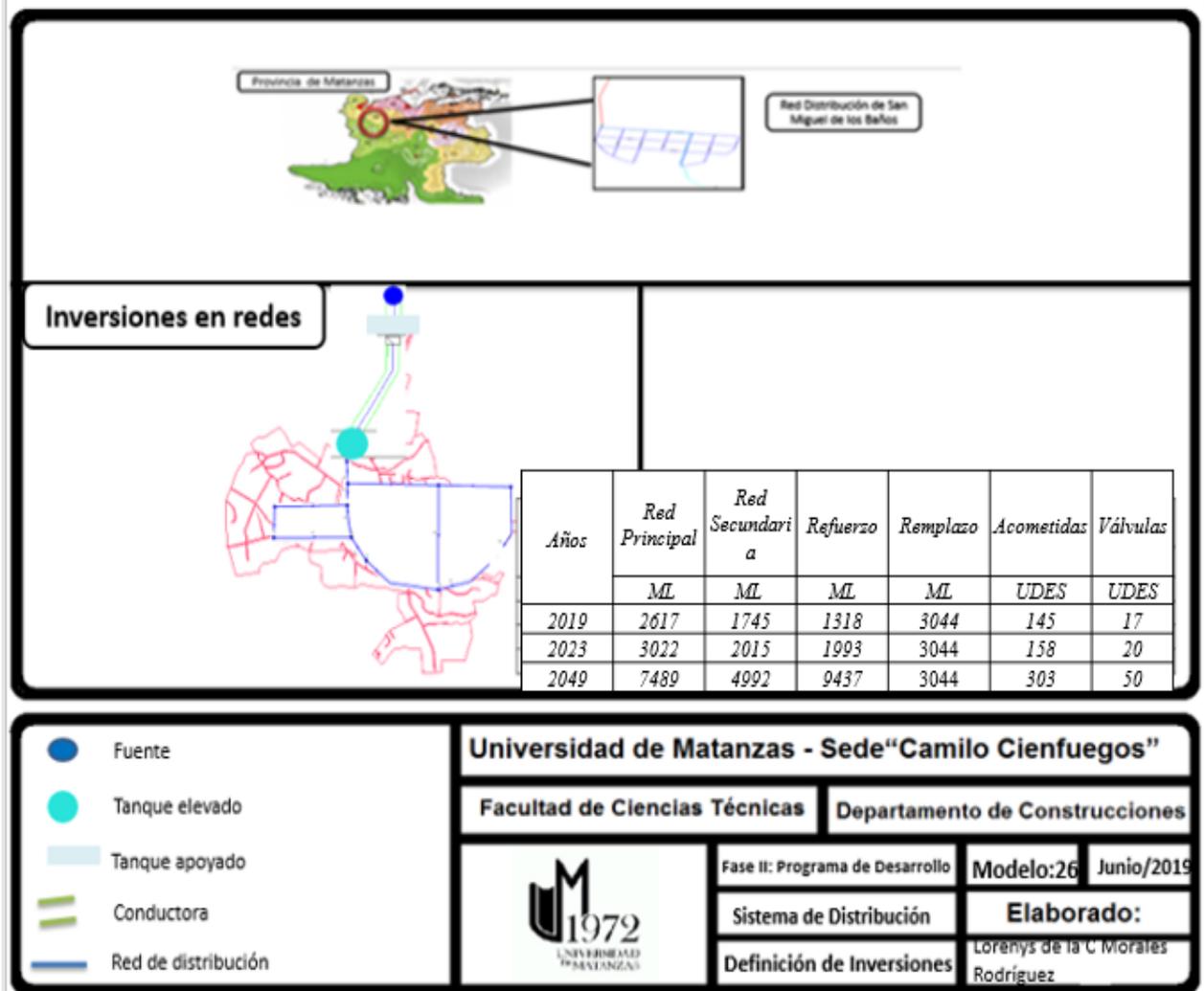
 (Ctrl) ▾

Universidad de Matanzas - Sede "Camilo Cienfuegos"

Facultad de Ciencias Técnicas	Departamento de Construcciones
	Fase II: Programa de Desarrollo Modelo: 25 Junio/201
Sistema de Producción	Elaborado:
Definición de Inversiones	Loreny de la C Morales Rodríguez

105

Anexo 3.26: Fase II Programa de Desarrollo. Definición de inversiones. Sistema de Distribución.



Universidad de Matanzas - Sede "Camilo Cienfuegos"

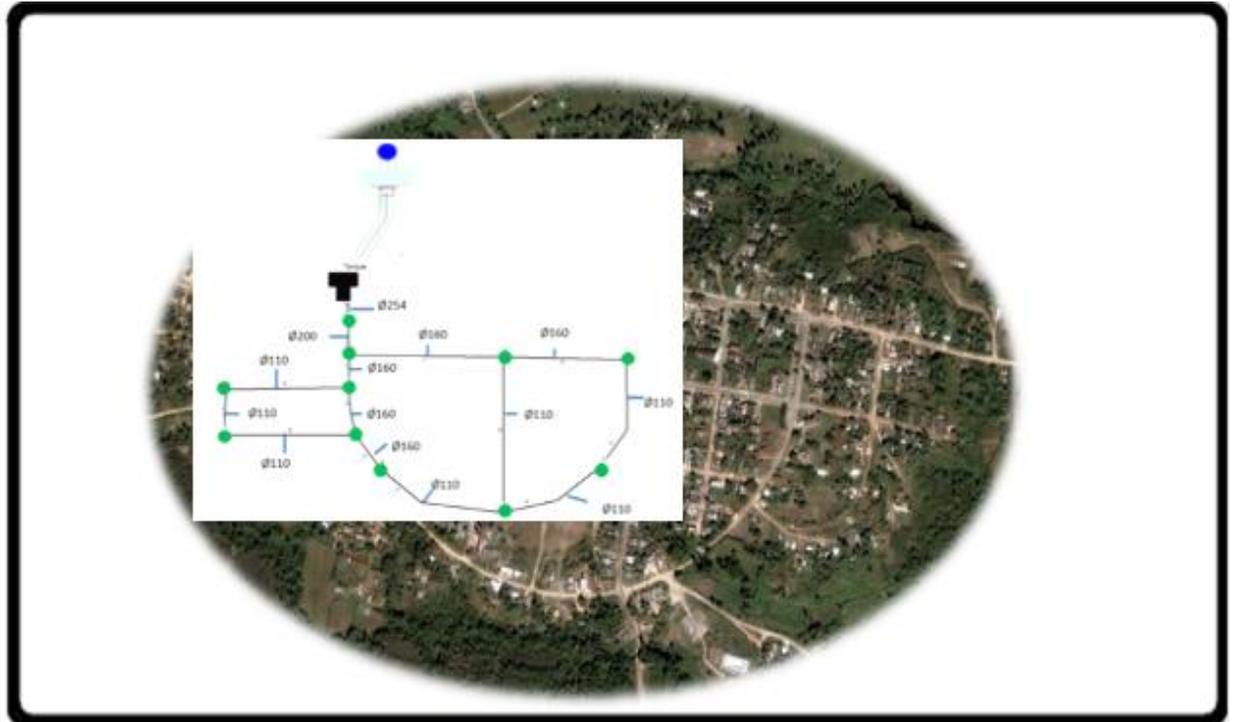
Facultad de Ciencias Técnicas | Departamento de Construcciones

Fase II: Programa de Desarrollo | Modelo:26 | Junio/2019

Sistema de Distribución | **Elaborado:**

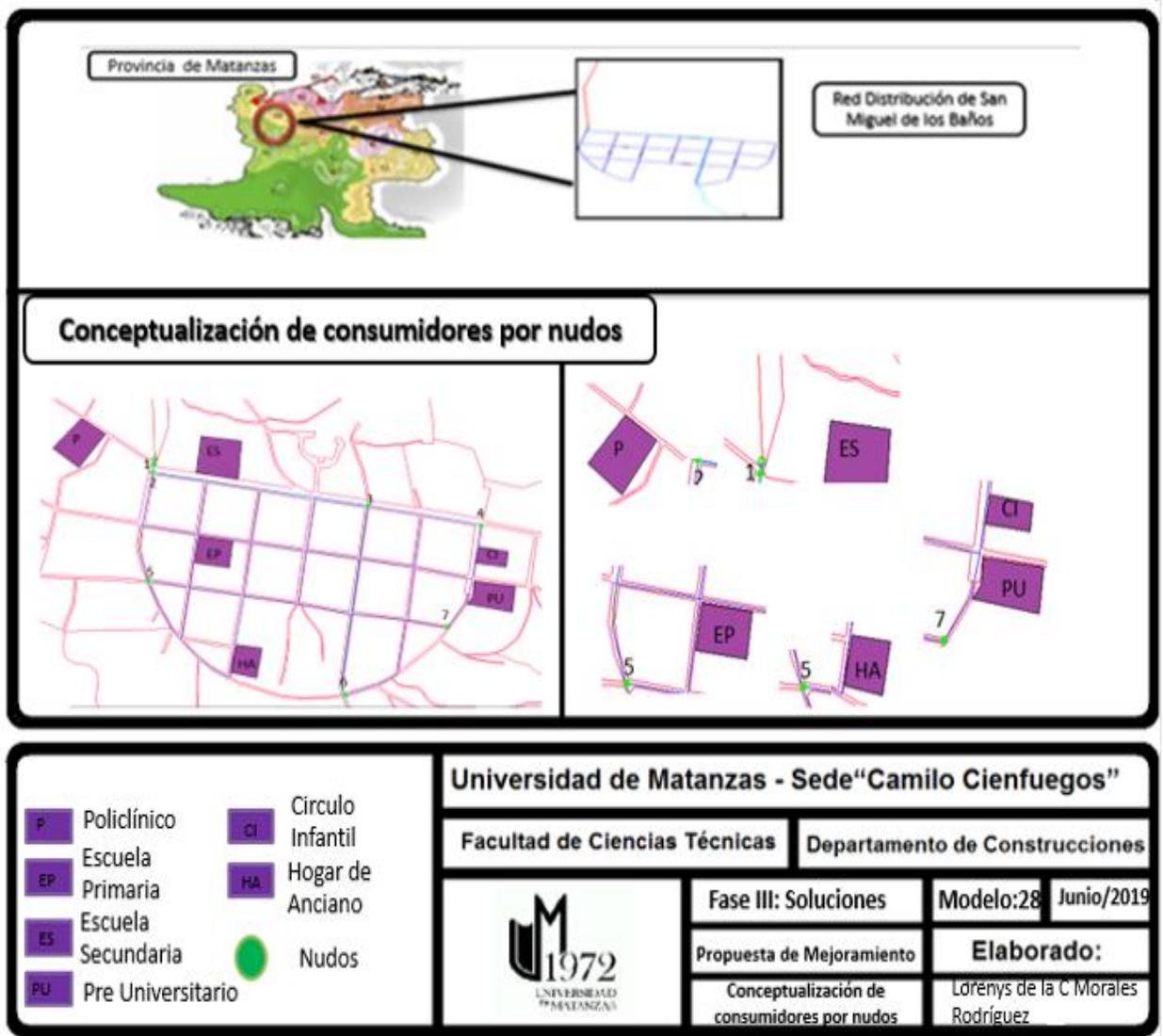
Definición de Inversiones | Lorenys de la C. Morales Rodríguez

Anexo 3.27: Fase III Soluciones. Propuesta de mejoramiento.

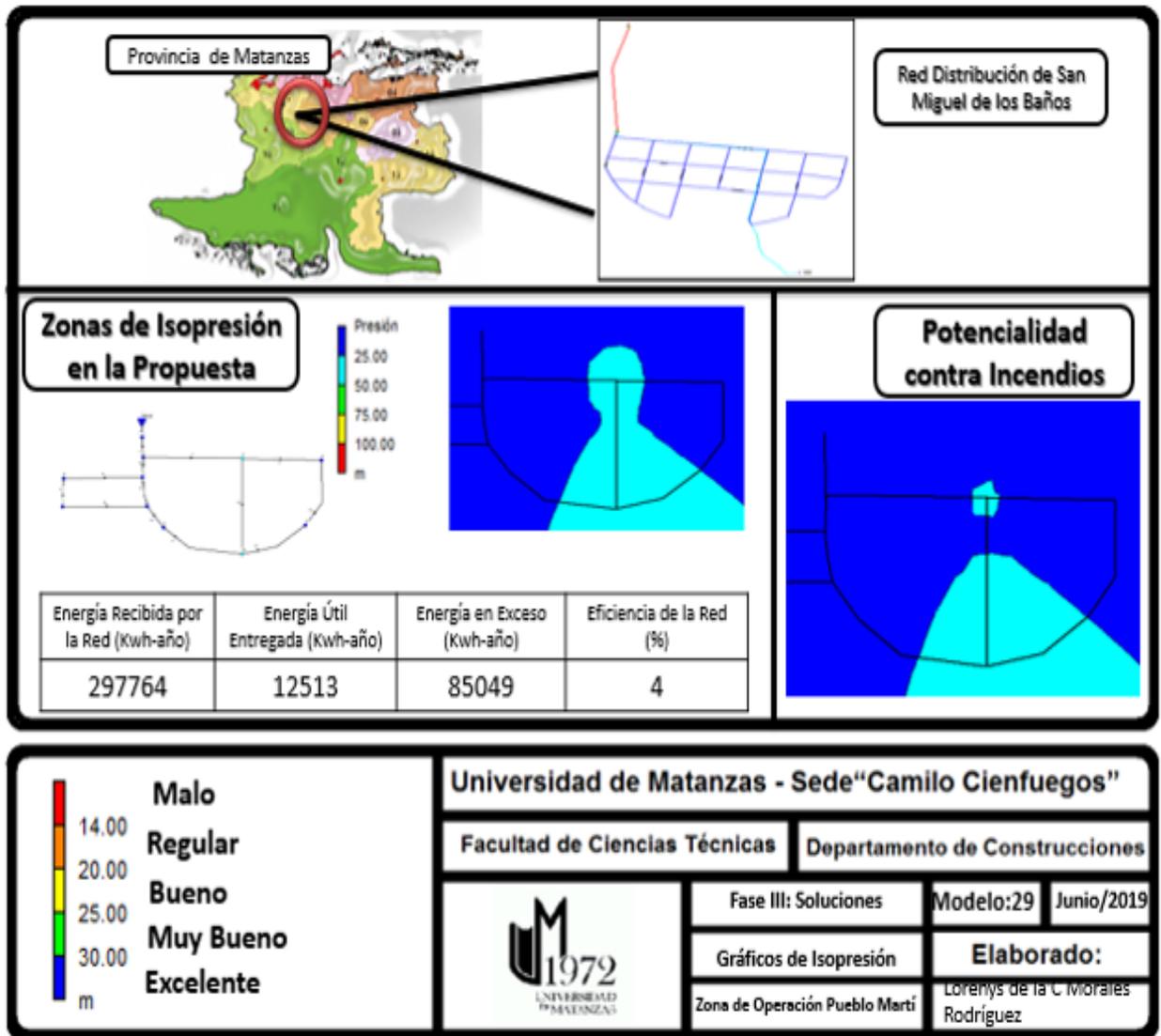


<p>Tanque a construir</p> <p>Nudos</p> <p>Red principal a construir</p> <p>Diámetros de la red a construir</p>	Universidad de Matanzas - Sede "Camilo Cienfuegos"			
	Facultad de Ciencias Técnicas		Departamento de Construcciones	
		Fase III: Soluciones	Modelo: 27	Junio/19
		Propuesta de Mejoramiento	Elaborado:	
Comportamiento del SAAS Martí		Lorenys de la C Morales Rodríguez		

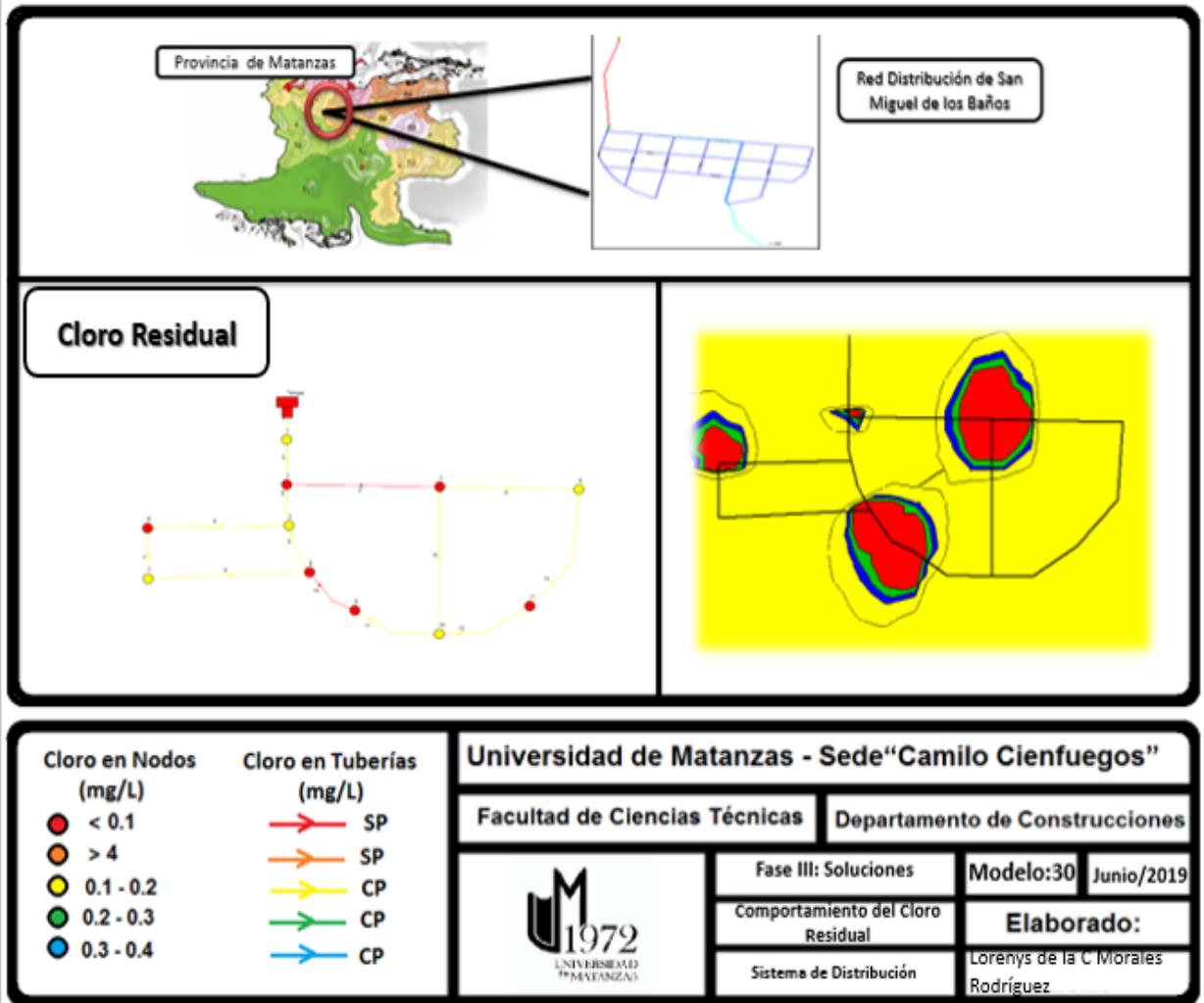
Anexo 3.28: Fase III Soluciones. Propuesta de mejoramiento. Nodos de crecimiento futuro.



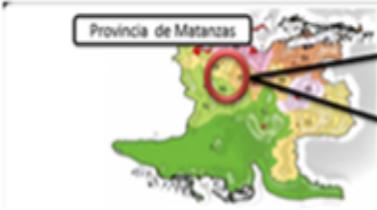
Anexo 3.29: Fase III Soluciones. Propuesta de mejoramiento. Gráficos de isopresión en Red Distribución de la propuesta.



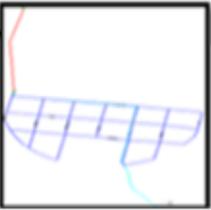
Anexo 3.30: Fase III Soluciones. Propuesta de mejoramiento. Comportamiento del Cloro residual en Red Distribución de la propuesta.



Anexo 3.31: Fase III Soluciones. Evaluación económica de la propuesta.



Provincia de Matanzas



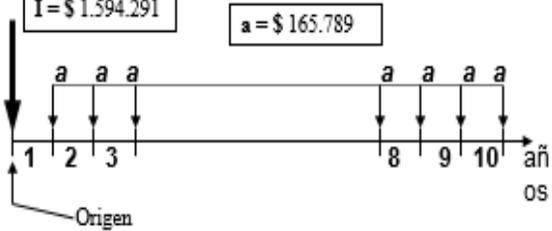
Red Distribución San Miguel de los Baños

Evaluación Económica

Acciones Definidas	Costos M\$
Redes Principales L= 7481m	\$ 561.075
Redes Secundarias L= 4992m	\$ 374.400
Maestra de entrega (Fuente "Nueva" – Tanque Elevado) Ø300mm L=3000m	\$ 225000
Tanque Apoyado V=1000m ³	\$ 96.960.00
Accesorios	\$34.412.00
Acometidas D=13mm (303)	\$ 4363
Medidor de Agua Potable D=13mm	\$ 298.080
TOTAL	1.594.291

Anualización de la Inversión

$I = \$ 1.594.291$ $a = \$ 165.789$



Origen

Gráfico de Costo

Fuente: Dr.C José Bienvenido Martínez



Origen, fin del proceso de inversión año 2020

Universidad de Matanzas - Sede "Camilo Cienfuegos"

Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento de Construcciones



1972
UNIVERSIDAD
MATANZAS

Fase III: Soluciones	Modelo:31
Evaluación Económica	Junio/19
Gráficos de Costo	Elaborado:
	Lorens de la C Morales Rodríguez

Anexo 3.32: Tabla base para revisión de la red de San Miguel de los Baños al Año 2019 según operación actual.

Zona	Nudo	Población	Cota Topográfica m	Gasto Población L/s
Medio del Pueblo	3	138	94.70	1
	2	32	111	3
	5	108	104.75	1
	6	190	86.24	1
<i>Jacán</i>	2	406	111	3
	5	470	104.75	3
<i>Circulo Infantil</i>	7	537	96.97	4
	4	234	101.29	2
<i>Matadero</i>	6	266	86.24	2
<i>Fin del Siglo</i>	1	247	111.52	2
	3	435	94.70	3
<i>Hatillo</i>	6	453	86.24	3

Anexo 3.33: Tabla base para revisión de la red San Miguel de los Baños al Año 2019.

Zona	Nudo	Población	Cota Topográfica m	Gasto Población L/s	Gasto Concentrado L/s	Gastos Totales L/s
Medio del Pueblo	3	138	94.70	1	0	1
	2	32	111	3	0	3
	5	108	104.75	1	2.083	2.083
	6	190	86.24	1	0	1
<i>Jacán</i>	2	406	111	3	0.017	3.017
	5	470	104.75	3	1.215	4.215
<i>Circulo Infantil</i>	7	537	96.97	4	1.574	5.574
	4	234	101.29	2	0	2
<i>Matadero</i>	6	266	86.24	2	0	2
<i>Fin del Siglo</i>	1	247	111.52	2	0.764	2.764
	3	435	94.70	3	0	3
<i>Hatillo</i>	6	453	86.24	3	0	3

Anexo 3.34: Tabla base para simulación de la red San Miguel de los Baños de la propuesta al Año 2023.

Zona	Nudo	Población	Cota Topográfica m	Gasto Población L/s	Gasto Concentrado L/s	Gastos Totales L/s
Medio del Pueblo	3	151	94.70	1.06	0	1.06
	2	35	111	0.25	0	0.25
	5	118	104.75	0.83	0.333	1.163
	6	207	86.24	1.44	0	1.44
<i>Jacán</i>	2	444	111	3.11	0.002	3.112
	5	514	104.75	3.6	0.259	3.859
<i>Circulo Infantil</i>	7	580	96.97	4.07	0.207	4.277
	4	252	101.29	1.76	0	1.76
<i>Matadero</i>	6	291	86.24	2.05	0	2.05
<i>Fin del Siglo</i>	1	269	111.52	1.87	0.174	2.044
	3	479	94.70	3.35	0	3.35
<i>Hatillo</i>	6	496	86.24	3.6	0	3.6

Anexo 3.35: Tabla base para simulación de la red San Miguel de los Baños de la propuesta al Año 2049.

Zona	Nudo	Población	Cota Topográfica m	Gasto Población L/s	Gasto Concentrado L/s	Gastos Totales L/s
Medio del Pueblo	3	140	94.70	165.92	0	166
	2	33	111	0.23	0	0
	5	119	104.75	0.83	2.083	3
	6	192	86.24	1.35	0	1
<i>Jacán</i>	2	412	111	2.88	0.017	3
	5	4275	104.75	29.92	1.215	31
<i>Circulo Infantil</i>	7	538	96.97	3.78	1.574	5
	4	237	101.29	1.67	0	2
<i>Matadero</i>	6	269	86.24	1.87	0	2
<i>Fin del Siglo</i>	1	250	111.52	1.76	0.763	3
	3	444	94.70	3.11	0	3
<i>Hatillo</i>	6	460	86.24	3.22	0	3

Anexo 3.36: Resultados finales de simulación ROKO y EPANET en el año 2019 (Revisión potencialidades) de presión de trabajo.

<i>Tramos</i>	<i>n1</i>	<i>n2</i>	<i>D(mm)</i>	<i>L(m)</i>	<i>Q(l/s)</i>	<i>V(m/s)</i>	<i>hf(m)</i>
1	1	2	100	25.00	34.00	4.329	11.291
2	2	3	100	453.00	12.11	1.541	30.222
3	3	4	100	241.00	4.94	0.629	3.055
4	2	5	100	234.00	14.76	1.880	22.551
5	5	6	100	476.00	6.46	0.823	9.939
6	3	6	100	407.00	3.17	0.403	2.268
7	6	7	100	262.00	3.63	0.463	1.881
8	4	7	100	226.00	2.94	0.374	1.095

Anexo 3.37: Distribución de presiones según ROKO y EPANET en el año 2019.

<i>Nudos</i>	<i>Q(l/s)</i>	<i>Z(m)</i>	<i>E(m)</i>	<i>R(m)</i>	<i>P(m)</i>	<i>H(m)</i>
1	-34	111.52	34.34	14.00	48.34	159.86
2	7.13	111.00	23.57	14.00	37.57	148.57
3	4.00	94.70	9.64	14.00	23.64	118.34
4	2.00	101.29	0.00	14.00	14.00	115.29
5	8.30	104.75	7.27	14.00	21.27	126.02
6	6.00	86.24	15.84	14.00	29.84	116.08
7	6.57	96.97	3.23	14.00	17.23	114.20

Costos de la Inversión de la Red Anualizado y análisis energético Año 2018.

<i>Inversión Anualizada</i>	0.00	
<i>Costo de Inversión Anualizada</i>	0.00	
<i>Costo Anual de Energía</i>	11298.68	
<i>Costo Anualizado Total</i>	11298.68	
<i>Diámetro ponderado</i>	100	
<i>Costo del Exceso de Presión</i>	2633.90	(23.3% del Costo Total)
<i>Índice Unif. Gasto</i>	0.1816	

Anexo 3.38: Resultados finales de simulación ROKO y EPANET en el año 2049 (Revisión potencialidades) de presión de trabajo.

<i>Tramos</i>	<i>n1</i>	<i>n2</i>	<i>D(mm)</i>	<i>L(m)</i>	<i>Q(l/s)</i>	<i>V(m/s)</i>	<i>hf(m)</i>
1	1	2	100	25.00	64.99	8.275	37.478
2	2	3	100	453.00	30.68	3.906	169.114
3	3	4	100	241.00	15.71	2.001	26.067
4	2	5	100	234.00	30.40	3.871	85.915
5	5	6	100	476.00	21.86	2.784	94.899
6	3	6	100	407.00	7.68	0.978	11.700
7	6	7	100	262.00	10.91	1.389	14.408
8	4	7	100	226.00	0.49	0.063	0.040

Anexo 3.39: Distribución de presiones según ROKO y EPANET en el año 2049.

<i>Nudos</i>	<i>Q(l/s)</i>	<i>Z(m)</i>	<i>E(m)</i>	<i>R(m)</i>	<i>P(m)</i>	<i>H(m)</i>
<i>1</i>	-64.99	111.52	222.43	14.00	236.43	347.95
<i>2</i>	3.91	111.00	185.47	14.00	199.47	310.47
<i>3</i>	7.28	94.70	32.66	14.00	46.66	141.36
<i>4</i>	15.22	101.29	0.00	14.00	14.00	115.29
<i>5</i>	8.54	104.75	105.81	14.00	119.81	224.56
<i>6</i>	18.64	86.24	29.42	14.00	43.42	129.66
<i>7</i>	11.40	96.97	4.28	14.00	18.28	115.25

Costos de la Inversión de la Red Anualizado y análisis energético Año 2048.

<i>Inversión Anualizada</i>	<i>0.00</i>	
<i>Costo de Inversión Anualizada</i>	<i>0.00</i>	
<i>Costo Anual de Energía</i>	<i>70424.02</i>	
<i>Costo Anualizado Total</i>	<i>70424.02</i>	
<i>Diámetro Medio Ponderado</i>	<i>100</i>	
<i>Costo del Exceso de Presión</i>	<i>11291.50</i>	<i>(16 % del Costo Total)</i>
<i>Índice Unif. Gasto</i>	<i>1.0905</i>	

**Anexo 3.40: Resultados finales de simulación ROKO y EPANET en el año 2019
(Revisión potencialidades) contra incendio.**

<i>Tramos</i>	<i>n1</i>	<i>n2</i>	<i>D(mm)</i>	<i>L(m)</i>	<i>Q(l/s)</i>	<i>V(m/s)</i>	<i>hf(m)</i>
<i>1</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	100	<i>25.00</i>	<i>50.00</i>	<i>6.366</i>	<i>23.062</i>
<i>2</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	100	<i>453.00</i>	<i>20.97</i>	<i>2.670</i>	<i>83.583</i>
<i>3</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	100	<i>241.00</i>	<i>13.53</i>	<i>1.723</i>	<i>19.758</i>
<i>4</i>	<i>2</i>	<i>5</i>	100	<i>234.00</i>	<i>21.90</i>	<i>2.789</i>	<i>46.810</i>
<i>5</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	100	<i>476.00</i>	<i>13.60</i>	<i>1.732</i>	<i>39.412</i>
<i>6</i>	<i>3</i>	<i>6</i>	100	<i>407.00</i>	<i>3.44</i>	<i>0.438</i>	<i>2.638</i>
<i>7</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	100	<i>262.00</i>	<i>11.04</i>	<i>1.406</i>	<i>14.738</i>
<i>8</i>	<i>4</i>	<i>7</i>	100	<i>226.00</i>	<i>-4.47</i>	<i>-0.569</i>	<i>-2.383</i>

Anexo 3.41: Distribución de presiones contra incendio según ROKO y EPANET en el año 2019.

<i>Nudos</i>	<i>Q(l/s)</i>	<i>Z(m)</i>	<i>E(m)</i>	<i>R(m)</i>	<i>P(m)</i>	<i>H(m)</i>
<i>1</i>	<i>-50.00</i>	<i>111.52</i>	<i>116.17</i>	<i>7.00</i>	<i>123.17</i>	<i>234.69</i>
<i>2</i>	<i>7.13</i>	<i>111.00</i>	<i>93.63</i>	<i>7.00</i>	<i>100.63</i>	<i>211.63</i>
<i>3</i>	<i>4.00</i>	<i>94.70</i>	<i>26.35</i>	<i>7.00</i>	<i>33.35</i>	<i>128.05</i>
<i>4</i>	<i>18.00</i>	<i>101.29</i>	<i>0.00</i>	<i>7.00</i>	<i>7.00</i>	<i>108.29</i>
<i>5</i>	<i>8.30</i>	<i>104.75</i>	<i>53.07</i>	<i>7.00</i>	<i>60.07</i>	<i>164.82</i>
<i>6</i>	<i>6.00</i>	<i>86.24</i>	<i>32.17</i>	<i>7.00</i>	<i>39.17</i>	<i>125.41</i>
<i>7</i>	<i>6.57</i>	<i>96.97</i>	<i>6.70</i>	<i>7.00</i>	<i>13.70</i>	<i>110.67</i>

Anexo 3.42: Resultados finales de diseño ROKO y simulación EPANET en el año 2049 (Propuesta de reemplazo total).

<i>Tramos</i>	<i>n1</i>	<i>n2</i>	<i>D(mm)</i>	<i>L(m)</i>	<i>Q(l/s)</i>	<i>V(m/s)</i>	<i>hf(m)</i>
1	1	2	200	25.00	64.99	2.069	0.521
2	2	3	160	453.00	29.70	1.477	6.570
3	3	4	160	241.00	18.15	0.903	1.405
4	2	5	160	110.00	31.85	1.584	1.816
5	5	6	110	336.00	7.90	0.831	2.602
6	6	7	110	208.00	-4.43	-0.466	-0.552
7	8	7	110	277.00	4.89	0.515	0.882
8	5	8	160	120.00	23.95	1.191	1.168
9	8	9	160	144.00	16.66	0.829	0.716
10	10	9	110	476.00	-8.12	-0.854	-3.877
11	3	10	110	407.00	4.27	0.449	1.007
12	10	11	110	262.00	6.07	0.638	1.244
13	4	11	110	226.00	5.33	0.561	0.846

Anexo 3.43: Distribución de presiones según ROKO y EPANET en el año 2049.

<i>Nudos</i>	<i>Q(l/s)</i>	<i>Z(m)</i>	<i>E(m)</i>	<i>R(m)</i>	<i>P(m)</i>	<i>H(m)</i>
<i>1</i>	<i>-64.99</i>	<i>11.52</i>	<i>0.00</i>	<i>14.00</i>	<i>14.00</i>	<i>125.52</i>
<i>2</i>	<i>3.44</i>	<i>111.00</i>	<i>0.00</i>	<i>14.00</i>	<i>14.00</i>	<i>125.00</i>
<i>3</i>	<i>7.28</i>	<i>94.70</i>	<i>9.73</i>	<i>14.00</i>	<i>23.73</i>	<i>118.43</i>
<i>4</i>	<i>12.82</i>	<i>101.29</i>	<i>1.74</i>	<i>14.00</i>	<i>15.74</i>	<i>117.03</i>
<i>5</i>	<i>0.00</i>	<i>108.00</i>	<i>1.18</i>	<i>14.00</i>	<i>15.74</i>	<i>123.18</i>
<i>6</i>	<i>12.33</i>	<i>98.00</i>	<i>8.58</i>	<i>14.00</i>	<i>22.58</i>	<i>120.58</i>
<i>7</i>	<i>0.46</i>	<i>98.00</i>	<i>9.13</i>	<i>14.00</i>	<i>23.13</i>	<i>121.13</i>
<i>8</i>	<i>2.40</i>	<i>99.00</i>	<i>9.02</i>	<i>14.00</i>	<i>23.02</i>	<i>122.02</i>
<i>9</i>	<i>8.54</i>	<i>104.75</i>	<i>2.55</i>	<i>14.00</i>	<i>16.55</i>	<i>121.30</i>
<i>10</i>	<i>6.32</i>	<i>86.24</i>	<i>17.18</i>	<i>14.00</i>	<i>31.18</i>	<i>117.42</i>
<i>11</i>	<i>11.40</i>	<i>96.97</i>	<i>5.21</i>	<i>14.00</i>	<i>19.21</i>	<i>116.18</i>

Costos de la Inversión de la Red Anualizado y análisis energético Año 2048.

<i>Inversión Anualizada</i>	<i>16014.38</i>	
<i>Costo de Inversión Anualizada</i>	<i>16014.38</i>	
<i>Costo Anual de Energía</i>	<i>6255.78</i>	
<i>Costo Anualizado Total</i>	<i>22270.16</i>	
<i>Costo del Exceso de Presión</i>	<i>2849.70</i>	<i>(12.8% del Costo Total)</i>
<i>Índice Unif. Gasto</i>	<i>0.8915</i>	

Anexo 3.44: Costo de Inversiones de las soluciones propuestas (Base costo INRH).

<i>Acciones Definidas</i>	<i>Costos MN</i>
<i>Redes Principales L= 7481m</i>	\$ 561.075
<i>Redes Secundarias L= 4992m</i>	\$ 374.400
<i>Maestra de entrega (Fuente “Nueva” – Tanque Elevado) Ø300mm L=3000m</i>	\$ 225000
<i>Tanque Apoyado V=1000m³</i>	\$ 96.960.00
<i>Accesorios</i>	\$34.412.00
<i>Acometidas D=13mm (303)</i>	\$ 4363
<i>Medidor de Agua Potable D=13mm</i>	\$ 298.080
TOTAL	\$ 1.594.291

				<i>TUBERÍAS</i>			
<i>Tipo de Red</i>	<i>Diámetro (Udad)</i>	<i>Valor por Km de ejecución (Udad)</i>	<i>De ellos valor por km de ejecución (Udad)</i>	<i>Longitud</i>		<i>COSTO</i>	
	<i>mm</i>	<i>Mpesos</i>	<i>MCUC/km</i>	<i>m</i>	<i>km</i>	<i>MN</i>	<i>CUC</i>
<i>Secundaria</i>	<i>110</i>	<i>75</i>	<i>11.25</i>	<i>4992</i>	<i>4.992</i>	<i>374.400</i>	<i>56160</i>
<i>Principal</i>	<i>160</i>	<i>75</i>	<i>11.25</i>	<i>1068</i>	<i>1.068</i>	<i>80100</i>	<i>12015</i>
<i>Principal</i>	<i>200</i>	<i>75</i>	<i>11.25</i>	<i>30</i>	<i>0.030</i>	<i>2250</i>	<i>338</i>
<i>Principal</i>	<i>varios</i>	<i>75</i>	<i>11.25</i>	<i>6383</i>	<i>6.383</i>	<i>478727</i>	<i>71809</i>

					<i>ACCESORIOS</i>		
<i>Tipo de Red</i>	<i>Diámetro (Udad)</i>	<i>Valor de accesorios en (Udad)</i>	<i>Longitud</i>		<i>Udes</i>	<i>COSTO</i>	
	<i>mm</i>	<i>MCUC/km</i>	<i>m</i>	<i>km</i>		<i>MN</i>	<i>MCUC</i>
<i>Secundaria</i>	<i>110</i>	<i>4,6</i>	<i>4992</i>	<i>4.992</i>	<i>17</i>	<i>144.67</i>	<i>78.2</i>
<i>Principal</i>	<i>160</i>	<i>4,6</i>	<i>1068</i>	<i>1.068</i>	<i>20</i>	<i>170.2</i>	<i>92</i>
<i>Principal</i>	<i>200</i>	<i>4.6</i>	<i>30</i>	<i>0.030</i>	<i>50</i>	<i>425.5</i>	<i>230</i>