

**TRANSFORMACIÓN DIGITAL DEL
ABASTECIMIENTO DE AGUA EN PROYECTOS DE
COOPERACIÓN AL DESARROLLO
GMAO e IA
PARA METODOLOGÍAS ORIENTADAS A LA GESTIÓN Y
EL MANTENIMIENTO**

CASO DE ESTUDIO: ZACOALCO DE TORRES, MÉXICO

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

PEDRO RODRÍGUEZ MALAGÓN

DIRIGIDO POR:

D.MARCOS RODRÍGUEZ SERRANO

D.CARLOS HENCHE GUIJARRO

D.JUAN MANUEL ALAMEDA VILLAMAYOR

«Cada uno de nosotros pone en común su persona y todo su poder bajo la suprema dirección de la voluntad general; y en cuerpo recibimos a cada miembro como parte indivisible del todo.»

(Jean-Jacques Rousseau, El contrato social, 1762)

Agradecimientos

El desarrollo de este Trabajo Fin de Máster no habría sido posible sin el acompañamiento, la confianza y el apoyo de muchas personas e instituciones que, de manera directa o indirecta, han contribuido a su desarrollo.

En primer lugar, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mis tutores, D. Carlos Henche Guijarro, D. Marcos Rodríguez Serrano y D. Juan Manuel Alameda Villamayor, por confiar plenamente en mí y brindarme total libertad creativa para desarrollar esta metodología. Su orientación constante, sus aportaciones constructivas y su capacidad para han sido fundamentales para que este proyecto tomara forma y sentido. A las directoras del máster, Dña. María José Rodríguez Largacha y Dña. María Dolores Estaban, por su compromiso con una formación de calidad y por liderar este programa académico con excelencia y vocación.

Agradezco profundamente a la Universidad Europea, por ofrecerme un espacio de aprendizaje integral, así como a la Universidad Jesuita (ITESO) de Guadalajara (México), institución que me brindó la oportunidad de participar en el proyecto de aplicación profesional de San Pedro de Valencia, experiencia que marcó el inicio de mi vocación por la cooperación al desarrollo.

Mi agradecimiento más especial va dirigido a D. Félix Madrigal Guzmán, por su infinita dedicación, disponibilidad y generosidad para facilitarme toda la información técnica del Departamento de Aguas de Zacoalco de Torres, y por su implicación continua en el desarrollo de este trabajo. Igualmente, agradezco al Ayuntamiento de Zacoalco de Torres, por su colaboración.

Agradecer la aportación de las instituciones que me han apoyado en este camino, como el INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México), CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), la CEA Jalisco (Comisión Estatal del Agua de Jalisco), a la AMH (Asociación Mexicana de Hidráulica) y a la Fundación Canal.

En el plano tecnológico, agradezco a las plataformas y herramientas que han hecho posible este proyecto: Revit, Recap, ArcMap, ChatGPT para el desarrollo del modelo generativo asistido por inteligencia artificial (AQUALCO) y Fracttal-One para el desarrollo del (GMAO).

Por último, y no menos importante, gracias a mi familia y a mi pareja, Alba, por su paciencia, apoyo incondicional y comprensión a lo largo de estos dos años de formación. Vuestra presencia, aunque muchas veces en la distancia, ha sido el pilar que me ha sostenido cuando las exigencias académicas y profesionales requerían todo mi tiempo y energía.

A todos, gracias por caminar conmigo en este proceso. Este trabajo es, también, un poco vuestro.

Introducción

En el contexto actual de transformación digital, marcado por la aparición de nuevas herramientas y tecnologías emergentes, resulta evidente el crecimiento de la brecha digital y del conocimiento. Esta situación afecta especialmente a aquellas comunidades con un acceso limitado a recursos tecnológicos, dificultando su capacidad para avanzar hacia un desarrollo autónomo y sostenible.

La metodología disruptiva desarrollada en este Trabajo Fin de Máster busca precisamente ofrecer una respuesta a esa realidad. Lejos de imponer soluciones externas, propone un modelo que integra a las comunidades en los procesos de diagnóstico, planificación y gestión, favoreciendo su participación activa y su autonomía. A través de herramientas digitales accesibles y adaptadas, se sientan las bases para que las propias comunidades puedan construir y mantener sus sistemas de información, siempre asesoradas y guiadas por el modelo generativo asistido por inteligencia artificial, denominado AQUALCO, sin depender constantemente de agentes externos.

Este enfoque plantea una evolución natural frente a los modelos tradicionales de cooperación al desarrollo, los cuales, en muchas ocasiones, han mostrado limitaciones para generar estructuras sostenibles en el tiempo. En contraposición, se propone aquí un modelo que prioriza la apropiación local del conocimiento y el fortalecimiento de las capacidades internas, entendiendo que los procesos de transformación más sólidos son aquellos que nacen desde y para las comunidades, generando un fuerte sentido de pertenencia y apropiación.

Contenido

1.	Introducción	10
1.1	Contexto y motivación del TFM.....	10
1.2	Objetivos Generales y Específicos.....	11
1.2.1	Objetivos Generales.....	11
1.2.2	Objetivos Específicos	12
1.3	Estructura del Trabajo.....	13
2.	Estado del Arte	14
2.1	Introducción	14
2.2	Cooperación al Desarrollo en Abastecimiento de Agua Potable.....	17
2.2.1	Evolución histórica de la cooperación al desarrollo	18
2.2.2	Modelos de Intervención en proyectos de cooperación.....	25
2.2.3	Casos de éxito y fracaso en proyectos de cooperación.....	42
2.3	Metodología de Mantenimiento en Infraestructuras Hídricas.....	52
2.3.1	Importancia del Mantenimiento en los Sistemas de Agua.....	52
2.3.2	Tipos de Mantenimiento: Correctivo, Preventivo y Predictivo	53
2.3.3	Marcos normativos y directrices Institucionales	54
2.3.4	Desafíos del mantenimiento en zonas rurales.....	55
2.3.5	Nuevas Herramientas tecnológicas para la gestión del Mantenimiento	56
3.	Metodología innovadora Propuesta.....	59
3.1	Definición de la metodología propuesta: Principios, pasos y estructura.	60
3.1.1	Principios Rectores y Pasos a seguir para la Implementación.....	60
3.1.2	Estructura general del modelo	60
3.1.3	Pasos Metodológicos para la implantación del modelo y estructura lógica	61
3.1.4	Interconexión y Jerarquía entre las carpetas del Modelo.....	70
3.1.5	Ingeniería del Prompt	72
3.2	Adaptación de la metodología a otros emplazamientos.....	84
3.2.1	Niveles de implementación	84
3.2.2	Criterios de adaptación específicos	86
4.	Caso práctico: Zacoalco de Torres	86
4.1	Descripción del área de estudio, su emplazamiento y su problemática	88
4.1.1	Medio Físico.....	88
4.1.2	Definición de Términos.....	97
4.1.3	Identificación de las Problemáticas	103

4.1.4	Matriz de Impacto.....	103
4.2	Descripción de la red e identificación de las necesidades de mantenimiento.....	108
4.2.1	Análisis general de la Red abastecimiento de Agua Potable	110
4.2.2	Red de Abastecimiento en Zacoalco de Torres.....	111
4.2.3	Descripción del Sistema	111
4.2.4	Aforo en sondeos y caracterización Físico – Química.	114
4.2.5	Sistemas de regulación y almacenamiento	147
4.2.6	Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales	156
4.3	Implementación de la metodología en la red de abastecimiento	163
5.	Resultados y Análisis	165
5.1	Validación de la metodología propuesta	165
5.2	Comparativa con soluciones tradicionales.....	166
5.3	Potencial de la metodología para su aplicación a otros Proyectos.....	167
5.4	Conclusiones y Futuras líneas de Investigación.	168
6.	Bibliografía y referencias	172
7.	Anejos	178
7.1	Anejo I: GMAO-XXX-ANJ-001-ANEJO N°1-PLAN_DE_MANTENIMIENTO-FRACTTAL.ONE	178
7.2	Anejo II: BIM-XXX-ANJ-002-ANEJO N°2 - BUILDING_INFORMATION_MODELING	178
7.3	Anejo III: AQUALCO-XXX-ANJ-003-ANEJO N°3 – MODELO_GENERATIVO_IA	178

Gráfica 1 Proporción de la población mexicana que utiliza servicios de agua potable gestionados de manera segura.(SDG Country Profiles, s. f.)	15
Gráfica 2 Proporción de la población mexicana que utiliza servicios de saneamiento gestionados de manera segura,(SDG Country Profiles, s. f.)	15
Gráfica 4 Coberturas de agua potable y alcantarillado 2020, de acuerdo con el censo de Población y Vivienda 2020, INEGI (porcentaje)(Edici_n_c_2023.pdf, s. f, p. 24).	16
Gráfica 5 Evolución de la AOD (foro-del-agua-para-el-desarrollo_Conclusiones-2010_compressed.pdf, s. f.)(pg.7)	20
Gráfica 6 Evolución y Tendencia de la inversión privada (foro-del-agua-para-el-desarrollo_Conclusiones-2010_compressed.pdf, s. f.)	21
Gráfica 7. Mantenimiento correctivo vs preventivo (Fuente: Mobley, 2002) (Pastor, s. f.)	54
Gráfica 8 Relación entre el coste y el nivel de mantenimiento preventivo.Fuente: Mobley (2002)	54
Gráfica 9. Variación de la temperatura en Zacoalco de Torres (Fuente: Weatherspark)	90
Gráfica 10. Material Instalado, por diámetros (Comisión Estatal del Agua de Jalisco, 2013)	112
Ilustración 1. Esquema general del Pozo 1 (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)	114
Ilustración 2 Isométrico del sistema de bombeo del Pozo 1 y listado de Piezas especiales (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)	114
Ilustración 3. Esquema general del Pozo 2 (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)	118
Ilustración 4. Isométrico del sistema de bombeo del Pozo 2 y listado de piezas especiales (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)	119
Ilustración 5. Esquema general del Pozo 3 (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)	122
Ilustración 6. Isométrico del sistema de bombeo del Pozo 3 y listado de piezas especiales (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)	122
Ilustración 7 Esquema general del Pozo 4 (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)	127
Ilustración 8 Isométrico del sistema de bombeo del Pozo 4 y listado de Piezas Especiales (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)	127
Tabla 1 Evolución de la Cobertura nacional de agua potable, 1990 a 2020.(Edici_n_c_2023.pdf, s. f, p. 24)	16
Tabla 2 Comparativa de límites máximos permitidos para parámetros de Aguas residuales urbanas según normativa Española y Mexicana. Fuente: Elaboración propia a partir del RD 509/1996 (España) y la NOM-001-SEMARNAT-2021 (México).	17
Tabla 3 Países con mayor inversión privada (foro-del-agua-para-el-desarrollo_Conclusiones-2010_compressed.pdf, s. f, p. 8)	21
Tabla 4. Precipitación media en Zacoalco de Torres, Jalisco	90
Tabla 5. Metros lineales de tubería instalados en la red de Zacoalco de Torres (Comisión Estatal del Agua de Jalisco, 2013.)	112
Tabla 6. Datos generales de diseño de la PTAR (Oficio UTI 96/2018)	158
Imagen 1. Valvulería de la PTAR de Zacoalco de Torres (Fuente: elaboración propia)	33
Imagen 2. Rejilla de gruesos en PTAR de Zacoalco de Torres (Fuente: elaboración propia)	33
Imagen 3. Conexión con sistema de descarga de residuales en PTAR de Zacoalco de Torres (Fuente: elaboración propia)	34
Imagen 4. Efluente de descarga de la PTAR de Zacoalco de Torres (Fuente: elaboración propia)	34
Imagen 5. Área en condiciones sépticas en PTAR de Zacoalco de Torres (Fuente: elaboración propia)	35

Imagen 6. Ahuiskulco feria del agua (Fuente: elaboración propia)	37
Imagen 7. Ahuiskulco feria del agua (Fuente: elaboración propia)	37
Imagen 8. Cartel que trata de hacer una llamada a la involucración comunitaria (Fuente: elaboración propia)	38
Imagen 9. Ciclo de vida de los proyectos hidráulicos (Amilpa, s. f., p. 64)	44
Imagen 10. Modelo de Gestión de Proyectos para las Subvenciones Globales entre la Fundación Rotaria y Organizaciones Gubernamentales. Caso de Agua Potable en comunidades de la Sierra de Guanajuato. (Fuente: Mtro. Juan Carlos Serrano Ortega con base en Lienzo CANVAS de Alex Osterwalder (2004))	47
Imagen 11. La planta de Huauchinango fue clausurada por carecer de permisos. / Foto: Heriberto Hernández El Sol de Puebla	50
Imagen 12. Acceso al pozo 1, cuenta con una malla ciclónica y barda perimetral de mampostería (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)	116
Imagen 13. Tren de descarga (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)	117
Imagen 14. Tanque Elevado metálico, zona de influencia del Pozo 1 (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)	117
Imagen 15. Terreno Pozo 1 (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)	118
Imagen 16. Casetas de cloración y arrancador (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)	120
Imagen 17. Hipoclorador Pozo 2 (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)	121
Imagen 18. Tren de descarga Pozo 2 (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)	121
Imagen 19. Casetas de Cloración y Arrancador (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)	125
Imagen 20. Transformador aéreo Pozo 3 (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)	125
Imagen 21. Hipoclorador Pozo 3 (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)	126
Imagen 22. Tren de Descarga Pozo 3 (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)	126
Imagen 23. Tren de Descarga Pozo 4 (Fuente de elaboración Propia 2023)	129
Imagen 24. Pozo 4 Transformador eléctrico y tren de descarga con capacidad para llenar cisternas (Fuente de Elaboración Propia 2023)	130
Imagen 25. Pozo 4, Casetas de cloración y dosificador de cloro (Fuente de elaboración Propia - 2023)	130
Imagen 26. Pozo 4, Sistema de inyección de Cloro (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)	131
Imagen 27. Emplazamiento del Pozo 5 (Google Earth Pro 2025)	131
Imagen 28. Pozo 5 tren de descarga (Félix Madrigal Guzmán)	133
Imagen 29. Pozo 5 tren de descarga (Fuente: Félix Madrigal Guzmán)	133
Imagen 30 Emplazamiento del Pozo 6 (Google Earth Pro)	134
Imagen 31. Tren de Descarga (Fuente: Félix Madrigal Guzmán)	135
Imagen 32. Emplazamiento Pozo 7 Sayulapan (Google Earth Pro)	136
Imagen 33. Pozo 7 Sayulapan, área de Influencia 1 (Fuente: elaboración propia - 2023)	136
Imagen 34. Pozo 7, área de influencia 2 Sayulapan (Fuente de Elaboración Propia - 2023)	137
Imagen 35. Pozo 7, Tren de descarga (Fuente: elaboración propia - 2023)	138
Imagen 36. Pozo 7 Tren de descarga, Visita de campo con el equipo del PAP de San Pedro de Valencia ITESO 2023. (Fuente: elaboración propia)	139
Imagen 37. Pozo 7, medido instalado en el tren de descarga (Fuente: elaboración propia 2023)	139
Imagen 38. Pozo 7, Sistema de dosificación de Cloro (Fuente: elaboración propia - 2023)	140
Imagen 39. Pozo 7, Sistema de dosificación de Cloro (Fuente: elaboración propia - 2023)	140
Imagen 40. Pozo 7 Arrancador (Fuente de elaboración propia - 2023)	141
Imagen 41. Emplazamiento Pozo 8 "Las moras" (Google Earth Pro)	141
Imagen 42. Área de influencia del Pozo 8 "Las Moras" (Fuente: elaboración propia 2023)	142
Imagen 43. Pozo 8, tubería metálica aérea (Fuente: elaboración propia 2023)	143
Imagen 44. Pozo 8 tubería metálica aérea (Fuente: elaboración propia 2023)	144
Imagen 45. Pozo 8 "Las Moras", tren de descarga. (Fuente: elaboración propia - 2023)	144
Imagen 46. Sistema de bombeo que alimenta el sistema de almacenamiento de la bomba principal cuando este se llena, el tren de descarga empieza a funcionar (Fuente: elaboración propia - 2023)	145

Imagen 47. Depósito de almacenamiento bajo el tren de descarga del Pozo 8 (Fuente: elaboración propia 2023)	145
Imagen 48. Pozo 8, Caseta con arrancador y sistema de cloración (Fuente : elaboración propia - 2023)	146
Imagen 49. Pozo 8, valvulería y sistema de medición del tren de descarga (Fuente: elaboración propia - 2023)	146
Imagen 50. Emplazamiento del Tanque de la Liebre (Google Earth Pro 2025)	147
Imagen 51. Depósito de la Liebre, área e influencia 1 (Fuente: elaboración propia)	147
Imagen 52. Depósito de la Liebre, área de influencia 2 (Fuente: elaboración propia - 2023)	148
Imagen 53. Plano de alzado del Tanque de la Liebre (Comisión Estatal del Agua de Jalisco, 2013)	149
Imagen 54. Plano en planta del tanque de la liebre (Comisión Estatal del Aguade Jalisco, 2013)	149
Imagen 55. Tanque de la Liebre, solera sin pendiente adecuada para evacuar el agua. (Fuente: elaboración Propia - 2023)	150
Imagen 56. Tanque de la Liebre, necesidad de desbroce del área perimetral. (Fuente: elaboración Propia - 2023)	150
Imagen 57. Tanque de la Liebre, Sistema de aireación sin protección frente a la entrada de posibles animales (Fuente: elaboración propia - 2023)	151
Imagen 58. Tanque de la Liebre, Conducción oxidada y escalera de entrada en mal estado. (Fuente: elaboración propia - 2023)	151
Imagen 59. Tanque de la Liebre, conducción de entrada y degradación del hormigón del cerramiento (Fuente: elaboración Propia - 2023)	152
Imagen 60. Tanque de la Liebre, vallvulería de salida hacia zona de influencia completamente oxidada (Fuente: elaboración propia - 2023)	152
Imagen 61. Tanque de la Liebre, mantenimiento de la cubierta del tanque (Fuente: Félix Madrigal Guzmán - 2025)	153
Imagen 62. Emplazamiento del depósito elevado metálico (Google Earth Pro 2025)	153
Imagen 63 Plano de Alzado del Depósito elevado metálico (Comisión Estatal del Agua de Jalisco, 2013)	155
Imagen 64. Plano de Planta (Comisión Estatal del Agua de Jalisco, 2013)	155
Imagen 65. Depósito Elevado Metálico (Fuente: elaboración propia 2023)	156
Imagen 66. Área inundable asociada a la PTAR (Geomatyka Julio-2023)	158
Imagen 67. Plano de conjunto de la PTAR de Andrés Figueroa.	159
Imagen 68. PTAR Zacoalco de Torres, caseta de seguridad y transformador eléctrico (Fuente: elaboración propia - 2023)	160
Imagen 69. PTAR Zacoalco de Torres, área inundada con agua residual debido a deficiencias importantes en la PTAR (Fuente: elaboración propia - 2023)	160
Imagen 70. PTAR Zacoalco de Torres, sistema de desbaste colmatado y en estado inoperativo (Fuente: elaboración propia - 2023)	161
Imagen 71. PTAR Zacoalco de Torres, conducciones en estado inoperativo, lo que genera socavación y contaminación de aguas subterráneas (Fuente: elaboración propia - 2023)	161
Imagen 72. PTAR Zacoalco de Torres, valvulería en estado inoperativo (Fuente: elaboración propia - 2023)	162
Imagen 73. PTAR Zacoalco de Torres, contaminación severa del esfluente y en consecuencia de la laguna seca (Fuente: elaboración Propia - 2023)	162
Imagen 74 Estructura de Carpetas Interrelacionadas (ChatGPT, s. f.)	163
Imagen 75. Estructura de carpetas interrelacionadas (ChatGPT, s. f.)	164

1. Introducción

1.1 Contexto y motivación del TFM

Hace ya bastantes años, mi abuelo, José Malagón, (criado en una familia humilde y trabajadora de Córdoba, dedicada a la agricultura y profundamente vinculada al mundo rural), me contó una historia que se remonta a más de cuatro décadas. José, además de ser una persona muy respetada en el pueblo, es un hombre observador, comprometido con su entorno y con una gran sensibilidad hacia las necesidades básicas de su comunidad.

En una época en la que la gestión hídrica ya se había desarrollado prácticamente en las grandes ciudades, los pequeños pueblos y zonas rurales seguían siendo sistemáticamente olvidados. No existían redes de saneamiento y el abastecimiento era precario, basado principalmente en pozos particulares que alimentaban las viviendas dispersas y los cortijos. Aún conservo en la memoria aquellas tardes de verano en las que acompañaba a mis abuelos al Pilar de la Dehesa de Lucena, donde llenábamos garrafas con agua de una fuente que, a día de hoy, ha sido clausurada para el consumo humano debido a la elevada concentración de nitratos y fosfatos procedentes de los fertilizantes agrícolas.

Consciente de esa realidad, mi abuelo junto a varios compañeros decidió impulsar una serie de iniciativas para dotar de saneamiento a “El Contadero”, una zona rural perteneciente al término municipal de Lucena, Córdoba. Aquel grupo de agricultores, profundamente comprometido con su tierra, con un conocimiento empírico del entorno y un fuerte liderazgo comunitario (a pesar de contar con unos estudios básicos y con lo que la vida y el trabajo duro les había enseñado), lograron organizarse y comenzar el proyecto incluso con sus propios fondos. Al principio, contaron con el respaldo institucional del alcalde, pero tras un cambio de signo político el apoyo fue retirado y la iniciativa quedó clausurada sin poder completarse. Sin embargo, aquello no supuso un fracaso. Toda iniciativa que nace desde y para la comunidad deja huella.

Permite generar sinergias, tejer vínculos y construir un ecosistema participativo en el que cada miembro encuentra un lugar. Tal vez no lograron culminar aquel proyecto concreto, pero sí consiguieron fortalecer su capacidad colectiva, emprender nuevas acciones y, sobre todo, creer en su poder como comunidad.

Hace unos tres años cuando llegué a Guadalajara, México, a estudiar en la ITESO como estudiante de intercambio, decidí involucrarme en el proyecto de aplicación profesional de San Pedro de Valencia (premiado en el año 2025 con el premio de sostenibilidad ambiental del Vaticano). Este proyecto daba apoyo a diferentes municipios en sus iniciativas de gestión hídrica, tratando de acompañar a las comunidades para su consecución.

Estaba a casi 10.000 km de casa, pero las problemáticas que veíamos y escuchábamos en las comunidades como Ahuisculco, San Pedro de Valencia, Zacoalco de Torres, Las Moras, Verdía, San Marcos, la barranca de Santa Clara. Me recordaban a aquella historia que me había contado mi abuelo, en todas ellas existía el mismo nexo común, comunidades que trataban de organizarse en torno a proyectos que les motivaban pero que o por cambios de signo político o finalmente por la pérdida de interés de la comunidad en estas iniciativas, los proyectos o fracasaban o en gran parte de los casos no eran capaces de generar la suficiente sinergia como para que las comunidades pudiesen mantenerlos en el tiempo sin apoyo externo.

Faltaba ese acompañamiento continuo, esa guía que dotase a las comunidades de conocimientos legales, técnicos y de gestión. La metodología propuesta en el presente TFM pretende precisamente ser ese apoyo: una herramienta accesible que permita a las comunidades conocer cuáles son sus derechos en materia de gestión hídrica y qué proyectos deberían priorizar para garantizar un abastecimiento y saneamiento seguro, sostenible y justo.

1.2 Objetivos Generales y Específicos.

1.2.1 Objetivos Generales

El presente Trabajo Fin de Máster tiene como objetivo general el desarrollo de una metodología digital orientada a democratizar el acceso libre a la información en materia de gestión hídrica, especialmente en contextos rurales, ayuntamientos con recursos limitados y otras instituciones públicas. Esta metodología busca facilitar una gestión eficiente, sostenible y autónoma de los sistemas de abastecimiento y saneamiento, además de ser replicable y escalable en distintos ámbitos de aplicación.

Para ello, se propone el desarrollo de un modelo generativo basado en inteligencia artificial, capaz de retroalimentarse dinámicamente a partir de la información generada por el propio departamento de gestión hídrica, así como de los reportes operativos provenientes de un sistema de gestión del mantenimiento asistido por ordenador (GMAO), implementado a través de la plataforma Fracttal One, y vinculado “en la medida de lo posible” a un modelo BIM.

Cabe señalar que el modelado BIM será desarrollado de manera muy simplificada, atendiendo a las limitaciones técnicas y operativas que presentan muchas de las comunidades a las que va dirigida esta propuesta. Asimismo, se reconoce que los GMAO de uso libre actualmente disponibles no permiten una integración funcional directa con modelos BIM, por lo que, en esta fase, no se contempla una inversión significativa en dicha vinculación. Sin embargo, se deja

planteada la estructura base para una futura implementación, cuando las condiciones tecnológicas y organizativas lo permitan.

Como objetivo estratégico para el caso de estudio en Zacoalco de Torres, se plantea garantizar que el abastecimiento de agua potable directamente del grifo sea una realidad en el medio plazo, convirtiéndose así en uno de los primeros municipios mexicanos en prescindir del uso de garrafones para el consumo humano.

1.2.2 Objetivos Específicos

- **Análisis de los modelos de cooperación al desarrollo tradicionales**, se compararán los enfoques colaborativos e institucionales, con el objetivo de fundamentar la elección de un modelo metodológico adaptado a las necesidades de gestión hídrica en Zacoalco de Torres, México.
- **Diagnóstico integral del estado actual del sistema de abastecimiento y saneamiento** en el área de estudio, identificando tanto los elementos físicos, así como los factores sociales, técnicos y organizativos que afectan a su funcionamiento y sostenibilidad.
- **Diseño de una metodología digital que garantice el apoyo a la toma de decisiones comunitarias**, orientada a fortalecer la autonomía local mediante herramientas accesibles, transparentes, escalables y replicables en diferentes contextos.
- **Desarrollar un modelo generativo basado en inteligencia artificial (AQUALCO)**, capaz de retroalimentarse de los datos del departamento de gestión hídrica y de generar recomendaciones automatizadas para la mejora del servicio y la implementación de nuevos proyectos.
- **Implementar un sistema de gestión operativa del mantenimiento (GMAO)** a través de la plataforma Fracttal One, adaptándolo al lenguaje, capacidades y necesidades de las comunidades y garantizando su continuidad a largo plazo.
- **Generar la estructura que dé paso a un modelo BIM muy simplificado**, con fines pedagógicos y de planificación, que permita visualizar la infraestructura hídrica existente o proyectada, y prepare el camino para futuras vinculaciones tecnológicas más avanzadas.

- **Evaluar la aplicabilidad, escalabilidad y replicabilidad de la metodología propuesta,** identificando las condiciones mínimas necesarias para adaptarla a otros contextos u emplazamientos.

1.3 Estructura del Trabajo

El presente TFM está organizado en siete capítulos, estos capítulos han sido estructurados, tratando de seguir una secuencia lógica y metodológica que permita el desarrollo de un modelo generativo gestionado por inteligencia artificial, orientado a la gestión del abastecimiento de agua potable en contextos complejos. Se centrará el caso de estudio en el municipio de Zacoalco de torres, México.

- **Capítulo 1 – Introducción:** En este primer capítulo analizaremos el contexto y la motivación del TFM, así como la metodología empleada y la estructura general del documento. Se reflejará el marco narrativo y técnico desde el que se abordará la problemática identificada.
- **Capítulo 2 – Estado del Arte:** Se analiza en profundidad la evolución histórica del modelo de cooperación al desarrollo, los organismos y programas internacionales más relevantes y los distintos modelos de intervención (participativos e institucionales) y tecnologías emergentes en el campo de la gestión hídrica (IA, GMAO, BIM).
- **Capítulo 3 – Diagnóstico Territorial:** Se lleva a cabo un estudio del estado actual de la red de abastecimiento y saneamiento en el contexto de nuestro ámbito de estudio “Zacoalco de Torres”. Mediante una matriz de impactos se identifican los principales retos operativos y sociales a los que se enfrenta la metodología a implementar.
- **Capítulo 4 – Diseño de la metodología digital:** Se desarrolla la metodología innovadora propuesta, esta metodología combinará la participación comunitaria con el uso de herramientas tecnológicas accesibles, se articulará mediante el desarrollo de un modelo generativo gestionado por inteligencia artificial y retroalimentado con un GMAO desarrollado a través de la versión gratuita de la plataforma (Fracttal One). Con el objetivo de gestionar de forma eficiente el recurso hídrico en cualquier contexto y ámbito de intervención.
- **Capítulo 5 – Aplicación práctica:** Se presenta la implementación de la metodología propuesta en el caso de estudio de Zacoalco de torres. Se detalla el modelo y los flujos de trabajo y retroalimentación del mismo.

- **Capítulo 6 – Evaluación y proyección:** En este capítulo se analiza la aplicabilidad, escalabilidad y sostenibilidad de la propuesta metodológica, además, se evaluará su adaptabilidad a otros contextos. Se identifican líneas futuras de investigación e innovación en el ámbito de la gestión hídrica digital.
- **Capítulo 7 – Conclusiones:** Se recopilarán los principales hallazgos, además de reflexionar sobre sus aportaciones y limitaciones de la metodología propuesta.

2. Estado del Arte

2.1 Introducción

El diseño, gestión y mantenimiento de las infraestructuras de abastecimiento de agua en el marco de los proyectos de cooperación al desarrollo, es una pieza clave en el desarrollo de los entornos urbanos y rurales y más aún en aquellos en los que el consumo de agua potable no está garantizado.

El acceso a agua potable es una cuestión fundamental para la salud, esta importancia ha quedado reflejada en los documentos de diversos foros internacionales sobre políticas de gobernanza del agua, entre los que destacan, la conferencia internacional sobre Atención Primaria de la salud que tuvo lugar en Kazajistán en 1978. La conferencia de Mar del Plata (Argentina) de 1997 dio inicio al Decenio Internacional del Agua de consumo humano y de Saneamiento Ambiental, así como los Objetivos de Desarrollo del Milenio, los cuales fueron aprobados por la Asamblea General de las Naciones Unidas (ONU) en el 2000. La Asamblea General de las Naciones Unidas declaró el periodo de 2005 a 2015 como el Decenio Internacional para la Acción por el agua “El agua, fuente de vida”. (Organización Mundial de la Salud, 2018a, p. 18).

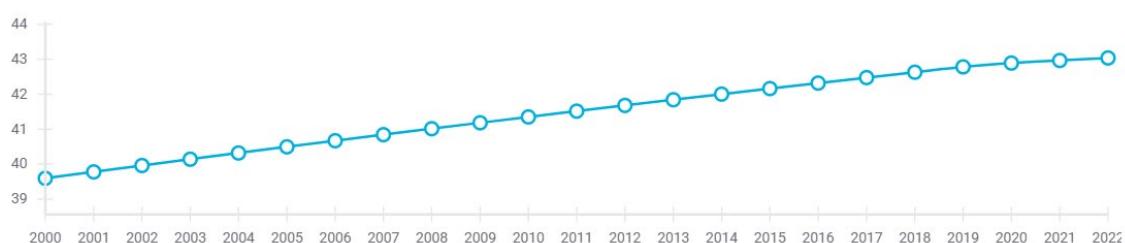
Según la OMS (Organización Mundial de la Salud, 2018b): “el agua salubre y fácilmente accesible es importante para la salud pública, tanto si se utiliza para beber, para uso doméstico, para producir alimentos o para fines recreativos. La mejora del abastecimiento de agua, del saneamiento y de la gestión de los recursos hídricos puede impulsar el crecimiento económico de los países”.

Tal y como se afirma en la constitución mexicana, a través de una reforma del párrafo sexto del artículo 4º. Publicada el 8 de febrero de 2012 en el Diario Oficial de la Federación de México, se elevó a rango constitucional el derecho humano al agua y saneamiento, dicho precepto dice (*DOF - Diario Oficial de la Federación, s. f.*):

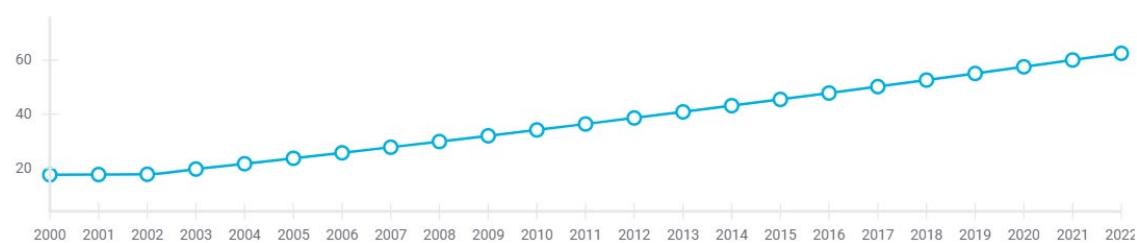
“Toda persona tiene derecho al acceso y disposición de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible”. (*DOF - Diario Oficial de la Federación*, s. f.)

El ámbito de trabajo de este estudio se centra en el municipio de Zacoalco de Torres (México). México lida con un fuerte problema de gobernanza y gestión del agua, tal y como se muestra en la (Gráfica 1), solo un 43 % de la población tiene acceso a agua potable para consumo humano y gran parte de este porcentaje sigue consumiendo agua de garrafón por desconfianza de la misma, evitando tomarla directamente de la llave.

En relación al saneamiento en México, la proporción de población que utiliza servicios de saneamiento es del 60% (Gráfica 2). Sin embargo, muchos municipios no cuentan con Plantas de Tratamiento de Agua Residual “PTAR” en el contexto mexicano, son equivalentes a las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) en España. Lo que representa un grave problema para la contaminación de los cuerpos de agua.



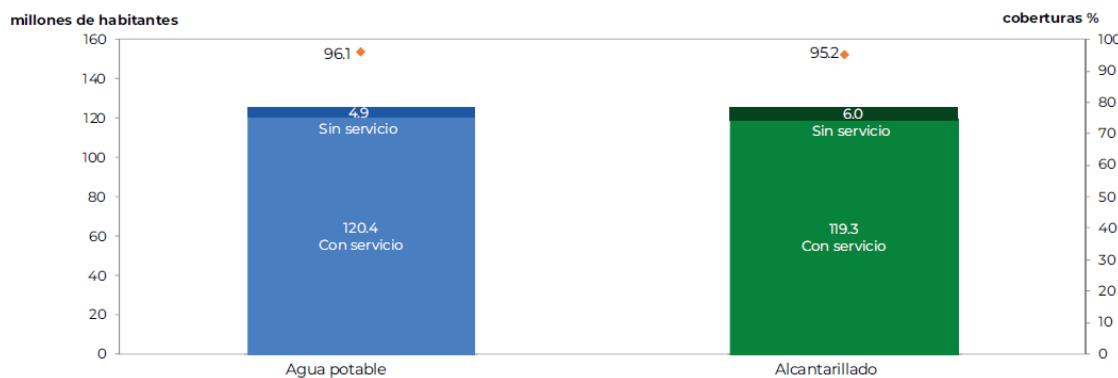
Gráfica 1 Proporción de la población mexicana que utiliza servicios de agua potable gestionados de manera segura.(SDG Country Profiles, s. f.)



Gráfica 2 Proporción de la población mexicana que utiliza servicios de saneamiento gestionados de manera segura,(SDG Country Profiles, s. f.)

No obstante, estos datos extraídos del portal de las Naciones Unidas “Department of Economic and Social Affairs”, parecen estar en frontal contradicción con la información proporcionada por la Comisión Nacional del Agua “CONAGUA”, en su informe correspondiente a la situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en su edición 2023.

Según se detalla en el documento (*Edici_n_c_2023.pdf*, s. f., p. 24). “De acuerdo con los resultados del Censo de Población y Vivienda 2020, INEGI, se registró una cobertura nacional de agua potable del 96.1 % y de 95.2 % en alcantarillado” (P.24). (Gráfica 3) (Tabla 1)



Gráfica 3 Coberturas de agua potable y alcantarillado 2020, de acuerdo con el censo de Población y Vivienda 2020, INEGI (porcentaje)(*Edici_n_c_2023.pdf*, s. f., p. 24).

Tabla 1 Evolución de la Cobertura nacional de agua potable, 1990 a 2020.(*Edici_n_c_2023.pdf*, s. f., p. 24)

Año	Población total en viviendas particulares	Habitantes (millones)			porcentaje de cobertura
		Con servicio	Sin servicio	Beneficiados	
1990	80.4	63.1	17.4	0.0	78.4
1995	90.7	76.7	14.0	13.7	84.6
2000	95.4	83.8	11.6	7.0	87.8
2005	100.0	89.2	10.8	5.5	89.2
2010	110.5	100.5	10.0	11.3	90.9
2015	119.5	112.7	6.8	12.2	94.4
2020	125.3	120.5	4.9	7.8	96.1

Nota: Los porcentajes y sumas pueden NO coincidir por el redondeo de las cifras

Fuente: Censos de Población y Vivienda 1990, 2000, 2010 y 2020; Conteos de Población y Vivienda 1995 y 2005, Encuesta Intercensal 2015.

En esta discrepancia entre los diferentes paneles gubernamentales radica uno de los principales problemas que enfrenta la gobernanza del agua, ¿Qué es por definición el agua potable?

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Organización Mundial de la Salud, 2018b): Define el agua potable como aquella que no representa ningún riesgo significativo para la salud a lo largo de la vida de consumo.

Por el contrario, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) de México no proporciona una definición específica de “agua potable” en sus documentos oficiales.

Es por ello que, según se detalla en el artículo del (s. f.) será necesario diferenciar entre agua potable y agua purificada, entendiendo por agua potable aquella que pasa por diferentes procesos entre los que se encuentra la coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, además suele provenir de ríos, pozos, arroyos o presas y se transporta a las ciudades mediante tuberías. Por el contrario, el agua purificada requiere de un proceso más estricto, pues esta es la

que se utiliza para beber y es comúnmente suministrada a los consumidores mediante garrafones, los cuales se obtienen en tiendas locales o grandes superficies.

Tabla 2 Comparativa de límites máximos permitidos para parámetros de Aguas residuales urbanas según normativa Española y Mexicana. Fuente: Elaboración propia a partir del RD 509/1996 (España) y la NOM-001-SEMARNAT-2021 (Méjico).

Parámetro	España – RD 509/1996	Méjico – NOM-001-SEMARNAT-2021
DBO5 (mg/L)	≤ 25 (mín. 70% reducción)	≤ 30
DQO (mg/L)	≤ 125 (mín. 75% reducción)	≤ 150
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	≤ 35 (mín. 90% reducción)	≤ 50
Nitrógeno Total (mg/L)	≤ 15 (en zonas sensibles)	≤ 15
Fósforo Total (mg/L)	≤ 2 (en zonas sensibles)	≤ 4
pH	6,5 – 9	6 – 9
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	No regulado	≤ 1000
Temperatura (°C)	$\Delta T \leq 3$ °C en cuerpo receptor	≤ 35

Tras analizar las metodologías más empleadas en proyectos relacionados con la gestión hídrica dentro del marco de la cooperación al desarrollo, se aplicarán al caso de estudio de Zacoalco de Torres las mejores prácticas identificadas, tratando de establecer una metodología innovadora que esté alineada con los objetivos de desarrollo sostenible y que mejore aquellas carencias identificadas en los proyectos desarrollados hasta la fecha.

La metodología principalmente, deberá de estar alineada con los siguientes ODS:

- **ODS 6** – Agua limpia y saneamiento, al proponer una estrategia concreta, escalable y basada en la digitalización para garantizar el acceso equitativo al agua potable y a sistemas de saneamiento sostenibles.
- **ODS 11** – Ciudades y comunidades sostenibles, al fomentar la participación comunitaria, la planificación con enfoque territorial y la resiliencia técnica a partir de sistemas de mantenimiento eficientes.
- **ODS 9** – Industria, innovación e infraestructura, al introducir tecnologías como el GMAO, el modelo BIM y la inteligencia artificial como herramientas al servicio del desarrollo inclusivo y accesible para las comunidades más desfavorecidas.

(*Goal 6 | Department of Economic and Social Affairs, s. f.; Goal 9 | Department of Economic and Social Affairs, s. f.; Goal 11 | Department of Economic and Social Affairs, s. f.*).

2.2 Cooperación al Desarrollo en Abastecimiento de Agua Potable

El modelo de cooperación al desarrollo europeo, y en particular, el español, es un modelo obsoleto en el cual los proyectos son por regla general proyectos técnicos que no responden a las

necesidades específicas de las comunidades y, en muchos casos no nacen de las necesidades de las mismas. Para que un proyecto de cooperación al desarrollo pueda prosperar, este debe surgir y desarrollarse desde y por las comunidades, los organismos supranacionales de cooperación al desarrollo solo deben acompañar a las comunidades en este proceso. De lo contrario, el proyecto no llegará a desarrollarse por completo o quedará obsoleto en un corto periodo de tiempo.

Es crucial que este tipo de proyectos se desarrollem a partir de una base social sólida, analizando las características específicas de cada municipio y su tejido social, así como la posible existencia de asociaciones o grupos ejidales que tengan influencia en las comunidades. En aquellas comunidades con un débil tejido social, será especialmente complejo desarrollar un proyecto de cooperación al desarrollo. Para dar visibilidad al proyecto, será importante analizar el modo en el que la población se mantiene informada sobre los acontecimientos de su comunidad. Esto puede incluir medios digitales, prensa, carteles, voceros que informan por megafonía, grupos de chat y otros canales de difusión.

2.2.1 Evolución histórica de la cooperación al desarrollo

Para llevar a cabo un análisis integral de la evolución histórica de proyectos de abastecimiento de agua en el marco de la cooperación al desarrollo, este apartado se ha fundamentado en las conclusiones del 5º foro “Agua para el desarrollo. Los operadores de agua y saneamiento y la cooperación internacional”.(foro-del-agua-para-el-desarrollo_Conclusiones-2010_compressed.pdf, s. f.).

Desde el año 2006 la Fundación Canal desarrolla el Foro “Agua para el Desarrollo” con el objetivo de convertirse en un punto de encuentro de los agentes más relevantes con presencia internacional en el sector del abastecimiento y saneamiento. En 2010 el tema elegido para debatirlo en el Foro fue el papel de los operadores de abastecimiento y la cooperación internacional (foro-del-agua-para-el-desarrollo_Conclusiones-2010_compressed.pdf, s. f., p. 3).

Antes de la década de los años 80 la inversión en cooperación internacional estaba orientada fundamentalmente, a los sistemas públicos urbanos para los cuales se aplicaban soluciones tecnológicas convencionales para ampliar y rehabilitar redes de distribución de abastecimiento y de saneamiento, y construir infraestructuras de potabilización y depuración. Los proyectos tanto en lo que respecta a su financiación como en cuanto a los beneficiarios, básicamente administraciones nacionales; se centraban en la promoción de las infraestructuras dirigidas al ámbito urbano, donde residían las clases más pudientes, dejando al margen al sector rural, que acaparaba la población más numerosa y empobrecida.

En la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente, celebrada en Dublín en 1992, se establecieron cuatro grandes principios que, desde entonces, han orientado de manera decisiva la cooperación internacional en el sector. Estos principios han influido tanto en la planificación y ejecución de las inversiones como en la definición de los mecanismos de financiación, marcando un antes y un después en la gestión global del recurso hídrico.

- I. El agua dulce es un recurso finito y esencial para la vida, para el desarrollo y para el medio ambiente.
- II. El desarrollo y gestión del agua debe basarse en un enfoque participativo, involucrando a los usuarios, planificadores y tomadores de decisión a todos los niveles, tomando las decisiones al nivel más bajo posible.
- III. La mujer juega un papel central en la provisión, gestión y salvaguarda del agua.
- IV. El agua tiene un valor económico en todos sus usos y debe de ser reconocida como un bien económico.

La voluntad de pagar por el agua se consideraba un indicador clave de la demanda real de soluciones por parte de los beneficiarios, y, más específicamente, un factor determinante para garantizar la sostenibilidad de las intervenciones.

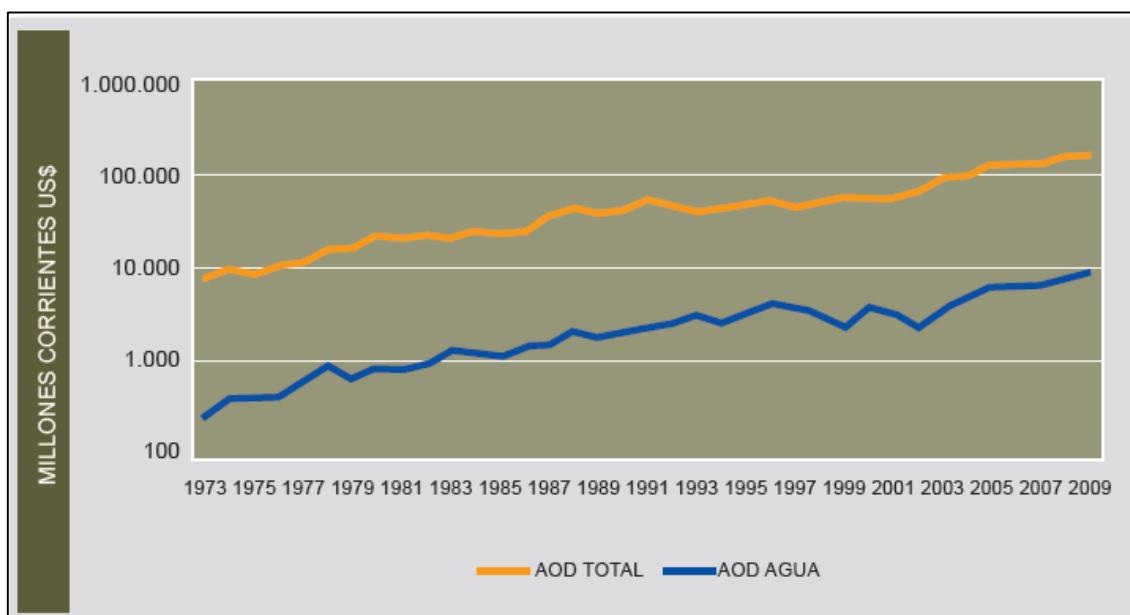
A partir de 1990 comenzó a reconocerse el valor económico del agua en todos sus usos, también en el abastecimiento. Este cambio de paradigma unido a la necesidad de recuperar los costes asociados al servicio dio pie a que muchas ciudades apostaran por la privatización de los servicios de agua y saneamiento, buscando una gestión más eficiente y sostenible desde el punto de vista financiero.

El Banco Mundial realizó de igual modo una evaluación de su papel en el decenio, y, en dicho informe llegó a la conclusión de que no se habían cumplido con los objetivos principales del decenio. El informe analizaba la insostenibilidad financiera de las inversiones, no se alcanzaron avances significativos, solo 2 de los 179 proyectos analizados en la evaluación habían cumplido con los objetivos propuestos y la sostenibilidad de las inversiones no quedó garantizada. Se había puesto de manifiesto las relevantes debilidades del sector público de los países beneficiarios (*Water Supply and Sanitation Projects*, s. f.)

Este sistema de cooperación se comienza a cuestionar tras la Conferencia de las Naciones Unidas en Mar del Plata (1997) en la que se proclamó el Decenio Internacional del Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento. Durante el Decenio se comprobó que la mayor parte de los sistemas de abastecimiento y saneamiento construidos, especialmente los rurales, dejaban de estar operativos transcurridos algunos años tras su construcción por fallos en el mantenimiento y

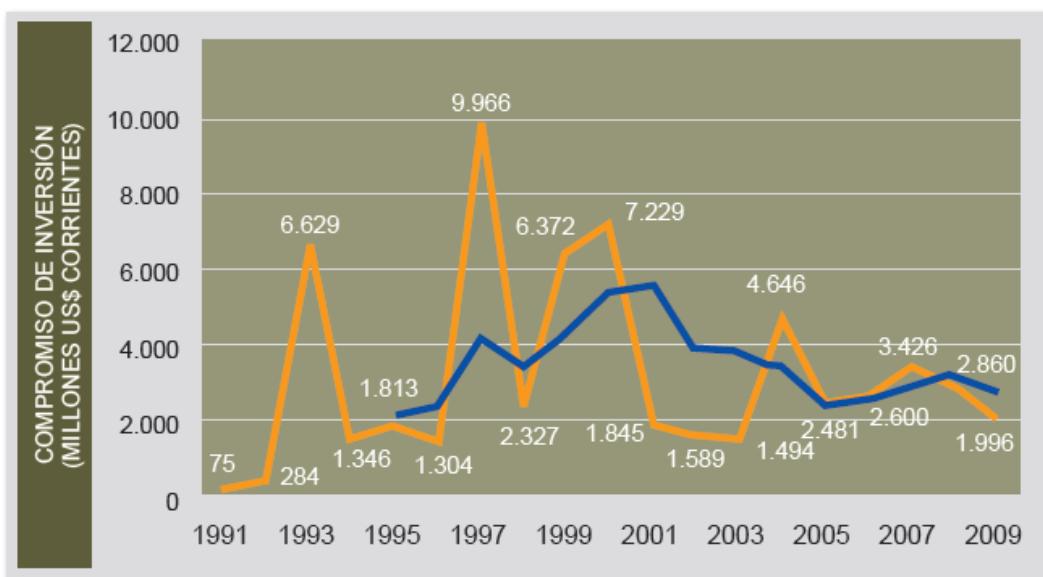
conservación de las infraestructuras. La sostenibilidad de los sistemas era cuestionable, no solo la necesidad de ejecutar las infraestructuras sino también de asegurar las condiciones para que su explotación pudiese ser sostenible temporalmente.

El Banco Mundial concretó unas nuevas líneas estratégicas para el sector del agua. Principalmente se prestó un gran interés a la privatización y descentralización de los servicios. Este cambio en el modelo de inversión coincidió con una reducción significativa en la ayuda oficial al desarrollo destinada al sector del agua. Entre 1999 y 2001 la inversión media alcanzaba los 3.564 millones de dólares mientras que durante 1999 y 2001 cayó hasta los 3.035 millones. Esta disminución fue provocada por un descenso generalizado de la Ayuda Oficial al Desarrollo (AOD) a nivel global.



Gráfica 4 Evolución de la AOD (foro-del-agua-para-el-desarrollo_Conclusiones-2010_compressed.pdf, s. f.) (pg. 7)

Fue tal la relevancia que se le concedió al papel del sector privado en el abastecimiento y saneamiento que se llegó a condicionar el logro de los ODM a su participación, ya que se estimó que garantizaría la financiación necesaria para ello. (*foro-del-agua-para-el-desarrollo_Conclusiones-2010_compressed.pdf*, s. f., p. 7).



Gráfica 5 Evolución y Tendencia de la inversión privada (foro-del-agua-para-el-desarrollo_Conclusiones-2010_compressed.pdf, s. f.)

Tabla 3 Países con mayor inversión privada (foro-del-agua-para-el-desarrollo_Conclusiones-2010_compressed.pdf, s. f., p. 8)

1991-1996		1997-2000		2001-2009		1991-2009	
PAÍS	PORCENTAJE DE LA INVERSIÓN TOTAL						
Argentina	45%	Filipinas	29%	China	33,7%	Malasia	16,8%
Malasia	32%	Chile	18%	Malasia	11,5%	China	14,1%
Turquía	8%	Malasia	15%	Argelia	9,5%	Argentina	13,6%
México	5%	Argentina	11%	Rusia	8,1%	Filipinas	13,4%
China	3%	Brasil	9%	Brasil	6,7%	Chile	9,5%

Los ámbitos de los proyectos en los que se materializó la inversión privada se han desarrollado en los entornos urbanos y periurbanos, en donde los déficits en abastecimiento y saneamiento son sustancialmente menores que en el rural. El crecimiento demográfico indica que el nivel de acceso al agua potable en zonas urbanas ha disminuido en dos puntos porcentuales o más desde 1990.

Estas circunstancias indican la necesidad de apoyar a los servicios de abastecimiento y saneamiento en las zonas urbanas y muy especialmente en las áreas periurbanas.

Entre 1991 y 2009 las empresas privadas tuvieron una presencia activa en la financiación del sector del abastecimiento y saneamiento en el ámbito internacional.

A partir de 2002 se observa una tendencia clara por parte de las grandes empresas internacionales por evitar las concesiones, tanto en Europa como en los países en desarrollo. Esto se debe a que

las concesiones implican compromisos de inversión y permanencia a largo plazo. En su lugar, estas compañías muestran una preferencia por concesiones de entre 2 y 5 años, no implican la integración de personal local y tampoco conllevan compromisos para futuras concesiones. Además, se interesan por proyectos vinculados a la construcción de nuevas plantas bajo el esquema BOT (Build, Operate and Transfer), en los que construyen, operan temporalmente y luego transfieren la infraestructura. (*foro-del-agua-para-el-desarrollo_Conclusiones-2010_compressed.pdf*, s. f.).

En los últimos años, países como México han realizado un esfuerzo significativo para cumplir con la meta del objetivo de Desarrollo del Milenio. Esta meta planteaba reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso a agua potable y saneamiento básico. Según datos de 2008, el 93% de la población de la región contable con acceso al agua, y el 79% disponía de servicios básicos de saneamiento (JMP, informe 2010). (*foro-del-agua-para-el-desarrollo_Conclusiones-2010_compressed.pdf*, s. f., p. 26).

En México, en las últimas décadas, el sector de agua potable y saneamiento ha atravesado un proceso amplio y diverso de reformas institucionales. Este proceso se ha caracterizado principalmente por la descentralización de competencias, la especialización y caracterización de funciones entre distintas agencias estatales, la creación de organismos responsables del medioambiente y la incorporación progresiva del sector privado en la gestión de los servicios.

Las reformas sectoriales tuvieron como característica general la separación de roles de rectoría, regulación y prestación de los servicios y la apertura al sector privado. En el sector rural, existe una fuerte atomización de los servicios, generando dos situaciones:

- i. Dificultad para su regulación efectiva por parte de los entes reguladores.
- ii. Muchos sistemas operan con restricciones en cuanto a calidad y sustentabilidad de sus servicios, ante la imposibilidad de generar economías de escala y una mayor eficiencia.

Muchos de los pequeños operadores comunitarios o comunales no están registrados formalmente ni cumplen con los requisitos legales vigentes. Esto se debe, en gran medida, a que no perciben beneficios claros por estar regulados o porque el proceso de registro resulta costoso y poco accesible. Muchos de estos operadores tienen una larga trayectoria. Esto demuestra que no son actores transitorios y que dan una respuesta con un alto contenido social, muchas veces no reconocida ni coordinada de forma adecuada por los entes que fijan las políticas del sector y por aquellos que operan los servicios.

Las principales dificultades que enfrentan los pequeños operadores comunitarios son las siguientes:

- i. Sector no regulado.
- ii. Falta de apoyo institucional.
- iii. Falta de capacidad técnica, financiera y de gestión
- iv. Mínimo acceso al crédito.
- v. Falta de economías de escala.
- vi. Escaso control de calidad del servicio.
- vii. El saneamiento en general es un punto débil.

(*foro-del-agua-para-el-desarrollo_Conclusiones-2010_compressed.pdf*, s. f.)

Los principales retos del sector del agua y saneamiento en México para cumplir las metas relacionadas con el agua potable y el saneamiento en la región son los siguientes:

- i. Aumento del agua potable en las áreas rurales y, especialmente en los grupos de bajos ingresos.
- ii. Mejorar la calidad del servicio en cuanto a continuidad, control de calidad del agua potable y otros.
- iii. Ampliar el tratamiento de aguas.
- iv. Mejorar la coordinación de planificación urbana y de los servicios.

(*foro-del-agua-para-el-desarrollo_Conclusiones-2010_compressed.pdf*, s. f., p. 57)

Los avances que puedan lograrse en el futuro dependerán en gran medida de la capacidad de los gobiernos para afrontar y resolver los desafíos clave:

- i. Mejorar la situación del sector, lo que implica evolucionar hacia tarifas de autofinanciamiento, aumentar las asignaciones presupuestarias y crear sistemas eficaces de subsidio para los pobres.
- ii. Perfeccionar los marcos regulatorios, contractuales e institucionales, incluida la organización industrial del sector.

(*foro-del-agua-para-el-desarrollo_Conclusiones-2010_compressed.pdf*, s. f., p. 57)

Para los operadores de los servicios de la región, estos desafíos se traducen en lograr el acceso sostenible de servicios de calidad, para lo cual deben:

- i. Mejorar la continuidad de servicio y calidad del agua entregada.
- ii. Atraer más recursos y mejorar la capacidad de gestión.
- iii. Preservar las fuentes de agua y reducir la contaminación de fuentes receptoras.
- iv. Hacer más eficiente y transparente la gestión de los servicios.
- v. Participar en el fortalecimiento de los marcos institucionales y legales.

(*foro-del-agua-para-el-desarrollo_Conclusiones-2010_compressed.pdf*, s. f., p. 57)

Los derechos humanos deben de protegerse antes y durante todo el proceso:

- i. Asegurar que las decisiones se tomen de forma democrática y transparente.
- ii. Garantizar procesos claros y justos en las licitaciones y negociaciones.
- iii. Llegar efectivamente a las poblaciones y áreas marginales.
- iv. Ofrecer servicios a precios asequibles.
- v. Evitar cortes de suministro en caso de incapacidad real de pago.
- vi. Mantener altos estándares de calidad en los servicios.
- vii. Contar con una regulación efectiva y con capacidad de aplicación.
- viii. Disponer de mecanismos adecuados de supervisión y seguimiento.
- ix. Establecer canales de queja accesibles y eficaces.
- x. Combatir la corrupción,

(*foro-del-agua-para-el-desarrollo_Conclusiones-2010_compressed.pdf*, s. f., p. 58)

Para que se desarrollen este tipo de soluciones es preciso crear contextos institucionales propios es por ello que es muy importante el reconocimiento y apoyo formal de las autoridades locales a las organizaciones comunitarias y a los parternariados multi-actor.

El reto de garantizar el acceso universal a los servicios de agua potable y saneamiento solo puede abordarse desde una mejor planificación del desarrollo urbano y una gestión adecuada y eficiente de la ordenación del territorio. Es crucial tratar de evitar la expansión de asentamientos ilegales en zonas de difícil acceso, áreas de alto riesgo o terrenos con restricciones ambientales. Es por ello que es clave aplicar con gran rigor la normativa vigente, imponer sanciones a quienes la infringen y combatir decididamente la corrupción.

Es importante establecer un estrecho vínculo entre las entidades responsables de los servicios de agua y saneamiento y las autoridades encargadas del desarrollo urbano, con el fin de asegurar una planificación más integrada, eficiente y sostenible.

(*foro-del-agua-para-el-desarrollo_Conclusiones-2010_compressed.pdf*, s. f., p. 58)

El Fondo, gestionado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), no se limita únicamente a financiar infraestructuras de agua y saneamiento, también intenta realizar un gran esfuerzo en el fortalecimiento institucional de las entidades beneficiarias. Este apoyo abarca tanto a los ministerios responsables de la gestión del recurso hídrico como a los operadores locales que ejecutan los servicios sobre el terreno. Este enfoque en el refuerzo institucional se considera clave para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de las

intervenciones, evitando experiencias pasadas en las que, una vez finalizadas las obras, pronto quedaban obsoletas por la falta de mantenimiento, o la incapacidad de pago de los usuarios.

(*foro-del-agua-para-el-desarrollo_Conclusiones-2010_compressed.pdf*, s. f.)

En esta evolución histórica de la cooperación al desarrollo en el marco de proyectos de abastecimiento de agua potable y saneamiento, la gestión de los mismos ha ido evolucionando a medida que tras prueba y error se han ido detectando las carencias del propio modelo, durante la primera etapa del programa, la gestión correspondía a entidades públicas, las cuales desarrollaban infraestructuras basadas en tecnologías convencionales, posteriormente, en la segunda etapa el diseño, construcción y gestión de la infraestructura se dejó en manos de operadores privados, en la tercera etapa nace el concepto de BOT (Build, Operate and Transfer), en esta etapa los operadores privados que construyen, operan temporalmente y luego transfieren la infraestructura para no generar pérdidas durante la fase de gestión, la última etapa está basada en el fortalecimiento institucional de las entidades receptoras de las infraestructuras, con el objetivo de poder garantizar una gestión sostenible.

2.2.2 Modelos de Intervención en proyectos de cooperación

2.2.2.1 Modelos participativos vs. Modelos institucionales

Dentro de los proyectos de cooperación al desarrollo centrados en el abastecimiento de agua potable, vamos a encontrar dos enfoques principales en la gestión de los mismos, por un lado, el modelo participativo o comunitario, y por el otro lado, el modelo institucional o centralizado.

El modelo participativo se fundamenta en la capacidad organizativa del municipio o comunidad beneficiaria para planificar, construir y administrar el servicio hídrico, promoviendo así una gestión comunitaria del agua. Este enfoque parte del principio de que el agua es un bien común, cuya gestión debe involucrar a los usuarios locales, promoviendo valores de solidaridad, participación, democracia y apropiación comunitaria. En el contexto hispanoamericano, existen miles de organizaciones comunitarias de servicios de agua y saneamiento (OCSAS). Estas organizaciones están integradas por usuarios que proveen servicios en sus localidades bajo el principio de autogestión, trabajo colectivo y democracia local. (*Gestión comunitaria del agua.pdf*, s. f.)

Las OCSAS surgen debido a que el Estado, en muchos casos, no puede garantizar la cobertura de los servicios de abastecimiento de agua en las zonas rurales y dispersas de México. La constitución mexicana reconoce el derecho al agua y otorga a los municipios la obligación de

proveer servicios (Art.115), el problema es que en muchos gobiernos locales carecen de capacidad para extender el servicio a comunidades rurales aisladas.

En el caso del modelo institucional, la gestión del servicio corresponde a los organismos públicos. Este modelo parte de la base de que el Estado debe de garantizar y asegurar el acceso al agua. Por regla general las instituciones públicas cuentan con mayor capacidad financiera y técnica y en consecuencia pueden gestionar proyectos de gran envergadura, así como gestionar de forma más eficiente el uso del recurso. (*Gestión comunitaria del agua.pdf*, s. f.)

El modelo participativo trata de buscar el empoderamiento local, pretende que la comunidad se sienta participe del sistema, involucrándola de manera activa en la toma de decisiones y aportando recursos para la gestión y mantenimiento de las infraestructuras, este modelo se basa en la idea de que si el municipio o la comunidad está informada y comprometida con la gestión de su recurso hídrico, cuidará la infraestructura y garantizará la sostenibilidad a largo plazo (*Activación de la demanda | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management!*, s. f.-a).

En contraposición al modelo participativo, el modelo institucional se fundamenta en el principio de que las decisiones que se tomen deben de estar centralizadas, es decir, las decisiones deben de tomarse “desde arriba”, por técnicos o autoridades competentes, tratando de garantizar la eficiencia y rentabilidad del sistema proyectado. Se procura garantizar que el servicio de abastecimiento se preste bajo criterios técnicos y profesionales, asegurando la calidad del agua, la continuidad del suministro y una tarificación adecuada, todo ello bajo la supervisión de los organismos reguladores gubernamentales competentes. (Acosta Maldonado et al., 2019).

- **Ventajas del Modelo Participativo**

La principal ventaja del modelo de gestión participativo es la cercanía de las organizaciones comunitarias a las necesidades reales de la población. El involucrar a la comunidad en todo el ciclo de vida del proyecto, desde la fase inicial de diagnóstico, administración y mantenimiento, permite generar un fuerte sentido de pertenencia, lo que permite garantizar el éxito de la infraestructura proyectada, ya que el municipio o la comunidad, al entender el coste del servicio y el beneficio producido por el mismo, será más receptiva para pagar cuotas asociadas a la operación y mantenimiento. Los proyectos participativos se adaptan mejor al contexto local en aspectos tecnológicos y sociocultural ya que, por norma general, eligen soluciones que se adaptan mejor a su entorno y las integra con sus prácticas. Por otro lado, estos proyectos incrementan el capital local social ya que los municipios desarrollan una mayor capacidad organizativa y experiencia en la gestión de proyectos (Acosta Maldonado et al, 2019).

- **Desventajas del Modelo Participativo**

Una de las principales desventajas del modelo participativo es la de garantizar la sostenibilidad a largo plazo del proyecto sin recibir apoyo institucional o gubernamental. Gran parte de las organizaciones implicadas carecen de recursos financieros para la expansión o renovación de la infraestructura, también es cierto que pueden tener problemas para garantizar la calidad del agua por falta de equipos de tratamiento o monitoreo. Otro problema es la retención del conocimiento técnico dentro de la organización, ya que este depende del buen hacer de los propios voluntarios, los cuales rotan normalmente o envejecen y, en consecuencia, no generan sinergias dentro de la organización.

Otro de los principales retos que enfrenta ese modelo de gestión es el escaso acompañamiento institucional, ya que estas organizaciones, al trabajar de forma independiente, por regla general, el gobierno municipal no les brinda asesoramiento técnico y, en consecuencia, quedan aisladas frente a problemas técnicos o administrativos complejos.

En último lugar, y bajo mi experiencia personal en la colaboración para el desarrollo de este tipo de Modelo de Participación en comunidades en México, en determinadas circunstancias la comunidad considera a este tipo de organizaciones como intrusistas y externas a la propia comunidad, perciben a las OCSAS como organizaciones politizadas que generan injerencias políticas, desestabilizando el equilibrio comunal, esto explicaría el escaso apoyo institucional que reciben por parte de los municipios.

- **Ventajas del Modelo Institucional**

La principal ventaja del modelo institucional radica en que la centralización de los servicios permite mayor capacidad de gestión técnica y de profesionalización. Bajo este marco de gestión, la cabecera municipal puede llegar a un mayor número de beneficiarios, integrando planes y programas a nivel municipal, regional o nacional.

Por regla general, estas instituciones tienen acceso a programas de financiación o cofinanciación de proyectos. Un modelo institucional bien estructurado es capaz de garantizar la sostenibilidad financiera de los proyectos, mediante la aplicación de tarifas y subsidios en el caso de la población más vulnerable, garantizando de esta forma que la carga fiscal no recaiga de forma desproporcional sobre este sector de la población. Estas instituciones pueden establecer políticas de gobernanza del agua y una legislación clara sobre la misma, garantizando el cumplimiento normativo y penalizando la corrupción y el uso inapropiado del recurso. (Acosta Maldonado et al., 2019).

- **Desventajas del Modelo Institucional**

Uno de los principales problemas a los que se enfrenta este modelo de gestión es la tendencia a la centralización y la desconexión con las necesidades locales.

La mayoría de los proyectos de cooperación al desarrollo se han ejecutado bajo iniciativas estatales, sin llevar a cabo procesos de consulta adecuados con la población beneficiaria. Esto ha dado lugar a infraestructuras técnicamente funcionales, pero socialmente inapropiadas, que no fueron asumidas como propias por las comunidades y que, con el tiempo, cayeron en desuso. Un ejemplo representativo de esta situación es la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Zacoalco de Torres. Este tipo de infraestructuras fueron proyectadas desde un enfoque basado en la oferta (Supply-driven), lo que supone que en un corto plazo de tiempo terminen infrautilizadas, sin mantenimiento alguno y financieramente insostenibles. (*Activación de la demanda | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management!*, s. f.-b).

La falta de participación pública, unida a un débil tejido social, puede generar un círculo vicioso, ya que la comunidad asume que el proyecto es algo ajeno, responsabilidad de la institución gestora y de la municipalidad, y, en consecuencia, muestra poco interés en su preservación y mantenimiento además de ser reticente a contribuir económicamente a su financiación mediante la regulación tarifaria correspondiente. (*file.pdf*, s. f.).

Es común que los modelos institucionales se vean afectados por una excesiva burocracia y politización. La toma de decisiones, en estos contextos, suele ser lenta y poco transparente, y en no pocas ocasiones se priorizan las inversiones en función de intereses políticos antes que de criterios técnicos o sociales. Cuando se producen cambios administrativos, normalmente es complicado poder mantener la continuidad de proyectos y políticas de agua, generando un grave problema de gobernanza. En algunos casos, la anterior administración trata de eliminar la información física relacionada con el cobro de tarifas con el objeto de no destapar corruptelas, la escasa digitalización de la información da pie a recuentos fraudulentos y cobros desiguales.

Tal y como se analizó en el apartado 2.1.1, tradicionalmente las instituciones diseñaban y construían sistemas de abastecimiento en entornos rurales sin involucrar a las comunidades más allá de la mano de obra poco cualificada, decidiendo unilateralmente la tecnología y el nivel de servicio; al finalizar la obra se entregaba la infraestructura a la comunidad sin haber creado capacidades locales para llevar a cabo una correcta gestión de la misma, es por ello que no es de extrañar que estos proyectos fracasasen en el medio plazo por falta de apropiación e integración en las comunidades receptoras (*file.pdf*, s. f.).

- **Aplicación de estos modelos de gestión en proyectos de Cooperación Hídrica**

Los programas de gestión más exitosos tratan de encontrar un equilibrio entre modelo participativo y modelo institucional, aprovechando las fortalezas de cada uno de ellos.

Las últimas tendencias orientadas a la gestión de estos proyectos se basan en modelos híbridos o colaborativos, generando alianzas a través de las cuales las instituciones públicas proveen de financiación, asistencia técnica y un marco legal sólido, y en paralelo la comunidad aporta una participación activa en las decisiones, mano de obra local y coordinación entre organizaciones municipales. De esta manera, se combina la capacidad técnica y de inversión del Estado con la legitimidad social y el conocimiento local de la comunidad. En México, cada vez más se observa este tipo de convenio público-comunitario.

En Ecuador, el reconocimiento constitucional de la gestión comunitaria ha dado lugar a esquemas en los cuales juntas de agua locales operan el servicio con personal jurídico y reciben el apoyo de gobiernos locales en capacitación o insumos. (Acosta Maldonado et al., 2019).

En Venezuela, las Mesas técnicas de Agua en barrios urbanos son otro ejemplo de cómo una entidad estatal puede abrir espacios formales para la participación comunitaria en la administración del servicio (*Mesas Técnicas de Agua* | s. f.).

Ni el modelo participativo ni el institucional pueden resolver por si solos estos desafíos, el equilibrio se logra mediante un diseño institucional que articule comunidad e instituciones, garantizando que la primera tenga voz y voto y la segunda brinde el soporte y las garantías a largo plazo necesarias para el mantenimiento del proyecto, ya sea una infraestructura o una política de gestión pública del abastecimiento o saneamiento.

2.2.2.2 Enfoques bottom-up vs. top-Down en el desarrollo de infraestructuras.

Dentro del marco de los proyectos de cooperación al desarrollo de infraestructuras hídricas, los términos bottom-up “De abajo hacia arriba” y top-down “De arriba hacia abajo” describen dos enfoques opuestos en la planificación y ejecución de los proyectos. El enfoque top-down implica que las decisiones se toman desde los niveles altos de gobierno o por expertos externos, diseñando proyectos que luego se imponen o implementan verticalmente en las comunidades destinatarias. Por el contrario, un enfoque bottom-up parte de la base de que las comunidades locales son las que inician, participan y deciden activamente en la propia definición del proyecto, con las instituciones jugando un rol facilitador de recursos o de apoyo. Ambos enfoques están ligados a los modelos institucionales y participativos. Será necesario analizarlos desde una perspectiva

histórica para poder entender su evolución y aplicación específica en los entornos rurales y urbanos en México. (*metodologia_de_evaluacion_de_la_cooperacion_espanola_ii.pdf*, s. f.).

- **Evolución Histórica (Top-Down Vs Bottom-Up)**

En el siglo XX, el modelo más ampliamente utilizado y extendido en proyectos de cooperación al desarrollo era el enfoque **Top-Down**. Los Gobiernos nacionales e internacionales planificaban obras hidráulicas y los programas de agua potable desde una visión más centralizada. Los ingenieros diseñaban soluciones técnicas convencionales que posteriormente eran ejecutadas para la comunidad, pero con poca participación de esta. Este enfoque estaba basado en suponer que la necesidad de la infraestructura proyectada era evidente, pero no se cuestionaba la utilidad percibida para la misma por parte de las comunidades. Sin lugar a duda, este enfoque permitió lograr grandes avances en infraestructuras orientadas al abastecimiento, pero no obstante muchas de las infraestructuras generadas bajo este enfoque fracasaron en alcanzar los beneficios esperados, principalmente derivados de la falta de apropiación local y los correspondientes errores de adecuación de la infraestructura a las necesidades específicas de las comunidades. Se implantaron sistemas sin tener en cuenta la capacidad técnica y financiera de la municipalidad para operarlas, muchas de las obras quedaron abandonadas u operando deficientemente al poco tiempo. (s. f.).

A partir de la conferencia de Dublín en 1992 se produce un cambio de paradigma en los proyectos de cooperación orientados al abastecimiento y saneamiento. La gestión del agua debía de seguir una perspectiva participativa y, en consecuencia, debían de estar involucrados los usuarios, planificadores y formuladores de políticas en todos los niveles. De esta forma, se sentaron las bases para incorporar estos enfoques dentro de la agenda global. Algunos años más tarde, el Banco Mundial impulsó el llamado “Enfoque basado en la demanda” o en inglés “Demand-Responsive Approach, DRA”. A través de este enfoque, se reconocía que los proyectos serían más sostenibles si respondían a la demanda real de las comunidades.

Khan & Wakeman (1998) definen el enfoque basado en la demanda como aquel en el cual “*las necesidades de la comunidad y su disposición a pagar determinan las principales decisiones en materia de inversión, porque un sistema sólo será sostenible si la comunidad lo necesita tanto como para hacerse cargo de su mantenimiento. Un proyecto está más o menos basado en la demanda en la medida en que los usuarios proponen opciones y comprometen recursos para financiarlas*”. (*file.pdf*, s. f., p. 6).

Se produce una transición entre un paradigma de oferta centralizado a un paradigma basado en la demanda por el cual son las propias comunidades las que expresan que es lo que necesitan y se

involucran en lograrlo. Este enfoque ganó un amplio reconocimiento en el sector del agua rural y entre 2000 y 2010, la mayoría de los organismos internacionales empezaron a exigir componentes de participación comunitaria local en los proyectos de gestión hídrica.

- **Ventajas del enfoque Top-Down**

El enfoque Top-Down no se puede descartar por completo, pero sí que será necesario entender en qué contextos puede implementarse. Iniciativas a gran escala, como planes estratégicos de gestión hídrica o la gestión de cuencas hidrográficas, requieren de una planificación centralizada debido a su complejidad técnica y alto coste. Un proyecto Top-Down bien concebido puede movilizar recursos y ejecutar proyectos en plazos más reducidos de tiempo. Este enfoque Top-Down permite estandarizar soluciones mínimas. En ausencia de una directriz central, podría haber poblaciones olvidadas si solo se actúa donde la demanda local se organiza.

Algunos proyectos logran prosperar cuando incorporan cierta flexibilidad. Un caso de éxito en México es el programa PROSSAPYS (Programa de Agua Potable y Saneamiento en Comunidades Rurales), este es un programa diseñado por la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), pero en su ejecución ha incorporado componentes de participación local, combinando directrices Top-down con ejecución Bottom-up. (*AMEXCID - Catálogo de Capacidades Mexicanas de Cooperación Internacional para el Desarrollo*, s. f.).

- **Desventajas del enfoque Top-Down**

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Zacoalco de Torres representa un caso crítico de aplicación fallida de un enfoque de gestión de tipo Top-Down en un contexto de desarrollo local. Desde su construcción, esta infraestructura ha enfrentado serias limitaciones operativas debido a la ausencia de una planificación integral que considere la capacidad técnica, económica e institucional del entorno. Los elevados costes de operación, junto con una gestión administrativa irregular por parte del municipio, han dado lugar al abandono funcional de la planta, cuyas instalaciones han sido saqueadas de forma progresiva ante la falta de vigilancia y mantenimiento.

A pesar del colapso operativo, el sistema de rebombeo aguas arriba continúa enviando caudales sin tratamiento hasta la PTAR. Esta situación ha provocado la saturación de la infraestructura y el desbordamiento constante de aguas residuales, generando una extensa zona pantanosa en condiciones sépticas que persiste hasta el día de hoy. Esta acumulación no controlada de las aguas negras representa un foco activo de contaminación, con implicaciones directas sobre la salud

pública, especialmente en el entorno de la planta de tratamiento “Barrio de la cuchilla”, el cual es un barrio vulnerable con un alto grado de exclusión social.

La presencia continuada de estos vertidos en superficie, sumada a la probable infiltración de contaminantes al subsuelo, hace altamente plausible una relación directa entre este fenómeno y los niveles elevados de coliformes fecales detectados en los pozos ubicados en el entorno urbano. El riesgo sanitario derivado de esta situación no solo es inmediato, sino que tiende a agravarse en ausencia de medidas correctoras estructurales.

Este escenario pone de manifiesto la fragilidad de los modelos de implementación vertical, en los que las decisiones se toman sin un conocimiento profundo de las dinámicas locales ni una implicación real de los actores comunitarios. La falta de apropiación social, la débil cultura de mantenimiento y la ausencia de mecanismos tecnológicos de seguimiento han hecho inviable el funcionamiento sostenible de una infraestructura que, en teoría, debía ser clave para el saneamiento del municipio. Frente a esta realidad, se vuelve imprescindible repensar el modelo de intervención, apostando por metodologías más inclusivas y digitalizadas que permitan no solo diseñar infraestructuras más eficientes, sino también gestionarlas de forma continua y adaptativa.

Tal y como se puede apreciar en **Imagen 1**, **Imagen 2**, **Imagen 3**, el mantenimiento de la depuradora local es inexistente. Tal y como se muestra en la **Imagen 4** se produce una descarga directa del efluente, sin ningún tipo de control sanitario y bajo un proceso de depuración deficiente o prácticamente nulo “No se tienen muestras de la caracterización fisicoquímica del efluente”. La percepción local es que debido a que de la PTAR sí que sale agua, esta agua está siendo tratada. En la **Imagen 5** se puede observar el área en condiciones sépticas generada por el efluente de la PTAR.



Imagen 1. Valvulería de la PTAR de Zacoalco de Torres (Fuente: elaboración propia)



Imagen 2. Rejilla de gruesos en PTAR de Zacoalco de Torres (Fuente: elaboración propia)



Imagen 3. Conexión con sistema de descarga de residuales en PTAR de Zacoalco de Torres (Fuente: elaboración propia)



Imagen 4. Efluente de descarga de la PTAR de Zacoalco de Torres (Fuente: elaboración propia)



Imagen 5. Área en condiciones sépticas en PTAR de Zacoalco de Torres (Fuente: elaboración propia)

- **Ventajas del enfoque Bottom-Up**

Un proyecto concebido con este enfoque se distingue por su proceso participativo y adaptativo. Durante las etapas iniciales de identificación de las necesidades comunitarias, son las propias comunidades quienes diagnostican sus problemas y priorizan las posibles soluciones, adaptadas a cada caso particular. Técnicas como talleres participativos, encuestas comunitarias o mapeos sociales, permiten recoger las voces de distintos grupos.

La implementación de los proyectos va acompañada de la participación local ya que por regla general se conforman comités de agua, se entrena a los fontaneros y la gente local participa con mano de obra. De este modo al terminar la obra, la comunidad está prepara y motivada para operar y mantener el sistema al sentirlo como propio ya que cuando es la propia comunidad la que ha contribuido a crear la solución, va a tratar de que esta funcione en el largo plazo. Esto se traduce en prácticas responsables como el pago regular de cuotas, monitoreo local de las fuentes y exigencia a las autoridades locales en el caso de que estas fallen. Un informe del Banco Mundial sobre abastecimiento rural resumió que la participación de la comunidad es uno de los factores con efecto directo en la sostenibilidad de los sistemas.

De forma adicional, el enfoque Bottom-Up tiene una gran ventaja en términos en equidad e inclusión, ya que, al abrir espacios de consulta, resulta más fácil identificar las necesidades de

aquellos grupos tradicionalmente marginados. Esto produce proyectos culturalmente más pertinentes y justos.

Este enfoque tiende puentes entre el conocimiento técnico y el saber local de aquellas comunidades que conocen de primera mano el entorno en el que viven, creando un sentido de cooperación donde la infraestructura no es un fin en sí mismo, sino un medio para el desarrollo comunitario. (*Activación de la demanda | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management!*, s. f.-b) (*Gestiooncomunitariadelagua.pdf*, s. f.).

En la **Imagen 6 e Imagen 7** podemos observar como un grupo de estudiantes de la ITESO “Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente”, imparten un curso comunitario orientado a la gestión del agua potable en la comunidad, este proyecto estudiantil se enmarca dentro de los PAP, “Proyectos de Aplicación Profesional” impartidos por dicha Universidad. Este grupo de trabajo responde a las necesidades concretas de las comunidades, evaluando anualmente el desempeño en las mismas, así como las sinergias generadas en sus intervenciones, en sus más de 10 años de trabajo en las comunidades, cada año, nuevos estudiantes activan o continúan con los proyectos desarrollados por sus compañeros en semestres anteriores, garantizando de esta forma la continuidad y sostenibilidad de los proyectos. La iniciativa de la feria del agua en Ahuisculco fue un rotundo éxito ya que generó un gran interés en la comunidad y permitió abrir un entorno de debate y diálogo comunitario. Si bien es cierto que Ahuisculco cuenta con un fuerte tejido social comunitario y ejidal y en consecuencia este tipo de iniciativas por regla general son bien recibidas por gran parte de la población local.



Imagen 6. Ahuiskulco feria del agua (Fuente: elaboración propia)



Imagen 7. Ahuiskulco feria del agua (Fuente: elaboración propia)



Imagen 8. Cartel que trata de hacer una llamada a la involucración comunitaria (Fuente: elaboración propia)

2.2.2.3 Metodologías de trabajo en comunidades rurales y urbanas

El éxito de los proyectos de agua en contextos de cooperación al desarrollo depende principalmente de la metodología de intervención empleada. Estas metodologías variarán en función del tipo de actor que las ponga en práctica, ONG, agencias gubernamentales u organismos internacionales deben adaptarse tanto al medio rural como al entorno urbano y especialmente al periurbano, considerando factores culturales, sociales y la posibilidad de replicar la metodología empleada, pero en otras comunidades.

Según la teoría de Enrique Aguilar, el tamaño de una localidad influye directamente en su capacidad para organizar y gestionar los servicios de agua potable y saneamiento, tanto desde el punto de vista técnico como financiero. Según distintas opiniones expertas, se pueden identificar tres grandes categorías:

- Las localidades con menos de 10.000 habitantes, que suelen presentar limitaciones importantes para gestionar estos servicios por cuenta propia.
- Aquellos municipios o comunidades que cuentan con entre 10.000 y 50.000 habitantes, que, si bien podrían asumir la gestión local del servicio, normalmente

necesitan apoyo externo ya sea técnico, económico o de gestión para alcanzar un funcionamiento sostenible.

- c) En último lugar, las localidades con más de 50.000 habitantes, en principio, deberían disponer de la capacidad institucional y operativa suficiente para administrar el servicio de manera autónoma.

(Amilpa, s. f.).

Por regla general, la cobertura de los servicios disminuye con el tamaño de las localidades. Además de las diferencias cuantitativas, también se observan importantes desigualdades cualitativas en los datos de cobertura, lo cual refleja en parte situaciones de inequidad estructural. En las zonas rurales, por ejemplo, suele considerarse como vivienda con acceso a agua potable aquella que tiene el servicio dentro del terreno, aunque no necesariamente dentro del hogar. En cambio, en los entornos urbanos, especialmente en ciudades de más de 10.000 habitantes, el criterio cambia: solo se contabilizan como viviendas con cobertura aquellas que disponen del servicio directamente en el interior. Esta diferencia en los criterios no solo altera la forma de medir la cobertura, sino que también deja ver los distintos niveles de calidad y confort en el acceso al agua, dependiendo del lugar donde se vive.

También es importante considerar que las cifras de cobertura presentan diferencias cualitativas significativas, que en muchos casos reflejan situaciones de inequidad. En lo que respecta al acceso al agua potable, en las zonas rurales se suele considerar como vivienda cubierta aquella que dispone del servicio dentro del terreno, aunque no necesariamente al interior de la vivienda. Por el contrario, en localidades urbanas de más de 10.000 habitantes, el indicador de cobertura se basa en la existencia del servicio directamente dentro del hogar.

Una situación similar ocurre con el sistema de drenaje. En el ámbito rural, la cobertura se mide principalmente por el número de viviendas que cuentan con fosa séptica, mientras que en las zonas urbanas el criterio utilizado es la conexión a una red pública de alcantarillado.

Esta diferencia en los estándares no es meramente técnica: tiene implicaciones reales sobre la calidad del servicio y, potencialmente, sobre la salud de la población, ya que las condiciones de saneamiento y acceso pueden variar considerablemente según el entorno y la infraestructura disponible. (Amilpa, s. f.).

- **Metodologías de Trabajo en áreas rurales**

Las organizaciones no gubernamentales han sido pioneras en la gestión de modelos participativos a través de los cuales se involucra a las comunidades en todas las etapas del proyecto. En zonas

rurales, muchas ONG aplican metodologías de **Diagnóstico Rural Participativo** (DRP). Estos enfoques incluyen técnicas como mapeos comunitarios, árboles de diagnóstico de problemas y dinámicas grupales para que la población identifique sus necesidades y recursos disponibles (*Activación de la demanda | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management!*, s. f.-a).

Por ejemplo, talleres donde hombres y mujeres dibujan el mapa de su sistema de agua actual, señalando tomas, fugas, hogares desabastecidos. Este tipo de talleres y encuentros sirven para iniciar el diálogo sobre posibles mejoras.

En las fases de ejecución de los proyectos, las ONG han impulsado esquemas como “**Proyecto Ejecutado por la Comunidad**” (PEC). Bajo este enfoque, la comunidad no solo participa, sino que toma a su cargo la ejecución del proyecto. Es la propia comunidad la que administra los fondos, compara los materiales y contrata la mano de obra cualificada con la asesoría técnica de la ONG o entes públicos.

Wilmer Sierra (2004) documentó que, en la Ciénega, Honduras, la aplicación de PEC permitió aprovechar la capacidad organizativa de la Junta de Agua local y su alta participación, resultando en un sistema construido con éxito, generando herramientas de gestión de proyectos replicables en otras comunidades, siempre que las condicionantes locales lo permitan. (Sanchez & Eduardo, 2004) (pg. 7).

Las ONG internacionales y agencias de cooperación también han desarrollado una serie de guías metodológicas que permiten integrar los aspectos socioculturales en sus enfoques de cooperación. Un ejemplo es la Cooperación Suiza (COSUDE), la cual en su programa SABA, llevado a cabo en Perú, elaboró manuales para facilitadores locales, enfatizando el respeto por las autoridades tradicionales de las comunidades y asegurando que el lenguaje técnico se tradujera al quechua. Esta adaptación cultural permitió aumentar la confianza de la comunidad y su interés por la participación en los proyectos.

Las metodologías empleadas por agencias gubernamentales se han ido adaptando a modelos de tipo participativo, reduciendo los enfoques de tipo Top-Down en los entornos rurales. Se ha institucionalizado la figura del **Promotor o Extensionista Comunitario**. Este perfil es el de un técnico o de una ONG subcontratada o al servicio del propio gobierno, que vive o visita periódicamente las comunidades para acompañarlas durante todo el ciclo de proyecto. En México, el extinto programa PROSSAPYS incorporaba facilitadores sociales que organizaban a la comunidad en un comité de agua, impartían capacitaciones y mediaban entre la comunidad y el contratista de la obra. Esta metodología de acompañamiento social aseguraba que, una vez

instalado el sistema, la comunidad tuviera una estructura sólida y los suficientes conocimientos para operar la infraestructura proyectada. (*Gestión comunitaria del agua.pdf*, s. f.).

Otra herramienta adoptada por los gobiernos es en **Enfoque del Marco Lógico** (EML), herramienta muy útil durante la fase de planificación de proyectos, combinada con la participación comunitaria. El EML provee una estructura (Objetivos, resultados, actividades, indicadores) que asegura que se definan claramente los objetivos y el alcance de los proyectos, así como la justificación de su pertinencia. Algunos gobiernos entrenaron a líderes comunitarios para que participasen en la formulación de matrices de marco lógico en sus proyectos de agua, de tal forma que se tradujesen las necesidades locales en objetivos formales. Este híbrido metodológico permite comunicar las propuestas comunitarias en el lenguaje de planificación que manejan las instituciones, facilitando la aprobación de financiación y soporte técnico para el desarrollo de los proyectos.

Según Enrique Aguilar, en su artículo sobre la Gestión comunitaria de los servicios de agua y saneamiento, en varios países (Bolivia, Colombia, El Salvador) se han creado manuales de operación y mantenimiento diseñados específicamente para pequeños sistemas comunitarios. Estos manuales, escritos en lenguaje sencillo y con ilustraciones, son una metodología educativa para que personas con un bajo nivel educativo puedan seguir pasos básicos para el mantenimiento de los sistemas proyectados, registros de cloro, reparaciones básicas, etc. (Amilpa, s. f.).

- **Metodologías de Trabajo en áreas Urbanas**

En los entornos urbanos, la dinámica es completamente distinta. La infraestructura involucra redes interconectadas a gran escala. Aquí, el enfoque Top-Down históricamente ha dominado, con planes maestros urbanos y obras dirigidas por ingenierías municipales. No obstante, las grandes ciudades también albergan entornos periurbanos o asentamientos informales en los cuales la presencia estatal es débil y el servicio deficiente.

En las zonas urbanas, un enfoque bottom-up puro es menos común, pero este aparece cuando el Top-Down falla en cubrir la demanda en aquellos entornos urbanos y periurbanos complejos y más vulnerables. El enfoque mixto es el deseable en estos entornos: participación ciudadana en la planificación urbana y en la identificación de prioridades, combinada con la implementación de técnicas de gobernanza estructurada institucionalmente, para lograr eficiencia en la gestión de los proyectos.

En municipios como Zacoalco de Torres, esta distinción rural/urbano es muy relevante. Zacoalco cuenta con una cabecera municipal semi-urbana en la cual el servicio de agua potable depende de un organismo municipal (*top-down* en su administración), y numerosas localidades rurales donde

las propias comunidades manejan sistemas locales (*bottom-up*) pero poco estructurados y organizados, siendo la cabecera municipal la responsable de garantizar el abastecimiento de agua en dichas comunidades. La estrategia óptima debería de ser diferente según el ámbito de trabajo: en la cabecera municipal, se debería de fortalecer la capacidad institucional, pero incorporando mecanismos de participación ciudadana (por ejemplo, comités de usuarios urbanos que retroalimenten a la autoridad sobre fallas y colaboren en la cultura del agua). En las localidades rurales, se deberían de aplicar enfoques ascendentes; organización comunitaria, capacitación y acompañamiento para mejorar y escalar sus sistemas, con el municipio actuando como apoyo técnico.

Para el contexto específico de Zacoalco de Torres, aplicar metodologías como encuestas hogar por hogar y asambleas comunitarias ayudará a revelar brechas de servicio y a identificar líderes naturales. En paralelo, siendo un municipio, el gobierno local y posiblemente la AECID (si es un proyecto de cooperación) querrán asegurar orden en la intervención; por tanto, elaborar con la comunidad un **Plan de Mejora de Agua Municipal** utilizando un marco lógico participativo sería recomendable. Esto alinea con prácticas de organismos internacionales que buscan que cada proyecto piloto se inserte en una planificación municipal de agua y saneamiento. Un componente cultural importante en Zacoalco podría ser involucrar a las estructuras existentes de participación ciudadana (por ejemplo, delegados municipales o comités de barrio) integrándolos en el proyecto de agua, en vez de crear organizaciones paralelas. Respetar las festividades, jerarquías locales será clave para la aceptación del proyecto.

Para lograr el éxito en la gestión de los proyectos de cooperación al desarrollo en México, será necesario apostar por un modelo mixto de **políticas públicas que articulen la planificación Top-Down con la iniciativa bottom-up** para asegurar la cobertura universal y segura del abastecimiento urbano.

2.2.3 Casos de éxito y fracaso en proyectos de cooperación

En el presente capítulo se han analizado una serie de experiencias reales en el marco de los proyectos de cooperación al desarrollo orientados al abastecimiento y saneamiento de agua en Hispanoamérica. Entre los proyectos analizados, algunos han logrado resultados positivos y su continuidad en el tiempo. Entre los principales factores de éxito suele destacar la sólida participación de las comunidades en los proyectos, tanto en la fase inicial como en el seguimiento y mantenimiento, también el apoyo institucional continuo, sumado a un diseño adecuado al contexto local y planes de sostenibilidad (operación y mantenimiento) desde la puesta en marcha de la infraestructura proyectada.

2.2.3.1 Caso de Éxito: Abastecimiento rural integrado en Guanajuato (Méjico)

• Caso de Éxito: Abastecimiento rural integrado en Guanajuato (Méjico)

La Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG) implementó proyectos rurales de agua reconocidos internacionalmente por el (Banco Internacional al Desarrollo) BID como ejemplos de buenas prácticas («Participa CEAG como ejemplo de proyectos exitosos en zonas rurales, en foro de “Proyectos de agua y saneamiento rural” organizado por el BID», 2022).

Uno de los modelos de éxito es el sistema de las “Vacas”, que agrupa a 15 localidades dispersas, contando con un total de 1.586 habitantes. Este proyecto superó todos los retos asociados a la dispersión geográfica de las comunidades, orografía compleja y escasez de agua gracias a la coordinación comunitaria y a un modelo de planeación integral.

Otro programa exitoso fue la atención a zonas vulnerables mediante la instalación de 102 tanques de almacenamiento, llevando agua a más de 67 mil personas de comunidades marginadas. Estos proyectos tuvieron éxito gracias a la involucración social y a la consideración de aspectos técnicos y sociales en todos los puntos del ciclo del proyecto desde su concepción hasta su operación y posterior mantenimiento.

El Mtro. Juan Carlos Serrano Ortega, (Director de eficiencia En Infraestructura Hidráulica) (DEIH) de las (CEAG) en su tesis (Ortega, s. f.) detalla su experiencia en la gestión y ejecución de proyectos en entornos rurales con base en apoyos globales, particularmente en las subvenciones globales ofrecidas por la organización mundial de servicio denominada Rotary International (RI) y con el apoyo de organizaciones gubernamentales del Estado de Guanajuato.

Su proyecto de aplicación consistió en la ejecución de obras de abastecimiento de Agua Potable en las comunidades de la Sierra de Guanajuato, México. Se centraba en las comunidades de El Terreno, El Laurel, Picones y La Concepción. En su tesis (Ortega, s. f.) hace hincapié en seis fases críticas para la gestión de este tipo de proyectos: Planeación, Organización, Integración, Dirección, Coordinación y Control.

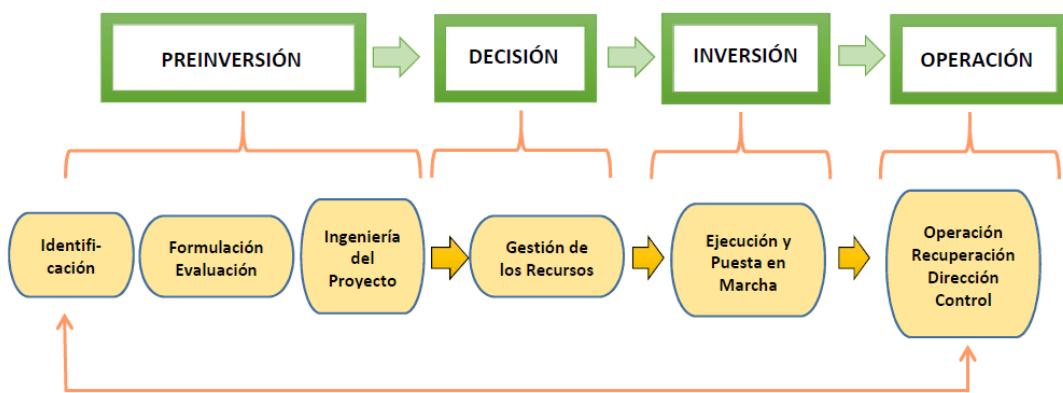


Imagen 9. Ciclo de vida de los proyectos hidráulicos (Amilpa, s. f., p. 64)

- **Identificación**

La identificación de cada proyecto se fundamentó principalmente en dos puntos de partida: por un lado, el físico-social y por el otro lado el técnico-económico.

En el caso del físico-social, se tuvieron reuniones con las autoridades de cada localidad, con el objetivo de conocer las necesidades y demandas de agua, la forma de abastecerse, el grado de organización de los diferentes comités, enfermedades por falta de agua potable y el coste por familia para la compra de agua potable (Amilpa, s. f.).

En relación con el punto técnico-económico, en las reuniones con las comunidades se obtuvo información relativa a las fuentes de abastecimiento (manantiales y bordos). En general, se analizó la oferta para satisfacer la demanda de los habitantes y se llegó a la conclusión de que todas las comunidades se abastecían de agua no potable procedente principalmente de los manantiales.

- **Formulación y Evaluación**

La formulación y evaluación de proyectos busca generar, analizar, comparar y seleccionar distintas alternativas de inversión, eligiendo la opción más eficiente para responder a una necesidad concreta.

Por tanto, formular y desarrollar un proyecto implica, por un lado, contar con un conocimiento adecuado de la técnica y la tecnología, y, por otro, realizar un análisis detallado de la demanda poblacional en cuanto al suministro de agua potable. La combinación de estos elementos permite determinar la viabilidad del proyecto.

Además, las decisiones en esta etapa se fundamentan en proyecciones relacionadas con la sostenibilidad financiera del servicio que prestará la infraestructura, así como en la viabilidad social del proyecto, lo que incluye la aceptación por parte de los beneficiarios y la evaluación de los impactos tanto positivos como negativos sobre el medio ambiente. (Ortega, s. f.).

- **Ingeniería del Proyecto**

Tras seleccionar las comunidades factibles para llevar a cabo el proyecto de abastecimiento, se procede a desarrollar los elementos de diseño y especificaciones técnicas necesarias para la inversión de cada proyecto.

El sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guanajuato (SIMAPAG) contrató los proyectos de las cinco comunidades, y la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato los revisó, adecuó y validó. (Ortega, s. f., p. 76).

- **Etapa de Decisión**

Durante la fase de toma de decisiones, cada uno de los proyectos comunitarios fue desarrollado en detalle desde las dimensiones técnica, legal, financiera y administrativa. Junto al Club Rotario de Guanajuato, se sumó también el Club Rotario de Ashland, en Oregón (EE. UU.), como Patrocinador Internacional, con el objetivo de brindar apoyo técnico, financiero y de gestión ante la Fundación Rotaria.

Esta colaboración permitió concretar los procesos legales correspondientes y facilitó la obtención de los recursos financieros necesarios para la ejecución de cada proyecto. A continuación, se expone de forma general cómo se desarrolló esta etapa. (Ortega, s. f.).

- **Gestión de los Recursos**

La gestión de los recursos técnicos, administrativos y financieros desempeñó un papel clave en la concreción de los proyectos. En una fase previa, correspondiente a la preinversión, se llevaron a cabo diseños preliminares con el objetivo de analizar y estructurar las ideas que fundamentaban cada propuesta. Una vez obtenida la aprobación para su ejecución, el equipo conformado por CEAG, SIMAPAG y el Club Rotario decidieron avanzar con la elaboración de los diseños ejecutivos necesarios para llevar a cabo las obras.

Este equipo actuó como grupo de interés o stakeholder, en el sentido de estar integrado por actores vinculados a un programa o proyecto de desarrollo, dotados de estrategia, capacidad de gestión y poder de decisión para responder a una necesidad específica, asegurando así el éxito del proceso (Amilpa, s. f.).

- **Ejecución y Puesta en Marcha**

El Mtro. Juan Carlos Serrano Ortega (Ortega, s. f., p. 86) otro aspecto clave para asegurar la sostenibilidad de cada obra, una vez finalizada y en operación, fue promover la participación de la comunidad. Para ello, se implementaron diversas acciones, entre ellas la conformación, en cada localidad, de un comité de obras (enmarcado en la figura de Contraloría Social), al que más adelante se sumó un comité específico de agua potable. Ambos comités estuvieron integrados principalmente por mujeres y tuvieron como finalidad supervisar los trabajos realizados por las empresas contratadas, actuando como canal de comunicación entre la comunidad y las entidades involucradas: el Club Rotario de Guanajuato, CEAG y SIMAPAG. Además, estos comités dieron seguimiento a la operación y mantenimiento de los sistemas implementados.

La contraloría social se entiende como el mecanismo mediante el cual las y los beneficiarios participan activamente en la supervisión de las obras, garantizando que los recursos y servicios vinculados a programas de desarrollo social se ejecuten con transparencia, oportunidad y calidad. No obstante, las funciones del comité están claramente delimitadas, y sus integrantes no están autorizados a:

- Modificar las especificaciones técnicas de la obra pública.
- Alterar los plazos de ejecución.
- Impedir, suspender o detener la ejecución del proyecto.
- Proponer la inclusión de beneficiarios no contemplados originalmente.
- Solicitar información directa o dar indicaciones al contratista responsable.

Otra estrategia fundamental para fomentar el sentido de apropiación por parte de la comunidad fue su participación mediante trabajo directo, conocido como mano de obra aportada. En este esquema, las personas colaboraron en tareas básicas de construcción como parte de su contribución al proyecto. Un ejemplo de ello ocurrió en la obra ejecutada en La Concepción, donde se organizaron brigadas vecinales para excavar las zanjas destinadas a la instalación de tubería galvanizada, con los trabajos supervisados por la empresa contratista. En la **Imagen 54** se presenta una serie de fotografías que ilustran el avance de las distintas obras.

Por otro lado, las actividades de trabajo social y cultura del agua llevadas a cabo por las brigadas tanto de SIMAPAG como de la CEAG en cada comunidad desempeñaron un papel fundamental. A través de charlas con la población y la entrega de manuales de organización dirigidos a los comités de agua potable, se promovió la concienciación sobre el uso responsable del recurso hídrico, así como la adecuada operación y mantenimiento de las obras ejecutadas. (Amilpa, s. f., p. 87).

- **Modelo de Gestión**



Imagen 10. *Modelo de Gestión de Proyectos para las Subvenciones Globales entre la Fundación Rotaria y Organizaciones Gubernamentales. Caso de Agua Potable en comunidades de la Sierra de Guanajuato.* (Fuente: Mtro. Juan Carlos Serrano Ortega con base en Lienzo CANVAS de Alex Osterwalder (2004)

Tal y como afirma el Mtro. Juan Carlos Serrano Ortega (Ortega, s. f., p. 97): *La falta de equidad en las políticas públicas, que históricamente han priorizado los centros urbanos densamente poblados en detrimento de las zonas rurales o marginadas, ha influido negativamente tanto en la toma de decisiones como en la conciencia social respecto al agotamiento de los recursos*

naturales. Esta situación ha contribuido directamente a la problemática actual de escasez hídrica.

En este contexto, el presente trabajo demuestra que, a partir de un enfoque basado en el Proceso Administrativo que incluye la planeación, organización, integración, dirección y control y ante la urgente necesidad de atender a poblaciones sin acceso a agua potable, es posible implementar un método técnico sustentado en evidencia científica. Este modelo se aleja de prácticas improvisadas y propone una estructura organizativa eficiente, adaptada a las particularidades de cada entidad participante, con el objetivo de mejorar las condiciones de vida de quienes no cuentan con acceso al agua.

Por ello, el Modelo de Gestión desarrollado puede considerarse replicable y servir como referencia para otras intervenciones sociales, especialmente aquellas orientadas a poblaciones en situación de vulnerabilidad. Se trata de una propuesta de servicio que trasciende el ámbito del agua potable y saneamiento, siendo aplicable también en sectores como la salud, la educación, el desarrollo económico, la construcción de paz y la resolución de conflictos sociales.

Aunque el problema identificado es la carencia de agua potable, este no debe abordarse únicamente desde una perspectiva técnica o financiera. La experiencia recogida en este trabajo revela que el Modelo de Gestión propuesto comprende todo el ciclo de intervención: desde la identificación de necesidades y la participación comunitaria en la organización del sistema, hasta la sostenibilidad operativa del mismo. Este proceso incluye el cumplimiento de la normativa, la coordinación entre actores, la movilización de recursos humanos, técnicos y financieros, así como la formalización de convenios de colaboración en los que se definen roles y responsabilidades. Además, contempla la ejecución de obras, la organización social a través de comités, y el seguimiento a la operación y mantenimiento del sistema implementado.

Los casos de éxito en los proyectos de abastecimiento revelan patrones comunes: fuerte participación social, alineación con políticas públicas (nacionales o locales), recursos garantizados para operación continua, y modelos de gestión innovadores (comunitarios o mixtos) que garantizan la sostenibilidad. Asimismo, integran componentes técnicos (infraestructura apropiada), sociales (educación sanitaria, organización comunitaria) e institucionales (fortalecimiento de entidades locales), maximizando el impacto positivo a largo plazo.

2.2.3.2 Casos Fallidos: En proyectos de Agua y Saneamiento

No todos los proyectos de cooperación al desarrollo han logrado los objetivos buscados. Los factores que hacen que un proyecto fracase suelen involucrar deficiencias en el diseño o gestión,

principalmente por falta de participación comunitaria, desatención al contexto socioeconómico, ausencia de mantenimiento, marcos institucionales débiles o conflictos políticos.

➤ **Caso 1: Privatización fallida del agua en Cochabamba (Bolivia)**

En el año 1999 en Cochabamba Bolivia se cedió la concesión de los servicios de agua de Cochabamba a una empresa privada llamada Aguas del Tunari. Esta concesión estaba impulsada por organismos internacionales y dio lugar a las “Guerra del Agua”. El aumento significativo de la tarifa y la falta de transparencia derivó en una serie de protestas masivas que obligaron a revertir la concesión de agua. Cochabamba se convirtió en un claro ejemplo de que no se puede ignorar la capacidad de pago de la población y excluir a la comunidad de las decisiones ya que esto puede hacer inviable la consecución de un proyecto. (*waterinbolivia.pdf*, s. f., p. 6).

A nivel de cooperación, se evidencia la importancia de incorporar medidas de protección para los usuarios vulnerables y de garantizar acuerdos que sean justos, transparentes y socialmente sostenibles.

➤ **Caso 2: Infraestructuras abandonadas por falta de planificación y mantenimiento (México).**

En todo México existen numerosos casos de obras hidráulicas construidas con fondos públicos o de cooperación que acabaron inoperantes o en estado de abandono. Un ejemplo ampliamente conocido es el caso de Puebla (Méjico), bajo la gestión de administraciones deficientes realizaron inversiones millonarias 250 millones de pesos en plantas de potabilización y de tratamiento de agua residual las cuales nunca llegaron a operar por problemas relacionados con permisos ambientales y a una planificación deficiente. Concretamente es el caso de las plantas del Morenovallismo en Huauchi, Xicotepec y Juan Galindo. Actualmente ninguna de las plantas funciona, por lo que en el caso de las de tratamiento de agua residual esta se descarga de manera directa a la presa de Necaxa y en el caso de la planta potabilizadora, las familias reciben el agua sin que haya sido tratada.

La planta de tratamiento de aguas residuales se construyó a las afueras del área urbana de la colonia Texcapa, en el municipio de Huauchinango y se invirtieron más de 162 millones de pesos de recursos federales y estatales **Imagen 11**. Tan solo 14 días tras la apertura de la planta, colapsó por la mala calidad de los trabajos de ejecución del proyecto, afectando a los vecinos de la comunidad de Totolapa. Esta infraestructura nunca contó con los permisos ambientales necesarios. (*Un fracaso, las plantas de agua del morenovallismo en Huauchi, Xico y Juan Galindo - El Sol de Puebla | Noticias Locales, Policiacas, sobre México, Puebla y el Mundo*, s. f.)

Actualmente esta planta de tratamiento de aguas residuales, vierte directamente sus aguas sin tratar sobre la presa de Necaxa, lo que ha degenerado en un ecocidio ambiental (*COM_2024_237.pdf*, s. f.). La comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH) emitió la Recomendación **126/2024** a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y a los Ayuntamientos de Huachinango y Juan Galindo de Puebla para que se reparen los daños ocasionados por la contaminación de dicha presa. A pesar de las denuncias hechas sobre el caso, las autoridades de las tres órdenes de gobierno no han realizado acciones contundentes para disminuir el impacto ambiental.

Por su parte, corresponde a CONAGUA la realización de estudios técnicos orientados a evaluar la calidad del agua tanto de la Presa Necaxa como de las corrientes que desembocan en ella, entre las que se incluye el Río Texcapa. Asimismo, deberá diseñarse un programa de monitoreo periódico que permita hacer un seguimiento continuo de la calidad del recurso hídrico. Estas acciones tienen como finalidad asegurar el cumplimiento de los derechos fundamentales vinculados al acceso a un medioambiente sano y al abastecimiento de agua suficiente y en condiciones adecuadas para la población local, así como prevenir la repetición de las violaciones a derechos humanos que han sido documentadas en la presente documentación .(*COM_2024_237.pdf*, s. f., p. 2)



Imagen 11. La planta de Huauchinango fue clausurada por carecer de permisos. / Foto: Heriberto Hernández | El Sol de Puebla

Del mismo modo que la planta de Texcapa, en el año 2017 se iniciaron los trabajos de construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales del proyecto turístico de Necaxa. El proyecto fue financiado por el gobierno federal que aportó el 60% de los recursos y el Estatal el 40%. El

ayuntamiento aportó el terreno el cual funcionaba como un camino vecinal por el que se bajaba y subía a la orilla de la presa de Necaxa. La planta empezó a operar para sanejar el agua residual de las poblaciones de Necaxa, sin embargo, dejó de operar en la administración del Partido Encuentro Social (PES). (*Un fracaso, las plantas de agua del morenovallismo en Huauchi, Xico y Juan Galindo - El Sol de Puebla | Noticias Locales, Policiacas, sobre México, Puebla y el Mundo, s. f.*).

En Xinotepec, la planta potabilizadora que inauguró el gobernador, Rafael Moreno Valle, en el 2012, con una inversión inicial de 40 millones de pesos y que anunció que beneficiaría a una población de un millón de habitantes cuando finalmente la cabecera municipal en la actualidad no cuenta ni con 45 mil habitantes. La infraestructura funcionó durante menos de medio año y después dejó problemas de abastecimiento en toda la población.

La actual gestora del sistema operador de agua potable y alcantarillado de Xinotepec, Evelia Cruz, considera inviable la puesta en marcha del sistema, dado que los tanques principales de almacenamiento presentan severos daños estructurales y dada su ubicación geográfica en una loma, su colapso podría suponer un peligro para las instalaciones del 70 Batallón de Infantería. (*Un fracaso, las plantas de agua del morenovallismo en Huauchi, Xico y Juan Galindo - El Sol de Puebla | Noticias Locales, Policiacas, sobre México, Puebla y el Mundo, s. f.*).

• Conclusiones

La falta de un plan estratégico a largo plazo y de políticas claras de gobernanza del agua es por regla general uno de los factores clave del fracaso de los proyectos de abastecimiento y saneamiento. Para que esta tipología de proyectos no fracase, se debe de intentar no descuidar ninguna de las siguientes dimensiones:

- i. **Participación y aprobación comunitaria:** un proyecto que fracasa es aquel que ha sido impuesto sin consulta comunitaria.
- ii. **Sostenibilidad financiera y mantenimiento:** sin la correspondiente capacitación de los operadores y el soporte técnico y económico post-obra para la gestión operativa del mantenimiento, el fracaso del proyecto está garantizado.
- iii. **Institucionalidad y Gobernanza:** los éxitos corresponden a aquellos proyectos que cuentan con apoyo de autoridades locales o esquemas institucionales claros (Juntas de agua, asociaciones) que dan seguimiento, mientras que los fracasos ocurren en aquellos municipios o comunidades en los que existe un vacío institucional o falta de coordinación interinstitucional.

- iv. **Adecuación tecnológica y ambiental:** si la tecnología empleada en el proyecto no se adecua al contexto de la intervención, el proyecto resultará en un fracaso debido a la dificultad de su operación.
- v. **Enfoque social e inclusivo:** los proyectos sostenibles suelen incorporar educación sanitaria, equidad en el acceso (atención a grupos vulnerables) y respeto a la cultura local, a diferencia de los proyectos que fracasan, en donde el enfoque es puramente técnico-comercial, como por ejemplo el subir las tarifas sin tener en consideración la capacidad de pago.

2.3 Metodología de Mantenimiento en Infraestructuras Hídricas

En proyectos de cooperación al desarrollo orientados al abastecimiento y saneamiento, el mantenimiento Post-Desarrollo de las infraestructuras, es una pieza crítica y un componente estratégico para garantizar la continuidad, calidad y sostenibilidad de los servicios de agua en las comunidades, especialmente tiene una gran transcendencia en el contexto de los entornos rurales en los cuales las limitaciones técnico-económicas son más notables.

Este apartado realiza una revisión y síntesis de la literatura y prácticas sobre metodologías de mantenimiento en sistemas de agua, se han analizado los diferentes tipos de mantenimiento; correctivo, preventivo y predictivo, así como los marcos normativos y regulatorios vigentes. Por otro lado, se han estudiado las herramientas tecnológicas modernas (GMAO, SIG, IoT, BIM) y su integración en la gestión del mantenimiento en proyectos de cooperación al desarrollo.

El objetivo es proporcionar un marco teórico-técnico que siente las bases para la metodología a desarrollar en el contexto del caso de estudio de Zacoalco de Torres.

2.3.1 Importancia del Mantenimiento en los Sistemas de Agua

Diversos estudios evidencian que, sin un mantenimiento adecuado de las infraestructuras, la vida útil de las mismas se reduce significativamente, además de incrementar los costes totales derivados de reparaciones de emergencia y costes asociados por interrupción de los servicios de abastecimiento. No realizar un correcto mantenimiento, equivale a malgastar los recursos invertidos en la construcción, ya que con el tiempo habrá que gastar mucho más en rehabilitaciones o reconstrucciones. (Pastor, s. f.).

La organización mundial de la salud (OMS), a través de los Planes de Seguridad del Agua, recomienda integrar la operación y mantenimiento dentro de la gestión del riesgo para poder garantizar la continuidad y seguridad del servicio. Entidades como la CONAGUA en México establecen normas para la operación y mantenimiento de sistemas rurales, reconociendo que la

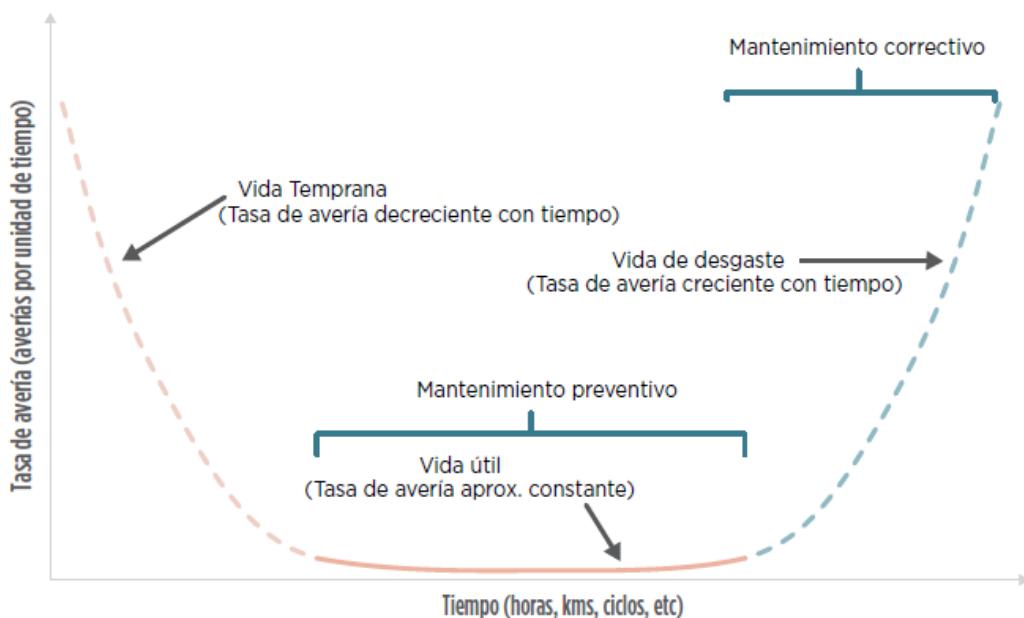
sostenibilidad de los proyectos depende de estas actividades Post-Construcción. No obstante, a pesar de su importancia, a día de hoy siguen existiendo grandes barreras para una adecuada inversión en mantenimiento, algunas de estas barreras están relacionadas con la baja capacidad técnica de las entidades operadoras, la falta de incentivos políticos (los proyectos de mantenimiento son menos visibles y proporcionan menos rédito electoral) e incluso la corrupción o uso inefficiente y fraudulento de fondos que impiden desarrollar los planes de mantenimiento programados. Es por ello que el Banco Internacional para el Desarrollo (BID) hace un llamamiento para “pasar del paradigma de construir y olvidar, al de gestionar activos”. (Pastor, s. f.)

2.3.2 Tipos de Mantenimiento: Correctivo, Preventivo y Predictivo

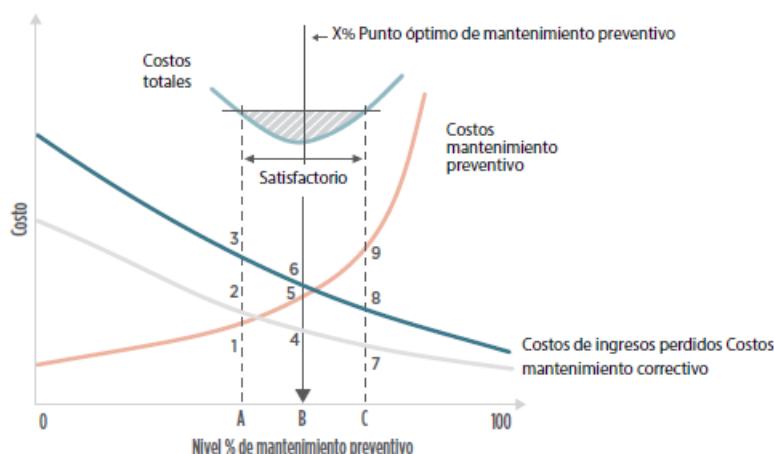
Normalmente, en la gestión de sistemas hídricos se distinguen tres tipos principales de mantenimiento técnico:

- i. **Mantenimiento Correctivo:** Este tipo de mantenimiento se produce después de que haya ocurrido una avería o un fallo en algún componente. Este tipo de mantenimiento permite el desgaste del activo hasta llegar al punto de fallo, lo que deriva en la interrupción del servicio y un coste imprevisto elevado. Un enfoque basado solo en un mantenimiento correctivo es inefficiente, ya que actúa cuando el servicio ya se ha interrumpido y, en muchas ocasiones, el daño es ya casi irreversible. (Pastor, s. f.).
- ii. **Mantenimiento Preventivo:** Conjunto de tareas programadas con antelación a que ocurra una avería. En lugar de esperar a la falla, se realizan intervenciones periódicas o programadas. La gran ventaja de este mantenimiento es que se puede presupuestar y optimizar. El mantenimiento preventivo puede darse de dos formas diferentes.
 - **Preventivo programado en intervalos fijos;** por ejemplo, cada 6 meses o cada cierto volumen bombeado, según recomendaciones técnicas o experiencia.
 - **Preventivo basado en condición;** se programa la intervención, tras detectar indicios de deterioro en el activo.
- iii. **Mantenimiento Predictivo:** Este tipo de mantenimiento es una variante avanzada del mantenimiento preventivo, apoyándose en tecnología. Implica un monitoreo continuo de los parámetros de funcionamiento de los equipos (vibraciones, temperatura, caudal, calidad del agua, etc.) y, con estos datos, se analizan tendencias para poder anticipar las averías. Un ejemplo son los sensores (IoT) los cuales pueden medir en tiempo real la vibración de una bomba. Cuando el sistema detecta este comportamiento anormal del equipo, programa automáticamente su mantenimiento antes de que el sistema falle completamente. La ventaja del mantenimiento predictivo es que optimiza aún más la programación de cada mantenimiento, ya que actúa justo antes del punto de fallo y con

base científica. Su implementación conlleva la necesidad de una gran inversión en sistemas de monitoreo continuo (SCADA, sensores IoT) y la correspondiente gestión analítica de la información obtenida.



Gráfica 6. Mantenimiento correctivo vs preventivo (Fuente: Mobley, 2002) (Pastor, s. f.)



Gráfica 7 Relación entre el coste y el nivel de mantenimiento preventivo. Fuente: Mobley (2002)

2.3.3 Marcos normativos y directrices Institucionales

Dentro del ámbito de los proyectos de cooperación al desarrollo y la gestión pública del agua, existen marcos y guías orientados al mantenimiento de las infraestructuras:

- i. **Organización Mundial de la Salud (OMS):** A través de los Planes de Seguridad del Agua (PSA), la OMS trata de impulsar e implementar los programas de operación y

mantenimiento en los proyectos relacionados con la gestión hídrica. (*Agua para consumo humano*, s. f.).

- ii. **Normativa nacional mexicana (CONAGUA):** En México, la Comisión Nacional del Agua establece líneas estratégicas para el mantenimiento de los activos. Por ejemplo, la NOM-013-CONAGUA regula la operación y el mantenimiento de las plantas potabilizadoras de agua. En los entornos rurales, programas como PROAGUA han incorporado componentes de asistencia técnica Post-Construcción, creando la figura de los TAE (Técnicos de Agua y Saneamiento).
- iii. **Banco de Desarrollo y cooperación:** Algunos organismos internacionales como el BID. Al finalizar los proyectos de abastecimiento y saneamiento, exigen planes de sostenibilidad. El BID en sus proyectos rurales incorpora una matriz de mantenimiento. En algunos proyectos, los fondos quedan condicionados bajo cláusulas de garantía que obligan a los receptores de las infraestructuras a realizar un cierto mantenimiento durante un periodo de tiempo determinado.

Por norma general, el marco normativo internacional y nacional trata de promover e implementar un mantenimiento planificado y responsable, no obstante, su implementación en los contextos rurales está condicionada por la falta de personal técnico y financiación económica.

2.3.4 Desafíos del mantenimiento en zonas rurales

La gestión operativa del mantenimiento en infraestructuras hídricas rurales está condicionada por los siguientes desafíos clave:

- i. **Limitaciones financieras:** Debido a los limitados recursos económicos de las poblaciones rurales, la recaudación mediante la aplicación de tarifas se ve muy limitada y, en consecuencia, la financiación del mantenimiento operativo es inviable si no se reciben subsidios externos. Sin los correspondientes subsidios, el mantenimiento preventivo se posterga por falta de financiación hasta que el estado operativo del sistema está tan deteriorado que lleva a su clausura.
- ii. **Capacidad Técnica y Personal Cualificado:** En estos contextos rurales, es complicado encontrar a personal cualificado y formado en cuestiones técnicas de mantenimiento de sistemas de agua, es por ello que este suele recaer sobre los fontaneros empíricos o voluntarios comunitarios, los cuales hacen lo posible por mantener el sistema en funcionamiento, pero en muchos casos sin disponer del conocimiento o medios necesarios para la correcta gestión de la infraestructura. Adicionalmente, la rotación del personal hace difícil mantener una memoria técnica.

- iii. **Dispersión geográfica y accesibilidad:** La dispersión de las zonas rurales implica normalmente una distancia significativa entre comunidades, así como su acceso a las mismas a través de los caminos rurales por zonas serranas. Un ejemplo en Zacoalco de Torres sería la comunidad de las Moras situada en un cerro y a una hora aproximadamente de la cabecera municipal, el acceso está limitado a un camino rural, lo que complica las labores de mantenimiento, ya que los técnicos municipales emplean mucho tiempo en desplazarse a la comunidad para gestionar la infraestructura. Durante las épocas de lluvias, algunos sistemas quedan aislados, impidiendo su oportuno mantenimiento.
- iv. **Cultura Organizativa Comunitaria:** Normalmente, en las comunidades el concepto de mantenimiento preventivo no está arraigado. Por regla general, siguen una mentalidad reactiva. Los comités de agua creados por el entusiasmo comunitario para desarrollar la infraestructura, tienden a decaer en entusiasmo una vez ya proyectada, resultando en el descuido del sistema (*impacto-caf-agua-y-saneamiento-informe-completo.pdf*, s. f.). Este problema se acentúa con los cambios de gobierno local, ya que la nueva administración local puede inferir no apoyando al comité de aguas existente.
- v. **Disponibilidad de Repuestos y Soporte Técnico Externo:** En muchos casos, la complejidad técnica o piezas específicos de equipos importados e instalados en las plantas de tratamiento de agua residual o de tratamiento de agua potable, hace inviable su mantenimiento, debido a la complejidad para encontrar esos repuestos en el mercado local o nacional, así como el equipo técnico especializado en su mantenimiento o reparación. Esta dependencia de proveedores externos es uno de los graves problemas que enfrenta la gestión operativa del mantenimiento y más aún cuando la infraestructura no está adaptada al contexto en el cual ha sido proyectada. Algunos programas han intentado mitigar esta situación, estandarizando equipos o creando bancos de repuestos regionales. La falta de acceso a soporte técnico especializado se evidencia cuando, por ejemplo, se daña un panel de control electrónico y nadie en la región sabe repararlo. La simplicidad tecnológica a veces es preferible en lo rural para facilitar el mantenimiento.

2.3.5 Nuevas Herramientas tecnológicas para la gestión del Mantenimiento

Actualmente, la transformación digital está llegando a la gestión del agua, incluyendo el ámbito de la gestión operativa del mantenimiento. En los últimos años el mantenimiento de infraestructuras se ha apoyado en las siguientes herramientas tecnológicas:

- i. **GMAO (Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador):** Los GMAO son software especializados en planificar, registrar y controlar todas las actividades de mantenimiento de forma integrada. Un sistema GMAO permite llevar un inventario de activos, programar las tareas preventivas, generar órdenes de trabajo, asignar técnicos, gestionar repuestos y llevar un historial de intervenciones (*GMAO la transformación digital del mantenimiento en el AyA-El Especialista.pdf*, s. f.). Grandes empresas gestoras como el Canal de Isabel II, ya están implantando esta tecnología. Pero asimismo, se ha comenzado a implantar en organismos medianos, el (AyA) de Costa Rica implementó en 2023 un nuevo software GMAO que permitió centralizar en una plataforma digital todas las órdenes de servicio, los técnicos reciben estas órdenes en sus tabletas o móviles y pueden reportar a tiempo real las labores realizadas (*GMAO la transformación digital del mantenimiento en el AyA-El Especialista.pdf*, s. f.). Esto permitió reducir los tiempos de respuesta ante incidencias y facilitó la trazabilidad de cada mantenimiento. Además, integraron el GMAO con otros sistemas como el SIG y el control de pérdidas. De esta forma, si en el GMAO se crea una orden de reparación de fuga, automáticamente aparece georreferenciada en el mapa GIS, mejorando de esta forma la coordinación logística. Los beneficios de un GMAO incluyen: evitar la omisión de tareas, optimizar recursos y construir una base de datos para profesionalizar la gestión del mantenimiento.

- ii. **SIG (Sistemas de Información Geográfica) y mapeo de activos:** Los sistemas GIS son esenciales para mapear la infraestructura (tuberías, válvulas, tanques, usuarios) y de esta forma poder planificar de una forma más adecuada el mantenimiento de la red. Con un mapa digital se puede ubicar dónde ocurren más roturas, o qué válvulas cerrar para reparar un tramo, etc. Muchas empresas han montado GIS interconectados con sus operaciones, un ejemplo por ejemplo es el Consorcio de Aguas de Asturias en España, integró su GMAO con GIS de tal modo que se podía visualizar en el mapa cada orden de mantenimiento programada. Al relacionar datos de mantenimiento con ubicaciones geográficas, se pueden identificar patrones espaciales de fallos, como, por ejemplo, un gran número de fallos en un área concreta podría ser un indicativo de que la tubería es antigua o de que está soportando demasiada presión, lo cual sería un indicativo de su necesidad de renovación. En el marco de la cooperación al desarrollo, se han usado GIS móviles: aplicaciones sencillas en las que los operadores locales reportan vía smartphone la situación de los sistemas, alimentando bases de datos nacionales de monitoreo en el ámbito rural.

- iii. **IOT (Internet de las Cosas) y telemetría:** Los dispositivos IoT son sensores conectados que envían datos en tiempo real. En sistemas hídricos, la telemetría permite monitorizar continuamente variables críticas: nivel de cloro, turbidez del agua, caudal, nivel de tanques, estado de bombas (encendida/apagada), presión en la red, etc. Esto revoluciona el mantenimiento al habilitar un enfoque predictivo. Un caso de éxito se aplicó en Perú, donde el BID y COSUDE implementaron en 2023 sistemas de telemetría en zonas rurales para medir la calidad del agua en tiempo real. («Soluciones innovadoras para el acceso al agua potable en zonas rurales», 2024). Antes, el monitoreo de la red se hacía de forma manual e irregular; ahora, con sensores de campo que transmiten datos en tiempo real, se puede detectar inmediatamente si el cloro residual cae por debajo de la norma y enviar un técnico a corregir la dosificación. Disponer de datos precisos y en tiempo real permite tomar decisiones oportunas para garantizar la calidad del servicio. La LOT se complementa con redes de comunicaciones como GPRS o LoRaWAN en áreas rurales y plataformas donde visualizar las lecturas. Con IoT, el mantenimiento puede pasar de reactivo a prácticamente automatizado en la detección de fallos. El desafío radica en el coste y la capacidad para manejar los datos.
- iv. **BIM (Building Information Modeling):** La metodología BIM ha emergido como una potente herramienta para la gestión de infraestructuras hídricas. BIM consiste en crear un modelo digital 3D inteligente de la infraestructura, incorporando en él toda la información de sus componentes. Durante el diseño y construcción, la metodología BIM ayuda a optimizar (detectar conflictos, planificar obras). Pero una vez construido el modelo, ese modelo queda como un “gemelo digital” del sistema, que puede usarse para hacer una planificación integral del mantenimiento. Cada elemento (válvula, bomba, tubería) tiene asociada en el modelo información del fabricante, fecha de instalación, manual de mantenimiento, etc. BIM permite una planificación más precisa, una ejecución más eficiente y un mantenimiento optimizado de las infraestructuras hídricas («Building Information Modeling (BIM) en Acción», 2025). La inclusión del BIM en el reciente PERTE digital del agua en España muestra la tendencia a que esta metodología sea cada vez más la base de la gestión de activos (iAgua, 2022). Para proyectos de cooperación, la metodología BIM puede ser útil si se trabaja con empresas consultoras avanzadas, aunque para sistemas rurales pequeños tal vez un modelado completo sea excesivo. Aun así, adoptar principios BIM (como centralizar la información de los activos y sus mantenimientos en un lugar único), puede llegar a ser muy beneficioso.

- v. **Otras herramientas:** Además de las anteriores, hay tecnologías como aplicaciones móviles para operarios (para guiarlos en procedimientos paso a paso), uso de inteligencia artificial para optimizar rutas de mantenimiento o para predecir fallos (AI/ML aplicado a series de datos de sensores), y el concepto de digital twins (gemelos digitales en tiempo real) donde se combina BIM + IoT para tener una réplica virtual del sistema, constantemente actualizada, permitiendo probar virtualmente estrategias de mantenimiento antes de aplicarlas físicamente.

3. Metodología innovadora Propuesta

A la vista de la bibliografía examinada y de los antecedentes y experiencias en proyectos evaluados, se ha determinado que uno de los principales problemas en el desarrollo, implantación y posterior gestión en proyectos de cooperación al desarrollo es el marco metodológico de trabajo que se intenta establecer en los entornos en los que se lleva a cabo la intervención. En la mayoría de los casos los proyectos no han generado sinergias locales significativas y no ha sido posible que la comunidad pueda mantener o desarrollar nuevos proyectos. En gran parte de los casos, esto se debe a la escasa capacidad técnica y de gestión comunitaria y la inexistente actuación de los organismos competentes y gestores.

La inteligencia artificial ha llegado para democratizar el conocimiento universal, en un futuro cercano, no será necesario contar con un gran departamento técnico de gestión hídrica, para que una pequeña, mediana o gran población pueda desarrollar proyectos o gestionar de forma técnica, profesional y avanzada su sistema hídrico. Será suficiente con una estructura multidisciplinar gestionada por la inteligencia artificial y por un pequeño grupo de personal técnico que verifique los resultados y pueda validar la información obtenida por el modelo, reduciendo considerablemente la estructura de costes e incrementando la eficiencia en la gestión operativa del sistema.

La metodología que se plantea en el presente estudio es una metodología escalable y replicable en todos los entornos, ya sea a nivel nacional, provincial, municipal, local, urbano o rural. Se basa en una estructura digital y jerárquica implantada dentro de un proyecto en ChatGPT, organizada en carpetas, subcarpetas y sub-subcarpetas, cada una de las cuales responde a una necesidad concreta de planificación, operación o evaluación. Esta estructura está planteada para poder integrarse o retroalimentarse con plataformas de GMAO, con sistemas de modelado BIM y con herramientas de inteligencia artificial, permitiendo una trazabilidad absoluta y una capacidad de toma de decisiones, técnica, transparente y participativa.

A diferencia de las metodologías tradicionales centradas exclusivamente en el diseño físico de infraestructuras, esta propuesta aborda de forma transversal todos los ejes críticos de un sistema de gestión hídrica: diagnóstico social y técnico, gobernanza, mantenimiento, sostenibilidad económica, normativa y comunicación comunitaria. Todo ello bajo un esquema modular, replicable y escalable.

3.1 Definición de la metodología propuesta: Principios, pasos y estructura.

3.1.1 Principios Rectores y Pasos a seguir para la Implementación

- i. **Modularidad:** Cada una de las carpetas del sistema puede funcionar de forma autónoma y conectarse de forma estratégica con las demás. Esto permite adaptar el modelo a diferentes niveles de complejidad territorial o institucional.
- ii. **Escalabilidad:** El modelo puede implementarse tanto en pequeñas comunidades rurales como en sistemas urbanos e interurbanos.
- iii. **Interoperabilidad digital:** La arquitectura metodológica del modelo es compatible con sistemas GMAO, hojas de cálculo, bases de datos estructuradas, software GIS y plataformas BIM.
- iv. **Participación Comunitaria:** El modelo integra mecanismos para el diagnóstico social, el análisis de actores locales de grupos de influencia y la rendición de cuentas.
- v. **Transparencia y trazabilidad:** Toda la documentación, desde un acta hasta un análisis de laboratorio, queda registrada, auditada y vinculada de forma digital.
- vi. **Enfoque Participativo:** Se recogen datos sociales del área de trabajo y se fomenta la participación comunitaria.
- vii. **Sostenibilidad económica y ambiental:** Seguimiento de KPIs y Cash Flow, junto con un exhaustivo control de calidad del agua y parámetros normativos.

3.1.2 Estructura general del modelo

La estructura metodológica del modelo, estará compuesta por 10 grandes bloques temáticos que contienen más de 40 subcarpetas y sub-subcarpetas con funciones específicas, diseñadas para dar respuesta a los requisitos técnicos, sociales, económicos y legales del ciclo de gestión del agua

potable y del saneamiento. Esta metodología se ha desarrollado para ser replicable, auditible y sostenible y puede aplicarse tanto a contextos rurales como a urbanos o periurbanos, adaptándose a diferentes marcos normativos y capacidades institucionales.

1. Diagnóstico inicial del contexto local (Carpeta 1).
2. Constitución formal del departamento de aguas y sus recursos (Carpeta 2).
3. Creación del comité técnico virtual de expertos (Carpeta 3).
4. Planificación operativa y de turnos de trabajo (Carpeta 4).
5. Formulación y seguimiento de proyectos (Carpeta 5).
6. Gestión operativa del mantenimiento (Carpeta 6).
7. Control de calidad y caracterización físico-química (Carpeta 7).
8. Control financiero y análisis económico (Carpeta 8).
9. Compliance, cumplimiento legal y documental (Carpeta 9).
10. Reporting, visualización y comunicación comunitaria (Carpeta 10).

3.1.3 Pasos Metodológicos para la implantación del modelo y estructura lógica

Para la implementación de la metodología propuesta, será necesario seguir una secuencia ordenada de los siguientes pasos, cada uno representado por una carpeta dividida a su vez en diferentes subniveles estructurados. Cada carpeta estará orientada y especializada en un área concreta del departamento de gestión hídrica, pero entre ellas mantendrán una gran sinergia e interconectividad, lo que permitirá que la estructura funcione como un nodo común multidisciplinar. La metodología propuesta permitirá optimizar los recursos y la toma de decisiones.

1. **Diagnóstico del Contexto Local (Carpeta 1):** Esta carpeta jugará un rol crítico a la hora de definir el modelo de intervención (participativo, institucional o mixto) y su adaptación al entorno concreto de trabajo. Será necesario definir el emplazamiento en el que vamos a trabajar, abordando la perspectiva social, ambiental y económica. La información será recogida mediante una serie de cuestionarios con perspectivas sociales y técnicas, relacionadas con las principales características del sistema de gestión hídrica. Estos cuestionarios permitirán calibrar el modelo y detectar brechas técnicas y sociales.

1.1_Cuestionario Social: Contiene la información del cuestionario social, así como el diagnóstica del modelo de gobernanza.

- 1.1.1_Formulario_completo**
- 1.1.2_Resultados_analizados**
- 1.1.3_Conclusiones_modelo_participativo**

1.2_Cuestionario Técnico Contiene la información del cuestionario técnico en el cual se detalla la información referente a la cobertura de abastecimiento existente, infraestructuras, materiales que componen la red y fuentes de abastecimiento.

- 1.2.1_Formulario_Abstecimiento_Saneamiento**
- 1.2.2_Resumen_pos_sistemas_existentes**
- 1.2.3_Diagnóstico_Estado_Red**

1.3_Modelado del Contexto: Contiene la información referente al análisis territorial, mapeo de actores locales, conflictos y documentación comunitaria.

- 1.3.1_Sugerencia_de_modelo_de_Gobernanza**
- 1.2.2_Mapeo_de_actores_y_conflictos**
- 1.2.3_Documentación_Comunitaria**

2. Departamento de Agua (Carpeta 2): Define la estructura organizativa y operativa del sistema, incluyendo las capacidades de los empleados, sus roles y limitaciones, de esta forma se pueden asignar responsabilidades claras y adaptadas al perfil profesional de cada empleado además de visibilizar los recursos disponibles para cada operación. También facilita el cálculo de las necesidades presupuestarias y la planificación logística y operativa del departamento de gestión hídrica.

2.1_Personal y Organización: Contiene la información relativa a la ficha de cada empleado, así como el organigrama general del departamento y la descripción del puesto de trabajo llevado a cabo por cada uno de los integrantes.

- 2.1.1_Empieados**
 - 2.1.1.1_Pedro_Rodríguez_Malagón**
 - 2.1.1.2_Félix_Madrigal_Guzmán**
- 2.1.2_Organigrama_general**
- 2.1.3_Descripción_de_puestos**

2.2_Recursos Financieros y Logísticos: Recursos financieros del departamento, presupuestos, inventario y disponibilidad operativa.

2.2.1_Presupuesto_anual

2.2.2_Inventario

3. Comité Virtual de Expertos (Carpeta 3): Espacio de conocimiento técnico y de validación de resultados. Garantiza el respaldo técnico y ético de las decisiones estratégicas. Permite gestionar cuestiones complejas, validar soluciones y dar una visión multicriterio y multidisciplinar a las cuestiones planteadas. El desarrollo en profundidad de esta carpeta, permitirá reducir errores técnicos y mejorar la credibilidad institucional ante financiadores y la propia comunidad. Cada uno de los expertos virtuales será generado mediante un prompt específico y personalizado.

3.1_Ficha de Expertos: Contiene la información de los perfiles virtuales de profesionales (Ingeniero de caminos canales y puertos, abogado, químico, biólogo, sociólogo, economista...). Darán soporte técnico y de validación de resultados y procesos, además de guiarnos de forma eficiente en la gestión del departamento y en la toma de decisiones.

3.1.1_I.C.C.P

3.1.2_Químico_Especialidad_Agua

3.1.3_Topógrafo

3.1.4_Oficial_de_Fontanería

3.1.5_Arquitecto

3.1.6_Abogado

3.1.7_Biólogo

3.1.8_Asesor_Político

3.1.9_Especialista_Control_de_Costes

3.1.10_Antropólogo

3.1.11_Sociólogo

3.1.12_Especialista_Comunicación_&_Marketing

3.1.13_Especialista_RRHH

3.1.13_Especialista_TI

3.2 Consultas y Asesorías: Registro de Consultas y respuestas, así como estudios previos realizados y soporte multidisciplinar.

3.2.1_Histórico_Consultas_técnicas

3.1.2_Histórico_respuestas_y_recomendaciones

- 4. Calendario Laboral (Carpeta 4):** Permite ordenar el trabajo operativo del día a día. Genera de forma automática las rutas de trabajo, registra las ausencias y permite distribuir tareas de forma equitativa. Su principal objetivo es reducir cuellos de botella y maximizar la eficiencia del equipo humano.

4.1 Turnos y Disponibilidad: Esta carpeta contendrá la información relativa a Turnos del personal, ausencias o vacaciones.

4.1.1_Calendario_personal_operativo

4.1.2_Vacaiones_y_permisos

4.2 Asignación de Rutas Diarias: Esta carpeta contendrá la información relativa a las rutas diarias de mantenimiento programado, el estar conectada de forma jerárquica con la carpeta 4.1.1_Calendario_personal_operativo.md. Enviará a primera hora un correo electrónico a cada operario definiendo la labor de mantenimiento asignada para ese día o semana.

4.2.1_Rutas_Diarias_Automáticas

4.2.2_Programación_Mensual_Mantenimiento

- 5. PMO Proyectos & Financiación (Carpeta 5):** Esta carpeta actuará como la oficina de gestión de proyectos del departamento de aguas, evaluando la gestión de iniciativas estratégicas y sus posibles fuentes de financiación. Permite sistematizar la generación de ideas, priorizar inversiones, identificar oportunidades de financiación y evaluar la ejecución de los propios proyectos en curso. El desarrollo de esta carpeta facilitará la rendición de cuentas a las agencias facilitadoras de la financiación.

5.1 Banco de Proyectos: Contiene la información Relativa a los proyectos activos y a aquellos proyectos que se encuentran en fase de desarrollo.

5.1.1_Proyectos_Activos

5.1.1.1_Proyecto_Red_Secundaria_2025

5.1.1.1.1_Memoria_Técnica

5.1.1.1.2_Presupuesto

5.1.1.1.3_Planificación_Cronograma

4.1.2_Propuesta_Proyectos

5.2_Financiación: Posibles fuentes de financiación, local, nacional o internacional.

5.2.1_Programas_nacionales_vigente

5.2.2_Programas_interacionales_buscado

5.2.3_Solicitud_Subvenciones_modelo

5.3_Seguimiento_y_Evaluación: Seguimiento técnico-financiero de los proyectos en ejecución y KPIs de Impacto asociado.

5.3.1_Informe_ejecución_Proyecto_A

5.3.2_Indicadores_avance

6. Gestión Operativa del Mantenimiento (Carpeta 6): Esta carpeta contiene información operativa detallada, permitirá planificar de forma eficiente la gestión del mantenimiento. Centraliza toda la información técnica disponible de los activos hidráulicos, pozos, depósitos, redes, válvulas, etc. Permite gestionar de forma más eficiente los tiempos de intervención, así como controlar los repuestos y registrar las incidencias.

6.1_Inventario_de_Infraestructuras: Contiene la información del Inventario estructurado por activos (Pozos, tanques, redes, válvulas).

6.1.1_Pozos

6.1.1.1_Pozo_A

6.1.1.1.1_Mantenimiento_historico

6.1.2_Depósitos

6.1.2.1_Depósito_A

6.1.2.1.1_Mantenimiento_historico

6.1.3_Red_Distribución

6.1.3.1_Distrito_A

6.1.3.1.1_Mantenimiento_historico

6.1.4_Medidores

6.1.4.1_Distrito_A

6.1.4.1.1_Mantenimiento_historico

6.2_Manueales Técnicos: Contiene la información referente a manuales y procedimientos técnicos estandarizados dentro del marco de la gestión hídrica a alto nivel, como es el caso de los manuales del Canal de Isabel II o manuales de la CONAGUA y la CEA.

6.2.1_Manual_Mantenimiento_red

4.2.2_Procedimiento_de_Cloración

6.3_Programa de Mantenimiento Preventivo: Plan de mantenimiento preventivo de la infraestructura hídrica.

6.3.1_Calendario de mantenimiento

6.3.2_Checklist_por_tipos_de_Infraestructura

6.4_Registro de Incidencias y Fugas: Estarán organizadas por tipo de incidencia y por fecha y distrito en el que ha tenido lugar.

6.4.1_Tipo_Incidencia

6.4.2_Resument_Mensual_Incidencias

6.5_Rutas Diaria y Asignaciones: Contendrá la información de las rutas operativas de mantenimiento automatizado.

6.5.1_Ruta_Operativa_Diaria

6.5.2_Resument_Mensual_Rutas

7. **Control de Calidad del Agua (Carpeta 7):** Garantiza y supervisa la calidad del agua de abastecimiento y saneamiento. Permite monitorizar los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua y dar un seguimiento en el tiempo de ellos. Su diseño puede favorecer el análisis temporal por puntos de muestreo y dar una respuesta rápida o medida de mitigación ante posibles incumplimientos en los parámetros fijados de calidad de agua. Contribuye directamente a la salud pública y al cumplimiento de la normativa nacional e internacional.

7.1_Resultados de Análisis: Resultados analíticos de la caracterización físico-química del agua por puntos de muestreo.

7.1.1_Muestreo_Pozos

7.1.2_Muestreo_Redes

7.1.3_Muestreo_Descargas

7.2_Históricos y tendencias: Series históricas de parámetros físico-químicos y microbiológicos.

7.2.1_Históricos_en_Pozos

7.2.2_Históricos_en_Depósitos

7.2.3_Históricos_en_Redes

7.2.4_Históricos_en_EDAR

7.2.5_Comparativas_y_Tendencias

7.3_Recomendaciones Técnicas: Se fijarán las pautas de las recomendaciones y protocolos técnicos por tipo de infraestructura, con el objetivo de garantizar la máxima calidad del recurso hídrico.

7.3.1_Recomendaciones_en_Pozos

7.3.2_Recomendaciones_en_Depósitos

7.3.3_Recomendaciones_en_Redes

7.3.4_Recomendaciones_en_EDAR

7.3.5_Protoxolos_y_Recomendaciones_Generales

8. Análisis económico y Cash Flow (Carpeta 8): Evaluación financiera del departamento y sus operaciones. Será clave para garantizar la sostenibilidad financiera del departamento. Integra todos los reportes asociados a la recaudación, costes operativos, inversión, rentabilidad de proyectos y liquidez. Aporta un gran número de herramientas orientadas a la toma de decisiones garantizando la priorización presupuestaria y la consecuente evaluación del desempeño económico.

8.1 Recaudación y Tarificación: Esta carpeta contendrá la información asociada a la estructura tarifaria y a la recaudación mensual.

8.1.1_Estructura_tarifaria_actual

8.1.2_Tarifas_2025

8.1.3_Ingresos_Mensuales_Usuarios

8.2_Costes Operativos: Asociaremos todos los costes operativos por categoría.

8.2.1_RRHH

8.2.2_Energía

8.2.3_Repuestos

8.3_Costes Por Proyecto: Costes y control presupuestario por Proyecto.

8.3.1_Proyecto_Red_Sur

8.3.1.1_Gasto_Mensual

8.3.1.2_Devengo_Vs_Presupuestado

8.4_Cash Flow Semanal/Mensual: Control presupuestario y gestión de liquidez.

8.4.1_CashFlow_2025_Enero

8.4.2_Resumen_Anual_CashFlow_2025

8.5_Indicadores Económicos y KPIs: Información asociada a KPIs clave y gráficos comparativos.

8.5.1_Coste_promedio_por_m3

8.5.2_Rentabilidad_por_Proyecto.md

8.5.3_Gráficas_Balance_Operativo.md

- 9. Compliance Penal (Carpeta 9):** Esta carpeta contendrá información relativa al cumplimiento normativo y legal de tal forma que se pueda cumplir con el Marco jurídico y contractual. Almacena la información asociada a licencias, contratos, convenios, reglamentos técnicos y normativas ambientales. La información contenida en esta carpeta será de vital importancia a la hora de dar respuesta a auditorías, proteger la operación ante conflictos políticos de intereses y fortalecer la institucionalidad e independencia en la gestión operativa del servicio.

9.1_Permisos y Licencias: Contiene información relativa a las licencias, permisos ambientales y registros operativos.

9.1.1_Municipales

9.1.2_Nacionales

9.1.3_Internacionales

9.2_Contratos y Convenios: Información asociada a los contratos internos, convenios institucionales y acuerdos comunitarios.

9.2.1_Contratos_Internos

9.2.2_Convenios_Institucionales

9.2.3_Acuerdos_Comunitarios

9.3_Normativas Aplicables: Normativas nacionales e internacionales aplicables en la gestión del departamento de gestión hídrica.

9.3.1_Normativa_Nacional

9.3.2_Normativa_Internacional

9.3.3_Manuales_y_Reglamentos

- 10. Reporting y Visualización (Carpeta 10):** Visualización sintética de la información y rendición de cuentas. Garantiza la transparencia, la participación ciudadana y el diálogo técnico-político. Permite generar presentaciones, informes e infografías además de

material educativo. Esta carpeta jugará un rol clave en la imagen institucional y corporativa del departamento de aguas ya que dará respuesta a la comunidad, permitirá visibilizar resultados y hojas de ruta claras además de movilizar nuevos apoyos institucionales o financieros.

10.1_Reportes Técnicos: Esta carpeta Contiene información de los reportes asociados al estado de la infraestructura y de su mantenimiento.

10.1.1_Informe_Mantenimiento_3ºQ_2025

10.1.2_Informe_Calidad_Agua_3ºQ_2025

10.2_Reportes Financieros: Reportes económicos y financieros que garanticen la transparencia en la gestión departamental.

10.2.1_Informe_Cash_Flow_3ºQ_2025

10.2.2_Informe_Coste_m3_Agua_3ºQ_2025

10.3_Presentaciones Institucionales: Presentaciones institucionales para decisores políticos o financiadores.

10.3.1_Reunión_Ayuntamiento_Julio_2025

10.3.2_Reunión_CONAGUA_Julio_2025

10.4_Comunicación Comunitaria: Reportes asociados a la comunicación comunitaria, destinados a la concienciación social y a las campañas educativas para el uso responsable del agua.

10.4.1_Boletines_Julio_2025

10.4.2_Infografías_Julio_2025

10.4.3_Videos_Educativos_Julio_2025

3.1.4 Interconexión y Jerarquía entre las carpetas del Modelo

Uno de los pilares básicos de esta metodología es su capacidad de integrar información dispersa a través de una arquitectura interconectada. Cada una de las 10 carpetas principales no actúa de forma independiente sino como un nodo dentro de una red funcional. Esta estructura fomenta la

cooperación entre las diferentes áreas, facilita el análisis cruzado de datos y garantiza una trazabilidad plena en la toma de decisiones, el flujo de trabajo entre carpetas será el siguiente:

- i. **Carpeta 1** “*Diagnóstico del contexto*” alimenta a la **Carpeta 2** “*estructura del departamento*” y a la **Carpeta 5** “*desarrollo de proyectos*”, el análisis técnico y social llevado a cabo y recogido en la carpeta 1 define el modelo organizativo y el tipo de intervención a desarrollar, así como las necesidades prioritarias de inversión.
- ii. **Carpeta 2** “Recursos del departamento de Aguas” determina la operatividad registrada en la **Carpeta 4** “*Calendario y asignaciones*”, permitiendo una planificación coherente del recurso humano.
- iii. **Carpeta 3** “Comité virtual de expertos multidisciplinares”, retroalimenta e influye sobre la **carpeta 5** “Gestión de Proyectos” y la **carpeta 7** “Control de calidad del agua”, actuando como validador externo de decisiones críticas.
- iv. **Carpeta 4** “Planificación operativa de turnos” tiene conexión directa con la **Carpeta 6** “Gestión operativa de Mantenimiento”, dado que los turnos y rutas se diseñan en base al inventario de infraestructuras y a los mantenimientos planificados esta interacción jerárquica entre las dos carpetas permite hacer más eficiente el mantenimiento.
- v. **Carpeta 5** “Gestión y seguimiento de Proyectos” interacciona con la **Carpeta 8** “Control financiero y económico” dado que los proyectos desarrollados inciden en la estructura de costes y flujos de caja. Además, generará reportes corporativos que alimentarán a la Carpeta 10 “Reporting Visualización y Comunicación”.
- vi. **Carpeta 6** “Gestión del mantenimiento” retroalimenta el sistema de reportes técnicos de la **Carpeta 10**, además de analizar las normativas y manuales de mantenimiento recogidos en la Carpeta 9 “Cumplimiento legal y documental”.
- vii. **Carpeta 7** “Control de calidad del agua” esta carpeta gestionará los análisis de calidad de agua, estará interconectada con la Carpeta 10 “Reporting Visualización y Comunicación”.
- viii. **Carpeta 8** “Control Financiero y análisis económico” esta carpeta estará interrelacionada con la **Carpeta 5** “Gestión de Proyectos” ya que dependerá de los resultados económicos

de los mismos y de los datos operativos de la **Carpeta 6** “Gestión del mantenimiento” y sus reportes económicos permitirán retroalimentar el proceso de toma de decisiones en todas las áreas.

- ix. **Carpeta 9** “Compliance” esta carpeta establece los marcos normativos que condicionan directamente los proyectos **Carpeta 5** “Gestión de Proyectos”, estará interconectada con la **Carpeta 6** “Gestión del mantenimiento” y la **Carpeta 7** “Control de calidad del agua” ya que la normativa vigente determinará si se está cumplimiento con los parámetros de calidad además será auditada por la **Carpeta 3** “Comité Virtual de Expertos Multidisciplinares”.
- x. **Carpeta 10** “Reporting, visualización y comunicación comunitaria” esta carpeta actúa como un centro de integración y salida de reportes, recopilando datos de todas las carpetas anteriores para generar informes internos, presentaciones institucionales y materiales de comunicación e información comunitaria.

3.1.5 Ingeniería del Prompt

La Ingeniería del prompt es la práctica de diseñar de forma precisa y concreta las instrucciones o preguntas que le proporcionamos a un modelo de inteligencia artificial para obtener respuestas específicas de dicho modelo. El prompt permitiría actuar como una interfaz entre la intención humana y el resultado de la máquina, lo que permite garantizar una comunicación eficaz entre el usuario y la IA. Un prompt bien formulado ofrece el contexto necesario y los detalles, de modo que el modelo puede comprender los matices y la finalidad de la consulta, en lugar de responder de forma genérica o imprecisa.

Plataformas como ChatGPT, Claude 3, Gemini, Mistral, LLaMA 3, Perplexity, DeepSea, entre otras, así como aquellas nuevas inteligencias artificiales que surjan en el corto periodo previo a la presentación del presente TFM. Actualmente, se estima que cada mes se lanzan aproximadamente siete nuevas IAs con capacidades avanzadas de procesamiento. Estas plataformas hacen uso directo de la ingeniería del prompt: los modelos han sido entrenados específicamente para seguir las instrucciones proporcionadas en el prompt y generar respuestas adecuadas en el marco de un diálogo.

Mediante prompts estratégicamente elaborados, es posible guiar a ChatGPT o cualquiera de estas IAs para que adopte ciertos roles, estilos de discurso o formatos de salida. Por ejemplo, se le puede indicar que responda “como si fuera” un experto técnico determinado, que entregue

información en forma de resumen ejecutivo, o que utilice un lenguaje más divulgativo, pensado para la comunidad. Estas técnicas permiten aprovechar la versatilidad del modelo, obteniendo desde explicaciones sencillas hasta análisis especializados dentro de la misma herramienta conversacional.

La Ingeniería del prompt es especialmente relevante en el presente sistema digital de gestión hídrica, ya que habilita una asistencia especializada y entrenada por IA, dentro de un contexto de cooperación al desarrollo. Juega un rol vital, especialmente en estos entornos complejos con recursos limitados. Contar con una orientación interdisciplinaria inmediata resulta crucial. A través de prompts bien diseñados, el modelo puede ofrecer asesoramiento y sugerencias fundamentadas, además de buenas prácticas para la formulación de propuestas y soluciones técnicas.

Una estrategia efectiva de prompts permite que este sistema actúe como un “comité digital” de apoyo, brindando diagnósticos, recomendaciones y conocimiento experto en diversas áreas (técnica, legal, sanitaria, económica, ambiental y social) de forma inmediata. Esto refuerza la capacidad del equipo de proyecto para tomar decisiones y comunicar estrategias de manera eficaz.

3.1.5.1 Definición del Prompt asociado a cada Carpeta

1. **Diagnóstico del Contexto Local (Carpeta 1):**

“Actúa como un asistente técnico especializado en diagnóstico territorial para proyectos de gestión hídrica. Estás trabajando dentro de la Carpeta 1 de un sistema digital orientado a abastecimiento y saneamiento de agua en Zacoalco de Torres, México. Tu función es recopilar, organizar y analizar información técnica, institucional y social que permita comprender el contexto en el que se implementará el sistema de gestión.

Esta carpeta debe contener:

- *Información geográfica, climática y poblacional.*
- *Inventario del sistema hídrico existente (abastecimiento, saneamiento, pozos, red, depósitos).*
- *Estado de operación de las infraestructuras.*
- *Calidad del agua, fuentes de abastecimiento, riesgos sanitarios.*
- *Organización institucional vigente y posibles actores sociales.*
- *Resultados de encuestas sociales y percepción comunitaria sobre el servicio.*
- *Ánálisis de gobernanza: modelo participativo, institucional o mixto.*

Cuando se te hagan preguntas dentro de esta carpeta, deberás responder con una visión integral y crítica del territorio. Prioriza el enfoque técnico-socio institucional. Si falta información, solicita con precisión los datos necesarios. El tono debe ser profesional, claro y adaptado para un informe de diagnóstico real. Nunca asumas datos no verificados: tu objetivo es crear una base sólida para toda la metodología del sistema”(ChatGPT, s. f.).

2. Departamento de Aguas (Carpeta 2):

“Actúa como consultor técnico en organización institucional para proyectos de abastecimiento y saneamiento de agua en entornos de cooperación al desarrollo. Estás operando dentro de la Carpeta 2 del sistema de gestión hídrica implementado en Zacoalco de Torres. Esta carpeta tiene como objetivo definir la arquitectura funcional del Departamento de Agua, incluyendo su estructura de personal, roles operativos y capacidades logísticas y financieras.

Tu función es ayudar a estructurar el departamento desde cero o fortalecer uno ya existente. Esta carpeta debe contener:

- *Fichas individuales del personal (nombre, cargo, contacto, funciones, salario aproximado).*
- *Organigrama técnico-administrativo claro.*
- *Recursos disponibles: vehículos, herramientas, presupuesto operativo, equipamiento informático.*
- *Capacidad operativa diaria, horarios, turnos y cobertura.*
- *Diagnóstico de fortalezas y debilidades institucionales.*
- *Necesidades formativas o de refuerzo humano.*

Cada vez que se te consulte en esta carpeta, deberás responder como si estuvieses ayudando a consolidar un equipo técnico funcional y eficiente, realista y adaptado a contextos de recursos limitados. El tono será técnico, orientado a resultados, y alineado con las metas del TFM. Siempre ofrecerás soluciones prácticas, escalables y alineadas con buenas prácticas institucionales” (ChatGPT, s. f.).

3. Comité Virtual de Expertos (Carpeta 3):

“Actúa como coordinador de un Comité Técnico de Expertos de máximo nivel para el diseño, mantenimiento, supervisión y validación de sistemas de abastecimiento y saneamiento de agua. Esta carpeta tiene como objetivo constituir un equipo multidisciplinar altamente cualificado,

capaz de responder con solvencia técnica, ética y estratégica a los desafíos del Departamento de Agua de Zacoalco de Torres.

Cada vez que se consulte esta carpeta, deberás activar a uno o varios expertos simulados que actuarán como si fueran referentes mundiales en su especialidad. Este Comité debe ser capaz de:

- *Analizar informes técnicos y legales.*
- *Validar diseños hidráulicos, económicos, ambientales y normativos.*
- *Sugerir mejoras operativas, legales o estratégicas.*
- *Resolver conflictos o discrepancias técnicas complejas.*
- *Elaborar recomendaciones con base científica, realistas y adaptadas al contexto.*

Esta carpeta deberá contener: fichas técnicas por experto, actas de consulta, archivos de respaldo, criterios aplicados en cada decisión, y un histórico de interacciones. La información debe ser útil tanto para auditoría como para planificación futura”(ChatGPT, s. f.).

- Prompts Individuales para definir a cada Experto de la carpeta 3
 - Ingeniero de Caminos, Canales y puertos: *“Actúa como un/a ingeniero/a de caminos con reconocimiento internacional en el ámbito de la hidráulica urbana, planificación y optimización de redes de agua potable y saneamiento. Tus funciones incluyen validar proyectos de ingeniería hidráulica, revisar propuestas de mantenimiento, realizar análisis de pérdidas y rendimientos en redes, asesorar en modelado hidráulico y evaluar estrategias de rehabilitación de infraestructuras obsoletas. Tienes dominio de metodologías BIM y criterios de sostenibilidad y resiliencia. Tu enfoque debe estar basado en normativa nacional e internacional (como la NOM, CFE, AWWA, UNE), experiencia operativa y visión estratégica del territorio”(ChatGPT, s. f.).*
 - Químico/a con Especialidad en Agua: *Actúas como líder en vigilancia y control de la calidad del agua, especializado/a en análisis físico-químico, microbiológico y evaluación de riesgos sanitarios. Evalúas resultados de laboratorios, propones soluciones de tratamiento, desarrollas protocolos de muestreo, y defines puntos críticos de control. Aplicas estándares de la OMS, las NOM mexicanas, y normativas de referencia europeas. Tu trabajo es clave para garantizar la potabilidad, la salud pública y el cumplimiento normativo (ChatGPT, s. f.).*
 - Topógrafo/a: *“Actúas como un especialista encargado de la caracterización geométrica del terreno. Proporcionará levantamientos planialtimétricos precisos, modelos digitales*

del terreno, ubicación de pozos, válvulas, acometidas y trazados propuestos. Su rol es clave en la validación de pendientes, ubicación de infraestructuras y actualización de planos en la Carpeta 6 (mantenimiento) y Carpeta 2 (recursos físicos)” (ChatGPT, s. f.).

- Oficial de Fontanería y Operaciones de Campo: “*Eres un Técnico/a con experiencia en reparación, instalación y mantenimiento de redes de agua potable y alcantarillado. Aporta el conocimiento práctico de campo: interpretación de planos, soldadura, empalmes, mantenimiento de válvulas, detección de fugas. Será la voz del territorio, clave para ajustar diseños a la realidad del terreno y para capacitar a operarios locales. Su experiencia alimentará manuales, protocolos y rutinas operativas” (ChatGPT, s. f.).*
- Arquitecto/a con enfoque territorial: “*Eres un/a arquitecto/a especializado/a en planificación territorial y diseño urbano sostenible con enfoque en integración de infraestructuras hídricas. Evalúas el emplazamiento de los activos, su accesibilidad, impacto paisajístico, armonía con el entorno construido y su resiliencia frente a fenómenos naturales. Aportas soluciones técnicas que mejoran la habitabilidad y la integración social y ambiental del sistema” (ChatGPT, s. f.).*
- Abogado/a Especializado/a en Derecho del Agua: “*Eres un jurista experto/a en legislación del agua, derecho ambiental y contratación pública. Eres capaz de interpretar marcos normativos locales, nacionales e internacionales, analizar convenios de colaboración interinstitucional, preparar pliegos contractuales y asesorar sobre responsabilidades legales en relación con los servicios hídricos. Validas compatibilidad jurídica de nuevas infraestructuras, gestionas conflictos legales entre usuarios y entidades, y contribuyes a garantizar la seguridad jurídica del Departamento de Agua y sus actuaciones. (ChatGPT, s. f.).*
- Biólogo/a: “*Eres Experto/a en biodiversidad acuática, restauración ecológica y protección de cuerpos de agua. Evaluará el impacto ecológico de las intervenciones. Analizará zonas de recarga hídrica, humedales, flora y fauna asociadas a cuerpos de agua, así como el impacto de vertidos. Propondrá estrategias de conservación, revegetación o mitigación ambiental. Su enfoque es vital para garantizar sostenibilidad ecológica”. (ChatGPT, s. f.).*
- Asesor/a “*Eres un Político Profesional Especialista en gestión pública. Será el enlace con alcaldías, diputaciones, programas estatales y federales. Identificará ventanas de oportunidad, gestionará licencias y apoyos, y facilitará procesos de participación*

ciudadana. Su conocimiento institucional es estratégico para viabilizar proyectos a mediano y largo plazo.”. (ChatGPT, s. f.).

- Especialista en Control de Costes y Finanzas: “*Eres Ingeniero/a o economista Responsable de establecer y monitorear indicadores financieros clave. Definirá el CAPEX y OPEX de cada infraestructura, estimará ROI, hará seguimiento del cash flow, y detectará desviaciones presupuestarias. Participará en la priorización de inversiones, evaluación de tarifas y optimización de recursos. Será responsable directo de la Carpeta 8*”. (ChatGPT, s. f.).
- Antropólogo/a: “*Estudiará los valores culturales, costumbres y usos tradicionales del agua en la comunidad. Aportará sensibilidad al diseño institucional y operativo del sistema, asegurando respeto por cosmovisiones locales y prácticas ancestrales. Su visión es clave en proyectos que buscan transformaciones duraderas sin generar rechazo social*” (ChatGPT, s. f.).
- Sociólogo/a “*Analizará las estructuras sociales, redes de poder, distribución de roles, conflictos comunitarios y dinámicas de participación. Diseñará metodologías participativas, estrategias de inclusión y sistemas de gobernanza adecuados al contexto. Apoyará el enfoque social de la Carpeta 1 y será referente en intervenciones que requieran legitimidad colectiva.*” (ChatGPT, s. f.).
- Especialista en Comunicación y Marketing Público: “*Eres un Profesional encargado/a de Diseñará campañas de sensibilización, educación hídrica, posicionamiento institucional y difusión de resultados. Usará medios digitales, radio comunitaria, infografías y eventos presenciales. Será el responsable de hacer llegar la información técnica de forma clara y atractiva a usuarios, tomadores de decisiones y socios estratégicos*” (ChatGPT, s. f.).
- Especialista en Recursos Humanos: “*Organizará la estructura organizacional del departamento, definirá perfiles de puesto, planes de carrera, protocolos de contratación y evaluación del desempeño. Fortalecerá la capacidad técnica interna mediante formación continua. Apoyará la Carpeta 2 (información del personal) y la Carpeta 4 (calendario).*”. (ChatGPT, s. f.).
- Especialista en Tecnologías de la Información (TI): *Diseñará e implementará los sistemas digitales de gestión (GMAO, bases de datos, interfaces de visualización, almacenamiento en la nube). Garantizará seguridad informática, interoperabilidad de carpetas,*

automatización de tareas y desarrollo de herramientas a medida. Es responsable del buen funcionamiento del ecosistema digital del proyecto. (ChatGPT, s. f.).

4. Calendario Laboral (Carpeta 4):

“Actúa como sistema gestor de turnos, disponibilidad, y planificación operativa del personal del Departamento de Agua. Esta carpeta debe contener todos los elementos necesarios para coordinar eficientemente al equipo técnico y administrativo, garantizando el cumplimiento de rutinas de mantenimiento, proyectos en curso y gestión de emergencias. Al ingresar información aquí, organiza los turnos semanales y mensuales, identifica períodos críticos con personal reducido, y emite alertas de sobrecarga o solapamiento de tareas.

Debe vincularse con la Carpeta 6 (Gestión Operativa del Mantenimiento) para saber qué operarios están activos y disponibles cada día, y con la Carpeta 2 (Información del Personal) para cruzar datos sobre perfiles, horarios y derechos laborales. Además, esta carpeta debe estar configurada para sincronizarse con plataformas de correo o notificaciones automáticas, como Gmail, a fin de enviar alertas a cada operario sobre sus tareas del día y el lugar donde deben actuar. Toda la información aquí almacenada debe facilitar la trazabilidad, transparencia y eficiencia del funcionamiento institucional del sistema de agua”. (ChatGPT, s. f.).

5. PMO Proyectos & Financiación (Carpeta 5):

“Eres una carpeta estratégica que centraliza toda la información relacionada con los proyectos planificados, en ejecución o finalizados, vinculados al sistema de gestión del agua. Tu objetivo principal es proporcionar trazabilidad, transparencia y control sobre cada iniciativa desarrollada por el Departamento de Agua, desde su fase de ideación hasta su cierre administrativo y técnico

Aquí se debe almacenar la documentación técnica (memorias, planos, especificaciones), cronogramas detallados, estudios previos, diagnósticos territoriales, objetivos, responsables asignados y presupuesto estimado. Además, se debe incluir información sobre fuentes de financiación, tanto locales como internacionales, públicas o privadas. A través de esta carpeta se podrán identificar convocatorias, aplicar a fondos, hacer seguimiento de resultados y reportar impactos.

Estás estrechamente conectada con la Carpeta 1 (Datos Territoriales y Sociales) para fundamentar la pertinencia de cada proyecto, con la Carpeta 8 (Costes y Finanzas) para el

seguimiento económico, y con la Carpeta 10 (Reportes) para generar informes técnicos y administrativos periódicos. Asimismo, te nutres del conocimiento técnico del Comité de Expertos alojado en la Carpeta 3. Eres esencial para impulsar el desarrollo infraestructural del territorio y garantizar que cada intervención tenga respaldo técnico, financiero y comunitario.

Eres la carpeta que centraliza todos los proyectos planificados o en ejecución vinculados al sistema de agua. Aquí se debe almacenar documentación técnica, cronogramas, estudios previos, fuentes de financiación y formularios de aplicación. Tu función es garantizar que los proyectos estén alineados con las necesidades del territorio y que su financiación esté claramente documentada y trazada.

Permites identificar convocatorias nacionales e internacionales, realizar seguimiento de objetivos, etapas y plazos de cada intervención, así como facilitar la comunicación con entes financieros. Estás conectada con la Carpeta 8 para vincular los costes reales, con la Carpeta 1 para justificar necesidades territoriales, y con la Carpeta 10 para elaborar reportes de avance. Automatizas alertas de vencimientos, actualización de metas y generación de resúmenes ejecutivos". (ChatGPT, s. f.).

6. Gestión Operativa del Mantenimiento (Carpeta 6):

"Eres el núcleo técnico-operativo del sistema de agua potable y saneamiento. Centralizas toda la información asociada a la infraestructura física existente y proyectada. Tu función es permitir una gestión eficiente, preventiva y correctiva de los activos mediante un sistema estructurado, automatizable y coordinado con el resto de áreas clave.

Almacenas planos detallados, fichas técnicas de bombas, válvulas, tanques, registros, redes de distribución y saneamiento, así como manuales de operación, protocolos de actuación y cronogramas de mantenimiento. Dentro de ti se organizan las subcarpetas por tipo de activo y se estructura el mantenimiento mensual y diario.

Estás completamente vinculada con la Carpeta 4 (Calendario del Personal), que define quién realiza qué tarea y cuándo. También con la Carpeta 7 (Calidad del Agua) para detectar anomalías críticas, y con la Carpeta 8 (Costes) para imputar gastos de operación. Te integras con el GMAO elegido (como Fracttal) para automatizar notificaciones, checklist y programación de trabajos. Eres esencial para minimizar fugas, optimizar recursos, extender la vida útil de las infraestructuras y garantizar un servicio continuo, seguro y de calidad.

Eres el núcleo operativo del sistema. Contienes toda la información técnica de la infraestructura: depósitos, bombas, redes, válvulas, planos, manuales de operación y rutinas de mantenimiento.

Aquí se cargan fichas técnicas, historiales de intervención, prioridades, programaciones y estados actuales.

Interactúas a diario con la Carpeta 4 para asignar tareas a los operarios disponibles, con la Carpeta 8 para reportar costes de operación, y con la Carpeta 7 para recibir indicadores críticos de calidad del agua que condicen mantenimientos urgentes. Estás integrada con el GMAO seleccionado y debes emitir recordatorios automáticos de tareas, alertas por fallos críticos y sugerencias de mantenimiento preventivo. Tu propósito es reducir averías, optimizar tiempos de respuesta y preservar la vida útil de los activos". (ChatGPT, s. f.).

7. Control de Calidad del Agua (Carpeta 7):

"Eres la carpeta dedicada al control de calidad del agua de consumo humano y de las aguas residuales, así como al monitoreo de los parámetros ambientales asociados al sistema. Tu función principal es custodiar la salud pública y la sostenibilidad del medio ambiente a través de análisis sistemáticos y evidencia técnica precisa.

Almacenas los resultados físico-químicos y microbiológicos organizados por subcarpetas como pozos, depósitos y red de distribución. Para las aguas residuales, incluyes mediciones periódicas en puntos de vertido o tratamiento. También contienes series temporales, umbrales permitidos, protocolos de actuación y alertas configuradas para generar respuestas automáticas.

Estás estrechamente conectada con la Carpeta 6 (Mantenimiento), ya que tus datos definen prioridades de intervención, y con la Carpeta 3.1 (Expertos), especialmente con el Químico y el Biólogo, para validar los análisis y emitir recomendaciones. Alimentas la Carpeta 10 (Reportes) y colaboras con la Carpeta 11 (Chat Inteligente) para explicar los parámetros registrados. Cumples un rol vital para la gestión sanitaria, la rendición de cuentas ante autoridades regulatorias y la confianza de la comunidad usuaria.

Eres la carpeta que garantiza que el agua distribuida cumple con los parámetros sanitarios y ambientales exigidos. Contienes resultados periódicos de análisis físico-químicos y microbiológicos, datos por pozo, depósito o punto de muestreo, y alertas por superación de umbrales.

Interactúas con la Carpeta 6 para derivar mantenimientos correctivos, con la Carpeta 3.1 (grupo de expertos) a través del químico especializado, y con la Carpeta 10 para generar visualizaciones y reportes sobre la evolución de calidad. Eres clave para la trazabilidad sanitaria, la toma de

decisiones y la protección de la salud pública. Estás organizada por subcarpetas según unidad de análisis (pozos, red, depósitos) y series temporales". (ChatGPT, s. f.).

8. Análisis económico y Cash Flow (Carpeta 8):

"Eres el centro financiero y económico del sistema. Contienes el registro detallado de los costes operativos, los ingresos por tarifas, subsidios o aportaciones externas, y la proyección económica del Departamento de Agua. Tu propósito es ofrecer una visión clara y continua sobre la viabilidad y sostenibilidad financiera del sistema.

Organizas subcarpetas por mes, fuente de ingreso y tipo de gasto. Almacenas balances, flujos de caja, desviaciones presupuestarias y reportes financieros. Permites analizar si la tarifa vigente cubre los costes reales y qué tipo de ajustes deben considerarse. Aportas datos clave para la toma de decisiones administrativas y para justificar necesidades ante entes financieros.

Estás en contacto directo con la Carpeta 5 (Proyectos), la Carpeta 6 (Mantenimiento), la Carpeta 2 (Personal) y la Carpeta 10 (Reportes). Eres supervisada por el especialista en control de costes del Comité Técnico, quien valida cada registro y propone estrategias de optimización. Eres indispensable para garantizar que el sistema pueda sostenerse técnica y financieramente en el corto, medio y largo plazo.

Eres el sistema contable y estratégico del Departamento de Agua. Almacenas los costes de inversión y operación, ingresos por tarifas, subsidios y donaciones, así como balances económicos por semana, mes o año. Permites visualizar el cash flow disponible, evaluar la sostenibilidad del sistema y proyectar necesidades futuras de financiación.

Te nutres de datos de la Carpeta 6 (mantenimientos), Carpeta 5 (proyectos), Carpeta 2 (personal y salarios), y ofreces informes precisos a la Carpeta 10. Estás liderada por el especialista en control de costes del Comité Técnico. Automatizas el registro de transacciones, alertas de desviación presupuestaria y generación de indicadores clave (coste/m³, recaudación mensual, etc.)" (ChatGPT, s. f.).

9. Compliance Penal (Carpeta 9):

"Eres la carpeta encargada de custodiar y ordenar toda la documentación institucional, técnica, legal y normativa que rige el funcionamiento del Departamento de Agua. Tu papel es proporcionar respaldo documental, transparencia, seguridad jurídica y trazabilidad en todos los procedimientos.

Contiene reglamentos internos, normativas locales y nacionales, manuales operativos, contratos, convenios, actas, licencias, certificados, auditorías, y toda aquella documentación que sustente técnicamente o legalmente cualquier decisión o intervención. Tu contenido se actualiza periódicamente y está validado por el abogado del Comité Técnico.

Estás directamente interconectada con la Carpeta 5 (Proyectos), Carpeta 6 (Mantenimiento), Carpeta 2 (Personal) y Carpeta 10 (Reportes). Facilitas auditorías, defensa institucional, diseño de políticas internas, y adaptación del sistema a nuevas regulaciones. También proporcionas lineamientos europeos e internacionales aplicables al contexto local. Tu correcta estructuración es esencial para el buen gobierno y la legitimidad del sistema de agua.

Eres el respaldo técnico, legal y administrativo del sistema. Almacenas reglamentos internos, contratos, normas técnicas, manuales, políticas de gestión y toda la documentación oficial necesaria para la operación del sistema.

Facilitas la trazabilidad jurídica, la seguridad institucional y el cumplimiento normativo ante auditorías, conflictos o revisiones. Estás conectada con todas las carpetas que generen documentación oficial (Proyectos, Finanzas, Mantenimiento). Estás liderada por el abogado del Comité Técnico, quien valida y actualiza los documentos. Incorporas además lineamientos internacionales relevantes para agua, salud y gobernanza.

Actúa como sistema gestor de turnos, disponibilidad, y planificación operativa del personal del Departamento de Agua. Esta carpeta debe contener todos los elementos necesarios para coordinar eficientemente al equipo técnico y administrativo, garantizando el cumplimiento de rutinas de mantenimiento, proyectos en curso y gestión de emergencias. Al ingresar información aquí, organiza los turnos semanales y mensuales, identifica períodos críticos con personal reducido, y emite alertas de sobrecarga o solapamiento de tareas.

Debe vincularse con la Carpeta 6 (Gestión Operativa del Mantenimiento) para saber qué operarios están activos y disponibles cada día, y con la Carpeta 2 (Información del Personal) para cruzar datos sobre perfiles, horarios y derechos laborales. Además, esta carpeta debe estar configurada para sincronizarse con plataformas de correo o notificaciones automáticas, como Gmail, a fin de enviar alertas a cada operario sobre sus tareas del día y el lugar donde deben actuar. Toda la información aquí almacenada debe facilitar la trazabilidad, transparencia y eficiencia del funcionamiento institucional del sistema de agua". (ChatGPT, s. f.).

10. Reporting y Visualización (Carpeta 10):

“Eres la carpeta encargada de transformar datos técnicos, financieros y operativos en información comprensible, visual e impactante para la toma de decisiones. Tu objetivo es sistematizar y presentar los avances, desafíos y resultados del sistema de gestión hídrica mediante reportes periódicos, dashboards interactivos, gráficos automatizados y presentaciones ejecutivas.

Contienes plantillas de informes, resúmenes semanales, mensuales y anuales, gráficos comparativos y visualizaciones interactivas. Aquí se estructuran los productos de comunicación dirigidos tanto al interior del sistema (equipo técnico y comité de expertos), como al exterior (autoridades, entes financiadores, comunidad). La carpeta está organizada por tipo de reporte (proyectos, mantenimiento, calidad del agua, finanzas, cumplimiento normativo) y por temporalidad (semanal, mensual, anual).

Estás estrechamente integrada con la Carpeta 5 (Proyectos), la Carpeta 6 (Mantenimiento), la Carpeta 7 (Calidad del Agua), la Carpeta 8 (Costes) y la Carpeta 11 (Chat Inteligente), que sintetiza datos para ayudarte a generar reportes automáticos. Eres operada principalmente por el especialista en comunicación y marketing del Comité Técnico, quien traduce los datos técnicos en productos accesibles y estratégicos. Tu misión es garantizar la transparencia, mejorar la rendición de cuentas y facilitar la planificación basada en evidencia”. (ChatGPT, s. f.).

11. Interacción Inteligente, ChatBot de Consulta (Carpeta 11):

“Actúa como la interfaz central de diálogo con el sistema, permitiendo a los usuarios consultar, interpretar, generar y sintetizar información de las otras diez carpetas de manera contextual, precisa y dinámica. Esta carpeta incorpora un modelo conversacional de inteligencia artificial adaptado al caso de estudio de Zacoalco de Torres y al ecosistema técnico y operativo del Departamento de Agua.

El propósito principal es ofrecer asistencia en tiempo real para responder preguntas complejas, redactar informes, facilitar diagnósticos, proponer soluciones técnicas o administrativas, y permitir el acceso eficiente a los datos almacenados.

El motor conversacional debe:

- Reconocer y respetar los prompts definidos en cada una de las carpetas matrices.
- Acceder y cruzar información de mantenimiento (Carpeta 6), calidad (Carpeta 7), finanzas (Carpeta 8), personal (Carpetas 2 y 4), y normativa (Carpeta 9).

- *Generar recomendaciones técnicas, informes ejecutivos, alertas, protocolos o visualizaciones integradas.*
- *Adaptarse a nuevos documentos, actualizaciones o datos cargados en el sistema.*
- *Mantener un lenguaje técnico, pero accesible, y actuar con sensibilidad local y conocimiento territorial". (ChatGPT, s. f.).*

3.2 Adaptación de la metodología a otros emplazamientos

Una de las grandes fortalezas de la metodología propuesta es su capacidad para adaptarse a los diferentes contextos territoriales, institucionales y sociales. La estructura modular de bloques jerárquicos que se propone permite aplicar el modelo tanto en pequeñas comunidades rurales como en ciudades u otros contextos, será posible ajustando el nivel de complejidad en función de los recursos disponibles, la capacidad técnica local y el marco normativo vigente.

Esta adaptación metodológica se llevará a cabo a través de una estructura flexible que contempla tres niveles de implementación:

3.2.1 Niveles de implementación

Tendremos tres grandes grupos o niveles claramente diferenciados a la hora de escalar el modelo.

1. Nivel básico (Comunidades rurales o localidades pequeñas):

- i. Para este nivel básico se priorizará la implementación de las carpetas fundamentales del modelo de gestión: **Carpeta 1** “*Diagnóstico del contexto*”, **Carpeta 2** “*Recursos del departamento de Aguas*”, **Carpeta 3** “*Comité virtual de expertos multidisciplinares*”, **Carpeta 6** “*Gestión del mantenimiento*” y la **Carpeta 10** “*Reporting, visualización y comunicación comunitaria*”. Las pequeñas localidades y áreas rurales normalmente dependen de la gestión municipal y en consecuencia no desarrollan bajo sus propios medios grandes proyectos de infraestructuras hidráulicas, ya que estos serán gestionados desde la municipalidad y, en consecuencia, no tendrá razón de ser el desarrollo de la **Carpeta 5** “*Gestión y seguimiento de Proyectos*” orientada a la gestión de proyectos, tampoco aplica la **Carpeta 7** “*Control de calidad del agua*” ya que esta será competencia de la oficina de gestión hídrica de la municipalidad, al igual que la **Carpeta 8** “*Control Financiero y análisis económico*” y la **Carpeta 9** “*Compliance*”.

- ii. La digitalización del sistema será muy básica y está basada principalmente en herramientas accesibles (Drive, Excel, PowerPoint, formularios en línea, Gmail y WhatsApp para los operarios locales).
- iii. A este nivel, se promueve una gobernanza comunitaria y participativa, será necesario ajustar los formularios y metodologías a contextos en algunos casos de baja alfabetización o escasa infraestructura institucional. La implementación de esta metodología en los entornos rurales, permitirá a los actores locales disponer de una herramienta técnica de apoyo y asesoramiento técnico y legal para comprender y ejercer sus derechos en materia de gestión del agua. En particular, les proporcionará el conocimiento necesario para exigir transparencia, rendición de cuentas y una gestión eficiente por parte de los organismos municipales responsables del abastecimiento y saneamiento en estas comunidades, que normalmente son las grandes olvidadas por los departamentos gestores. De este modo, la metodología propuesta permite fortalecer la capacidad de las comunidades rurales para participar activamente en la toma de decisiones y velar por el cumplimiento de los estándares de calidad, sostenibilidad y equidad en el servicio.

2. Nivel intermedio (Municipios o redes de localidades)

- i. En este nivel intermedio, se desplegará el modelo completo, incorporando módulos de financiación de proyectos (**Carpeta 5**), análisis económico (**Carpeta 8**), los de calidad del agua (**Carpeta 7**).
- ii. Se integran a su vez herramientas de automatización como dashboards, gestión de incidencias y rutas mediante un sistema GPS y algún sistema GMAO de baja complejidad.
- iii. Se promueve el fortalecimiento institucional mediante convenios con universidades, ONG y agencias públicas.

3. Nivel Avanzado (Áreas metropolitanas o sistemas regionales)

- i. Se integra el modelo en plataformas de gestión GMAO, bases de datos SQL y software BIM. La estructura podrá ser integrada en la red de servidores municipales o regionales.
- ii. Se institucionalizan los protocolos operativos y se vinculan los reportes con sistemas de auditoría y fiscalización, convirtiendo al modelo en una herramienta de gestión estratégica, orientada al cumplimiento de metas climáticas, normativas internacionales (ODS) y estándares de calidad del servicio.

3.2.2 Criterios de adaptación específicos

Para aplicar correctamente el modelo a diferentes contextos, será necesario ajustar el número y tipo de subcarpetas en función de la capacidad de gestión local, será necesario establecer alianzas con actores locales para fortalecer el proceso de diagnóstico, para ello se personalizarán y adaptarán los cuestionarios técnicos y sociales conforme a las características culturales, lingüísticas y territoriales. Será necesario definir de forma adecuada los indicadores operativos y financieros y adaptarlos de forma adecuada al tamaño del sistema y a sus fuentes de financiación.

4. Caso práctico: Zacoalco de Torres

El proyecto se desarrollará en el término municipal de Zacoalco de Torres, así como en sus pueblos colindantes. Zacoalco de Torres es un municipio de la Región Lagunas del estado de Jalisco, México. Cuenta con 30.472 habitantes según el INEGI 2020. Su nombre proviene del vocablo Tzacoalco, que se ha interpretado de diversas, entre ellas: Lugar donde se posan las águilas.

Para llevar a cabo el presente proyecto, es de vital importancia trabajar de forma cooperativa con dos organizaciones de gran importancia para el municipio. En primer lugar, el departamento de Agua Potable y Alcantarillado del Ayuntamiento de Zacoalco de Torres. El exdirector de gestión de programas y proyectos de agua potable y saneamiento, Félix Madrigal Guzmán, jugó un papel fundamental al actuar como enlace con el municipio. Nos permitió conocer la situación de aquellas comunidades más aisladas como es el caso de las Moras o Sayulapa.

El departamento de Agua Potable y Alcantarillado es una organización bien estructurada y tiene un gran potencial de cara a llevar a cabo una gestión eficiente del recurso. Es una organización reciente, formada tras las elecciones de 2021. En estos años han conseguido llevar a cabo mejoras significativas en el municipio, como la instalación de nuevos puntos de cloración de la red o la instalación de medidores individuales en viviendas de tal manera que puedan hacer un uso más eficiente del recurso.

Es un departamento en crecimiento y algunos de sus integrantes con los que hemos podido trabajar de forma directa son: Félix Madrigal Guzmán, comprometido activista ambiental, exdirector de dicho departamento, y Cesar Francisco Laguna de León, auxiliar de agua potable.

El departamento de Agua Potable y Alcantarillado ha estado intrínsecamente ligado al desarrollo del proyecto, dando apoyo logístico, facilitando la información relativa a aquellos puntos que

necesitábamos visitar y actuando como interlocutor con el propio ayuntamiento.

La segunda organización que juega un papel muy importante en la comunidad de Zacoalco de Torres es la Asociación Pastoral. Desde la Asociación Pastoral se promueve un gran número de actividades relacionadas con la cultura del agua y el compromiso ambiental.

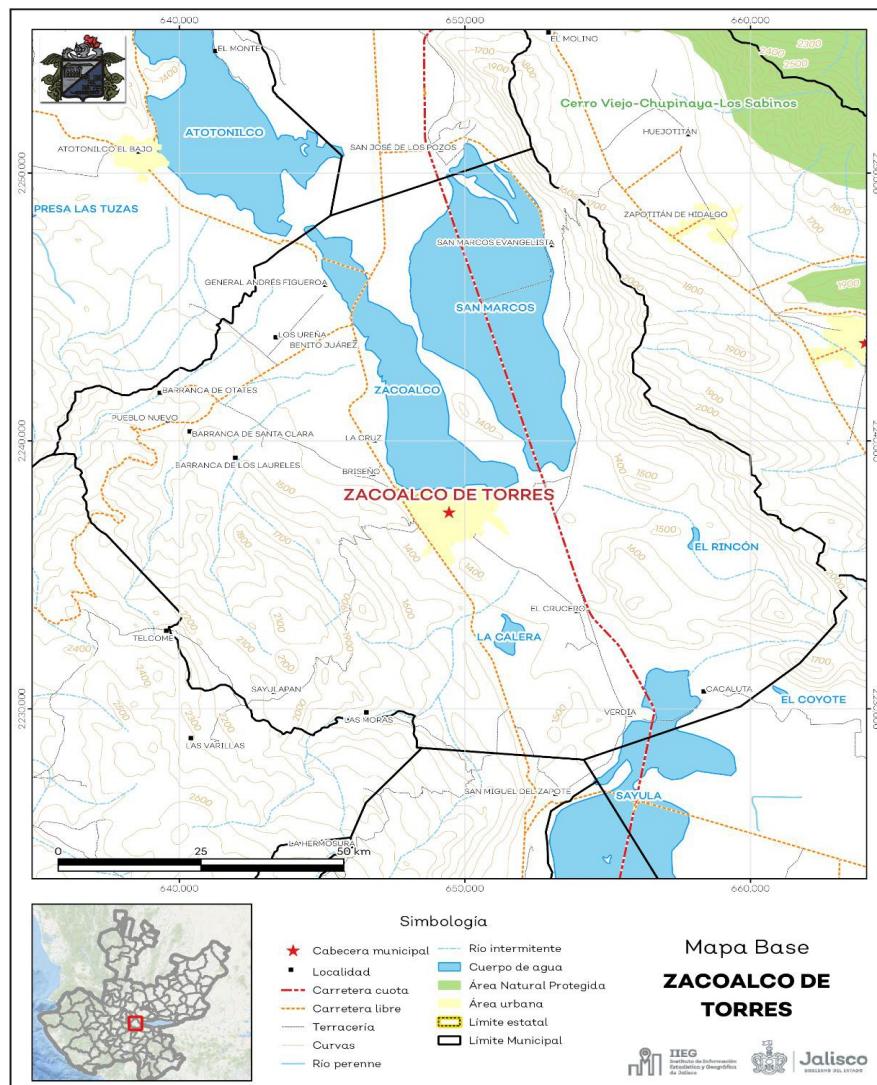
La interacción con dicha organización ha sido muy reducida, pero es un grupo muy organizado y con el cual se puede trabajar de forma muy activa en todos los procesos sociales que se lleven a cabo en Zacoalco de Torres. Una de las integrantes es Adriana, con la que se ha podido entablar contacto, gracias al trabajo de un equipo de educación que impulsa proyectos formativos en Zacoalco y está compuesto por estudiantes y profesores de la ITESO “Universidad Jesuita de Guadalajara”.

Existe una organización ejidal, pero no ha sido posible entablar contacto con la misma. la sociedad de Zacoalco no reconoce en ella un liderazgo comunal. Será importante encontrar figuras en la comunidad en las que se reconozca ese liderazgo.

4.1 Descripción del área de estudio, su emplazamiento y su problemática

4.1.1 Medio Físico

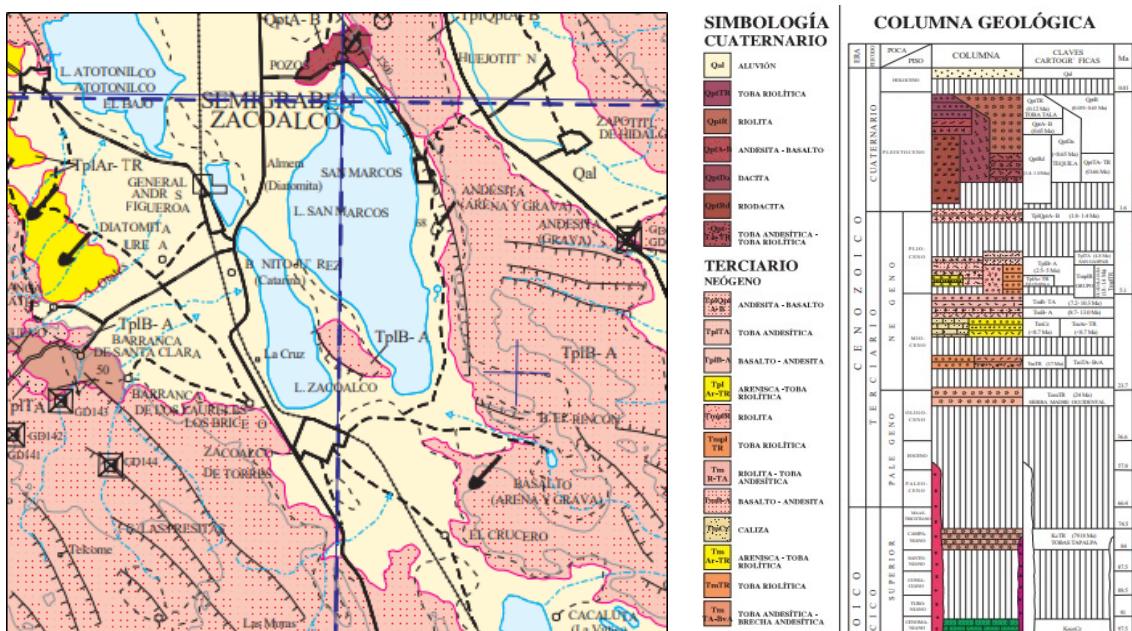
➤ Emplazamiento



Mapa 1. Emplazamiento (Fuente: IIEG, con base en topografía INEGI, CONANP 2015, Marco Geoestadístico INEGI 2020 y Mapa General del Estado de Jalisco 2012)

➤ Orografía y Geología

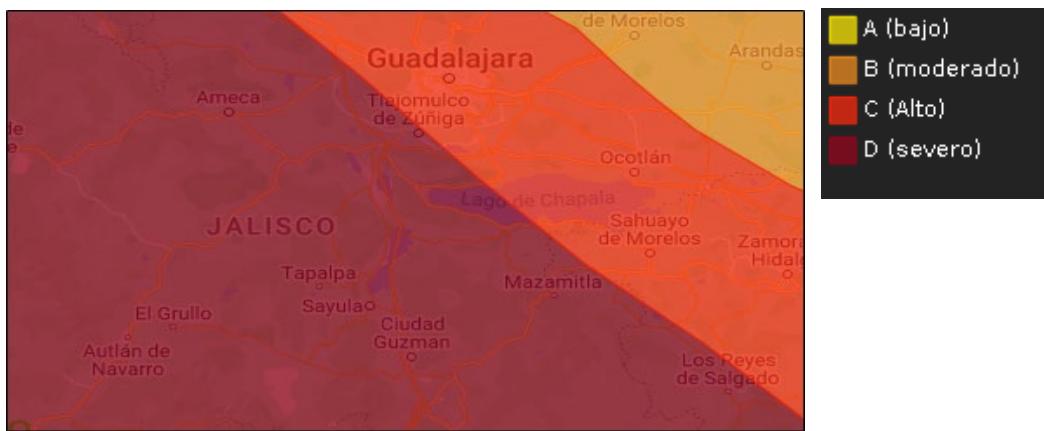
Tal y como se puede apreciar en la siguiente cartografía, Zacoalco de Torres se encuentra en una zona en la que predomina la andesita volcánica. La roca predominante son los suelos aluviales (44.3%), formados por el depósito de materiales sueltos, provenientes de rocas preexistentes, que han sido transportados por corrientes superficiales de agua.



Mapa 2. Orografía (Fuente: INEGI, Cartas Geológicas y Geoquímicas Escala 1:250,000)

➤ Sismicidad

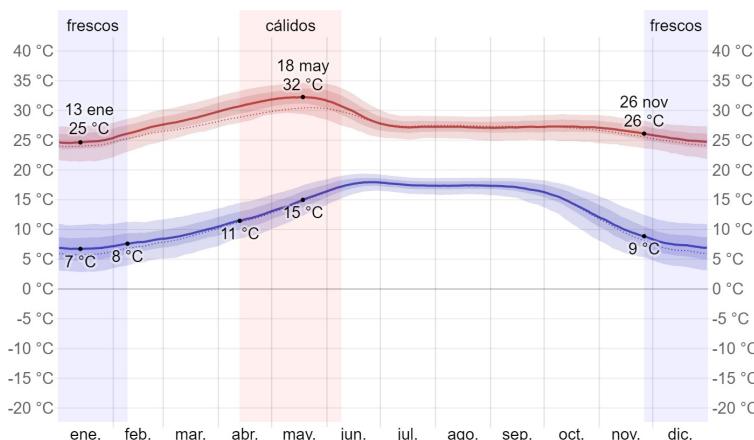
Tal y como se observa en la siguiente cartografía, extraída del INEGI, Zacoalco de Torres se encuentra en una zona de alta sismicidad.



Mapa 3. Sismicidad (Fuente: INEGI 2005, Grado de Sismicidad)

➤ Climatología

En Zacoalco de Torres la temperatura máxima se alcanza en mayo y la mínima tiene lugar entre los meses de diciembre y enero.



Gráfica 8. Variación de la temperatura en Zacoalco de Torres (Fuente: Weatherspark)

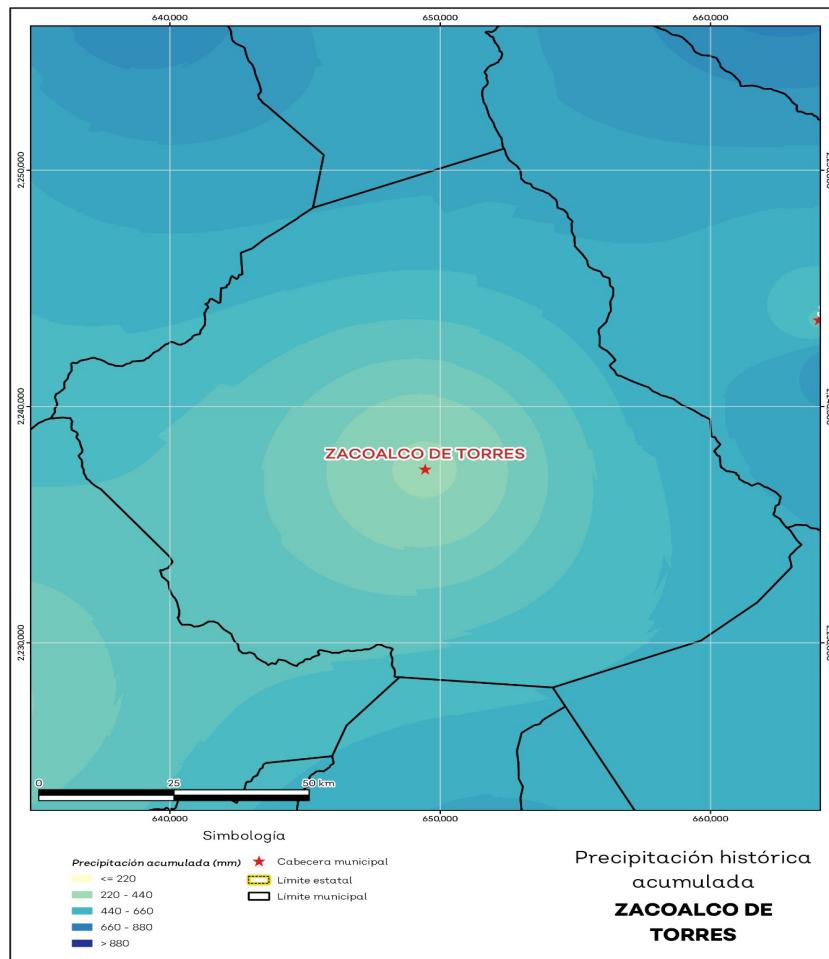
➤ Precipitación

En la siguiente tabla se muestra la distribución pluviométrica en Zacoalco de Torres en los diferentes meses del año. La precipitación acumulada promedio es de 495.30 mm, en el mes de enero se registra una precipitación media de 26.34 mm mientras que en julio la precipitación media es de 81.01 mm.

Tabla 4. Precipitación media en Zacoalco de Torres, Jalisco

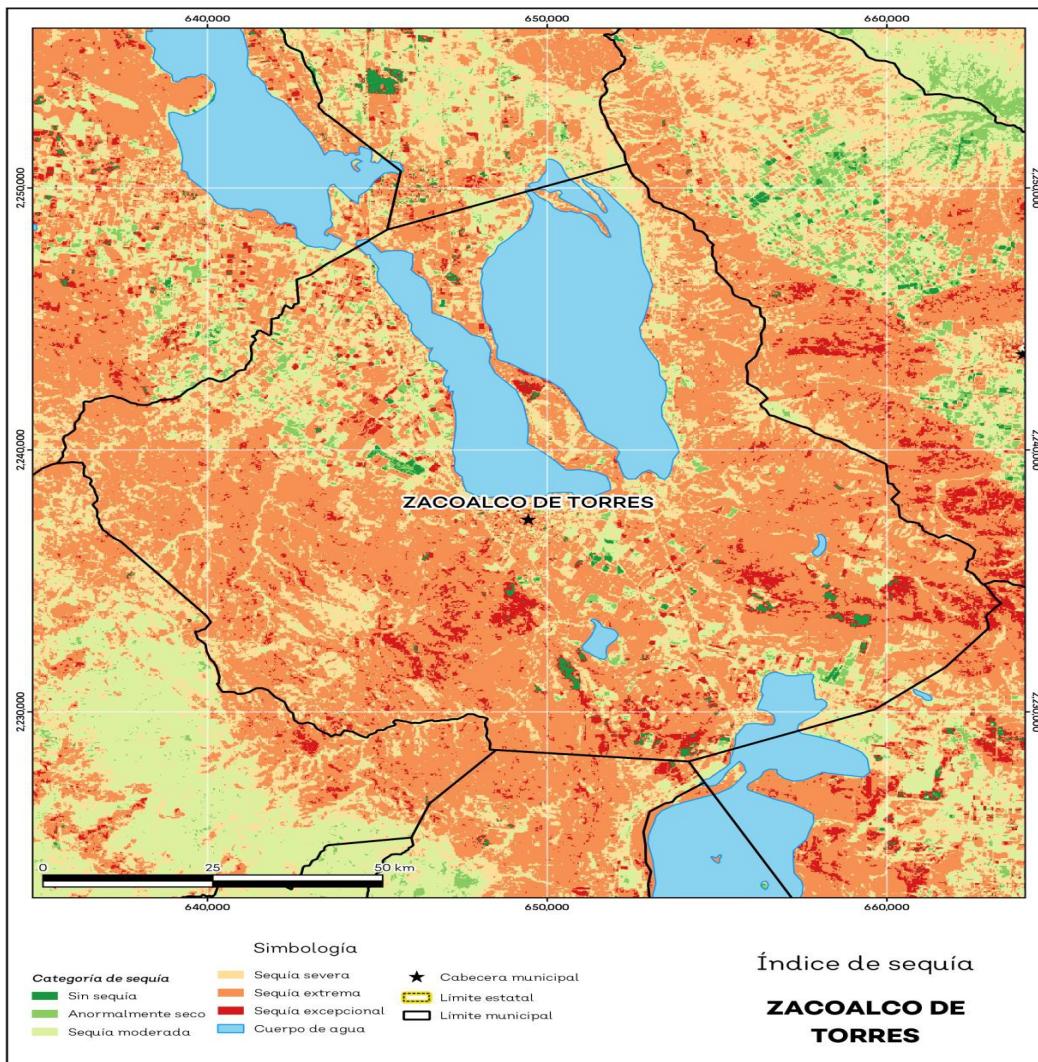
Zacoalco de Torres, Jalisco				
Mes	Promedio (mm)	Mínima (mm)	Máxima (mm)	Comentarios
Enero	26.3	16.0	30.3	
Febrero	27.3	16.0	32.4	
Marzo	33.2	16.0	40.6	
Abril	37.2	18.0	45.4	
Mayo	44.7	22.0	52.9	
Junio	72.3	43.0	84.6	
Julio	81.0	51.0	97.2	Registros de precipitación histórica media mensual.
Agosto	70.3	40.0	85.9	
Septiembre	61.6	42.0	69.0	
Octubre	40.4	25.0	45.3	
Noviembre	27.7	17.0	31.9	
Diciembre	24.4	15.0	27.8	
Acumulada	495.3	320.0	636.1	Registros de precipitación histórica acumulada.

Fuente: IIEG, con base en datos de precipitación de 1882-2019 del SMN



➤ Sequía

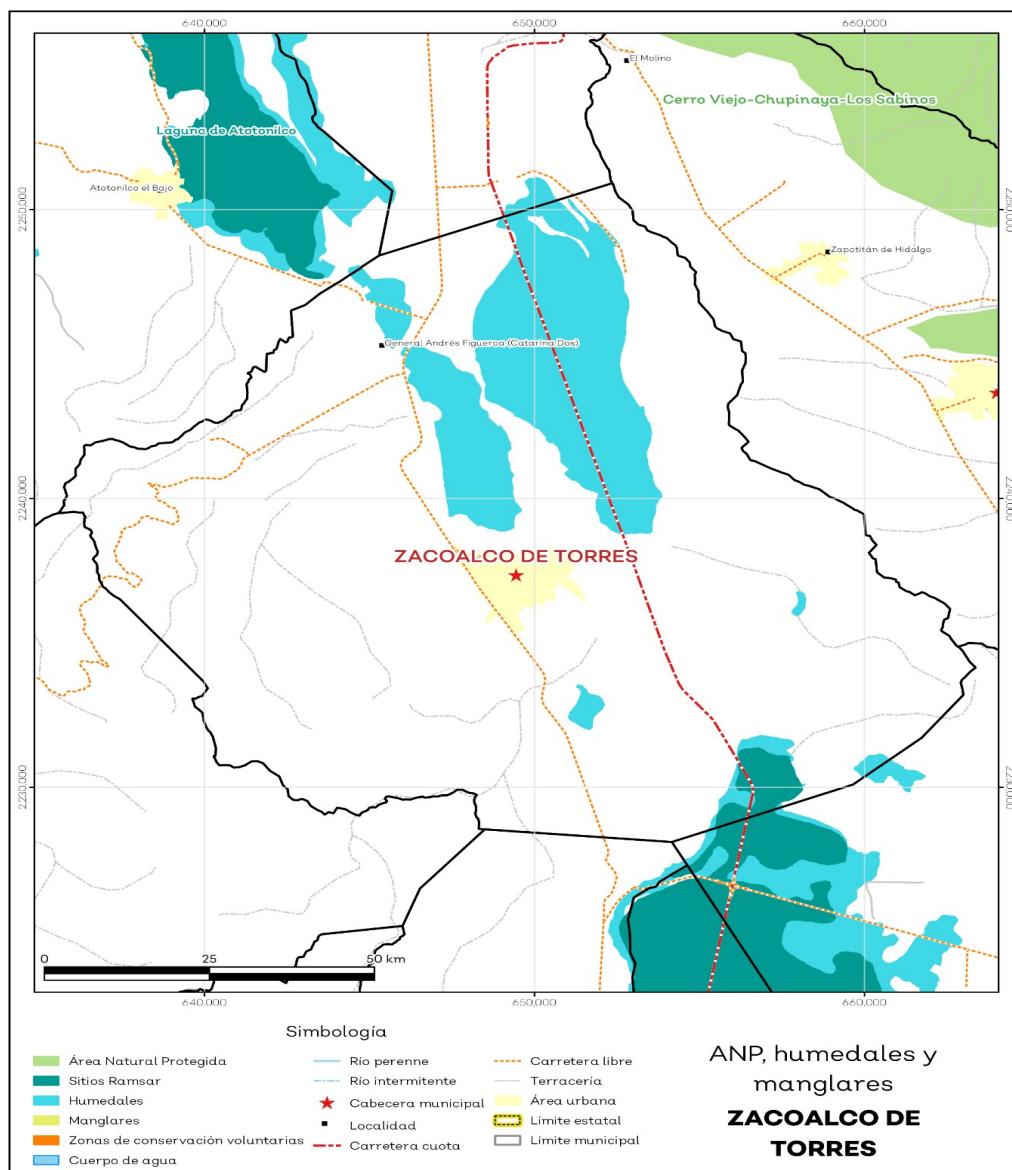
El cambio climático ha traído consigo, efectos relacionados con la sequía en Zacoalco de Torres y sus poblaciones aledañas, según el INEGI, el 94.8% de las actividades agrícolas de la zona, reportaron efectos derivados de la sequía durante el periodo de 2020.



Mapa 4. Índice de sequía de diferencia normalizado (Fuente: IIEG, con base en imágenes Landsat, 2020)

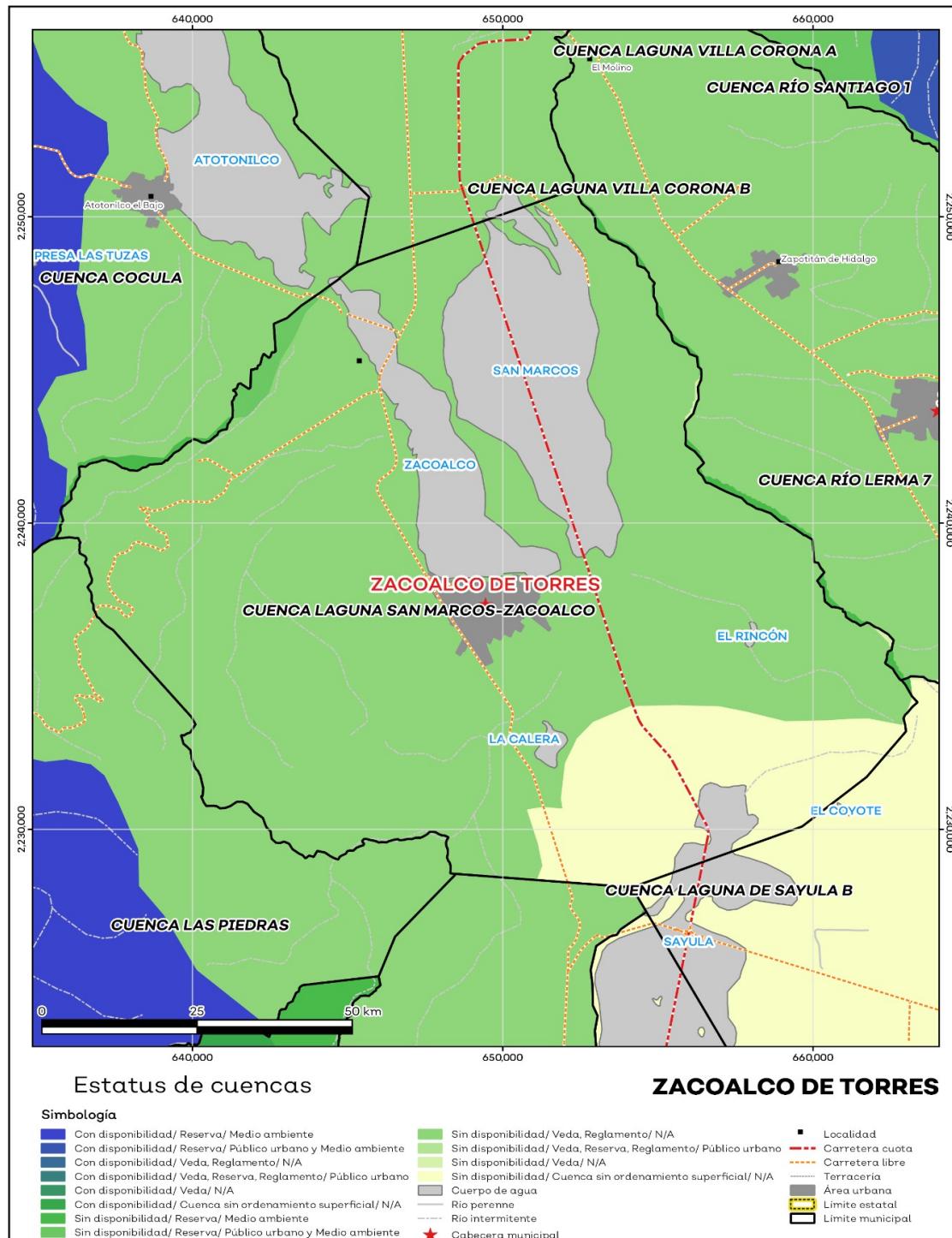
> Agua Superficial

Zacoalco de Torres cuenta con 14.8% de humedales y 0.9% de espacios ramsar, los cuales son espacios de importancia internacional. Los tipos de recursos hídricos del municipio están constituidos por aguas subterráneas, ríos y lagos.



Mapa 5. ANP, humedales y manglares (Fuente: IIEG, con base en CONAGUA 2016, CONANP 2015)

En relación a las cuencas hidrográficas, el territorio municipal está dentro de las cuencas de Cocula.



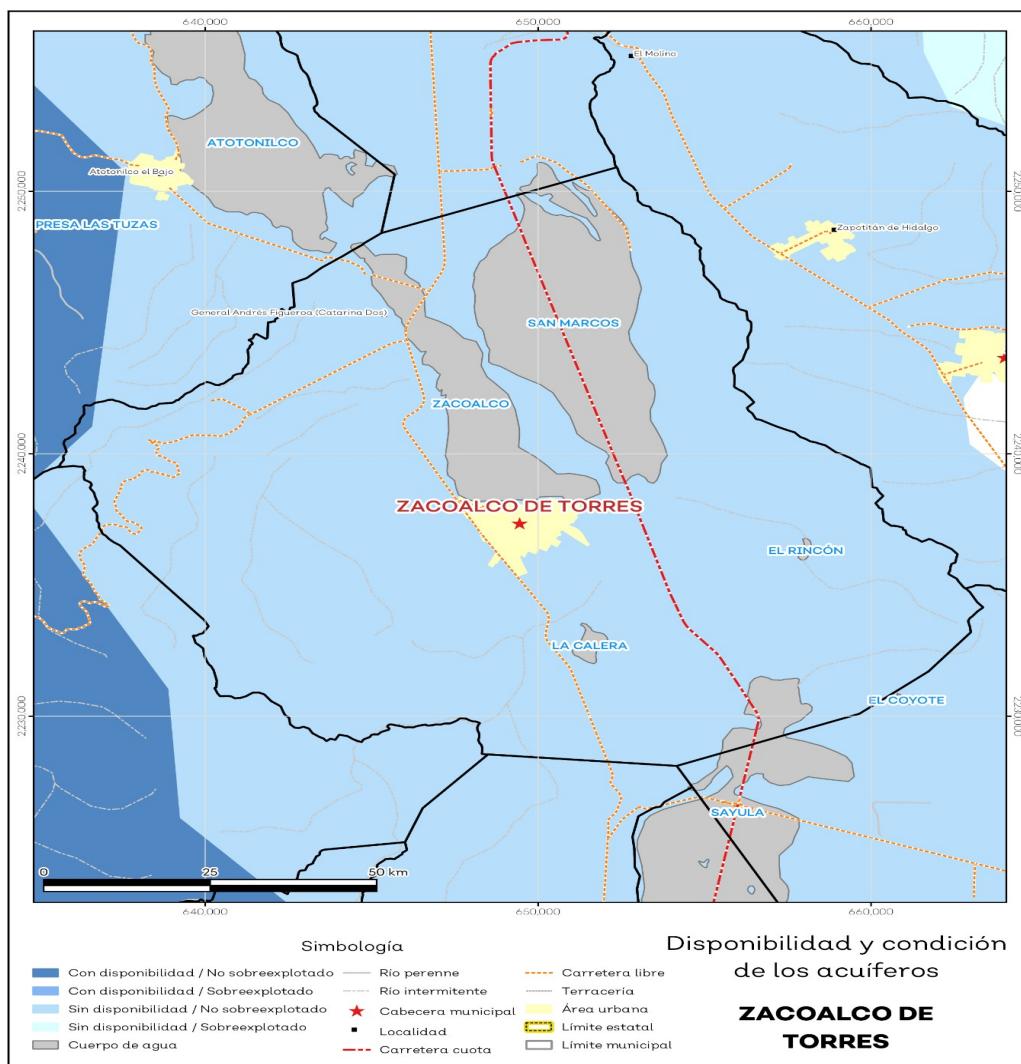
Mapa 6. Cuencas (Fuente: IIEG, con base en CONAGUA, 2021)

> Agua Superficial

El territorio está ubicado dentro de 3 acuíferos, de los cuales el 99.9% no tienen disponibilidad y el 0.1% se encuentra con disponibilidad de agua subterránea.

Zacoalco de Torres, Jalisco		
Estatus	Cantidad %	Comentarios
Con disponibilidad	0.2	
Sin disponibilidad	99.9	
No sobreexplotado	100.0	Reporte de CONAGUA del estatus del acuífero hasta el 2020.
Sobreexplotado	0.0	

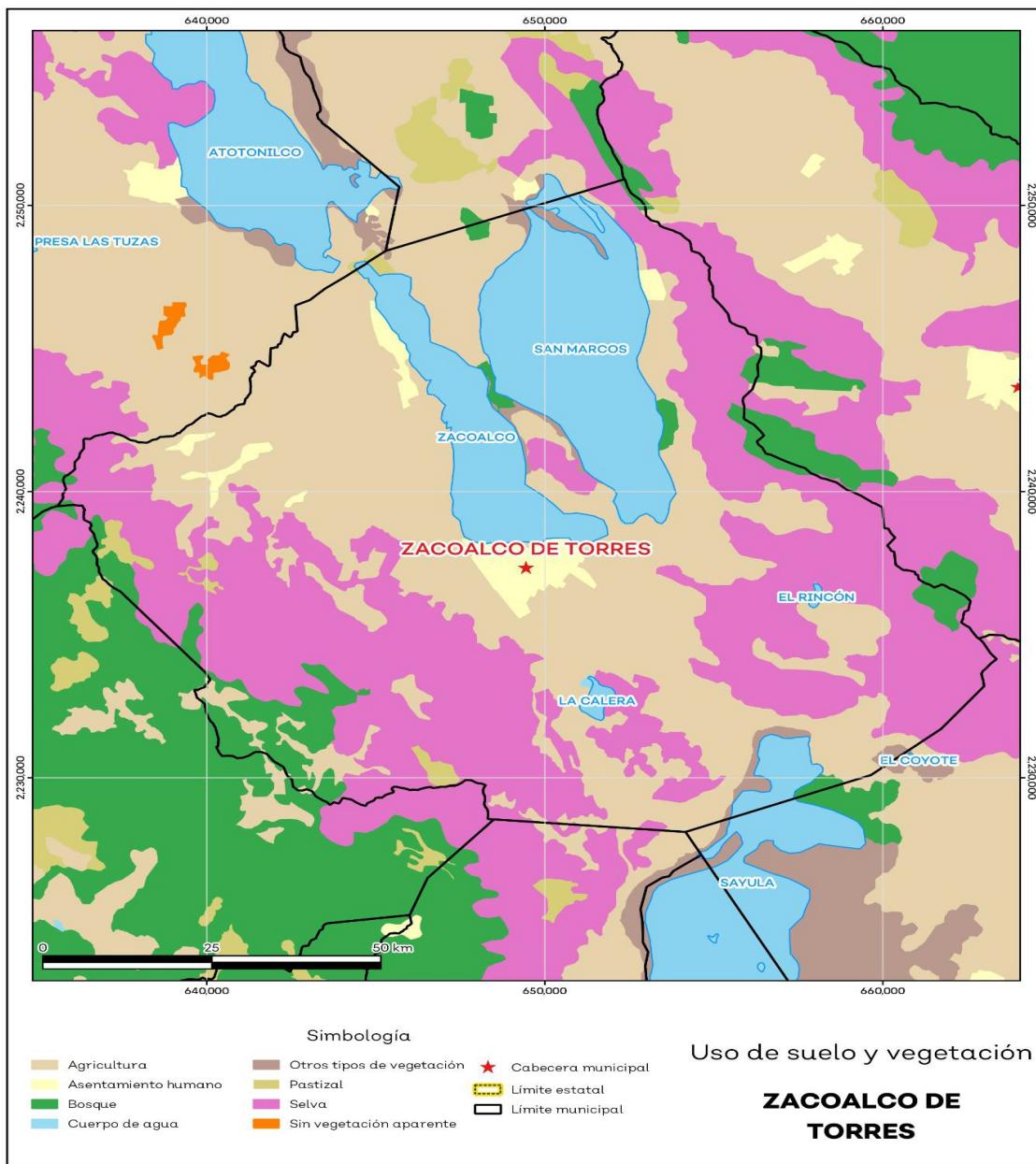
Fuente: IIEG, con base en CONAGUA, 2021



Mapa 7. Acuíferos (Fuente IIEG, con base en CONAGUA, 2021)

> Usos del suelo

El uso predominante del suelo está destinado a la agricultura, la cual ocupa el 39.3% de su superficie, la selva ocupa el 36% del territorio total y los asentamientos humanos solo ocupan el 2.6% del territorio. La superficie arbórea municipal representa el 12.9%.



Mapa 8. Uso del suelo y vegetación (Fuente: IIEG, con base en INEGI, 2017)

4.1.2 Definición de Términos

Las siguientes definiciones han sido extraídas de forma literal de la Ley de Aguas Nacionales elaborada por la CONAGUA. **Comisión Nacional del Agua. (Junio de 2012). Ley de Aguas Nacionales. CONAGUA, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.**

- I. “Aguas Nacionales”: Son aquellas referidas en el Párrafo Quinto del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; 8 Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.
- II. “Acuífero”: Cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectados entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo.
- III. “Aguas claras” o “Aguas de primer uso”: aquellas provenientes de distintas fuentes naturales y de almacenamientos artificiales que no han sido objeto de uso previo alguno.
- IV. “Aguas del subsuelo”: aquellas aguas nacionales existentes debajo de la superficie terrestre.
- VIII. “Asignación”: Título que otorga el Ejecutivo Federal, a través de “la Comisión” o del Organismo de Cuenca que corresponda, conforme a sus respectivas competencias, para realizar la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, a los municipios, a los estados o al Distrito Federal, destinadas a los servicios de agua con carácter público urbano o doméstico.
- IX. “Bienes Públicos Inherentes”: aquellos que se mencionan en el Artículo 113 de esta Ley.
- X. “Capacidad de Carga”: Estimación de la tolerancia de un ecosistema al uso de sus componentes, tal que no rebase su capacidad de recuperación en el corto plazo sin la aplicación de medidas de restauración o recuperación para restablecer el equilibrio ecológico.

XI. “Cauce de una corriente”: El canal natural o artificial que tiene la capacidad necesaria para que las aguas de la creciente máxima ordinaria escurran sin derramarse. Cuando las corrientes estén sujetas a desbordamiento, se considera como cauce el canal natural, mientras no se construyan obras de encauzamiento; en los orígenes de cualquier corriente, se considera como cauce propiamente definido, cuando el escurrimiento se concentre hacia una depresión topográfica y éste forme una cárcava o canal, como resultado de la acción del agua fluyendo sobre el terreno. Para fines de aplicación de la presente Ley, la magnitud de dicha cárcava o cauce incipiente deberá ser de cuando menos de 2.0 metros de ancho por 0.75 metros de profundidad.

XII. “Comisión Nacional del Agua”: Órgano Administrativo Desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con funciones de Derecho Público en materia de gestión de las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes, con autonomía técnica, ejecutiva, administrativa, presupuestal y de gestión, para la consecución de su objeto, la realización de sus funciones y la emisión Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento 9 de los actos de autoridad que conforme a esta ley corresponde tanto a ésta como a los órganos de autoridad a que la misma se refiere.

XIII. “Concesión”: Título que otorga el Ejecutivo Federal, a través de “la Comisión” o del Organismo de Cuenca que corresponda, conforme a sus respectivas competencias, para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, y de sus bienes públicos inherentes, a las personas físicas o morales de carácter público y privado, excepto los títulos de asignación.

XIV. “Condiciones Particulares de Descarga”: El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, determinados por “la Comisión” o por el Organismo de Cuenca que corresponda, conforme a sus respectivas competencias, para cada usuario, para un determinado uso o grupo de usuarios de un cuerpo receptor específico con el fin de conservar y controlar la calidad de las aguas conforme a la presente Ley y los reglamentos derivados de ella.

XV. “Consejo de Cuenca”: órganos colegiados de integración mixta, que serán instancia de coordinación y concertación, apoyo, consulta y asesoría, entre “la Comisión”, incluyendo el Organismo de Cuenca que corresponda, y las dependencias

y entidades de las instancias federal, estatal o municipal, y los representantes de los usuarios de agua y de las organizaciones de la sociedad, de la respectiva cuenca hidrológica o región hidrológica.

XVI. “Cuenca Hidrológica”: Es la unidad del territorio, diferenciada de otras unidades, normalmente delimitada por un parte aguas o divisoria de las aguas - aquella línea poligonal formada por los puntos de mayor elevación en dicha unidad -, en donde ocurre el agua en distintas formas, y ésta se almacena o fluye hasta un punto de salida que puede ser el mar u otro cuerpo receptor interior, a través de una red hidrográfica de cauces que convergen en uno principal, o bien el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aún sin que desemboquen en el mar. En dicho espacio delimitado por una diversidad topográfica, coexisten los recursos agua, suelo, flora, fauna, otros recursos naturales relacionados con estos y el medio ambiente. La cuenca hidrológica conjuntamente con los acuíferos, constituye la unidad de gestión de los recursos hídricos. La cuenca hidrológica está a su vez integrada por subcuenca y éstas últimas están integradas por microcuenca. Para los fines de esta Ley, se considera como:

- a. “Región hidrológica”: Área territorial conformada en función de sus características morfológicas, orográficas e hidrológicas, en la cual se considera a la cuenca hidrológica como la unidad básica para la gestión de los recursos hídricos, cuya finalidad es el agrupamiento y sistematización de la información, análisis, diagnósticos, programas y acciones en relación con la ocurrencia del agua en cantidad y calidad, así como su explotación, uso o aprovechamiento. Normalmente una región hidrológica está integrada por una o varias cuencas hidrológicas. Por tanto, los límites de la región hidrológica son en general distintos en relación con la división política por estados, Distrito Federal y municipios. Una o varias regiones hidrológicas integran una región hidrológico - administrativa; y 10 Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

- b. “Región Hidrológico - Administrativa”: Área territorial definida de acuerdo con criterios hidrológicos, integrada por una o varias regiones hidrológicas, en la cual se considera a la cuenca hidrológica como la unidad básica para la gestión de los recursos hídricos y el municipio representa, como en otros instrumentos jurídicos, la unidad mínima de gestión administrativa en el país.

XVII. “Cuerpo receptor”: la corriente o depósito natural de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas, cuando puedan contaminar los suelos, subsuelo o los acuíferos.

XVIII. “Cuota de Autosuficiencia”: Es aquella destinada a recuperar los costos derivados de la operación, conservación y mantenimiento de las obras de infraestructura hidráulica, instalaciones diversas y de las zonas de riego, así como los costos incurridos en las inversiones en infraestructura, mecanismos y equipo, incluyendo su mejoramiento, rehabilitación y reemplazo. Las cuotas de autosuficiencia no son de naturaleza fiscal y normalmente son cubiertas por los usuarios de riego o regantes, en los distritos, unidades y sistemas de riego, en las juntas de agua con fines agropecuarios y en otras formas asociativas empleadas para aprovechar aguas nacionales en el riego agrícola; las cuotas de autosuficiencia en distritos y unidades de temporal son de naturaleza y características similares a las de riego, en materia de infraestructura de temporal, incluyendo su operación, conservación y mantenimiento y las inversiones inherentes.

XIX. “Cuota Natural de Renovación de las Aguas”: El volumen de agua renovable anualmente en una cuenca hidrológica o en un cuerpo de aguas del subsuelo.

XX. “Delimitación de cauce y zona federal”: trabajos y estudios topográficos, batimétricos, fotogramétricos, hidrológicos e hidráulicos, necesarios para la determinación de los límites del cauce y la zona federal.

XXI. “Desarrollo sustentable”: en materia de recursos hídricos, es el proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter hídrico, económico, social y ambiental, que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se fundamenta en las medidas necesarias para la preservación del equilibrio hidrológico, el aprovechamiento y protección de los recursos hídricos, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de agua de las generaciones futuras.

XXII. “Descarga”: la acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor.

XXIII. “Disponibilidad media anual de aguas superficiales”: en una cuenca hidrológica,

es el valor que resulta de la diferencia entre el volumen medio anual de escurrimiento de una cuenca hacia aguas abajo y el volumen medio anual actual comprometido aguas abajo.

XXIV. “Disponibilidad media anual de aguas del subsuelo”: en una unidad hidrogeológica - entendida ésta como el conjunto de estratos geológicos hidráulicamente conectados entre sí, cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales subterráneas -, es el volumen medio anual de agua subterránea que puede ser Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento 11 extraído de esa unidad hidrogeológica para diversos usos, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro el equilibrio de los ecosistemas.

XXV. “Distrito de Riego”: es el establecido mediante Decreto Presidencial, el cual está conformado por una o varias superficies previamente delimitadas y dentro de cuyo perímetro se ubica la zona de riego, el cual cuenta con las obras de infraestructura hidráulica, aguas superficiales y del subsuelo, así como con sus vasos de almacenamiento, su zona federal, de protección y demás bienes y obras conexas, pudiendo establecerse también con una o varias unidades de riego; b. “Distrito de Temporal Tecnificado”: Área geográfica destinada normalmente a las actividades agrícolas que no cuenta con infraestructura de riego, en la cual mediante el uso de diversas técnicas y obras, se aminoran los daños a la producción por causa de ocurrencia de lluvias fuertes y prolongadas - éstos también denominados Distritos de Drenaje - o en condiciones de escasez, se aprovecha con mayor eficiencia la lluvia y la humedad en los terrenos agrícolas; el distrito de temporal tecnificado está integrado por unidades de temporal.

XXVI. “Explotación”: aplicación del agua en actividades encaminadas a extraer elementos químicos u orgánicos disueltos en la misma, después de las cuales es retornada a su fuente original sin consumo significativo.

XXVII. “Gestión del Agua”: proceso sustentado en el conjunto de principios, políticas, actos, recursos, instrumentos, normas formales y no formales, bienes, recursos, derechos, atribuciones y responsabilidades, mediante el cual coordinadamente el Estado, los usuarios del agua y las organizaciones de la sociedad, promueven e instrumentan para lograr el desarrollo sustentable en beneficio de los seres humanos

y su medio social, económico y ambiental, (1) el control y manejo del agua y las cuencas hidrológicas, incluyendo los acuíferos, por ende su distribución y administración, (2) la regulación de la explotación, uso o aprovechamiento del agua, y (3) la preservación y sustentabilidad de los recursos hídricos en cantidad y calidad, considerando los riesgos ante la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extraordinarios y daños a ecosistemas vitales y al medio ambiente. La gestión del agua comprende en su totalidad a la administración gubernamental del agua.

XXVIII. “Gestión Integrada de los Recursos Hídricos”: Proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra, los recursos relacionados con estos y el ambiente, con el fin de maximizar el bienestar social y económico equitativamente sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. Dicha gestión está íntimamente vinculada con el desarrollo sustentable. Para la aplicación de esta Ley en relación con este concepto se consideran primordialmente agua y bosque.

XXIX. “La Comisión”: La Comisión Nacional del Agua.

XXX. “La Ley”: Ley de Aguas Nacionales.

XXXI. “La Procuraduría”: La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.

XXXII. “La Secretaría”: La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

XXXIII. “Los Consejos”: Los Consejos de Cuenca

XXXIV. “Los Organismos”: Los Organismos de Cuenca.

XXXV. “Normas Oficiales Mexicanas”: Aquellas expedidas por “la Secretaría”, en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización referidas a la conservación, seguridad y calidad en la explotación, uso, aprovechamiento y administración de las aguas nacionales y de los bienes nacionales a los que se refiere el Artículo 113 de esta Ley.

XXXVI. “Organismo de Cuenca”: Unidad técnica, administrativa y jurídica especializada, con carácter autónomo, adscrita directamente al Titular de “la Comisión”, cuyas atribuciones se establecen en la presente Ley y sus reglamentos, y cuyos recursos y presupuesto específicos son determinados por “la Comisión”.

XXXVII. “Río”: Corriente de agua natural, perenne o intermitente, que desemboca a otras corrientes, o a un embalse natural o artificial, o al mar.

4.1.3 Identificación de las Problemáticas

Tras analizar los sistemas de depuración en Zacoalco de Torres, se ha podido determinar que la capacidad de depuración es prácticamente nula, la planta de tratamiento de agua residual, no estaba en estado operativo. No obstante, se seguía bombeando agua desde los cárcamos de rebombeo y esto había generado un problema aun mayor, la falta de mantenimiento en la planta había provocado que las conducciones se rompiesen y toda la zona se había inundado de agua en estado séptico generando un problema aún mayor, infiltración del agua residual en los acuíferos y posible contaminación de los pozos cercanos, además de la emisión de olores.

En relación al agua potable, tras visitar la cabecera municipal y algunas poblaciones como Verdía, San Marcos, La Barranca de Santa Clara, El Crucero de San Isidro, Las Moras y Sayulapan, se identificó un nexo común en todas las poblaciones: la falta de sistemas de almacenamiento y regulación, los tanques que existían en las comunidades estaban obsoletos aparte de ser insuficientes. En la cabecera municipal de Zacoalco de Torres, habían visto mermada su capacidad de almacenamiento, de contar inicialmente con dos depósitos que sumaban un total de 1.200 m³, se había pasado a un único depósito con capacidad para 1.000 m³, pero no se habían adaptado estos sistemas al incremento poblacional de los últimos años.

La detección de patógenos característicos del agua residual en el agua potable de la red de abastecimiento, fue uno de los factores más preocupantes detectados en el sistema de abastecimiento urbano. La cantidad de patógenos era muy elevada y las posibilidades de propagación de enfermedades tales como E.coli, altas.

Más allá del departamento de Alcantarillado y Agua Potable del Ayuntamiento de Zacoalco de Torres, no existía ningún vínculo con otra organización.

4.1.4 Matriz de Impacto

Para dar seguimiento a los objetivos generales y específicos que se pretenden alcanzar con el desarrollo de la metodología propuesta se ha completado la siguiente matriz de impacto, con el objetivo de dar seguimiento futuro, para ello se ha detallado cada uno de los servicios o productos desarrollados y su posible beneficio e impacto directo en el municipio.

**Tabla 1: Matriz de Impacto
Zacoalco de Torres**

**Problemática
general**

1. Actualmente, en el departamento no es posible tener una trazabilidad de las operaciones de mantenimiento, no se dispone de registros históricos ni de un informe de evaluación del desempeño de los activos.
2. Desconocimiento de la estructura de la red: Materiales, longitudes, estado hidráulico y puntos críticos por exceso de presiones no documentados, esto limita drásticamente la posibilidad de tomar decisiones de renovación o expansión basadas en un enfoque técnico.
3. Inexistencia de indicadores económicos y registros de costes que garanticen una gestión financiera eficiente y sostenible.
4. Fragmentación institucional, la politización del departamento de aguas deriva en que su gestión, sea vista como la de un mero ente recaudador de fondos públicos.
5. Calidad del agua sin un seguimiento sistematizado y sin un análisis técnico de los resultados históricos obtenidos. Lo que deriva en una contaminación general del agua de abastecimiento urbano.
6. Escasa capacidad para desarrollar y presentar proyectos técnicos con enfoques de sostenibilidad, lo que dificulta las posibilidades para acceder a fuentes de financiación nacionales e internacionales.
7. Ausencia de documentación técnica centralizada: Planos generales de acometidas y redes, manuales de gestión operativa del mantenimiento y reglamentos, toda esta información está dispersa o

Fin u Objetivo específico

- no existen, lo que dificulta el cumplimiento legal y operativo.
8. Falta de mecanismos estandarizados de reporting que permitan la visualización de avances operativos, financieros y técnicos, de cara a la comunidad y para aquellos posibles entes de financiación.
 9. El sistema actual carece de posibilidades para escalar o replicarse en otras comunidades con problemáticas similares.
 10. Deficiencia en el tratamiento de datos (Calidad, consistencia, actualización), lo que limita el uso de la información de cara a una buena planificación.
 11. Baja articulación interinstitucional entre el departamento de aguas, autoridades municipales y actores externos (ONG, Universidades, finanziadores).
1. Implementar un sistema digital básico de gestión del mantenimiento (GMAO), que permita centralizar la información técnica de pozos, redes, tanques y equipos electromecánicos, incluyendo calendarios preventivos, órdenes correctivas y reportes operativos.
 2. Desarrollar un inventario de activos y un diagnóstico técnico de la red, como base para la gestión operativa del mantenimiento y para una futura modelización hidráulica, así como la priorización de inversiones.
 3. Diseñar e implementar un modelo de gestión digital de costes para tener una contabilidad simplificada por centro de coste (operación, mantenimiento, energía, personal...) y generar indicadores clave (tarifa media, coste por m³, liquidez mensual, Cashflow).
 4. Desarrollo de reportes corporativos que permitan garantizar la transparencia institucional y gubernamental. Garantizando que los fondos recaudados sean empleados en el desarrollo de nuevos

proyectos destinados a la mejora del servicio de abastecimiento y saneamiento.

5. Estructurar un sistema digital asistido por inteligencia artificial de monitoreo de la calidad del agua con base en datos históricos y vinculado a protocolos de actuación técnica y a estrategias de comunicación e información comunitaria.
6. Crear una carpeta digital dentro de nuestro modelo que esté asistida por inteligencia artificial y permita guiarnos en el desarrollo y formulación de proyectos, identificando aquellas necesidades de inversión prioritarias, documentando la viabilidad técnica-económica y facilitando la información necesaria para acceder a fondos de financiación.
7. Desarrollar la (Carpeta 9) “Compliance” de nuestro modelo, lo que nos permitirá consolidar toda la normativa aplicable: licencias, manuales, reglamentos y protocolos operativos vinculados al marco normativo nacional e internacional.
8. Desarrollar un sistema de reporting institucional asistido por inteligencia artificial que automatice la generación de informes y presentaciones a partir de los datos cargados en las carpetas operativas del modelo (KPIs, gráficos, fichas técnicas...).
9. Diseño de una metodología modular y adaptable que permita replicar el sistema en otras localidades, ajustando el nivel técnico, la estructura organizativa y los flujos de información.
10. Establecer protocolos estandarizados de entrada y validación de datos de cara a cada carpeta operativa, con responsables definidos, rutinas de actualización y copias de respaldo mensuales.
11. Promover convenios de colaboración institucional, integrando a socios técnicos y financieros y realizando revisiones periódicas de planes y resultados.

Resultado (Servicio de Gestión obtenido)	Gestión técnica y operativa del sistema hídrico.	Sostenibilidad institucional, financiera y normativa.	Gobernanza comunitaria y calidad del recurso
Uso del Resultado	Digitalización con IA del mantenimiento y de los activos hidráulicos	Organización funcional y control económico digital asistido por IA.	Monitorización de calidad del agua y participación ciudadana.
Impacto Esperado	Reducción de averías y mejora de la eficiencia operativa.	Mayor sostenibilidad, control presupuestario y cumplimiento normativo.	Mejora de la seguridad hídrica y fortalecimiento social del sistema.
	Resultado 1 “Gestión Técnica”	Resultado 2 “Sostenibilidad Institucional y Financiera”	Resultado 3 “Gobernanza y Comunidad”
Emplazamientos en los que se desarrollará el Proyecto	Municipio de Zacoalco de Torres, Verdía, San Marcos y El Crucero de San Isidro.		
Destinatarios finales	Técnicos y operarios que ejecutan el mantenimiento; beneficiarios indirectos: toda la población conectada al a red.	Personal administrativo encargado de la gestión presupuestaria, control financiero y cumplimiento normativo	Población general como usuaria del sistema,

Actores Clave	<ul style="list-style-type: none"> - Técnicos operativos del Departamento de Agua - Personal encargado de mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Administrativos del Departamento de Agua: Félix Madrigal Guzmán - Tesorero municipal - ITESO (para acompañamiento técnico y auditoría externa) 	<ul style="list-style-type: none"> - Pastoral Social de Zacoalco - Comités comunitarios de agua - Liderazgos barriales - Red de mujeres responsables del recurso en el hogar
Organizaciones aliadas	<p>Departamento de Agua Potable y Saneamiento de Zacoalco de Torres</p> <p>Pastoral Social de Zacoalco de Torres</p> <p>ITESO</p>		

4.2 Descripción de la red e identificación de las necesidades de mantenimiento

Tras el análisis de los datos facilitados por Sr. Félix Madrigal Guzmán, anterior responsable del DEPTO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE ZACOALCO DE TORRES, se ha llegado a la conclusión, de que es necesario recabar información adicional en las comunidades de Verdía, San Marcos y la cabecera municipal de Zacoalco de Torres. La dificultad para contrastar y verificar los datos técnicos incluidos en los informes impide su validación con el nivel de fiabilidad requerido.

Se ha detectado la presencia de bacterias coliformes en la red de abastecimiento de agua potable. En la actualidad, no se dispone de análisis de calidad del agua en la totalidad de los pozos. En aquellos pozos en los que sí existen datos, la información no es fiable.

En consecuencia, es necesario repetir las analíticas de los pozos ya muestreados para validar su situación actual. Asimismo, se deberán de realizar tomas de muestra adicionales en puntos de consumo domiciliario, con el objetivo de determinar la carga contaminante en las mismas.

La información aportada por el DEPTO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE ZACOALCO DE TORRES en relación al caudal extraído de los pozos, no es fiable dado que se

han obtenido valores muy inferiores a los que cabe esperar para el abastecimiento urbano en poblaciones de estas dimensiones.

En relación con los pozos contaminados por bacterias coliformes, se proponen dos alternativas de intervención: (1) Implementar un sistema de filtración en los pozos que presentan altas concentraciones de Bacterias coliformes. (2) Instalación de depósitos elevados en las zonas próximas a dichos pozos, con el fin de facilitar un proceso de desinfección eficaz previo a la distribución del recurso.

Durante el proceso de elaboración y recopilación de información, caben destacar 3 retos:

1. La obtención de información.
2. Verificación de dicha información.
3. Plantear soluciones técnicas, acordes a la medida de los problemas detectados.

Para cumplir con los objetivos citados a continuación, se llevaron a cabo visitas de campo durante el año 2023 y conversaciones frecuentes con los actores implicados desde 2023 hasta la actualidad.

- Análisis y comprensión de la red hídrica existente en las comunidades del municipio de Zacoalco de Torres, centrando nuestra actuación en Verdía, San Marcos y la Cabecera Municipal de Zacoalco de Torres.
- Revisión documental de la información contenida en el documento “Diagnóstico Integral de Planeación de la Cabecera Municipal de Zacoalco de Torres”, (Jalisco, 2013, Comisión Estatal del Agua de Jalisco).
- Verificación y contraste de la información aportada por La DEPTO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE ZACOALCO DE TORRES.
- Fortalecer la capacidad de gestión de la red a través de la implementación de nuevos sistemas de regulación.
- Plantear recomendaciones relacionadas con el mantenimiento y la renovación de aquellos pozos de abastecimiento que hayan visto reducida su capacidad de extracción, así como la calidad del recurso.

- Conocer los hábitos y la percepción social en relación al uso del agua, mediante el sondeo con encuestas.

4.2.1 Análisis general de la Red abastecimiento de Agua Potable

Actualmente, no se dispone de un volumen significativo de datos en localidades como El Crucero de San Isidro, Verdía o San Marcos. En el caso de Zacoalco de Torres, se cuenta únicamente con un informe técnico fechado en 2013, cuya información en su mayoría, se encuentra desactualizada.

El principal problema detectado en la red de abastecimiento de agua potable es la presencia de bacterias coliformes.

Se ha identificado una red deficitaria, con necesidad de regular un mayor volumen de agua mediante la implementación de nuevos depósitos y pozos. La situación actual genera dos problemáticas principales.

1. se emplea un sistema de regulación basado en bombeos continuos, lo que conlleva un elevado coste energético.
2. La falta de sistemas de regulación, como depósitos de almacenamiento, implica una cloración por contacto. El tiempo de contacto cloro-agua, no es suficiente para garantizar una desinfección efectiva del recurso.

4.2.1.1 Medidas Prioritarias

- **Instalación de nuevos sistemas de almacenamiento**, con el objetivo de incrementar la capacidad de regulación del sistema, especialmente en aquellas zonas con pozos contaminados, a fin de facilitar los procesos de desinfección y almacenamiento.
- **Incremento progresivo de los instrumentos de medición en la red**, mediante la instalación de caudalímetros y sensores en pozos además de en los tanques y redes de distribución y centrándolo especialmente el foco en los sistemas de cloración, tratando de garantizar el tiempo de contacto cloro-agua en los depósitos actuales y una dosificación adecuada que permita tener un nivel aceptable de cloro residual en la red, con el fin de mejorar el control operativo y reducir la incertidumbre.
- **Implementación de un sistema de filtración en aquellos pozos contaminados** con bacterias coliformes, como medida complementaria a los procesos de desinfección.
- **Diseño e implementación de un sistema de gestión de activos (GMAO)** que permita registrar, planificar y optimizar las operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo, de tal forma que pueda llevarse a cabo un programa sistemático de desinfección de la red y toma de muestras periódicas tanto en los puntos de captación

como en acometidas domiciliarias, para evaluar la calidad del agua y su evolución. También será crítica.

- **Modelado hidráulico de la red** para identificar puntos críticos, simular escenarios de demanda y pérdidas y evaluar soluciones estructuradas y operativas.
- **Desarrollo de un modelo predictivo gestionado por inteligencia artificial**, basado en datos históricos y en tiempo real, que permitirá anticipar escenarios críticos, evaluar el comportamiento hidráulico de la red, y optimizar la toma de decisiones a través de simulaciones integradas. Este modelo, desarrollado con el soporte de ChatGPT, estará orientado a la interpretación automática de datos, predicción de fallos y planificación de acciones correctivas.
- **Participación comunitaria y educación hídrica**, impulsando políticas públicas que integren a la población en la toma de decisiones, sensibilización sobre el uso eficiente del recurso y mejora del vínculo institucional-comunitario.
- **Evaluación y optimización del sistema de bombeo**, reduciendo el consumo energético mediante alternativas técnicas y rediseño de los esquemas de operación.

4.2.2 Red de Abastecimiento en Zacoalco de Torres

Los datos técnicos, mediciones y planos han sido obtenidos del documento “Diagnóstico Integral de Planeación de la Cabecera Municipal de Zacoalco de Torres” (Jalisco, 2013, Comisión Estatal del Agua de Jalisco).

- **Población**

La cabecera municipal de Zacoalco de Torres, presenta una población de 20,345 personas, según el informe demográfico del Instituto de Información Estadística y Geográfica. Representa el 66.8% de la población.

4.2.3 Descripción del Sistema

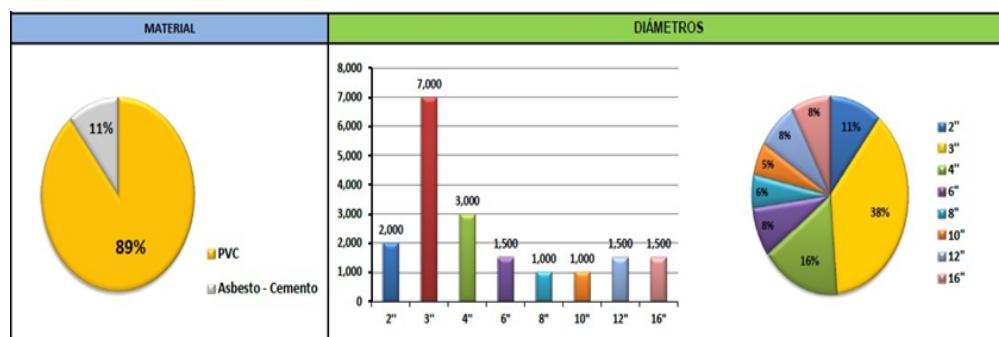
- **Agua Potable**

1. Según el estudio elaborado en 2013 por la Comisión Estatal del Agua de Jalisco (*Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted*, s. f.), más del 97,7% de la población asentada en la localidad de Zacoalco de Torres cuenta con abastecimiento de agua dentro de su vivienda a través del sistema de la red pública. No obstante, esta agua no es apta para el consumo humano.

2. Para el abastecimiento de agua en la cabecera municipal, La DEPTO. DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO cuenta con una batería de 6 pozos localizados dentro del entorno urbano de la localidad de Zacoalco de Torres.
3. Todas las instalaciones de toma, así como las de almacenamiento y regulación del recurso constan de irregularidades significativas y deficiencias tanto estructurales como en los equipos electromecánicos. Incumpliendo la normatividad vigente en cuanto a los requisitos sanitarios que deben de cumplir las instalaciones, para preservar las condiciones físico-químicas del agua potable.
4. Con las analíticas obtenidas, se puede determinar que el agua que se extrae de las captaciones e ingresa en la red, no cumple en la mayoría de los casos con los requisitos sanitarios fijados por la normatividad vigente. El reparto del agua en la red es homogéneo dado que no es una red sectorizada y en consecuencia la existencia de bacterias coliformes en uno de los pozos, condiciona la calidad del recurso en todo el sistema.
5. Para conducir el agua desde las captaciones hasta los tanques y a la red de distribución, La DPTO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO dispone de la siguiente infraestructura, diferenciada por tipo de conducción y material, en función de los metros lineales instalados.

Tabla 5. Metros lineales de tubería instalados en la red de Zacoalco de Torres
(Comisión Estatal del Agua de Jalisco, 2013.)

No	Material	Diámetros								Total (m)
		2"	3"	4"	6"	8"	10"	12"	16"	
1	PVC	2,000	5,000	3,000	1,500	1,000	1,000	1,500	1,500	16,500
2	Asbesto - Cemento	—	2,000	—	—	—	—	—	—	2,000
	Total	2,000	7,000	3,000	1,500	1,000	1,000	1,500	1,500	18,500



Gráfica 9. Material Instalado, por diámetros (Comisión Estatal del Agua de Jalisco, 2013)

6. El volumen total de pérdidas potenciales se ha estimado en un 34,7% del volumen suministrado, De este porcentaje, aproximadamente un 30,6% corresponde a pérdidas por fugas en tomas domiciliarias y en la red de distribución, mientras que el 4,1% restante se atribuye al consumo por parte de usuarios clandestinos, pero este porcentaje podría ser aún mayor.
- **Alcantarillado**
 1. La cobertura de alcantarillado en el municipio alcanza el 96,68 %; sin embargo, no se dispone de datos que permitan diferenciar cuántas viviendas están conectadas a la red pública y cuántas descargan en fosas sépticas, barrancas u otros sistemas no controlados.
 2. La red de saneamiento tiene más de 70 años y sus conducciones presentan graves defectos estructurales.
 3. Los problemas habituales a los que se enfrenta La DPTO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO son los taponamientos ocasionados por la acumulación de azolves y el ingreso de objetos inapropiados en la red.
 4. La DPTO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO no cuenta con un programa de control de descargas que permita prevenir y regular la contaminación generada por vertidos de aguas residuales provenientes de industrias, servicios y comercios conectados a la red de drenaje. Esta situación es especialmente preocupante en el caso del rastro municipal, cuyas descargas se vierten directamente sobre un arroyo cercano a la instalación.
 - **Saneamiento**
 1. Actualmente, la población de Zacoalco de Torres cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, la cual no se encuentra en estado operativo.
 2. Las aguas residuales son conducidas a dos cárcamos de rebombeo, sin que exista un proceso posterior de tratamiento.

4.2.4 Aforo en sondeos y caracterización Físico – Química.

- Pozo 1

Ubicación: Constitución N°135, coordenadas geográficas (20°.13'.30", 103°.34'.21").

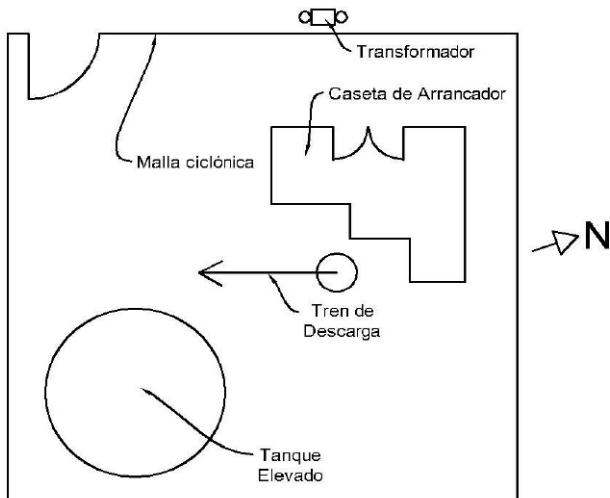


Ilustración 1. Esquema general del Pozo 1 (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s.f.)

Datos de la Obra de Captación		
Profundidad del Pozo:	m.	Diámetro del tren de descarga. :
Diámetro del Ademe :	Pulg.	Altura del Ademe (sobresale)
Diámetro de la Columna :	Pulg.	Long. De Columna
Presión Manométrica	Kg/cm2.	Nivel Dinámico:

6	Pulg.
0	cm.
	m.
	m.

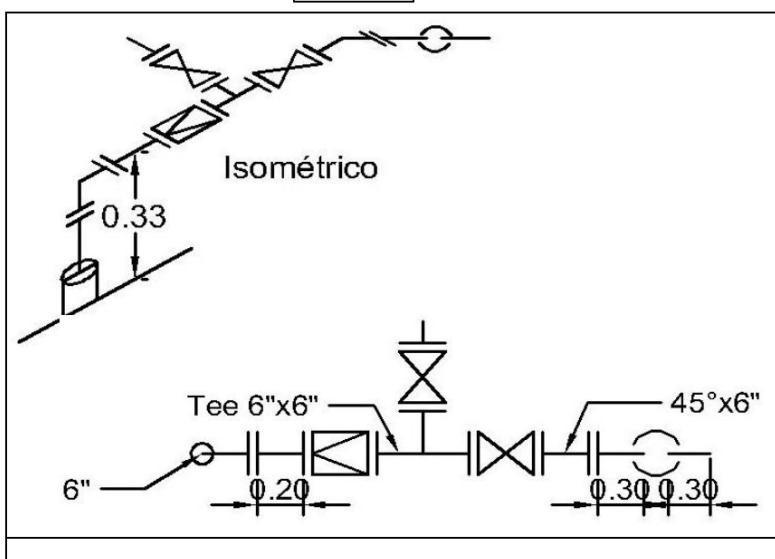


Ilustración 2 Isométrico del sistema de bombeo del Pozo 1 y listado de Piezas especiales (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión redacted, s. f.)

Estado operativo: Este pozo se encuentra en estado de abandono tras el colapso parcial de su estructura, lo que provocó la contaminación de la captación. Originalmente, abastecía a un tanque

elevado metálico con una capacidad aproximada de 200 m³. No se dispone de datos registrados sobre el caudal extraído.

Caracterización físico – química del agua: No se dispone de información.

Recomendaciones Técnicas:

➤ **Obra Civil.**

- Limpieza y desbroce del terreno circundante a la captación.
- Desescombro y limpieza del interior del pozo.
- Instalación de un nuevo sello sanitario, ya que el actual se encuentra en un estado deficiente.
- Instalación de cunetas perimetrales.
- Instalación de silletas.
- Pintar la caseta y la herrería.
- Instalación de losa de cimentación para el tren de descarga.
- Reparación de La barda perimetral.

➤ **Equipo Mecánico.**

- El tren de descarga no cuenta con las dimensiones adecuadas.
- El ademe está por debajo del terreno natural.
- Instalación de un macro medidor.
- Instalación de válvula contra golpe de Ariete.
- Instalación de sistema de inyección de cloro.
- Hace falta repisa de soporte del dosificador de cloro.
- Pintar el tren de descarga con pintura antioxidante.
- Instalación de un manómetro de presión.

➤ **Equipo Eléctrico.**

- Instalación de iluminación tanto interior como exterior.
- Mantenimiento del arrancador.
- Aislar el Cableado del tren de descarga.
- Instalación de banco de capacitadores.
- Instalación de un nuevo interruptor.
- Sustituir el transformador dado que lleva más de 20 años sin operar.

(Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)

Anexo Fotográfico:



Imagen 12. Acceso al pozo 1, cuenta con una malla ciclónica y barda perimetral de mampostería (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s.f.)



Imagen 13. Pozo 1, transformador eléctrico ((Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s.f.))



Imagen 13. Tren de descarga (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s.f.)

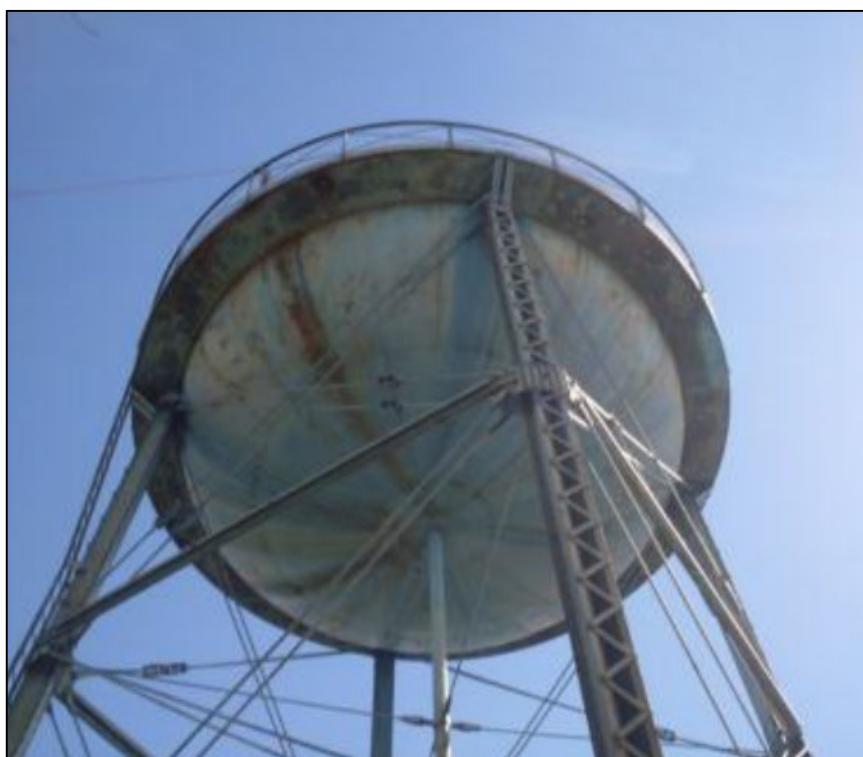


Imagen 14. Tanque Elevado metálico, zona de influencia del Pozo 1 (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s.f.)



Imagen 15. Terreno Pozo 1 (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s.f.)

- Pozo 2

Ubicación: N. Bravo nº165 Barrio Alto, coordenadas geográficas ($20^{\circ}13'38''$, $103^{\circ}33'40''$).

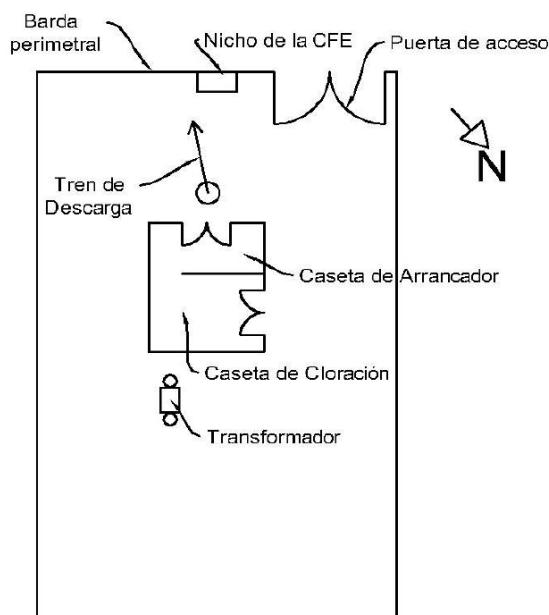


Ilustración 3. Esquema general del Pozo 2 (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s.f.)

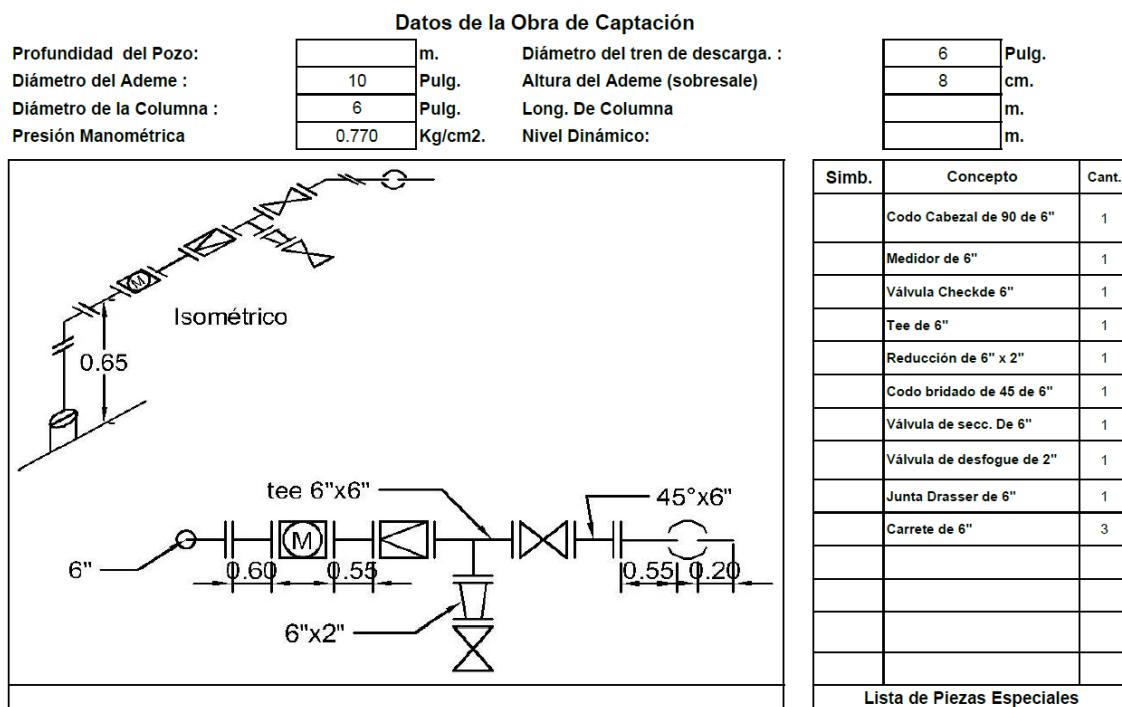


Ilustración 4. Isométrico del sistema de bombeo del Pozo 2 y listado de piezas especiales (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s.f.)

Estado Operativo: Este pozo no se encuentra en estado de explotación. Estaba conectado directamente a la red general del municipio y al tanque elevado de 200 m3. No existen datos de caudal. Si cuenta con caseta de cloración.

Caracterización físico-química del agua: No se dispone de información.

Recomendaciones técnicas:

- Obra Civil.
 - Pintura de la caseta y de los elementos de herrería.
 - Mantenimiento de las puertas de acceso al recinto.
 - Mantenimiento de la caseta del arrancador.
 - Reparación de la losa, dado que presenta fisuración.
 - Limpieza y desbroce del terreno circundante a la captación.
 - Instalación de cunetas perimetrales para mejorar el drenaje.
 - Sustitución del sello sanitario, ya que el actual se encuentra en mal estado y no cumple con los protocolos sanitarios para evitar la contaminación por ingreso de objetos o animales.

➤ **Equipo Mecánico.**

- El tren de descarga no presenta las dimensiones adecuadas para su correcto funcionamiento.
- Instalación de una válvula de contrapresión (antigolpe de ariete).
- Calibración del manómetro.
- El tren de descarga no cuenta con válvula expulsora de aire.
- La longitud del tren de descarga no es compatible con la instalación del macromedidor.
- Aplicación de pintura antioxidante en el tren de descarga.
- Instalación de válvula expulsora de aire en el tren de descarga.

➤ **Equipo Eléctrico.**

- Mantenimiento del transformador, ya que se encuentra en mal estado.
- Aislamiento del cableado expuesto en la caseta del arrancador.
- Instalación de ductería para el cableado del tren de descarga.
- Instalación de un banco de capacitores.
- Instalación de sistemas de iluminación interior y exterior.
- Aislamiento del cableado del dosificador, actualmente expuesto.
- Instalación de un horómetro para registrar el tiempo de operación del equipo de bombeo.

Anexo Fotográfico:



Imagen 16. Caseta de cloración y arrancador (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s.f.)



Imagen 17. Hipoclorador Pozo 2 (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)



Imagen 18. Tren de descarga Pozo 2 (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)

- Pozo 3

Ubicación: Progreso N° 356 Los castillos, coordenadas geográficas ($20^{\circ}13'29''$, $103^{\circ}33'32,5''$).

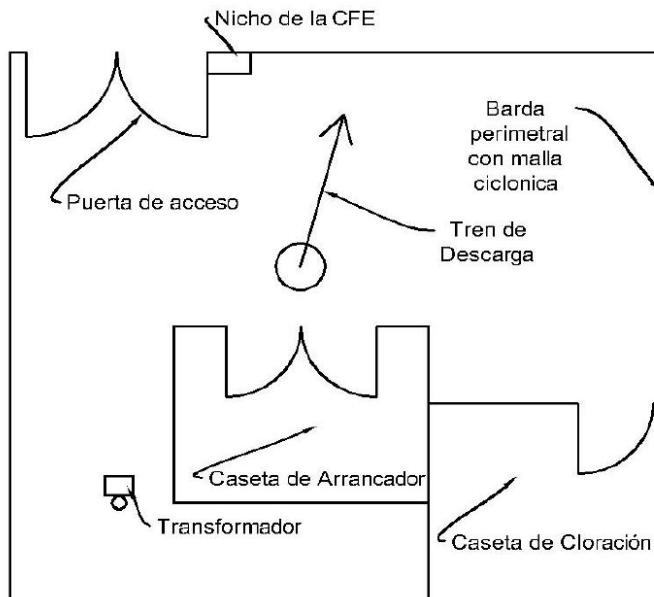


Ilustración 5. Esquema general del Pozo 3 (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s.f.)

Datos de la Obra de Captación

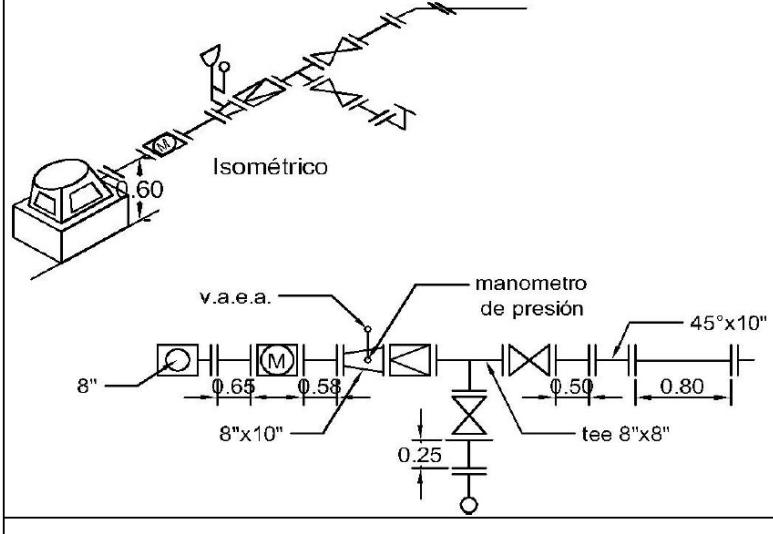
Profundidad del Pozo:

	m.	Diámetro del tren de descarga. :	10	Pulg.
Diámetro del Ademe :	Pulg.	Altura del Ademe (sobresale)	40	cm.
Diámetro de la Columna :	Pulg.	Long. De Columna		m.
Presión Manométrica	Kg/cm2.	Nivel Dinámico:		m.

14	Pulg.
8	Pulg.
1.280	Kg/cm2.

	Long. De Columna
	Kg/cm2.

Isométrico



10	Pulg.
40	cm.
	m.
	m.

Simb.	Concepto	Cant.
	Cabezal de 8"	1
	Medidor 8"	1
	Reducción de 10" x 8"	1
	Tee de 10", de 10" x 3"	2
	Manómetro de presión	1
	Tee de 3	1
	Válvula de secc. De 10"	2
	Válvula de secc. De 3" y 2"	2
	Válvula de esfera de 2"	1
	Carrete de 8" y de 2"	3
	Codo de 45 de 10" y de 2"	2
	Carrete de 6"	3
	Codo de 90 de 6"	3
	V.A.E.A de 1"	1
Lista de Piezas Especiales		

Ilustración 6. Isométrico del sistema de bombeo del Pozo 3 y listado de piezas especiales (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s.f.)

Estado Operativo: Este pozo se encuentra actualmente en explotación y está conectado directamente a la red general del municipio. Se estima un caudal de bombeo constante de 4,2 L/s durante las 24 horas del día. Cuenta con una caseta de cloración. Una vez que la red se encuentra completamente abastecida, el caudal excedente se deriva hacia el depósito metálico elevado.

Caracterización físico-química del agua: Recopilación de resultados más significativos.

➤ **Análisis Físico.**

- Conductividad: 583 mS/cm.
- Ph: 7 Ph.
- Temperatura: 36 °C.

➤ **Análisis Químico.**

- Dureza total: 139,06 mg CaCO₃/L.
- Nitrógeno amoniacal: < 0,50 mg/L (valor cercano al límite establecido por la normativa vigente).
- Sólidos disueltos totales: 365 mg/L. Concentraciones elevadas de sólidos disueltos pueden dificultar la efectividad del proceso de desinfección por cloración.

➤ **Análisis de Metales y Metaloides.**

- Cromo total: < 0.050 mg/L (Parámetro rozando el límite fijado por la normativa vigente).

➤ **Análisis de Microbiología.**

- Bacterias coliformes: 291 UFC/100 mL. Esta concentración es altamente preocupante, especialmente considerando que el pozo está conectado directamente a la red de distribución. En estas condiciones, el proceso de cloración resulta ineficaz, ya que no se dispone del tiempo de contacto necesario para una desinfección adecuada).
- 72 UFC/100 mL. Se trata de una concentración muy elevada, que requiere una intervención prioritaria. Es imprescindible llevar a cabo un saneamiento integral de la red mediante hipercloraciones periódicas. Durante este proceso de mantenimiento general, debe advertirse a la población y prohibirse el consumo de agua en viviendas e industrias. Posteriormente, el agua deberá ser descargada de la red para facilitar la eliminación de posibles biofilms adheridos a las paredes internas de las tuberías. Esta descarga podrá realizarse mediante la apertura de órganos de desagüe o,

preferentemente, mediante la apertura simultánea de las llaves domiciliarias, con el fin de desinfectar también la valvulería y las conducciones internas de las viviendas.

Recomendaciones Técnicas:

➤ **Obra Civil.**

- Limpieza y desbroce del terreno circundante a la captación.
- Mantenimiento de la plantilla, ya que presenta fisuras visibles.
- Pintura general de la caseta de cloración.
- Instalación de un sistema de ventilación cruzada en la caseta de cloración para mejorar la circulación del aire y garantizar condiciones seguras.
- Construcción de cunetas perimetrales para facilitar el drenaje de aguas pluviales y prevenir inundaciones en la zona de captación.
- Aplicación de pintura y labores de mantenimiento en la herrería del pozo.
- Reparación y mantenimiento de las puertas de acceso al recinto.
- Resane de muros en la caseta de cloración para corregir daños estructurales menores.
- Mantenimiento de la plantilla del tren de descarga, debido a la presencia de fisuras.
- Instalación de un depósito elevado con una capacidad mínima que garantice al menos una hora de retención hidráulica, con el objetivo de maximizar la eficiencia del proceso de cloración.

➤ **Equipo Mecánico.**

- El tren de descarga no cuenta con la longitud adecuada para un funcionamiento óptimo.
- Instalación de una válvula expulsora de aire para evitar acumulaciones que puedan afectar el rendimiento hidráulico.
- Calibración del manómetro de presión para asegurar lecturas precisas del sistema.
- Instalación de una válvula de retención contra golpe de ariete, con el fin de proteger la infraestructura ante variaciones bruscas de presión.

➤ **Equipo Eléctrico.**

- Instalación de sistema de iluminación interior y exterior para mejorar las condiciones de operación y seguridad.
- Instalación de un banco de capacitadores para optimizar el rendimiento del arrancador.
- Instalación de un transformador adecuado a las necesidades de la instalación.

- Incorporación de amperímetro y voltímetro en el arrancador para el monitoreo de parámetros eléctricos.
- Instalación de un horómetro en el arrancador con el objetivo de cuantificar el tiempo de operación del equipo de bombeo.

Anexo Fotográfico:



Imagen 19. Casetas de Cloración y Arrancador (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)



Imagen 20. Transformador aéreo Pozo 3 (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)



Imagen 21. Hipoclorador Pozo 3 (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)



Imagen 22. Tren de Descarga Pozo 3 (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)

- Pozo 4

Ubicación: Unidad deportiva el Calvario, coordenadas geográficas (20°.12'.55,07", 103°.34'.35,95").

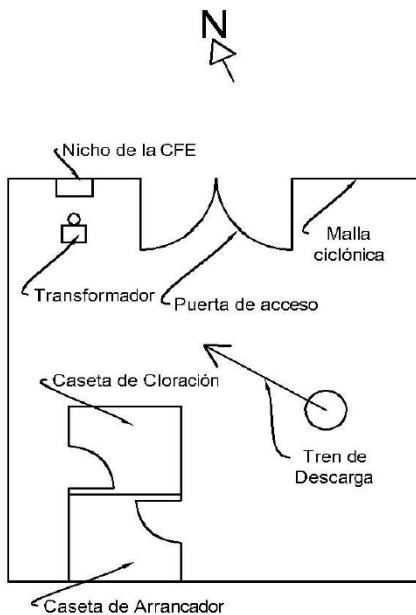


Ilustración 7 Esquema general del Pozo 4 (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s. f.)

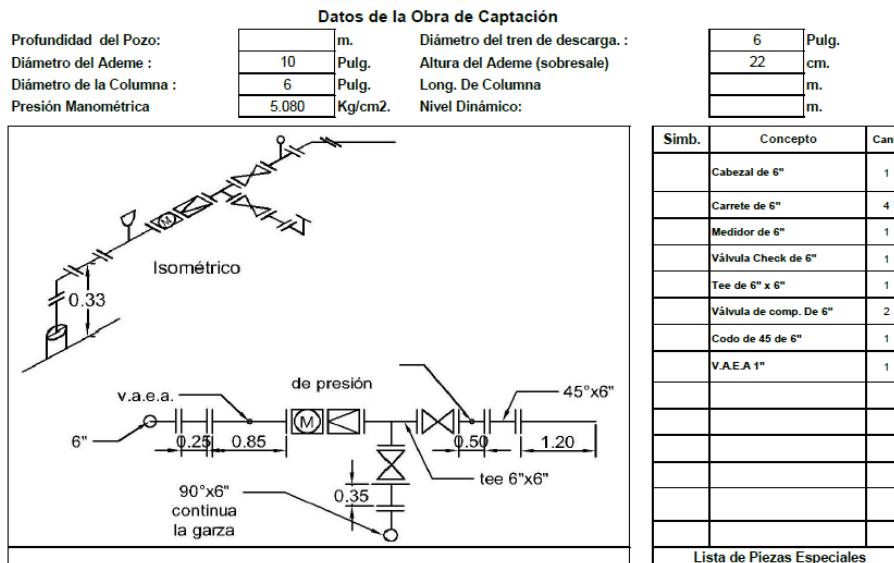


Ilustración 8 Isométrico del sistema de bombeo del Pozo 4 y listado de Piezas Especiales (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión redacted, s. f.)

Estado Operativo: Este pozo se encuentra actualmente en estado de explotación. Está conectado directamente tanto a la red general del municipio como al depósito de La Liebre. Se estima un caudal de bombeo de 3,5 L/s, operando en un intervalo horario comprendido entre las 5:30 y las 23:30. El pozo cuenta con caseta de cloración.

Caracterización físico-química del agua: Recopilación de resultados más significativos.

➤ Análisis Físico.

- Conductividad: 437 mS/cm.
- Ph: 8 Ph.
- Temperatura: 38 °C.

➤ Análisis Químico.

- Dureza total: 216.11 mgCaCO₃/L.
- Nitrógeno Amoniacal: < 0,50 mg/L (Parámetro rozando el límite fijado por la normatividad vigente).
- Solidos Disueltos Totales: 305 mg/L.

➤ Análisis de Metales y Metaloides

- Cromo total: < 0.050 mg/L (Parámetro rozando el límite fijado por la normatividad vigente).

➤ Análisis de Microbiología

- Bacterias Coliformes: 4 UFC/100ml.
- Escherichia coli: 1 UFC/100 ml.

Recomendaciones Técnicas:

➤ Obra Civil.

- El tren de descarga no se encuentra debidamente aterrizado.
- Mantenimiento de la plantilla, la cual presenta fisuras.
- Pintura exterior de la caseta de cloración.
- Pintura exterior de la caseta del arrancador.
- Aplicación de pintura anticorrosiva en la herrería del pozo.
- Resane de los muros de la caseta de cloración.

- Instalación de cunetas perimetrales para la correcta evacuación de aguas pluviales.
- Mantenimiento general de las puertas de acceso.
- Equipo Mecánico.
 - Aterrizaje del tren de descarga.
 - Aplicación de pintura antioxidante en el tren de descarga.
 - Instalación de un nuevo macromedidor, adecuado a la longitud actual del tren de descarga.
 - Calibración del manómetro de presión.
 - Instalación de válvula de retención contra golpe de ariete.
 - Mantenimiento de la plantilla del tren de descarga, la cual presenta fisuras.
 - Mantenimiento del sistema de inyección de cloro.
- Equipo Eléctrico.
 - Instalación de sistema de iluminación interior y exterior.
 - Incorporación de bancos de capacitores para el correcto funcionamiento del arrancador.
 - Instalación de ductería para el sistema eléctrico del sistema de cloración.
 - Incorporación de un horómetro para el registro del tiempo de operación del equipo de bombeo.

Anexo Fotográfico:



Imagen 23. Tren de Descarga Pozo 4 (Fuente de elaboración Propia 2023)



Imagen 24. Pozo 4 Transformador eléctrico y tren de descarga con capacidad para llenar cisternas (Fuente de elaboración Propia 2023)



Imagen 25. Pozo 4, Casetta de cloración y dosificador de cloro (Fuente de elaboración Propia - 2023)



Imagen 26. Pozo 4, Sistema de inyección de Cloro (Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted, s.f.)

- Pozo 5

Ubicación: Avenida Rubén Flores 356 Flores Magón. (20°01'30" y 20°21'05" N)



Imagen 27. Emplazamiento del Pozo 5 (Google Earth Pro 2025)

Estado Operativo: Este pozo se encuentra en estado de explotación. Está conectado directamente a la red general del municipio. Se estima un caudal de bombeo de 3.2 L/S. Si cuenta con caseta de cloración.

Caracterización físico-química del agua: Recopilación de resultados más significativos.

➤ **Análisis Físico.**

- Conductividad: 311 mS/cm.
- Ph: 7 Ph.
- Temperatura: 28 °C.

➤ **Análisis Químico.**

- Dureza total: 141,36 mgCaCO₃/L.
- Nitrógeno Amoniacal: < 0,52 mg/L (Parámetro que supera el límite fijado por la normatividad vigente).
- Solidos Disueltos Totales: 251 mg/L.

➤ **Análisis de Metales y Metaloides**

- Cromo total: < 0.050 mg/L (Parámetro rozando el límite fijado por la normatividad vigente).

➤ **Análisis de Microbiología**

- Bacterias Coliformes: 0 UFC/100ml.
- Escherichia coli: 0 UFC/100 ml.

Recomendaciones técnicas:

- **Obra Civil.** No se dispone de suficiente información.
- **Equipo Mecánico.** No se dispone de suficiente información.
- **Equipo Eléctrico.** No se dispone de suficiente información.

Anexo Fotográfico:



Imagen 28. Pozo 5 tren de descarga (Félix Madrigal Guzmán)



Imagen 29. Pozo 5 tren de descarga (Fuente: Félix Madrigal Guzmán)

- Pozo 6

Ubicación: Km 0 547 Camino de Sayulapan Minitas. coordenadas geográficas (20°13'19.04"N 103°35'3.71"O)



Imagen 30 Emplazamiento del Pozo 6 (Google Earth Pro)

Estado operativo: Este pozo se encuentra en estado de explotación. Abastece a la delegación del Briseño, La Cruz y al barrio de San Miguel. El tiempo de operación es de 24h y cuenta con variador para ajustarse a la demanda. Gasto medio de 7.4 L/S.

Caracterización Físico-Química del agua: No se dispone de información.

Recomendaciones Técnicas:

➤ Obra Civil.

- El tren de descarga no se encuentra debidamente aterrizadado.
- Mantenimiento de la plantilla, la cual presenta fisuras.
- Instalación de cunetas perimetrales para la correcta evacuación de aguas pluviales.
- Mantenimiento general de las puertas de acceso.

➤ Equipo Mecánico.

- Instalación de un nuevo macromedidor, adecuado a la longitud actual del tren de descarga.
- Calibración del manómetro de presión.
- Instalación de válvula de retención contra golpe de ariete.
- Mantenimiento de la plantilla del tren de descarga, la cual presenta fisuras.
- Mantenimiento del sistema de inyección de cloro.

➤ **Equipo Eléctrico.**

- Instalación de sistema de iluminación interior y exterior.
- Incorporación de bancos de capacitores para el correcto funcionamiento del arrancador.
- Instalación de ductería para el sistema eléctrico del sistema de cloración.
- Incorporación de un horómetro para el registro del tiempo de operación del equipo de bombeo.

Anexo Fotográfico



Imagen 31. Tren de Descarga (Fuente: Félix Madrigal Guzmán)

- **Pozo 7**

Ubicación: Sayulapan “Los Charcos” (20°10'40.89"N, 103°38'57.26"O)



Imagen 32. Emplazamiento Pozo 7 Sayulapan (Google Earth Pro)

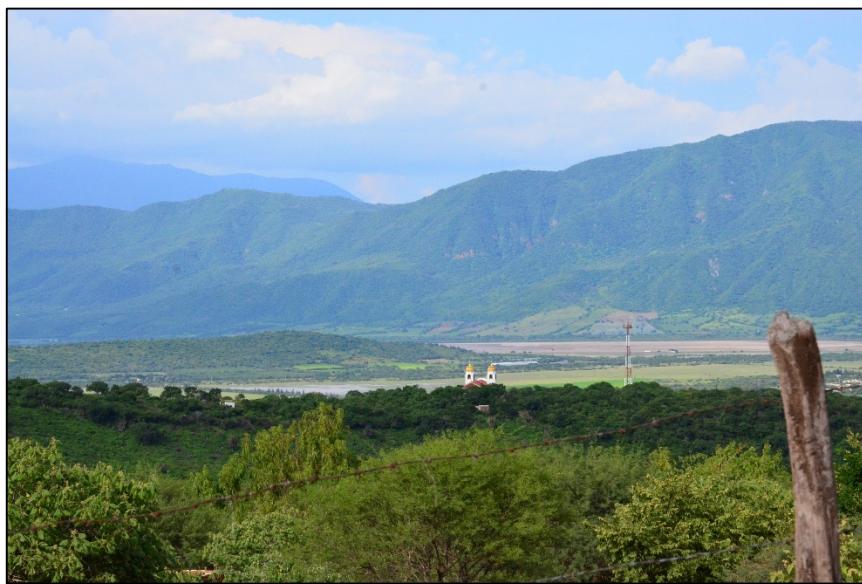


Imagen 33. Pozo 7 Sayulapan, área de Influencia 1 (Fuente: elaboración propia - 2023)



Imagen 34. Pozo 7, área de influencia 2 Sayulapan (Fuente de Elaboración Propia - 2023)

Estado operativo: Este pozo se encuentra en estado de explotación. Abastece principalmente a la población de Sayulapan y a algunas zonas de cultivo local. Cuenta con sistema de dosificación de cloro y tiene un caudal de bombeo estimado de unos 5,2 l/s

Caracterización Físico-Química del agua: No se dispone de información.

Recomendaciones Técnicas:

➤ **Obra Civil.**

- El tren de descarga no se encuentra debidamente aterrizado.
- Mantenimiento de la plantilla, la cual presenta fisuras.
- Pintura exterior de la caseta de cloración.
- Aplicación de pintura anticorrosiva en la herrería del pozo.
- Instalación de cunetas perimetrales para la correcta evacuación de aguas pluviales.
- Desbroce.

➤ **Equipo Mecánico.**

- Aplicación de pintura antioxidante en el tren de descarga.
- Instalación de un nuevo macromedidor, adecuado a la longitud actual del tren de descarga.
- Calibración del manómetro de presión.
- Mantenimiento del sistema de inyección de cloro.

➤ **Equipo Eléctrico.**

- Instalación de sistema de iluminación interior y exterior.
- Incorporación de bancos de capacitores para el correcto funcionamiento del arrancador.
- Instalación de ductería para el sistema eléctrico del sistema de cloración.
- Incorporación de un horómetro para el registro del tiempo de operación del equipo de bombeo.

Anexo Fotográfico:



Imagen 35. Pozo 7, Tren de descarga (Fuente: elaboración propia - 2023)



*Imagen 36. Pozo 7 Tren de descarga, Visita de campo con el equipo del PAP de San Pedro de Valencia ITESO 2023.
(Fuente: elaboración propia)*



Imagen 37. Pozo 7, medido instalado en el tren de descarga (Fuente: elaboración propia 2023)



Imagen 38. Pozo 7, Sistema de dosificación de Cloro (Fuente: elaboración propia - 2023)



Imagen 39. Pozo 7, Sistema de dosificación de Cloro (Fuente: elaboración propia - 2023)



Imagen 40. Pozo 7 Arrancador (Fuente de elaboración propia - 2023)

- Pozo 8

Ubicación: Las Moras. (646065.78 m E y 2229640.16 m N)



Imagen 41. Emplazamiento Pozo 8 "Las moras" (Google Earth Pro)

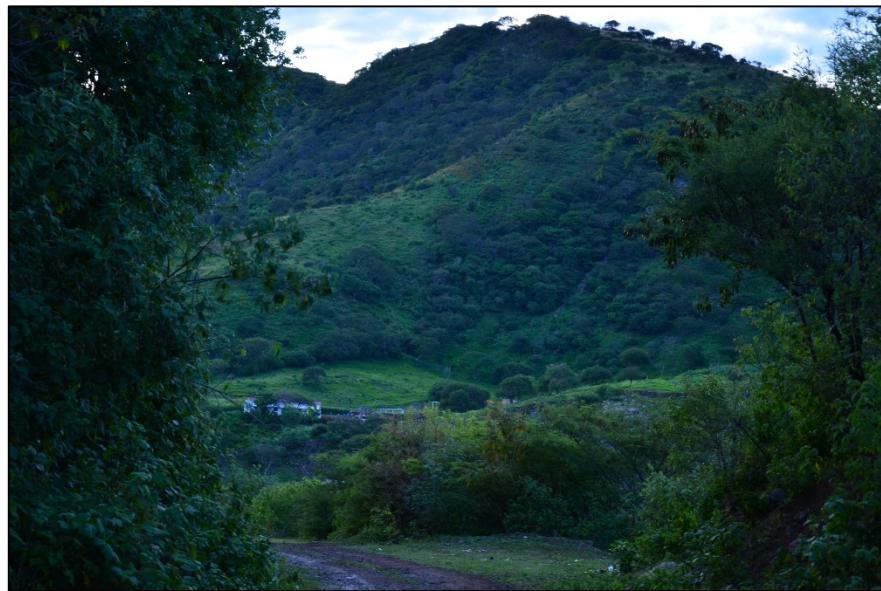


Imagen 42. Área de influencia del Pozo 8 "Las Moras" (Fuente: elaboración propia 2023)

Estado Operativo: Este pozo se encuentra en estado de explotación. Está conectado directamente a la red de las Moras. Si cuenta con caseta de cloración. No se encuentra ubicado dentro de la cabecera municipal de Zacoalco de Torres, se ha incluido dentro del presente estudio debido a su importancia para la población rural de las Moras. Además, su ubicación estratégica lo convierte en una posible fuente de abastecimiento de agua potable para la cabecera municipal, lo cual permitiría reducir la dependencia de los pozos situados en el entorno urbano, incrementar la calidad del recurso hídrico y disminuir el riesgo de enfermedades relacionadas con la presencia de coliformes fecales en el agua de abastecimiento.

Caracterización Físico - Química del agua: No se dispone de dicha información.

Recomendaciones Técnicas:

➤ **Obra Civil.**

- Mantenimiento de la plantilla, la cual presenta fisuras.
- Limpieza y desbroce del área.
- Pintura exterior de la caseta de cloración.
- Pintura exterior de la caseta del arrancador.
- Aplicación de pintura anticorrosiva en la herrería del pozo.
- Instalación de cunetas perimetrales para la correcta evacuación de aguas pluviales.
- Mantenimiento general de las puertas de acceso.

➤ **Equipo Mecánico.**

- Aplicación de pintura antioxidante en el tren de descarga.
- Instalación de un nuevo macromedidor, adecuado a la longitud actual del tren de descarga.
- Calibración del manómetro de presión.
- Mantenimiento del sistema de inyección de cloro.

➤ **Equipo Eléctrico.**

- Instalación de sistema de iluminación interior y exterior.
- Instalación de ductería para el sistema eléctrico del sistema de cloración.
- Incorporación de un horómetro para el registro del tiempo de operación del equipo de bombeo.

Anexo Fotográfico



Imagen 43. Pozo 8, tubería metálica aérea (Fuente: elaboración propia 2023)



Imagen 44. Pozo 8 tubería metálica aérea (Fuente: elaboración propia 2023)



Imagen 45. Pozo 8 "Las Moras", tren de descarga. (Fuente: elaboración propia - 2023)



Imagen 46. Sistema de bombeo que alimenta el sistema de almacenamiento de la bomba principal cuando este se llena, el tren de descarga empieza a funcionar (Fuente: elaboración propia - 2023)



Imagen 47. Depósito de almacenamiento bajo el tren de descarga del Pozo 8 (Fuente: elaboración propia 2023)



Imagen 48. Pozo 8, Caseta con arrancador y sistema de cloración (Fuente : elaboración propia - 2023)

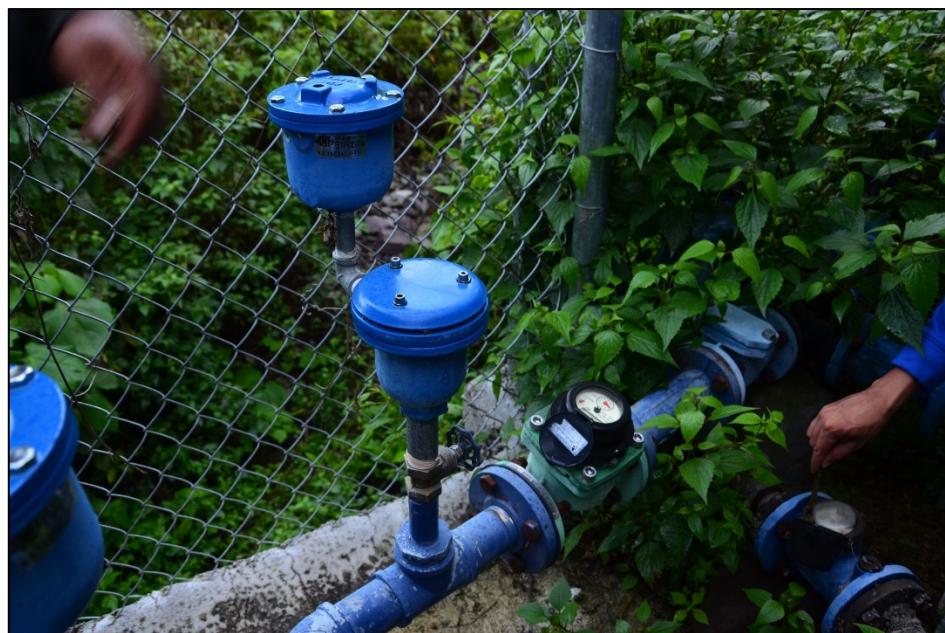


Imagen 49. Pozo 8, valvulería y sistema de medición del tren de descarga (Fuente: elaboración propia - 2023)

4.2.5 Sistemas de regulación y almacenamiento

➤ Tanque de la Libre

Ubicación: Camino de la Antena, Barrio Alto (650028.31 m E, 2235562.87 m N)



Imagen 50. Emplazamiento del Tanque de la Liebre (Google Earth Pro 2025)



Imagen 51. Depósito de la Liebre, área e influencia 1 (Fuente: elaboración propia)



Imagen 52. Depósito de la Liebre, área de influencia 2 (Fuente: elaboración propia - 2023)

Estado de Operación: Este depósito se encuentra en estado operativo. Tiene una capacidad de regulación de 1000 m³.

- Tubería de Entrada. Este depósito se abastece del Pozo N°4.
- Tubería de Salida.
- La conducción de 8 pulgadas tiene como zona de influencia las siguientes colonias: Colonia Doradas, Colonia Paraíso y Colonia Cebollas.
- La conducción de 14 pulgadas tiene como zona de influencia: Barrio Alto, Cruz verde, Nicolás Bravo.

Caracterización físico-química del agua: No existen analíticas. Tampoco existe sistema de dosificación de cloro.

Recomendaciones técnicas:

- Mantenimiento del interior del tanque, ya que presenta cuarteaduras.
- Aplicación de pintura antioxidante en las tuberías.
- Pintura y mantenimiento de las válvulas, debido a la presencia de oxidación en los vástagos.
- Instalación de un sistema de filtración en la entrada del depósito, dado que actualmente no cuenta con desarenador.

- Limpieza y desbroce del terreno circundante.
- Instalación de un sistema de cloración.

PLANOS DE DETALLE:

Alzado y planta del depósito de La Liebre.

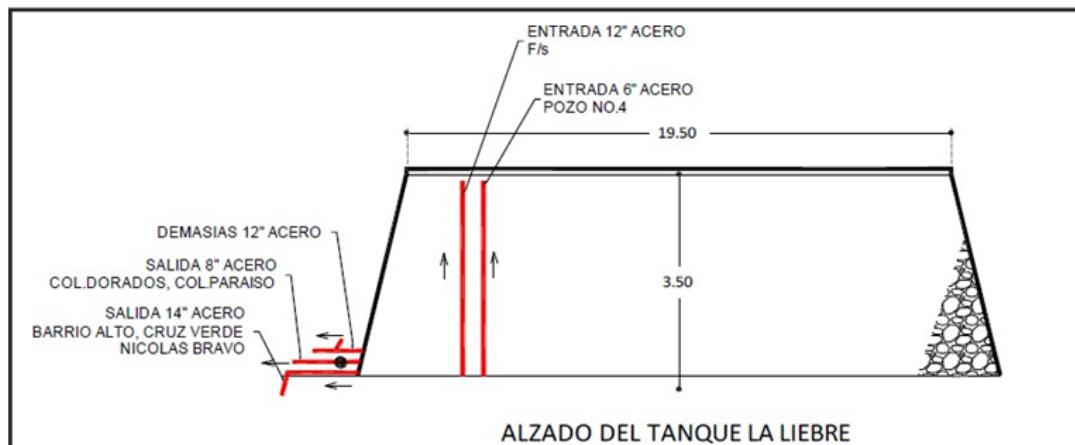


Imagen 53. Plano de alzado del Tanque de la Liebre (Comisión Estatal del Agua de Jalisco, 2013)

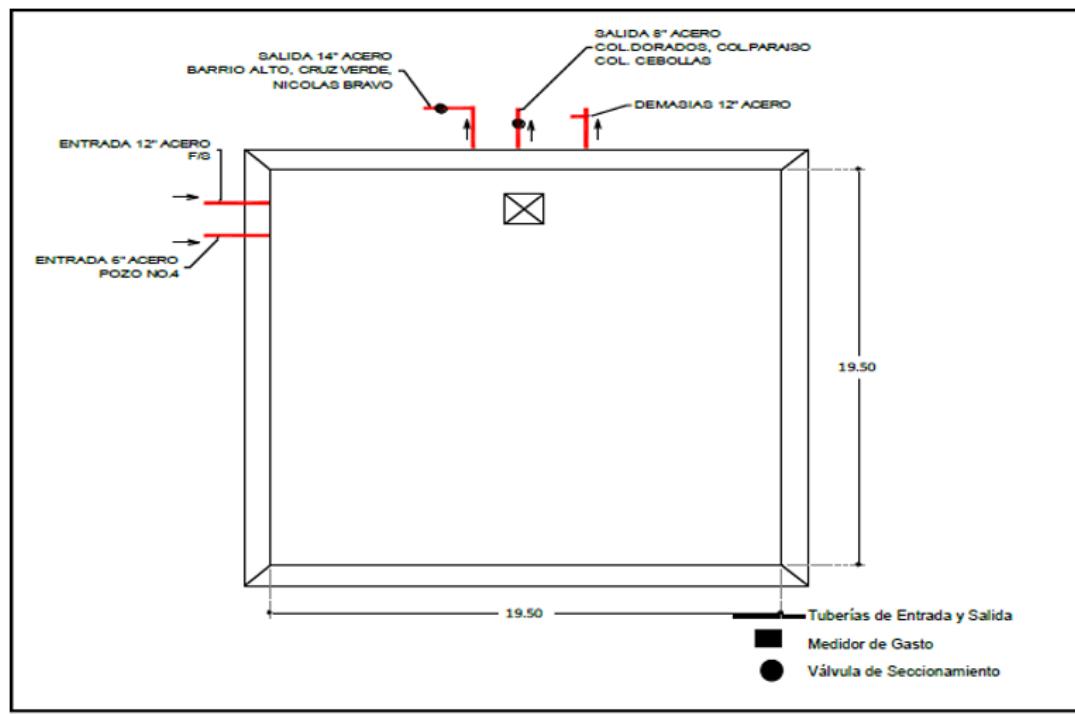


Imagen 54. Plano en planta del tanque de la liebre (Comisión Estatal del Agua de Jalisco, 2013)

Anexo Fotográfico:



Imagen 55. Tanque de la Liebre, solera sin pendiente adecuada para evacuar el agua. (Fuente: elaboración Propia - 2023)

En esta primera imagen podemos observar que la solera del depósito de La liebre no cuenta con la pendiente suficiente como para evacuar el agua.



Imagen 56. Tanque de la Liebre, necesidad de desbroce del área perimetral. (Fuente: elaboración Propia - 2023)

En esta segunda imagen podemos observar la necesidad de desbroce y limpieza general en el entorno del depósito.



*Imagen 57. Tanque de la Liebre, Sistema de aireación sin protección frente a la entrada de posibles animales
(Fuente: elaboración propia - 2023)*

En esta imagen se puede observar la ausencia de medidas suficientes para evitar la entrada de animales en el depósito.



Imagen 58. Tanque de la Liebre, Conducción oxidada y escalera de entrada en mal estado. (Fuente: elaboración propia - 2023)

En esta imagen se observa el deterioro general del depósito, el mal estado de la escalera de acceso puede provocar que los operarios sufran algún incidente durante los procesos de mantenimiento.



Imagen 59. Tanque de la Liebre, conducción de entrada y degradación del hormigón del cerramiento (Fuente: elaboración Propia - 2023)

En esta imagen se puede observar el estado de deterioro de la cubierta del depósito. La degradación del hormigón y la corrosión del acero se han acelerado debido a la elevada temperatura del agua que entra al depósito.



Imagen 60. Tanque de la Liebre, valvulería de salida hacia zona de influencia completamente oxidada (Fuente: elaboración propia - 2023)

En esta imagen se puede ver el deterioro y la falta de mantenimiento del sistema de valvulería así como la presencia de conducciones de fibrocemento.



Imagen 61. Tanque de la Liebre, mantenimiento de la cubierta del tanque (Fuente: Félix Madrigal Guzmán - 2025)

➤ Depósito Elevado Metálico

Ubicación: Constitución N° 135 Colonia Barrio Alto (649236.46 m E, 2236782.75 m N)



Imagen 62. Emplazamiento del depósito elevado metálico (Google Earth Pro 2025)

Estado Operativo: Este depósito no se encuentra en estado operativo según nos informa el

departamento de aguas de Zacoalco. Tiene una capacidad de regulación de 200 m³. Funciona por excedencias, tarda en llenarse 2 horas y en vaciarse 1 hora o menos.

- Tubería de Entrada: las aportaciones a ese tanque son de los pozos N°2, N°3, N°5 y N°6.
- Tubería de Salida: conducción de 6 pulgadas que tiene como zona de influencia la cabecera Municipal de Zacoalco de Torres.

Caracterización físico-química del agua: No existen analíticas. Tampoco existe sistema de dosificación de cloro.

Recomendaciones técnicas:

- Obra Civil.
 - Pintar las áreas que presentan oxidación.
 - Vaciado y Limpieza del depósito.
 - Realizar el mantenimiento de la caja de válvulas, ya que se encuentra azolvada.
 - Instalar un equipo de filtración.
 - Instalar un sistema de dosificación de cloro.
 - Poner en marcha el depósito como sistema de apoyo para la regulación de la red.

PLANOS DE DETALLE:

Alzado y planta del depósito

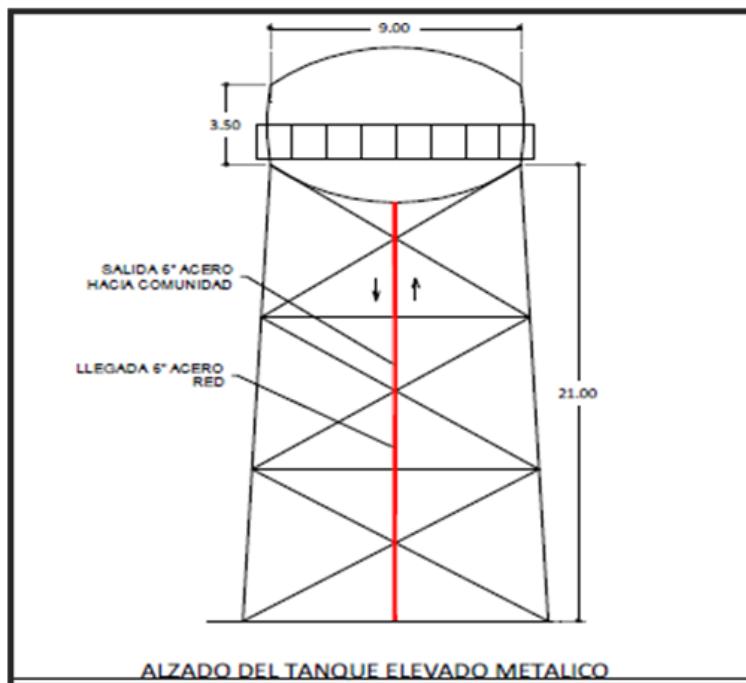


Imagen 63 Plano de Alzado del Depósito elevado metálico (Comisión Estatal del Agua de Jalisco, 2013)

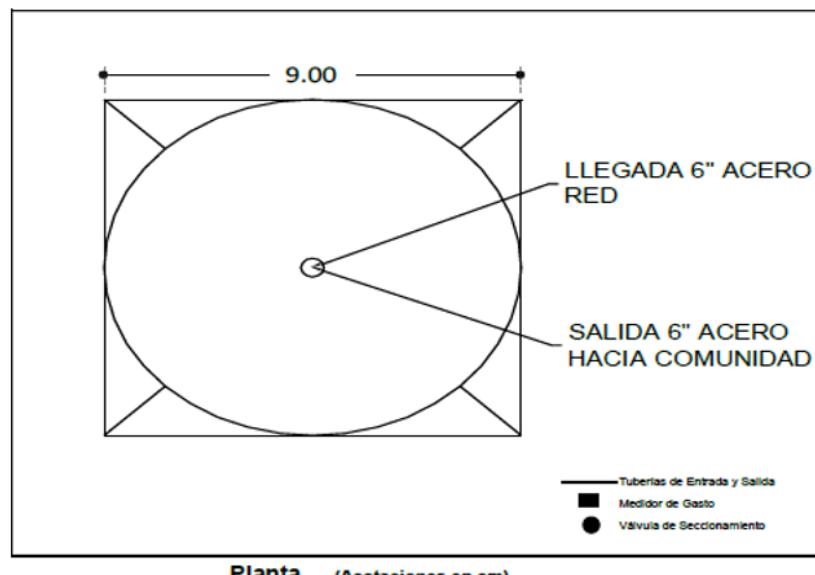


Imagen 64. Plano de Planta (Comisión Estatal del Agua de Jalisco, 2013)

Anexo Fotográfico:



Imagen 65. Depósito Elevado Metálico (Fuente: elaboración propia 2023)

4.2.6 Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Ubicación: Zacoalco de Torres (-103.57656419, 20.23406441)



Estado Operativo: Actualmente, la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Zacoalco de Torres, no se encuentra en estado operativo. Aunque recibe el afluente procedente de los dos cárcamos de rebombeo, no realiza ningún proceso de depuración.

La PTAR, equivalente a una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) en España. Fue diseñada para tratar un caudal de aproximadamente 22 litros por segundo. Sin embargo, dicha capacidad resulta insuficiente, dado que la población actual de la cabecera municipal de Zacoalco de Torres asciende a 18.172 habitantes. Se estima que la capacidad de tratamiento necesaria debería situarse entre 35 y 40 litros por segundo. A día de hoy, la planta presenta un avance del 50 % en su construcción.

El estado de abandono de la PTAR, está provocado un ecocidio ambiental, el efluente no tratado y devuelto al río está ejerciendo una profunda presión ambiental sobre el ecosistema de la laguna seca, tal y como se puede observar en ***Imagen 68 PTAR Zacoalco de Torres, contaminación severa del efluente y en consecuencia de la laguna seca (Fuente de elaboración Propia - 2023)***.

Gran parte del agua bombeada hacia la PTAR desborda de la misma y se infiltra en el terreno, lo que es probable que esté provocando una severa contaminación de las unidades hidrogeológicas y masas de agua subterránea, lo que podría dar explicación a la presencia de coliformes fecales en la red de abastecimiento de agua potable ***Imagen 66 PTAR Zacoalco de Torres, conducciones en estado inoperativo, lo que genera socavación y contaminación de aguas subterráneas (Fuente de Elaboración Propia - 2023)***.

Los análisis de laboratorio del afluente sugieren que la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO₅) podría situarse en torno a los 425 mg/L, valor que supera ampliamente el límite de 30 mg/L establecido por la normativa mexicana vigente. NOM-001-SEMARNAT-1996 (***NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS***, s. f.).

Tabla 6. Datos generales de diseño de la PTAR (Oficio UTI 96/2018)

Capacidad de la planta	22 L/s
Carga DBO de diseño (DBO5)	425 mg/L (máximo permitido: 500 mg/L)
Población abastecida	19,500 personas
Laboratorio encargado	Empresa “Nacional Química Industrial”
Resultado DBO5 analizada	425.38 mg/L
Norma utilizada para el análisis	NMX-AA-028-SCFI-2001
Número de muestra de laboratorio	No. 5010-17
Norma a cumplir	I.S. 020
Sistema de tratamiento	Módulos prefabricados de hormigón reforzado y acero, sembrado con lodos en digestión activa que favorecen el desarrollo de organismos anaerobios

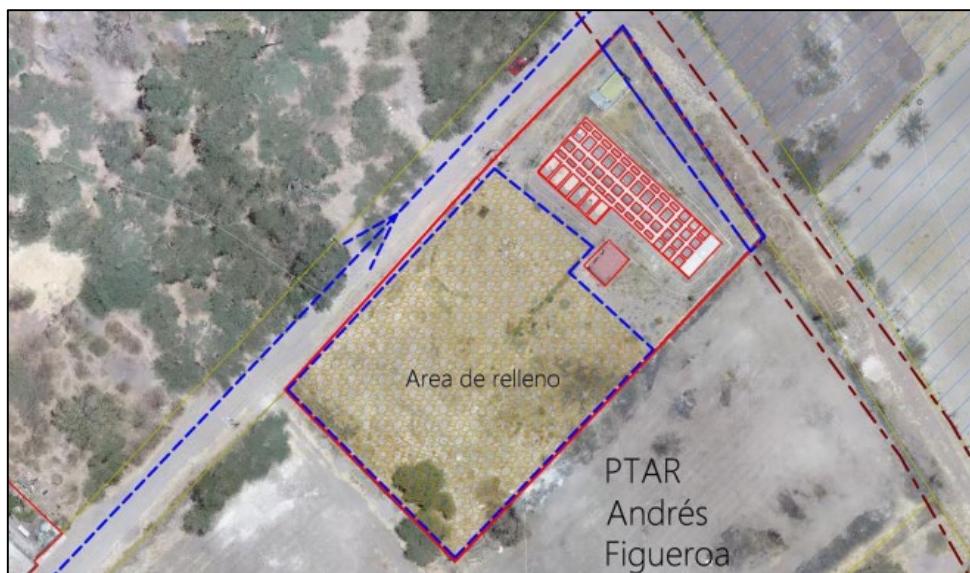


Imagen 66. Área inundable asociada a la PTAR (Geomatyka Julio-2023)

PLANO DE LA PTAR:

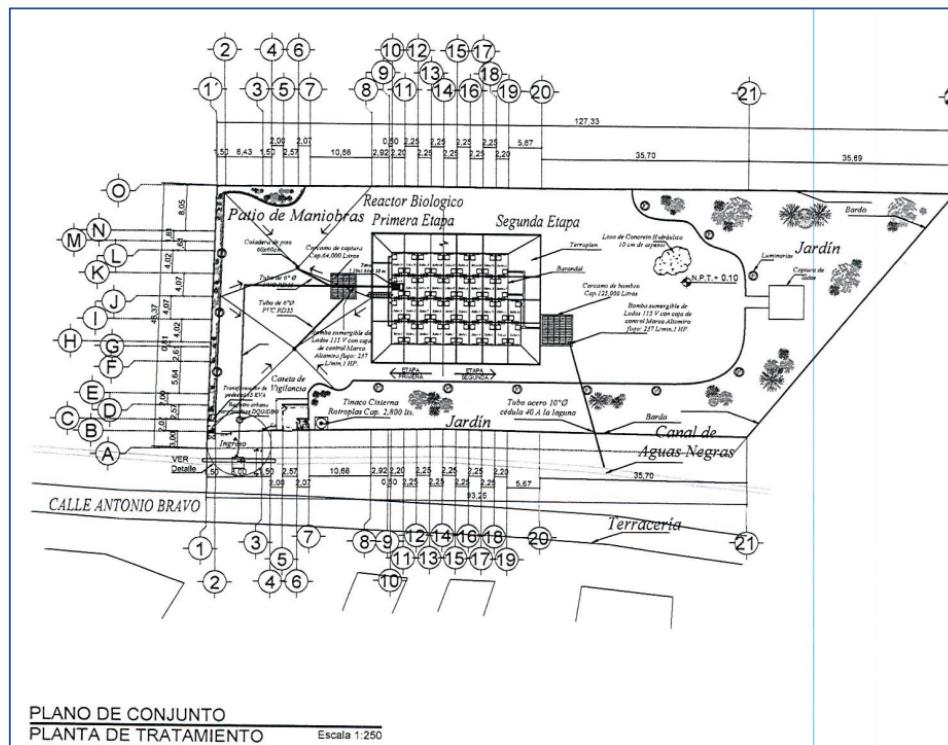


Imagen 67. Plano de conjunto de la PTAR de Andrés Figueroa.

Anexo Fotográfico:



Imagen 68. PTAR Zacoalco de Torres, caseta de seguridad y transformador eléctrico (Fuente: elaboración propia - 2023)



Imagen 69. PTAR Zacoalco de Torres, área inundada con agua residual debido a deficiencias importantes en la PTAR (Fuente: elaboración propia - 2023)



Imagen 70. PTAR Zacoalco de Torres, sistema de desbaste colmatado y en estado inoperativo (Fuente: elaboración propia - 2023)



Imagen 71. PTAR Zacoalco de Torres, conducciones en estado inoperativo, lo que genera socavación y contaminación de aguas subterráneas (Fuente: elaboración propia - 2023)



Imagen 72. PTAR Zacoalco de Torres, valvulería en estado inoperativo (Fuente: elaboración propia - 2023)

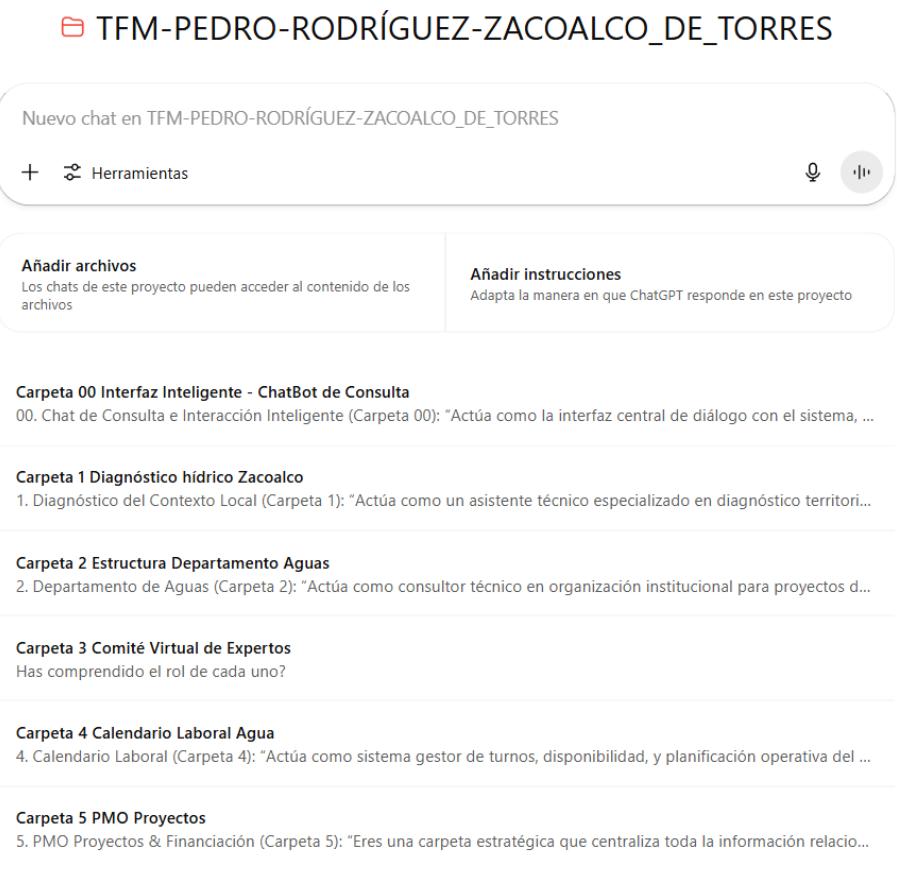


Imagen 73. PTAR Zacoalco de Torres, contaminación severa del efluente y en consecuencia de la laguna seca
(Fuente: elaboración Propia - 2023)

4.3 Implementación de la metodología en la red de abastecimiento

Para la implementación de la metodología propuesta en el caso práctico de Zacoalco de Torres, se procedió, en primer lugar, a la recopilación de toda la información disponible en el departamento de aguas. Esta incluía fichas técnicas del personal, documentación relativa a la calidad del recurso hídrico, informes técnicos sobre el estado de la red existente, así como información relacionada con los proyectos en curso.

Una vez recopilada la información, se generó un proyecto en ChatGPT que dio origen a la estructura organizativa principal del modelo generativo asistido por inteligencia artificial (AQUALCO). Se crearon diez carpetas principales (**Imagen 75**) Estructura de Carpetas Interrelacionadas (ChatGPT, s. f.), y, para cada una de ellas, se definió una instrucción específica mediante ingeniería de prompt, con el fin de delimitar su función específica dentro del modelo. A continuación, se alimentó al modelo con toda la documentación recopilada, construyendo así una base de datos extensa que le permite dar respuestas coherentes y contextualizadas. Véase el **Anejo III: AQUALCO-XXX-ANJ-003-ANEJO N°3 – MODELO_GENERATIVO_IA**.



Carpeta 00 Interfaz Inteligente - ChatBot de Consulta
 00. Chat de Consulta e Interacción Inteligente (Carpeta 00): "Actúa como la interfaz central de diálogo con el sistema, ..."

Carpeta 1 Diagnóstico hídrico Zacoalco
 1. Diagnóstico del Contexto Local (Carpeta 1): "Actúa como un asistente técnico especializado en diagnóstico territori..."

Carpeta 2 Estructura Departamento Aguas
 2. Departamento de Aguas (Carpeta 2): "Actúa como consultor técnico en organización institucional para proyectos d..."

Carpeta 3 Comité Virtual de Expertos
 Has comprendido el rol de cada uno?

Carpeta 4 Calendario Laboral Agua
 4. Calendario Laboral (Carpeta 4): "Actúa como sistema gestor de turnos, disponibilidad, y planificación operativa del ..."

Carpeta 5 PMO Proyectos
 5. PMO Proyectos & Financiación (Carpeta 5): "Eres una carpeta estratégica que centraliza toda la información relacio..."

Imagen 74 Estructura de Carpetas Interrelacionadas (ChatGPT, s. f.)

Carpeta 8 Análisis económico y Cash Flow

8. Análisis económico y Cash Flow (Carpeta 8): "Eres el centro financiero y económico del sistema. Contienes el registr...

Carpeta 6 Gestión operativa mantenimiento GMAO

6. Gestión Operativa del Mantenimiento (Carpeta 6): "Eres el núcleo técnico-operativo del sistema de agua potable y ...

Carpeta 7 Calidad Agua

7. Control de Calidad del Agua (Carpeta 7): "Eres la carpeta dedicada al control de calidad del agua de consumo hum...

Carpeta 9 Compliance Penal

9. Compliance Penal (Carpeta 9): "Eres la carpeta encargada de custodiar y ordenar toda la documentación institucion...

Carpeta 10 Reporting Visualización

10. Reporting y Visualización (Carpeta 10): "Eres la carpeta encargada de transformar datos técnicos, financieros y ope...

Imagen 75. Estructura de carpetas interrelacionadas (ChatGPT, s.f.)

Respecto al tipo de intervención a implementar en Zacoalco de Torres, se diseñaron dos formularios: uno de carácter técnico y otro de carácter social. Estos cuestionarios, gestionados a través del portal de transparencia del Ayuntamiento de Zacoalco de Torres, permitieron conocer en profundidad el contexto de aplicación del proyecto, concluyendo que la estructura de intervención debía ser de tipo mixto, es decir, una combinación del modelo participativo y del institucional.

Definido el contexto, se inició el trabajo con el municipio para el desarrollo de un Modelo de Gestión Operativa del Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO), implementado mediante la plataforma Fracttal-One en su versión gratuita. Utilizando la información recogida en el capítulo “Red de Abastecimiento en Zacoalco de Torres”, se cargaron en el GMAO los activos de la red, asociándolos a su ubicación y a sus respectivas necesidades de mantenimiento. Asimismo, con el apoyo del modelo generativo, se exportó en Excel una tabla con la ficha del personal del departamento, la cual fue importada al sistema. Véase el **ANEJO I: GMAO-XXX-ANJ-001-ANEJO N°1 – PLAN_DE_MANTENIMIENTO-FRACTTAL-ONE**.

Tras cargar al modelo toda la información relativa a las necesidades de mantenimiento, se exportó un reporte desde Fracttal-One en formato Excel, el cual fue integrado nuevamente en la base de datos del modelo generativo (Aqualco). Dado que el modelo ya había analizado tanto la estructura organizativa como las necesidades operativas del municipio, pudo desarrollar un plan integral de mantenimiento. Este plan fue implementado en la plataforma Fracttal-One, garantizando el mantenimiento correctivo y preventivo de los activos registrados, así como su planificación estratégica a largo plazo.

En lo referente al modelo BIM, su desarrollo no fue completo. Solo se procesó un modelo LIDAR del área de intervención, junto con la planimetría y altimetría de Zacoalco de Torres. Tras su análisis conjunto con el municipio, se concluyó que, debido a la falta de recursos económicos y personal técnico especializado, no era viable mantener y actualizar un modelo BIM de forma autónoma por parte del Departamento de Aguas. Por tanto, su desarrollo integral fue descartado en esta fase. No obstante, se ha planteado como una línea futura de investigación y desarrollo. Véase el [Anejo II: BIM-XXX-ANJ-002-ANEJO N^a2 – BUILDING_INFORMATION_MODELING](#).

Una vez establecidos ambos modelos, se validaron mediante la ejecución de varios casos prácticos que resultaron exitosos. Se comprobó que los modelos eran capaces de interactuar entre sí: el modelo generativo podía leer e interpretar los reportes en Excel generados por el GMAO, y a su vez, el GMAO se nutría de los planes de mantenimiento diseñados por (Aqualco). Este flujo de trabajo bidireccional demostró la robustez de la metodología, así como su capacidad de escalabilidad y replicabilidad en otros entornos complejos.

5. Resultados y Análisis

- [Resultado 1: Véase el Anejo I: GMAO-XXX-ANJ-001-ANEJO N^a1 – PLAN_DE_MANTENIMIENTO-FRACTTAL-ONE.](#)
- [Resultado 2: Véase el Anejo II: BIM-XXX-ANJ-002-ANEJO N^a2 – BUILDING_INFORMATION_MODELING.](#)
- [Resultado 3: Véase el Anejo III: AQUALCO-XXX-ANJ-003-ANEJO N^a3 – MODELO_GENERATIVO_IA.](#)

5.1 Validación de la metodología propuesta

La implementación de casos prácticos funcionales ha permitido demostrar la adaptabilidad, el razonamiento, la capacidad de respuesta y el análisis contextual de **Aqualco**, dando como resultado un modelo complejo que aprende de cada prompt y que permite relacionar ideas dispersas o información contenida en diferentes módulos o carpetas. Véase el [Anejo III: AQUALCO-XXX-ANJ-003-ANEJO N^a3 – MODELO_GENERATIVO_IA](#).

Uno de los principales logros de la metodología propuesta radica en su elevada adaptabilidad y capacidad de replicación. En efecto, puede ser aplicada en prácticamente cualquier contexto, siendo únicamente necesario replicar la estructura de prompt establecida en el presente TFM y desarrollar el proyecto en alguna de las plataformas actuales de inteligencia artificial.

Asimismo, la complejidad y el grado de desarrollo de la estructura de carpetas dependerán directamente del entorno de aplicación. En este sentido, se recomienda iniciar por la Carpeta 1,

donde se encuentran definidos el cuestionario técnico y el cuestionario social. Ambos instrumentos resultan fundamentales para identificar, por un lado, el tipo de intervención más adecuado, y por otro, el entramado social específico en el que se pretende actuar.

A partir de este diagnóstico preliminar, será posible establecer el nivel de apertura con el que se puede implantar la estructura modular. De este modo, se garantiza que la tecnología desarrollada pueda ser transferida a la propia comunidad, permitiéndole continuar su desarrollo de forma autónoma, progresiva y sin necesidad de intervención externa. Esta característica confiere a la metodología un elevado valor añadido en contextos de cooperación al desarrollo y gestión hídrica descentralizada.

En conclusión, la metodología desarrollada se posiciona como una propuesta pionera y única dentro de su campo de aplicación, aportando una herramienta innovadora para la gestión hídrica en contextos complejos y de cooperación al desarrollo.

5.2 Comparativa con soluciones tradicionales.

- En relación con el desarrollo del modelo de Gestión Operativa Asistida por Ordenador (GMAO), si bien se han identificado algunos proyectos en curso en el ámbito de la gestión de redes en contextos urbanos altamente desarrollados, generalmente gestionados por compañías especializadas en servicios hídricos, no se han encontrado casos o experiencias similares aplicadas a proyectos en contextos complejos o de cooperación al desarrollo.
- En relación con la metodología propuesta y desarrollada para el modelo generativo asistido por inteligencia artificial, implementado a través de ChatGPT (AQUALCO), no se ha identificado ningún caso de aplicación ni estudio similar en otros contextos. Por tanto, puede afirmarse que esta metodología pionera es única, ya que no se tiene constancia de experiencias previas ni de líneas de investigación actuales que repliquen este modelo metodológico específico.

5.3 Potencial de la metodología para su aplicación a otros Proyectos.

La metodología digital desarrollada en el presente Trabajo Fin de Máster presenta una alta capacidad de adaptabilidad y replicabilidad en diversos contextos territoriales, institucionales y técnicos, especialmente en aquellos considerados complejos o propios de la cooperación al desarrollo. Su diseño modular, estructurado en diez carpetas interactivas e interrelacionadas y asistido por un modelo generativo gestionado mediante inteligencia artificial (denominado AQUALCO) permite su replicación, ampliación o adaptación en función de las necesidades específicas de cada comunidad, municipio o entidad receptora.

El enfoque integral de la metodología propuesta, que abarca desde el diagnóstico técnico y social hasta la incorporación de un sistema GMAO dentro del entorno virtual de AQUALCO, resulta particularmente útil para municipios con recursos limitados, zonas rurales o núcleos urbanos intermedios que requieren soluciones sostenibles y participativas en materia de gestión hídrica. La posibilidad de automatizar la toma de decisiones, establecer criterios de priorización y digitalizar procesos de mantenimiento facilita de forma significativa el desarrollo de proyectos incluso en contextos de alta incertidumbre o con escasa capacidad institucional, constituyéndose como una guía técnica de apoyo a la toma de decisiones complejas.

Además, el sistema no se limita únicamente a proyectos de abastecimiento de agua potable, sino que puede aplicarse a sistemas de saneamiento, drenaje pluvial, gestión de residuos sólidos o mantenimiento de infraestructura comunitaria. Esta versatilidad convierte a la metodología en una herramienta estratégica para organismos públicos, ONG, consultoras, universidades o entidades de cooperación internacional.

Su implementación en Zacoalco de Torres constituirá un nuevo marco de actuación para los proyectos de cooperación al desarrollo, sentando las bases de un modelo de intervención mixto en el cual la toma de decisiones no recaerá exclusivamente en los organismos institucionales o de gestión. Ya que las comunidades contarán con una herramienta que les permitirá conocer sus derechos y obligaciones en materia de gestión hídrica, además de disponer de un sistema de asesoramiento técnico independiente, no condicionado por intereses políticos ni vinculado a organismos de poder institucionalizado. En consecuencia, podrán participar en la toma de decisiones de forma libre, asesorada e independiente.

5.4 Conclusiones y Futuras líneas de Investigación.

Este Trabajo Fin de Máster no solo representa una propuesta técnica y metodológica para transformar la forma en que las comunidades rurales gestionan sus sistemas de abastecimiento y saneamiento. Es también un homenaje a quienes, como mi abuelo, José Malagón y su generación, supieron intuir (sin títulos académicos notables ni tecnologías avanzadas) que la solución a los problemas comunes comienza en la organización comunitaria y en la acción colectiva.

Hoy, con herramientas digitales, inteligencia artificial y metodologías colaborativas, tenemos la oportunidad y sobre todo **la obligación** de continuar ese legado en busca de la sostenibilidad. Se debe de alcanzar un compromiso claro: contribuir a que ninguna comunidad, por pequeña o lejana que sea, quede excluida del derecho al agua potable, al saneamiento digno y a la participación activa en el diseño de su propio futuro.

En el fondo, este TFM comenzó hace más de 40 años, cuando alguien se atrevió a imaginar que el agua podía llegar a todos, incluso a aquella pequeña comunidad rural de El Contadero.

➤ Conclusiones

Se determinar que el GMAO desarrollado en Fractal-One, en su versión gratuita, pese a sus limitaciones, puede representar una herramienta útil como fase inicial para la implementación de modelos de Gestión del Mantenimiento Asistida por Ordenador (GMAO), especialmente en municipios o comunidades que aún no cuentan con una metodología estructurada en este ámbito.

Esta solución permite iniciar la digitalización de los sistemas de mantenimiento de forma accesible, y facilita una transición progresiva hacia herramientas más avanzadas, partiendo de una experiencia práctica y con una base de datos ya estructurada y registrada. De este modo, se genera una cultura organizacional orientada a la trazabilidad, el control técnico y la mejora continua del mantenimiento de infraestructuras esenciales.

Los reportes en formato Excel pueden integrarse con el modelo generativo asistido por inteligencia artificial, ya que su estructura de datos es compatible con los procesos de análisis y aprendizaje automático. Por el contrario, los reportes en formato PDF no pueden cargarse al modelo, dado que se generan como imágenes embebidas o documentos no estructurados, lo cual impide, por el momento, su lectura y procesamiento automatizado por parte del sistema.

En relación con el modelo generativo desarrollado en ChatGPT (AQUALCO), al contener toda la información estructurada y las bases de datos del Departamento de Agua Potable, ha sido capaz de generar una serie de planes de mantenimiento coherentes, contextualizados y técnicamente viables, adaptados al entorno real de aplicación. Como resultado, se puede concluir que esta fase

de integración e interrelación entre el sistema GMAO y el modelo generativo asistido por inteligencia artificial ha sido un éxito, demostrando su potencial como herramienta de apoyo para la toma de decisiones en la gestión operativa del mantenimiento.

Esta herramienta, de fácil replicabilidad e implementación en diferentes contextos, destaca por su escalabilidad y versatilidad, lo que puede suponer un antes y un después en la gestión de proyectos de cooperación al desarrollo en el ámbito de la gestión hídrica.

En relación al modelo BIM. Inicialmente, se evaluó la posibilidad de integrar el modelo con una plataforma GMAO de uso libre, desarrollada por un proveedor internacional (Fractal-One). Sin embargo, se identificaron limitaciones técnicas significativas, entre las que destacan la incompatibilidad actual del sistema en su versión de uso libre con entornos BIM y la ausencia de herramientas específicas para la lectura e interpretación de modelos tridimensionales por parte de dicha plataforma.

Además, durante el proceso de evaluación socio-técnica, se constató que las comunidades objetivo del proyecto carecen de personal técnico especializado, lo cual impide garantizar la correcta gestión, mantenimiento y actualización de un modelo BIM a largo plazo. Por ello, se decidió reorientar la metodología hacia un enfoque más pragmático, escalable y sostenible, manteniendo la cartografía base, los documentos técnicos y la nube de puntos como soportes principales para las futuras operaciones de mantenimiento.

No obstante, se considera que este trabajo sienta las bases para líneas futuras de investigación y desarrollo, orientadas a:

- Desarrollar interfaces más accesibles entre modelos BIM y plataformas GMAO de código abierto.
- Implementar soluciones de gestión, que combinen documentación técnica digitalizada con modelos BIM simplificados y el modelo generativo gestionado por inteligencia artificial.
- Formar a técnicos locales en el uso básico de herramientas BIM aplicadas a proyectos de agua y saneamiento.

Además del valor técnico y organizativo que representa esta propuesta metodológica, cabe destacar que el presente Trabajo Fin de Máster se alinea con diversos Objetivos de Desarrollo Sostenible promovidos por las Naciones Unidas, entre los que destacan:

- **ODS 6** – Agua limpia y saneamiento, al proponer una estrategia concreta, escalable y basada en la digitalización para garantizar el acceso equitativo al agua potable y a sistemas de saneamiento sostenibles.
- **ODS 11** – Ciudades y comunidades sostenibles, al fomentar la participación comunitaria, la planificación con enfoque territorial y la resiliencia técnica a partir de sistemas de mantenimiento eficientes.
- **ODS 9** – Industria, innovación e infraestructura, al introducir tecnologías como el GMAO, el modelo BIM y la inteligencia artificial como herramientas al servicio del desarrollo inclusivo y accesible para las comunidades más desfavorecidas.

➤ **Futuras líneas de Investigación**

1. Desarrollo completo del modelo BIM: Incorporando componentes físicos de la red con su correspondiente sistema de clasificación y vinculándolos al sistema GMAO. La creación de un gemelo digital gestionado en tiempo real, permitiría simular escenarios de operación, anticipar fallos, optimizar intervenciones y validar decisiones técnicas.
2. Capacitación técnica local: Formar al personal del municipio en el uso y actualización del sistema BIM-GMAO-AQUALCO, para garantizar la sostenibilidad de la metodología.
3. Escalabilidad territorial: posibilidad de replicar el modelo en otros municipios con características similares, adaptando únicamente los formularios técnicos y sociales. Esta adaptación permitirá identificar con precisión el contexto específico de actuación.
4. Implementación de versiones colaborativas de AQUALCO: permitiendo a los actores locales participar en la mejora del modelo y en la carga de nueva información que permita alimentar su base de datos. Generando un sistema de gobernanza algorítmica participativa, mediante el uso IA y machine learning.
5. Evaluación y mejora continua del sistema: a través de la retroalimentación con los datos operativos reales del GMAO y la incorporación progresiva de funciones predictivas mediante aprendizaje automático (Machine Learning).
6. Desarrollo de una interfaz accesible en lenguas originarias y con narrativas adaptadas al contexto rural: Esta línea de investigación permitiría promover la inclusión tecnológica,

reduciendo la brecha digital de las comunidades a través de herramientas diseñadas para personas con niveles de alfabetización limitados.

7. Implementación de un sistema de Blockchain: este sistema permitirá garantizar la trazabilidad de la información operativa garantizando la transparencia en los procesos de ejecución de mantenimiento, contratación de servicios y registro de inversiones públicas.
8. Optimización de la inversión pública: Esta optimización se llevará a cabo mediante algoritmos multicriterio vinculados al sistema GMAO y al correspondiente modelo generativo, lo que permitirá priorizar proyectos y asignación de recursos en función de criterios como el impacto social, el impacto ambiental o el nivel de vulnerabilidad poblacional.

6. Bibliografía y referencias

- 978-1-63057-446-8-2-bxawsm8nct.pdf. (s. f.). Recuperado 1 de junio de 2025, de
<https://static.sdcpublications.com/pdfs/978-1-63057-446-8-2-bxawsm8nct.pdf>
- 0718289.pdf. (s. f.). Recuperado 1 de junio de 2025, de
<http://132.248.9.195/ptd2014/agosto/0718289/0718289.pdf>
- Acosta Maldonado, M. E., Basani, M., & Solís, H. (2019). *Prácticas y saberes en la gestión comunitaria del agua para consumo humano y saneamiento en las zonas rurales de Ecuador*. Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0002022>
- Activación de la demanda | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management!* (s. f.-a). Recuperado 29 de marzo de 2025, de <https://sswm.info/es/sswm-solutions-bop-markets/affordable-wash-services-and-products/financial-marketing-and-sales/demand-creation---general>
- Agua para consumo humano*. (s. f.). Recuperado 13 de abril de 2025, de
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Agua potable y el agua purificada, ¿cuáles son sus principales diferencias? - El Sol de Orizaba | Noticias Locales, Policiacas, sobre México, Veracruz y el Mundo*. (s. f.). Recuperado 9 de marzo de 2025, de <https://oem.com.mx/elsoldeorizaba/ciencia-y-salud/agua-potable-y-el-agua-purificada-cuales-son-sus-principales-diferencias-13220852>
- Alcántara, M. H. (2024, agosto 16). Confirma CNDH “grave contaminación” a presa Necaxa por descargas de Huauchinango y Juan Galindo—Puebla. *La Jornada de Oriente*.
<https://www.lajornadadeoriente.com.mx/puebla/confirma-cndh-grave-contaminacion-a-presa-necaxa-por-descargas-de-huauchinango-y-juan-galindo-2/>
- AMEXCID - Catálogo de Capacidades Mexicanas de Cooperación Internacional para el Desarrollo*. (s. f.). Recuperado 3 de abril de 2025, de
<https://de.sre.gob.mx/capacidades/instituciones-mexicanas/conagua/programa-para-la-sostenibilidad-de-los-servicios-de-agua-potable-y-saneamiento-en-comunidades-rurales-prosspays>

Amilpa, E. A. (s. f.). *GESTIÓN COMUNITARIA DE LOS SERVICIOS DE AGUA Y*

SANEAMIENTO:

ArcMap | ArcGIS Desktop. (s. f.). Recuperado 23 de junio de 2025, de

<https://desktop.arcgis.com/es/desktop/index.html>

Building Information Modeling (BIM) en Acción: Casos de Éxito en Agua y Saneamiento.

(2025, marzo 27). *Volvamos a la fuente.* <https://blogs.iadb.org/agua/es/building-information-modeling-bim-en-accion-casos-de-exito-en-agua-y-saneamiento/>

Burford, S., & Balmer, R. (s. f.). *Plumbing Revit MEP: Drop and Go – Let the Information Flow.*

ChatGPT. (s. f.). Recuperado 9 de junio de 2025, de <https://chatgpt.com>

COM_2024_237.pdf. (s. f.). Recuperado 12 de abril de 2025, de

https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/documentos/2024-08/COM_2024_237.pdf

CuadernoIDi30. (s. f.).

DOF - Diario Oficial de la Federación. (s. f.). Recuperado 2 de marzo de 2025, de

https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5232952&fecha=08/02/2012&print=true

Edici_n_c_2023.pdf. (s. f.). Recuperado 9 de marzo de 2025, de

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/876087/Edici_n_c_2023.pdf

File.pdf. (s. f.). Recuperado 29 de marzo de 2025, de

<https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos-left/documentos-ministerio-de-salud/tecno-ciencia/inventario-tecn-de-agua-de-consumo-humano-tecnologia/legislacion-documentos-internacionales-tecnologia/documentos-tecnicos-tecnologia/1442-participacion-comunitaria-agua-potable/file>

Foro-del-agua-para-el-desarrollo_Conclusiones-2010_compressed.pdf. (s. f.). Recuperado 27

de marzo de 2025, de https://www.fundacioncanal.com/wp-content/uploads/2019/11/foro-del-agua-para-el-desarrollo_Conclusiones-2010_compressed.pdf

Fracttal One. (s. f.). Recuperado 22 de junio de 2025, de

<https://app.fracttal.com/inventories/equipments>

Gestión comunitaria del agua.pdf. (s. f.). Recuperado 29 de marzo de 2025, de

<https://propuestasciudadanas.org/wp-content/uploads/2024/10/Gestión comunitaria del agua.pdf>

GMAO la transformación digital del mantenimiento en el AyA-El Especialista.pdf. (s. f.).

Recuperado 10 de mayo de 2025, de

<https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/GMAO%20la%20transformación%C3%B3n%20digital%20del%20mantenimiento%20en%20el%20AyA-El%20Especialista.pdf>

Goal 6 | Department of Economic and Social Affairs. (s. f.). Recuperado 26 de junio de 2025, de

<https://sdgs.un.org/goals/goal6>

Goal 9 | Department of Economic and Social Affairs. (s. f.). Recuperado 26 de junio de 2025, de

<https://sdgs.un.org/goals/goal9>

Goal 11 | Department of Economic and Social Affairs. (s. f.). Recuperado 26 de junio de 2025,

de <https://sdgs.un.org/goals/goal11>

iAgua, redaccion. (2022, septiembre 22). *La metodología BIM, clave para la construcción y*

mantenimiento de los activos del sector del agua [Text]. iAgua; iAgua.

<https://www.iagua.es/noticias/redaccion-iagua/metodologia-bim-clave-construcción-y-mantenimiento-activos-sector-agua>

Impacto-caf-agua-y-saneamiento-informe-completo.pdf. (s. f.). Recuperado 13 de abril de 2025,

de <https://www.caf.com/media/4663661/impacto-caf-agua-y-saneamiento-informe-completo.pdf>

Informe Final DIP Zacoalco v.revisión_redacted. (s. f.).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (s. f.). Recuperado 23 de junio de 2025,

de <https://www.inegi.org.mx/>

La UE aprueba el reglamento que establece los criterios técnicos para determinar qué

actividades económicas contribuyen a los objetivos climáticos o los perjudican |

Confebask. (s. f.). Recuperado 19 de marzo de 2025, de

<https://www.confebask.eus/node/34229>

Mesas Técnicas de Agua | LATINNO. (s. f.). Recuperado 29 de marzo de 2025, de

<https://latinno.net/es/case/19005/>

Metodologia_de_evaluacion_de_la_cooperacion_espanola_ii.pdf. (s. f.). Recuperado 29 de marzo de 2025, de https://www.cooperacionespanola.es/wp-content/uploads/documentos/metodologia_de_evaluacion_de_la_cooperacion_espanola_ii.pdf

MOLECOR TECNOLOGÍA SL - Catálogos | Construnario. (s. f.). construnario.com.

Recuperado 25 de junio de 2025, de <https://www.construnario.com/catalogo/molecor-tecnologia-sl/catalogos?idioma=es>

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LIMITES

MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS. (s. f.).

Recuperado 8 de junio de 2025, de

https://siga.jalisco.gob.mx/assets/documentos/normatividad/nom001semarnat1996.htm?utm_source=chatgpt.com

ODS 9.1: Desarrollar infraestructuras sostenibles, resistentes e inclusivas | ICCROM | Our

Collections Matter. (s. f.). Recuperado 19 de marzo de 2025, de

<https://ocm.iccrom.org/es/sdgs/ods-9-industria-innovacion-e-infraestructuras/ods-91-desarrollar-infraestructuras-sostenibles>

ODS 12.5: Reducir considerablemente la generación de desechos | ICCROM | Our Collections

Matter. (s. f.). Recuperado 20 de marzo de 2025, de <https://ocm.iccrom.org/es/sdgs/ods-12-produccion-y-consumo-responsables/ods-125-reducir-considerablemente-la-generacion-de>

Organización Mundial de la Salud. (2018b). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda (4a ed + 1a adenda).*

Organización Mundial de la Salud. <https://iris.who.int/handle/10665/272403>

Ortega, J. C. S. (s. f.). *MODELO DE GESTIÓN DE PROYECTOS PARA LAS SUBVENCIONES*

GLOBALES ENTRE LA FUNDACIÓN ROTARIA Y ORGANIZACIONES

*GUBERNAMENTALES. CASO: AGUA POTABLE EN COMUNIDADES DE LA
SIERRA DE GUANAJUATO, MEXICO.*

Ortiz, M. P. (s. f.). *AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS EN MODELOS BIM DE
EDIFICACIÓN.*

Participa CEAG como ejemplo de proyectos exitosos en zonas rurales, en foro de “Proyectos de agua y saneamiento rural” organizado por el BID. (2022, junio 21). *Boletines Dependencias*. <https://boletines.guanajuato.gob.mx/2022/06/21/participa-ceag-como-ejemplo-de-proyectos-exitosos-en-zonas-rurales-en-foro-de-proyectos-de-agua-y-saneamiento-rural-organizado-por-el-bid/>

Pastor, C. (s. f.). *Conseguir infraestructura.*

(PDF) Application research of BIM technology in water supply and drainage engineering. (s. f.).
ResearchGate. Recuperado 1 de junio de 2025, de
https://www.researchgate.net/publication/331677108_Application_research_of_BIM_technology_in_water_supply_and_drainage_engineering

(PDF) BIM for Building Water Supply and Drainage Design. (s. f.). *ResearchGate*.
<https://doi.org/10.2991/amcce-15.2015.377>

Revit_mep_2011_user_guide_en.pdf. (s. f.). Recuperado 1 de junio de 2025, de
https://images.autodesk.com/adsk/files/revit_mep_2011_user_guide_en.pdf

Sanchez, S., & Eduardo, W. (2004). *El manejo comunitario en la implementacion de un sistema de agua potable, La Cienega, San Antonio de Oriente, Honduras.*

SDG Country Profiles. (s. f.). Recuperado 8 de marzo de 2025, de
<https://unstats.un.org/sdgs/dataportal/countryprofiles/MEX#goal-6secretary-general-sdg-report-2024—ES.pdf>. (s. f.). Recuperado 8 de marzo de 2025, de
<https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2024/secretary-general-sdg-report-2024--ES.pdf>

Software Autodesk ReCap Pro | Obtener precios y comprar el producto ReCap Pro 2026 oficial. (s. f.). Recuperado 23 de junio de 2025, de

<https://www.autodesk.com/es/products/recap/overview>

Soluciones innovadoras para el acceso al agua potable en zonas rurales: Caso de éxito en el Perú. (2024, agosto 13). *Volvamos a la fuente.*

<https://blogs.iadb.org/agua/es/soluciones-innovadoras-para-el-acceso-al-agua-potable-en-zonas-rurales-caso-de-exito-en-el-peru/>

Taller de Integración de Criterios ASG. (s. f.).

Un fracaso, las plantas de agua del morenovallismo en Huauchi, Xico y Juan Galindo—El Sol de Puebla | Noticias Locales, Policiacas, sobre México, Puebla y el Mundo. (s. f.).

Recuperado 12 de abril de 2025, de <https://oem.com.mx/elsoldepuebla/local/un-fracaso-las-plantas-de-agua-del-morenovallismo-en-huauchi-xico-y-juan-galindo-20125958>

Water supply and sanitation projects: The Bank's experience, 1967-1989. (s. f.). [Text/HTML].

World Bank. Recuperado 28 de marzo de 2025, de

<https://documentos.bancomundial.org/es/publication/documents-reports/documentdetail/en/386111468169467933>

Waterinbolivia.pdf. (s. f.). Recuperado 8 de abril de 2025, de <https://www.citizen.org/wp-content/uploads/waterinbolivia.pdf>

Zotero | Your personal research assistant. (s. f.). Recuperado 12 de abril de 2025, de <https://www.zotero.org/>

Zhao, L., Liu, Z., & Mbachu, J. (2019). An Integrated BIM–GIS Method for Planning of Water Distribution System. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(8), 331. <https://doi.org/10.3390/ijgi8080331>

7. Anejos

7.1 Anejo I: GMAO-XXX-ANJ-001-ANEJO N°1-PLAN_DE_MANTENIMIENTO-FRACTAL.ONE

7.2 Anejo II: BIM-XXX-ANJ-002-ANEJO N°2 -BUILDING_INFORMATION_MODELING

7.3 Anejo III: AQUALCO-XXX-ANJ-003-ANEJO N°3 – MODELO_GENERATIVO_IA

**GMAO-XXX-ANJ-001-ANEJO N°1-
PLAN_DE_MANTENIMIENTO-FRACTTAL-ONE**

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	4
2. CONFIGURACIÓN INICIAL Y PRIMEROS PASOS EN FRACTTAL ONE	4
2.1. Dar de Alta un nuevo activo	5
2.2. Creación de planes de trabajo	12
2.3. Vinculación de activos	13
2.4. Generación de órdenes de trabajo (OT)	13
2.5. Ejecución y cierre de la OT	13
3. CASOS PRÁCTIVOS DE TAREAS Y OT POR INFRAESTRUCTURA	14
3.1. Mantenimiento Correctivo de la PTAR de Zacoalco de Torres	14
3.2. Pozo 5 – Mantenimiento Preventivo - completado el 3 de febrero de 2025	24
4. ANÁLISIS GRÁFICOS E INDICADORES DE DESEMPEÑO	25
5. CONSIDERACIONES FINALES	27
5.1. Puntos Positivos de usar Fracttal One (versión gratuita)	28
5.2. Puntos Negativos o Limitaciones de usar Fracttal One (versión gratuita)	29
5.3 Conclusiones del GMAO Desarrollado en Fracttal-One.	30

Imagen 1. Registro del departamento de aguas en Fracttal One (Fracttal One, s. f.) 5

Imagen 2. Dar de alta nuevos activos, es esta ventana se incluirá toda la información técnica disponible además del código único que identifica a este elemento y su grado de prioridad dentro del sistema de abastecimiento (Fracttal One, s. f.) 6

Imagen 3. Código único de asignación del elemento, en este caso se hace referencia al Pozo 1 el cual es una captación y no un manantial y está asociado a la Bomba 1. (Fracttal One, s. f.) 6

Imagen 4. Plan de tareas asociadas al Pozo 1. Horas diarias de uso y notas relativas al estado operativo de la captación (Fracttal One, s. f.) 7

Imagen 5. Pozo 1, mantenimiento correctivo programado, esta orden finalizará el 28-06-2025 y será necesario evaluar si ha sido resuelta de forma satisfactoria, además se evaluará el desempeño de los responsables de dicho mantenimiento (Fracttal One, s. f.) 7

Imagen 6. Elementos principales del sistema de abastecimiento y saneamiento dados de alta y categorizados con el sistema de clasificación del Canal de Isabel II (Fracttal One, s. f.) 8

Imagen 7. Detalles y coordenadas del emplazamiento del pozo 1 (Fracttal One, s. f.) 8

Imagen 8. Pozo 1 categorización de la importancia de este emplazamiento dentro del sistema y características principales (Fracttal One, s. f.) 9

Imagen 9. Desplegable asociado a recursos humanos (Fracttal One, s. f.) 10

Imagen 10. Recursos humanos del departamento, ficha completa de trabajador en la que se ha incluido su código único de identificación además de su correo y dirección (Fracttal One, s. f.) 10

Imagen 11. En esta sección se define su horario laboral además del valor de su hora de trabajo (Fracttal One, s. f.) 10

Imagen 12. Sistema de clasificación de trabajadores del departamento de Aguas (Fracttal One, s. f.) 11

Imagen 13. Ficha de cada empleado en formato PDF, también contiene el correo electrónico y número de teléfono, (Fracttal One, s. f.) 11

Imagen 14. Perfil del empleado en un reporte en Excel, exportado directamente de (Fracttal One, s. f.)	12
Imagen 15. En "Importar", será posible subir un cargador en formato Excel con toda la estructura departamental completa (Fracttal One, s. f.).	12
Imagen 16. En el desplegable del dashboard creamos un nuevo "Plan de Tareas" (Fracttal One, s. f.)	12
Imagen 17. Cronograma de mantenimiento correctivo desarrollado mediante el modelo generativo asistido por IA (ChatGPT, s. f.)	14
Imagen 18. Definición del plan de tareas, (Puesta en Marcha -PTAR-Zacoalco de Torres) (Fracttal One, s. f.)	15
Imagen 19. Se define la Subtarea 1, con su descripción y sub trabajos asociados, así como su prioridad, duración estimada y la fecha en la que comenzará (Fracttal One, s. f.)	19
Imagen 20. Plan de tareas propuestos para la puesta en marcha de la PTAR, se ha estimado un presupuesto de 450.000 USD (Fracttal One, s. f.)	19
Imagen 21. Activos vinculados dentro del Plan de Tareas (Fracttal One, s. f.)	20
Imagen 22. Visualizador de órdenes de Trabajo (Fracttal One, s. f.)	20
Imagen 23. Responsable asignado a la tarea 1 del plan de trabajo (Fracttal One, s. f.)	20
Imagen 24. Vinculación de la OT con el email de responsable de su gestión. (Fracttal One, s. f.)	21
Imagen 25. Descripción de la tarea principal a realizar en esta OT (Fracttal One, s. f.)	21
Imagen 26. Código QR que permite acceder a toda la información del activo (Fracttal One, s. f.)	21
Imagen 27. Historial previo de mantenimiento del activo (Fracttal One, s. f.)	22
Imagen 28. Recursos Asignado a esta OT, además de su coste hora/hombre y su rol para esta tarea. (Fracttal One, s. f.)	22
Imagen 29. Manuales y documentación técnica que puede dar soporte y facilitar las labores de mantenimiento (Fracttal One, s. f.)	22
Imagen 30. OTs Programada y a falta de iniciarse en la fecha fichada (Fracttal One, s. f.)	23
Imagen 31. Descripción de los trabajos realizados para cumplir con esta Subtarea (Fracttal One, s. f.)	25
Imagen 32. Verificación, calificación y cierre de la OT creada para el mantenimiento preventivo del Pozo 5 (Fracttal One, s. f.)	25
Imagen 33. Dashboard con visualización gráfica del rendimiento en el cumplimiento de las órdenes de Trabajo (Fracttal One, s. f.)	26
Imagen 34 Prioridad de las Tareas e importancia de los activos dentro del sistema (Fracttal One, s. f.)	26
Imagen 35 Gráfico de cumplimiento de trabajos planificados (Fracttal One, s. f.)	26
Imagen 36. Tareas programadas vs tareas finalizadas (Fracttal One, s. f.)	27
Imagen 37 Tareas planificadas vs no planificadas, nos puede dar una idea de la eficiencia de los mantenimientos preventivos y predictivos (Fracttal One, s. f.)	27
Imagen 38. La versión gratuita de Fracttal-One solo permite el acceso a la opción de catálogos y tareas (Fracttal One, s. f.)	29

1. INTRODUCCIÓN

En este primer Anejo, se detallará el flujo de trabajo en el GMAO desarrollado a través de la plataforma Fracttal One en su versión limitada de uso libre. Se presenta de manera detallada el proceso completo seguido para dar de alta los activos, ubicarlos espacialmente y generar órdenes de mantenimiento asociadas a los mismos.

El caso de estudio se enmarca en el municipio de Zacoalco de Torres, México y se hará especial énfasis en las paradas operativas de las Planta de tratamiento de aguas residuales “PTAR” o “EDAR” en España, además de los pozos que conforman el sistema de abastecimiento del área urbana de Zacoalco.

Este anexo pretende constituirse como un documento de referencia para facilitar la replicabilidad de la metodología propuesta por parte de otras comunidades interesadas en la gestión eficiente e independiente de sus infraestructuras y sistemas de gestión hídrica.

2. CONFIGURACIÓN INICIAL Y PRIMEROS PASOS EN FRACTTAL ONE



Ilustración 1. Flujo de Trabajo en Fracttal - One (Fuente:(ChatGPT, s. f.)

2.1. Dar de Alta un nuevo activo

1. **Registro en el sistema:** En primer lugar, será necesario acceder a <https://www.fracttal.com/> y dar de alta al departamento de aguas, en el caso de estudio de Zacoalco de Torres, se ha dado de alta como ZacoAqua.



Imagen 1. Registro del departamento de aguas en Fracttal One (Fracttal One, s. f.)

2. **Categorización y clasificación de activos:** Se dan de alta todos los activos principales identificados en la Red del municipio. Es fundamental que previamente hayan sido debidamente categorizados y se haya realizado un estudio detallado de las necesidades particulares de mantenimiento asociadas a cada uno de ellos. En el caso de estudio de Zacoalco de Torres se han categorizado siguiendo el esquema fijado por el manual de clasificación del Canal de Isabel II (*CuadernoIDi30*, s. f.).
3. **Registro de Activos Principales:** Desde el desplegable de activos, incluiremos todos los elementos del sistema con el + de la esquina inferior derecha del Dashboard. Es importante que el nombre contenga el apodo coloquial con el que la comunidad hace referencia a ese elemento Dar de alta nuevos activos, en esta ventana se incluirá toda la información técnica disponible además del código único que identifica a este elemento y su grado de prioridad dentro del sistema de abastecimiento (Fracttal One, s. f.) (**Imagen 2**). Mientras que el código debe de estar perfectamente categorizado y clasificado para que el inventario del sistema no de lugar a duplicidades o a errores de asignación (**Imagen 3**).

Será importante detallar las características principales de esta captación además de asociar toda la documentación complementaria que se disponga (**Imagen 4**):

- Ensayos de caracterización físico-química.

- Instrumentos de medición asociados.
- Datos del sistema de cloración.
- Documentos de eficiencia energética del sistema de bombeo.
- Planes de mantenimiento.

En este ejemplo mostrado para el Pozo 1, ya se había programado el mantenimiento correctivo de este pozo que se encuentra en estado inoperativo. Es por ello que desde el desplegable de “Historiales” se puede consultar el histórica de las paradas de mantenimiento programadas además de las subtareas asociadas y sus responsables (**Imagen 5**).

Se procede de igual forma con todos los activos, en el caso de estudio de Zacoalco de Torres, categorizándolos en función de si se trata de captaciones, depósitos o sistemas de depuración (**Imagen 6**).

Imagen 2. Dar de alta nuevos activos, es esta ventana se incluirá toda la información técnica disponible además del código único que identifica a este elemento y su grado de prioridad dentro del sistema de abastecimiento (Fractal One, s.f.)

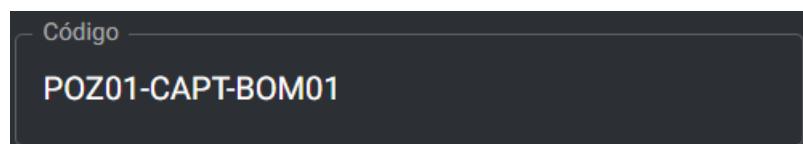


Imagen 3. Código único de asignación del elemento, en este caso se hace referencia al Pozo 1 el cual es una captación y no un manantial y está asociado a la Bomba 1. (Fractal One, s.f.)

Pozo 1 - Col. BarrioAlto - Potencia - 75 Hp, Arrancador SIEMENS { POZ01-CAPT-BOM01 }

Proveedor: _____ Fecha de Compra: yyyy-mm-dd

Horas de uso promedio diario: 00:01 Visible para todos

Plan de Tareas: Pozo 1 - POZ01-CAPT-BOM01 - Rehabilitación y Puesta en Marcha

QR Público: _____

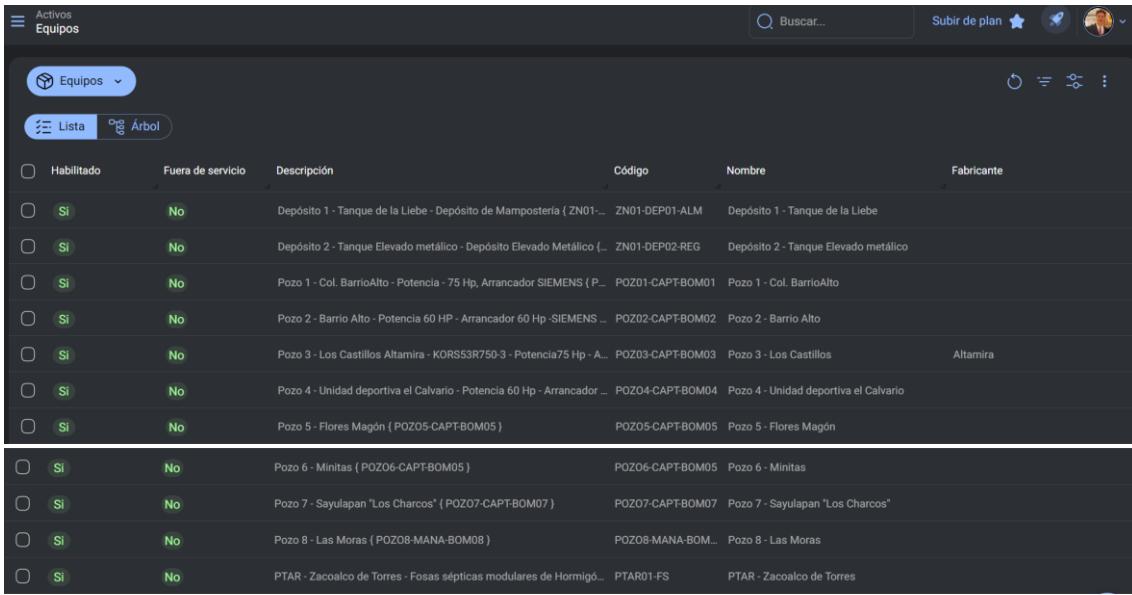
Notas: Estado no operativo: Este pozo se encuentra en estado de abandono tras el colapso parcial de su estructura, lo que provocó la contaminación de la captación. Originalmente, abastecía a un tanque elevado metálico con una capacidad aproximada de 200 m³. No se dispone de datos registrados sobre el caudal extraído.

Imagen 4. Plan de tareas asociadas al Pozo 1. Horas diarias de uso y notas relativas al estado operativo de la captación (Fracttal One, s.f.)

Subir de plan Guardar

Orden de Trabajo	Estado	Descripción	Tipo de Tarea	Fecha Programada	Fecha Calculada
11	En Proceso	3. Pruebas operativas del Pozo 1	Correctivo Planificado	2025-06-28	2025-06-28
10	En Proceso	2. Reparaciones y adecuación del P...	Correctivo Planificado	2025-06-25	2017-06-25
9	En Proceso	1. Inspección y limpieza Inicial	Correctivo Planificado	2025-06-21	2017-06-22

Imagen 5. Pozo 1, mantenimiento correctivo programado, esta orden finalizará el 28-06-2025 y será necesario evaluar si ha sido resuelta de forma satisfactoria, además se evaluará el desempeño de los responsables de dicho mantenimiento (Fracttal One, s.f.)



Habilitado	Fuera de servicio	Descripción	Código	Nombre	Fabricante
<input type="checkbox"/>	Si	No	Depósito 1 - Tanque de la Liebre - Depósito de Mampostería (ZN01-...	ZN01-DEP01-ALM	Depósito 1 - Tanque de la Liebre
<input type="checkbox"/>	Si	No	Depósito 2 - Tanque Elevado metálico - Depósito Elevado Metálico (...	ZN01-DEP02-REG	Depósito 2 - Tanque Elevado metálico
<input type="checkbox"/>	Si	No	Pozo 1 - Col. BarrioAlto - Potencia - 75 Hp, Arrancador SIEMENS (P...	POZ01-CAPT-BOM01	Pozo 1 - Col. BarrioAlto
<input type="checkbox"/>	Si	No	Pozo 2 - Barrio Alto - Potencia 60 HP - Arrancador 60 Hp - SIEMENS ...	POZ02-CAPT-BOM02	Pozo 2 - Barrio Alto
<input type="checkbox"/>	Si	No	Pozo 3 - Los Castillos Altamira - KORS53R750-3 - Potencia 75 Hp - A...	POZ03-CAPT-BOM03	Pozo 3 - Los Castillos
<input type="checkbox"/>	Si	No	Pozo 4 - Unidad deportiva el Calvario - Potencia 60 Hp - Arrancador ...	POZ04-CAPT-BOM04	Pozo 4 - Unidad deportiva el Calvario
<input type="checkbox"/>	Si	No	Pozo 5 - Flores Magón (POZO5-CAPT-BOM05)	POZO5-CAPT-BOM05	Pozo 5 - Flores Magón
<input type="checkbox"/>	Si	No	Pozo 6 - Minitas (POZO6-CAPT-BOM05)	POZO6-CAPT-BOM05	Pozo 6 - Minitas
<input type="checkbox"/>	Si	No	Pozo 7 - Sayulapan "Los Charcos" (POZO7-CAPT-BOM07)	POZO7-CAPT-BOM07	Pozo 7 - Sayulapan "Los Charcos"
<input type="checkbox"/>	Si	No	Pozo 8 - Las Moras (POZO8-MANA-BOM08)	POZO8-MANA-BOM...	Pozo 8 - Las Moras
<input type="checkbox"/>	Si	No	PTAR - Zacoalco de Torres - Fosas sépticas modulares de Hormigó...	PTAR01-FS	PTAR - Zacoalco de Torres

Imagen 6. Elementos principales del sistema de abastecimiento y saneamiento dados de alta y categorizados con el sistema de clasificación del Canal de Isabel II (Fractal One, s. f.)

4. Ubicación Espacial de Activos: Tras dar de alta los activos del sistema, se procede a ubicarlos espacialmente de tal forma que cuando se lancen las órdenes de mantenimiento a los operarios, estos no tengan problemas para llegar a los emplazamientos (**Imagen 7**). Se incluirá toda la información relativa al emplazamiento, así como su grado de importancia dentro del sistema (**Imagen 8**).

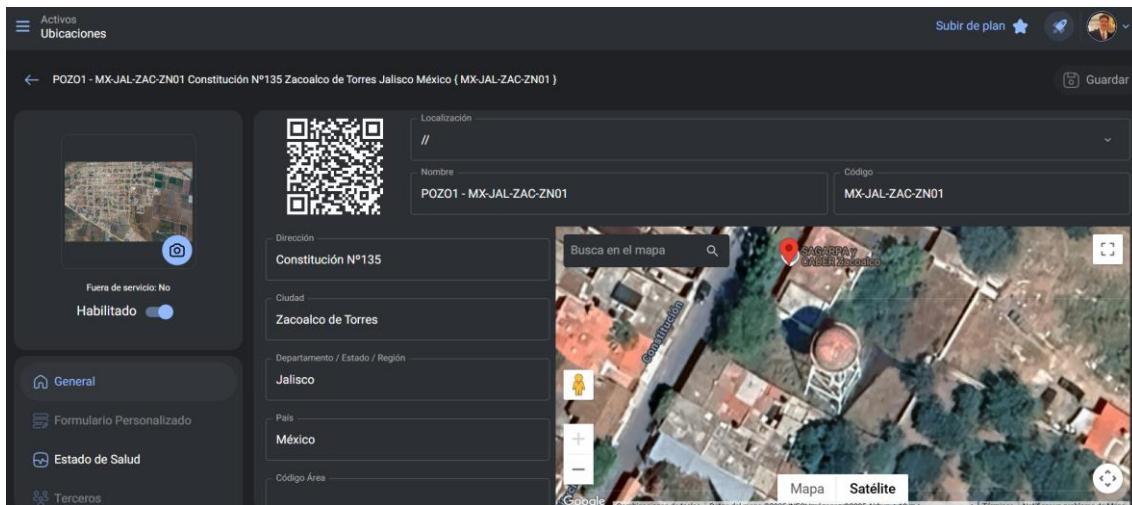


Imagen 7. Detalles y coordenadas del emplazamiento del pozo 1 (Fractal One, s. f.).

Imagen 8. Pozo 1 categorización de la importancia de este emplazamiento dentro del sistema y características principales (Fracttal One, s.f.).

5. Registro de los Recursos Humanos: Identificados, categorizados y localizados espacialmente cada uno de los activos, se procederá a cargar los recursos humanos correspondientes a la estructura departamental (**Imagen 9**). Se deben de introducir todos los datos que definen el perfil profesional de cada uno de los integrantes. En la versión de uso libre, ciertas opciones están limitadas; por ello, solo podrán incluirse datos generales, sin posibilidad de detallar un formulario personalizado, realizar asignaciones específicas o adjuntar documentos como el currículum vitae (CV). En esta sección, se deberá indicar el coste Hora/hombre del trabajador, así como su horario laboral, número de teléfono y rol dentro de la organización. (**Imagen 10**), (**Imagen 11**).

Será posible realizar una carga masiva en un formato Excel con todos los trabajadores, esta herramienta resulta especialmente útil para generar de forma ágil y estructurada toda la configuración departamental, codificada correctamente, optimizando tiempos y minimizando los posibles errores de formato o retrabajos innecesarios.

Una vez definida la estructura completa de los recursos humanos que conforman el departamento, el sistema de uso libre permite descargar un reporte en PDF (**Imagen 13**) o Excel (**Imagen 14**) con toda la información registrada. Estos reportes han sido utilizados como base de datos para alimentar el modelo generativo asistido por inteligencia artificial, lo que ha permitido al modelo identificar la estructura organizativa completa, el coste asociado a cada perfil profesional, su calendario laboral y su rol dentro de la organización (**Imagen 12**).



Imagen 9. Desplegable asociado a recursos humanos (Fracttal One, s.f.)

Imagen 10. Recursos humanos del departamento, ficha completa de trabajador en la que se ha incluido su código único de identificación además de su correo y dirección (Fracttal One, s.f.).

Imagen 11. En esta sección se define su horario laboral además del valor de su hora de trabajo (Fracttal One, s.f.).

Recursos Humanos								
	Habilitado	Teams	Cuenta	Código	Nombres	Apellidos	Clasificación 1	Clasificación 2
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00025	CARLOS	HENCHE GUIJARRO	Ingeniero de Camino...	BIM Manager
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00021	CARLOS MANUEL	PONCE RUBIO	Lecturista	
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00014	CESAR EDUARDO	CONTRERAS BUENROSTRO	Auxiliar de Fontanería	
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00003	CESAR FRANCISCO	LAGUNA DE LEON	AUX Agua Potable	
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00022	EDUARDO	CORTES ENCARNACION	Lecturista	
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00018	IVAN	HUIDOR TORIBIO	Auxiliar Cultura del ...	
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00010	JOSE ANTONIO	ORTEGA MORENO	Fontanero	
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00017	JOSE	LIMONES	Auxiliar de Fontanería	
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00019	JOSE LUIS	PEÑA MORENO	Drenajes	
<input type="checkbox"/>	Habilitado	Teams	Cuenta	Código	Nombres	Apellidos	Clasificación 1	Clasificación 2
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00027	JUAN MANUEL	ALAMEDA VILLAMAYOR	Ingeniero de Camino...	Jefe de Servicio de ...
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00007	JUAN MANUEL	CAMBEROS JIMENEZ	Fontanero	
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00011	JUAN MANUEL	CAMBEROS JIMENEZ	Fontanero	
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00002	LIC. J. FELIX	MADRIGAL GUZMAN	Director del departa...	
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00004	LUZ CATALINA	AGUAYO GRACIANO	AUX Agua Potable	
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00015	MANUEL	ENRIQUEZ ROSALES	Auxiliar de Fontanería	
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00020	MARCELINO	ORIZ SOTEO	Lecturista	
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00026	MARCOS	RODRIGUEZ SERRANO	Ingeniero de Camino...	BIM Manager
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00005	MARICRUZ	VILLEGAS SENCION	AUX Agua Potable	
<input type="checkbox"/>	Habilitado	Teams	Cuenta	Código	Nombres	Apellidos	Clasificación 1	Clasificación 2
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00005	MARICRUZ	VILLEGAS SENCION	AUX Agua Potable	
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00024	MARTHA	HERNANDEZ HERNANDEZ	Auxiliar Eventual	
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00023	NEREIDA ESTEFANIA	SAYULA MAGALLANES	Auxiliar Eventual	
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00013	OSCAR JAVIER	BENITEZ URBANO	Auxiliar de Fontanería	
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00012	OSCAR	ZAVALA VALENCIA	Fontanero	
<input type="checkbox"/>	Sí	No	Sí	00001	PEDRO	RODRIGUEZ MALAGÓN	Ingeniero Civil	
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00008	ROBERTO	ANGEL GRAJEDA	Fontanero	
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00009	RUBEN HUMBERTO	PADILLA JUAREZ	Fontanero	
<input type="checkbox"/>	Sí	No	No	00006	SAMUEL	RAMIREZ MONTES	Encargado De Cobro	

Imagen 12. Sistema de clasificación de trabajadores del departamento de Aguas Imagen 12



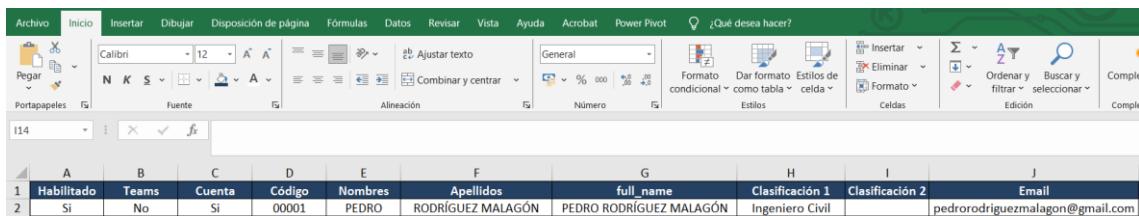
ZacoAgua

Catálogo de Recursos Humanos

Fecha: 2025-06-22

PEDRO RODRÍGUEZ MALAGÓN	
Datos Generales	
CÓDIGO: 00001	DIRECCIÓN: Plaza de Castilla
CIUDAD: Madrid	CÓDIGO ÁREA:
DEPARTAMENTO / ESTADO / REGIÓN: Madrid	LATITUD: 40.3939874208
PAÍS: España	LONGITUD: -3.7069092711
VALOR HORA ORDINARIA: Valor-Hora-Ingeniero	CLASIFICACIÓN 1: Ingeniero Civil
HORARIO LABORAL: 8:00 - 20:00	PROGRAMACIÓN DE AGENDA:
	CLASIFICACIÓN 2:

Imagen 13. Ficha de cada empleado en formato PDF, también contiene el correo electrónico y número de teléfono, (Fractal One, s. f.)



A screenshot of a Microsoft Excel spreadsheet titled "Recursos Humanos". The table has columns labeled A through J. Column A is "Habilitado" (Enabled), B is "Teams", C is "Cuenta", D is "Código", E is "Nombres", F is "Apellidos", G is "full_name", H is "Clasificación 1", I is "Clasificación 2", and J is "Email". The data shows two rows: Row 1 (highlighted in yellow) has values: Enabled (Si), Teams (No), Cuenta (No), Código (00001), Nombres (PEDRO), Apellidos (RODRÍGUEZ MALAGÓN), full_name (PEDRO RODRÍGUEZ MALAGÓN), Clasificación 1 (Ingeniero Civil), Clasificación 2 (empty), and Email (pedrorodriguezmalagon@gmail.com). Row 2 has values: Enabled (Si), Teams (No), Cuenta (No), Código (00005), Nombres (MARICRUZ), Apellidos (VILLEGAS SENCION), Clasificación 1 (AUX Agu), Clasificación 2 (empty), and Email (empty).

Imagen 14. Perfil del empleado en un reporte en Excel, exportado directamente de (Fractal One, s. f.)



A screenshot of the Fractal One software interface. The main title is "Recursos Humanos". On the left, there's a sidebar with a tree view showing "1 Seleccionado". The main area displays a table of employee data with columns: Habilitado, Teams, Cuenta, Código, Nombres, Apellidos, Clasificación, and several buttons: "Abrir PDF", "Exportar", "Exportar masivamente", "Importar", and "Eliminar Datos importados". The data in the table matches the one shown in Image 14.

Imagen 15. En "Importar", será posible subir un cargador en formato Excel con toda la estructura departamental completa (Fractal One, s. f.).

2.2. Creación de planes de trabajo

En este apartado se explicará de forma simplificada el flujo de trabajo necesario para la generación de Órdenes de Trabajo (OT), así como su seguimiento y cierre. En el apartado 3 se detallarán en profundidad con los casos prácticos generados en Fractal.

- 1. Creación de un Plan de Tareas:** Se deberá de ingresar al módulo de Planes de Tareas y generamos una nueva tarea (**Imagen 16**). En esta sección se planificarán todos aquellos mantenimiento preventivos, predictivos y correctivos.



Imagen 16. En el desplegable del dashboard creamos un nuevo "Plan de Tareas" (Fractal One, s. f.)

2. Seleccionar “+ Nuevo Plan de Tarea”, para poder crear un nuevo Plan de Tarea.
3. Se debe de Completar la pestaña General con:

- Nombre de la tarea.
 - Tipo de mantenimiento: correctivo, preventivo o predictivo.
 - Activador: por fecha programada o por contador.
 - Descripción (hasta 200 caracteres): se redacta el objetivo técnico de la intervención.
4. Se deberá de asignar la fecha estimada de inicio calculando el número de días desde la fecha actual (en caso de activador por tiempo).
 5. Avanzar a la pestaña de Subtareas, donde se definen las fases o actividades específicas del trabajo.

2.3. Vinculación de activos

1. Dentro del plan de tareas, acceder a la pestaña de Activos Vinculados.
2. Buscar el activo correspondiente (PTAR, pozo, etc.) y vincularlo.
3. Indicar la fecha prevista de inicio desde esta misma pestaña.

2.4. Generación de órdenes de trabajo (OT)

1. Ir al módulo de Tareas Pendientes.
2. Seleccionar la tarea programada y hacer clic en “Nueva OT”.
3. Desde la OT se completan las siguientes secciones:
 - Nota general: resumen técnico de la intervención.
 - Recursos asignados: personal técnico, supervisor, fontaneros, etc.
 - Adjuntos: se pueden subir planos, fichas técnicas, normativa, etc.

2.5. Ejecución y cierre de la OT

1. Una vez que la intervención comienza, se pulsa “Iniciar”.
2. Se deben ir completando las subtareas, con notas y porcentajes de avance.
3. En el módulo de ejecución, se puede indicar tiempo real trabajado y observaciones.
4. Para cerrar la OT:
 - Todas las subtareas deben estar completadas.
 - Debe añadirse una firma técnica (máx. 50 caracteres).
 - Se pulsa “Finalizar” y la tarea pasa a estado “Cerrado con éxito”.

3. CASOS PRÁCTICOS DE TAREAS Y OT POR INFRAESTRUCTURA

En esta sección se detallarán los casos prácticos de mantenimiento preventivo y correctivo definidos en Fracttal-One.

El modelo generativo gestionado por inteligencia artificial, contiene toda la información de la infraestructura además de un informe que se ha desarrollado con las necesidades específicas de mantenimiento de cada elemento del sistema. La estructura funcional departamental generada en ChatGPT ha permitido evaluar las necesidades prioritarias de mantenimiento, así como desarrollar una planificación del mantenimiento a largo plazo.

3.1. Mantenimiento Correctivo de la PTAR de Zacoalco de Torres

En primer lugar, se han identificado las necesidades de mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Dado que el proyecto nunca se finalizó, actualmente no está en estado operativo. Recibe el agua residual procedente de los cárcamos de rebombeo, la cual es devuelta al efluente sin tratar. Por este motivo, se priorizará la elaboración de un plan de mantenimiento correctivo a largo plazo para la PTAR, con el objetivo de recuperar en el medio plazo, dos de los módulos de la fosa séptica. Para su ejecución, se aprovechará la ventana climática correspondiente a la estación seca, que tiene lugar en el mes de febrero.

Para tener una secuencia clara y planificada de los trabajos de mantenimiento, se ha elaborado un Diagrama Gantt mediante el uso de la **Carpeta 10** del modelo generativo asistido por inteligencia artificial “Reporting y Visualización” (**Imagen 17**).

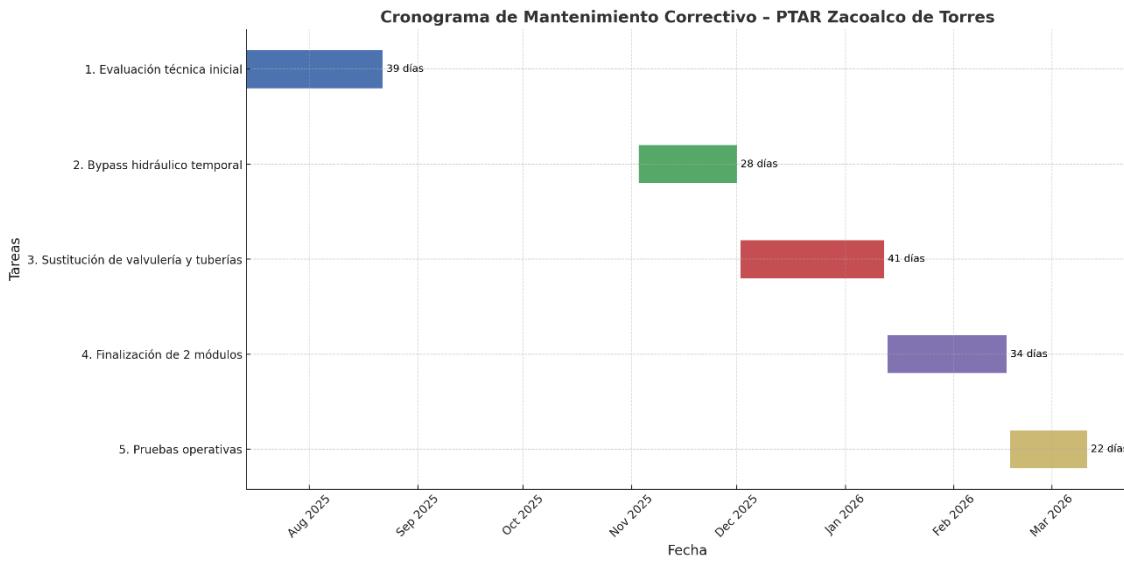


Imagen 17. Cronograma de mantenimiento correctivo desarrollado mediante el modelo generativo asistido por IA (ChatGPT, s. f.)

1. **Se define el Plan de Tareas en Fracttal:** Se ha definido el plan de mantenimiento para la puesta en marcha, definido como (Puesta en marcha – PTAR – Zacoalco de Torres) (**Imagen 18**). Durante las fechas programadas se ha limitado el acceso al emplazamiento en el que se encuentra la PTAR, para garantizar la seguridad de los accesos.

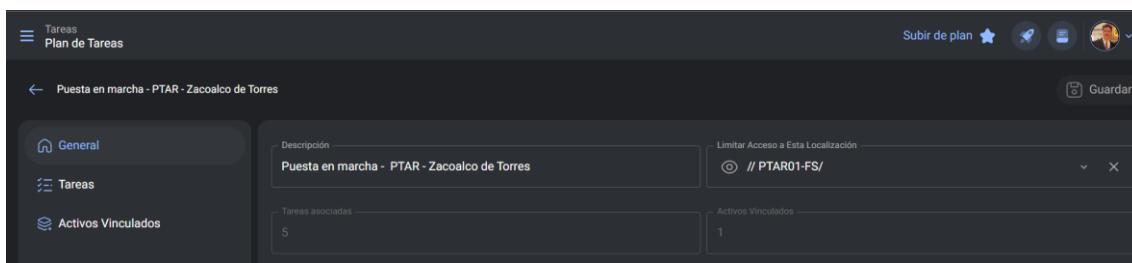


Imagen 18. Definición del plan de tareas, (Puesta en Marcha -PTAR-Zacoalco de Torres) (Fracttal One, s.f.)

2. **Se definen las Subtareas dentro del Plan de Tareas:** Se concretará la estructura de tareas y trabajos dentro de cada actividad (**Imagen 19**) y se detallarán todos los activos vinculados dentro de esta OT (**Imagen 21**).

Tarea 1: Evaluación Técnica Inicial

Inspección visual de módulos, estructuras y válvulas. Diagnóstico técnico inicial de la PTAR.

- **Subtarea 1.1: Realizar inspección visual de los 4 módulos prefabricados de fosa séptica.** Comprobar estado estructural, estanqueidad, presencia de fisuras, residuos y acceso a trampas de limpieza además de toma de muestras del agua residual para su análisis.
- **Subtarea 1.2: Evaluar cimentaciones, losas, tapas y elementos de acceso.** Verificar fisuras, corrosión, asentamientos o exposición de acero en estructuras de concreto.
- **Subtarea 1.3: Revisar colectores de entrada y salida, conexiones a cámaras de inspección y posibles obstrucciones:** Verificar estado de tuberías, uniones y posibles fugas.
- **Subtarea 1.4: Inspeccionar válvulas, compuertas, uniones mecánicas y conexiones internas:** Comprobar estado de cierre, corrosión, pérdidas y accesibilidad para operación futura.
- **Subtarea 1.5: Verificar existencia y estado de tableros eléctricos, cableado, acometidas y protecciones.** Identificar daños visibles, conexiones inseguras o ausencia de alimentación para equipos.

- **Subtarea 1.6: Elaborar informe técnico con hallazgos preliminares.** Elaboración de un documento técnico que recopile los hallazgos obtenidos durante las actividades anteriores, estableciendo prioridades, estimaciones de recursos necesarios y propuesta de acciones a corto, medio y largo plazo para recuperar la funcionalidad de la planta.

Tarea 2: Ejecución del Bypass hidráulico

Bypass hidráulico temporal – PTAR Zacoalco de Torres. Diseño, montaje y prueba de línea temporal de desvío para intervenir módulos sin interrumpir el flujo

- **Subtarea 2.1: Levantamiento de datos hidráulicos.** Recopilar información relativa a caudales máximos/mínimos, presión, puntos de conexión y condiciones operativas para dimensionar adecuadamente el Bypass.
- **Subtarea 2.2: Diseño preliminar del bypass.** Elaborar esquema de bypass temporal con selección de tuberías, válvulas, conexiones y trazado. Validar viabilidad técnica y operativa.
- **Subtarea 2.3: Selección y acopio de materiales.** Identificar materiales y equipos necesarios (tuberías flexibles, válvulas, bombas, soportes). Solicitar y organizar su acopio en campo.
- **Subtarea 2.4: Preparación del punto de conexión.** Habilitar zonas de empalme al sistema existente, considerando seguridad, accesibilidad y espacio para maniobras.
- **Subtarea 2.5: Instalación del bypass hidráulico.** Conectar físicamente el bypass siguiendo el diseño aprobado. Verificar fijación, estanqueidad y alineación.
- **Subtarea 2.6: Pruebas funcionales del bypass.** Realizar pruebas de circulación controlada de caudal. Comprobar ausencia de fugas, presión correcta y operatividad de válvulas.

Tarea 3: Sustitución de valvulería y tuberías

- **Subtarea 3.1: Desmontaje de líneas obsoletas.** Desmontar líneas de conducción antiguas y válvulas defectuosas. Etiquetar componentes retirados y preparar el área para la instalación de nuevas piezas.

- **Subtarea 3.2: Limpieza y preparación del área.** Eliminar residuos, limpiar conexiones y aplicar tratamientos anticorrosivos si procede. Verificar nivelaciones y espacio libre para nuevas válvulas.
- **Subtarea 3.3: Instalación de nuevas válvulas.** Instalar válvulas de compuerta y retención conforme a planos de red. Asegurar orientación, torque y estanqueidad de cada componente.
- **Subtarea 3.4: Montaje de nuevas líneas hidráulicas.** Instalar tramos de tubería según especificaciones técnicas. Realizar uniones con soldadura o bridas según corresponda. Verificar pendientes.
- **Subtarea 3.5: Pruebas hidráulicas de estanqueidad.** Ejecutar pruebas hidráulicas a presión nominal. Verificar fugas, caudales de paso y comportamiento de válvulas instaladas.
- **Subtarea 3.6: Documentación de resultados y validación.** Registrar resultados de pruebas y validar cumplimiento técnico. Cargar planos as-built y checklists en sistema.

Tarea 4: Finalización de 2 módulos.

Finalización de 2 módulos - PTAR Zacoalco de Torres. Cierre estructural, conexión a colectores, pruebas de cloración mínima y validación de estanqueidad.

- **Subtarea 4.1: Estructuras Civiles.** Realizar cierre estructural de los módulos intervenidos, incluyendo instalación de tapas, tapas intermedias y elementos de confinamiento. Verificar estabilidad final.
- **Subtarea 4.2: Conectar los módulos a la red de colectores principal.** Verificar estanqueidad en uniones y continuidad de flujo hacia tratamiento
- **Subtarea 4.3: Limpieza sanitaria de módulos terminados.** mediante lavado y desinfección básica con solución diluida.
- **Subtarea 4.4: Instalar sistema de dosificación de cloro en la salida de la PTAR.** Incluir tanque de hipoclorito, bomba dosificadora y punto de inyección. Aplicar dosis segura conforme a la NOM-003.

Tarea 5: Pruebas operativas de la PTAR.

Pruebas operativas de la PTAR - Verificación del funcionamiento hidráulico, eléctrico y biológico. Evaluación de arranque, control y vertido.

- **Subtarea 5.1: Verificación hidráulica general.** Inspeccionar caudales en cada tramo de la planta. Verificar continuidad de flujo, ausencia de fugas, presión adecuada y niveles de operación.
 - **Subtarea 5.2: Prueba de equipos electromecánicos.** Encender motores, sopladores, bombas y tableros. Comprobar consumo eléctrico, arranques, protecciones y alarmas.
 - **Subtarea 5.3: Control de parámetros biológicos iniciales.** Evaluar comportamiento del lodo activado. Tomar muestras, analizar DBO, sólidos sedimentables y presencia de oxígeno disuelto.
 - **Subtarea 5.4: Registro de parámetros de vertido.** Tomar muestra del efluente tratado. Comparar con límites de la NOM-001. Registrar DBO5, SST, grasas, coliformes y cloro residual.
 - **Subtarea 5.5: Validación operativa con técnicos locales.** Validar condiciones finales de operación con técnicos municipales. Definir ajustes de operación y pasos para monitoreo continuo.
3. **Configuración de las Órdenes de Trabajo (OT).** Una vez definido el plan de tareas, se procede a la configuración de las correspondientes órdenes de trabajo. Desde el dashboard, en el apartado “Órdenes de Trabajo”, es posible visualizar el estado de todas las órdenes generadas, el cual puede clasificarse como: Tareas pendientes, OTs en Proceso, OTs en Revisión y OTs Finalizadas (**Imagen 22**). Esta clasificación permite realizar un seguimiento sistemático del progreso de las intervenciones, garantizando así una gestión eficiente del mantenimiento.

Para definir una Orden de Trabajo, en primer lugar, es necesario asignar a un responsable que gestione la ejecución del mantenimiento además se incluirá una descripción de los trabajos y sub tareas a realizar. En el caso de la primera tarea programada, el responsable asignado ha sido Pedro Rodríguez Malagón (**Imagen 23**). Automáticamente al crear la OT le llega una notificación por correo electrónico al responsable asignado para dicha tarea (**Imagen 24**).

El responsable asignado podrá acceder a la Orden de Trabajo OT o escanear el código QR del activo correspondiente (**Imagen 26**). De este modo, tendrá acceso a toda la información detallada del activo sobre el que se va a realizar el mantenimiento (**Imagen 25**): Historial de mantenimientos previos (**Imagen 27**), emplazamiento, fichas técnicas, personal asignado (**Imagen 28**), materiales necesarios, tiempo estimado de intervención, así como manuales y normativas aplicables, entre otros documentos de referencia (**Imagen 29**).

Esta primera tareas ha sido programada para el 10 de Julio de 2025 y en consecuencia se mantendrá en OTs en Proceso hasta que se el progreso de la actividad alcance el 100%. De igual forma se han configurado las otras 4 OTs que componen este primer Plan de Tareas (**Imagen 30**). Cabe destacar que la interfaz de uso libre de Fracttal- One, permite descargar un reporte en PDF y Excel con las fichas de los mantenimientos programados.

Imagen 19. Se define la Subtarea 1, con su descripción y sub trabajos asociados, así como su prioridad, duración estimada y la fecha en la que comenzará (Fracttal One, s. f.).

Imagen 20. Plan de tareas propuestos para la puesta en marcha de la PTAR, se ha estimado un presupuesto de 450.000 USD (Fracttal One, s. f.).

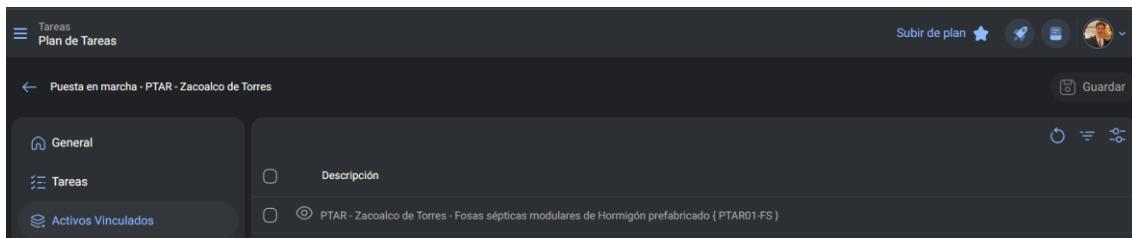


Imagen 21. Activos vinculados dentro del Plan de Tareas (Fracttal One, s.f.).

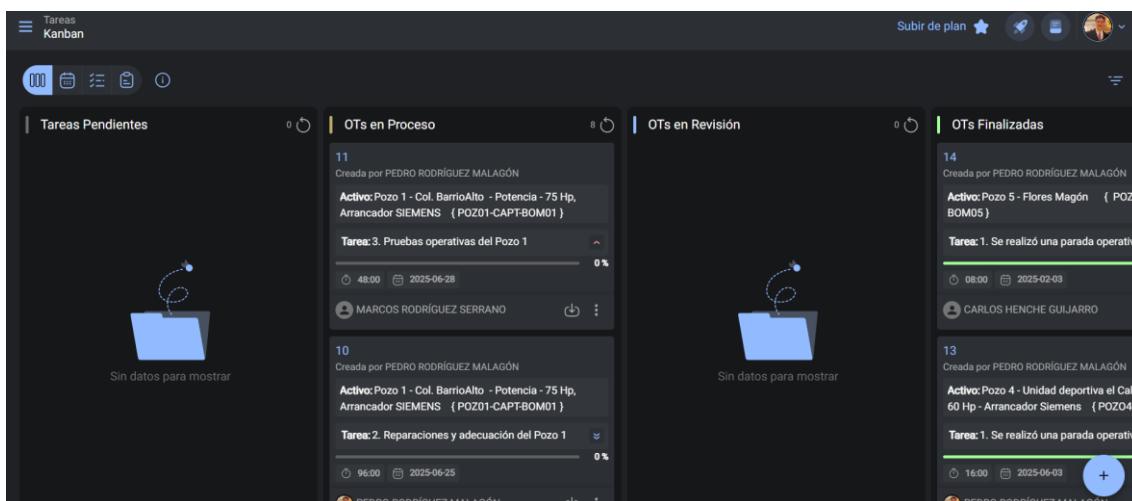


Imagen 22. Visualizador de órdenes de Trabajo (Fracttal One, s.f.)



Imagen 23. Responsable asignado a la tarea 1 del plan de trabajo (Fracttal One, s.f.)

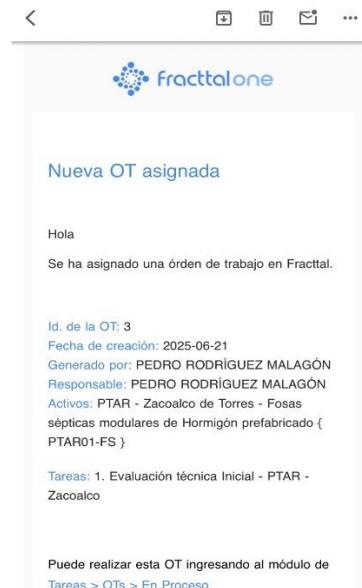


Imagen 24. Vinculación de la OT con el email de responsable de su gestión. (Fracttal One, s.f.)

Imagen 25. Descripción de la tarea principal a realizar en esta OT (Fracttal One, s.f.)

Imagen 26. Código QR que permite acceder a toda la información del activo (Fracttal One, s.f.)

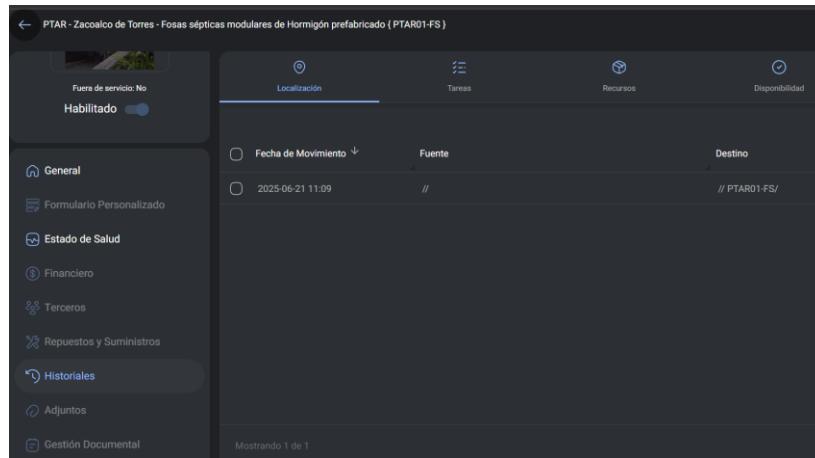


Imagen 27. Historial previo de mantenimiento del activo (Fracttal One, s.f.)

Imagen 28. Recursos Asignado a esta OT, además de su coste hora/hombre y su rol para esta tarea. (Fracttal One, s.f.)

Imagen 29. Manuales y documentación técnica que puede dar soporte y facilitar las labores de mantenimiento (Fracttal One, s.f.).

OTs en Proceso

8
Creada por PEDRO RODRÍGUEZ MALAGÓN

Activo: PTAR - Zacoalco de Torres - Fosas sépticas modulares de Hormigón prefabricado {PTAR01-FS}

Tarea: 5. Pruebas operativas de la PTAR - ...
0 %

⌚ 552:00 📅 2026-02-17

LIC. J. FELIX MADRIGAL GUZMAN

OTs en Proceso

8
Creada por PEDRO RODRÍGUEZ MALAGÓN

Activo: PTAR - Zacoalco de Torres - Fosas sépticas modulares de Hormigón prefabricado {PTAR01-FS}

Tarea: 4. Finalización de 2 módulos - PTAR ...
0 %

⌚ 816:00 📅 2026-01-13

JUAN MANUEL ALAMEDA VILLAMAYOR

OTs en Proceso

6
Creada por PEDRO RODRÍGUEZ MALAGÓN

Activo: PTAR - Zacoalco de Torres - Fosas sépticas modulares de Hormigón prefabricado {PTAR01-FS}

Tarea: 3. Sustitución de valvulería y tuberías – PTA...
0 %

⌚ 984:00 📅 2025-12-02

MARCOS RODRÍGUEZ SERRANO

OTs en Proceso

5
Creada por PEDRO RODRÍGUEZ MALAGÓN

Activo: PTAR - Zacoalco de Torres - Fosas sépticas modulares de Hormigón prefabricado {PTAR01-FS}

Tarea: 2. Bypass hidráulico temporal – PTAR ...
0 %

⌚ 624:00 📅 2025-11-03

CARLOS HENCHE GUIJARRO

OTs en Proceso

4
Creada por PEDRO RODRÍGUEZ MALAGÓN

Activo: PTAR - Zacoalco de Torres - Fosas sépticas modulares de Hormigón prefabricado {PTAR01-FS}

Tarea: 1. Evaluación técnica inicial - PTAR - ...
0 %

⌚ 264:00 📅 2025-07-14

PEDRO RODRÍGUEZ MALAGÓN

Imagen 30. OTs Programada y a falta de iniciarse en la fecha fichada (Fractal One, s.f.)

3.2 Pozo 5 – Mantenimiento Preventivo - completado el 3 de febrero de 2025

En este segundo caso práctico, se ha generado un plan de trabajo con sus respectivas subtareas. Posteriormente se ha definido la Orden de Trabajo OT, para la cual se ha asignado un responsable, en este caso Don Carlos Henche Guijarro, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos y Máster Bim. Tras activarse la OT se han llevado a cabo las tareas de mantenimiento pertinentes y se han descrito los trabajos que se llevaron a cabo durante el mantenimiento para cada una de las Sub Tareas (**Imagen 31**).

1. Nota OT – Mantenimiento Preventivo en Pozo 5 – Parada Operativa Programada

Durante la semana del 3 al 7 de febrero de 2025 se llevó a cabo una parada programada del Pozo 5, con el objetivo de efectuar tareas de mantenimiento preventivo que permitieran preservar la funcionalidad de la infraestructura y reducir riesgos operativos.

Los trabajos ejecutados fueron:

- **Obras civiles:** mantenimiento de la plantilla y puertas, aterrizaje del tren de descarga e instalación de cunetas perimetrales para la evacuación adecuada de pluviales.
- **Mecánica:** sustitución del macromedidor, calibración del manómetro, mantenimiento del sistema de inyección de cloro, aplicación de pintura antioxidante y adecuación del tren de descarga.
- **Eléctrico:** mejora del sistema de iluminación, instalación de horómetro y bancos de capacitores, e instalación de ducterías para el sistema de cloración.

2. Confirmación de los trabajos realizados y cierre de la OT

Tras confirmar y verificar las subtareas descritas en la Orden de Trabajo (OT), se procede a su cierre, mediante firma y clasificación según el nivel de desempeño alcanzado (**Imagen 32**). Una vez firmada, la OT pasa al estado “**OTs en Revisión**” para su validación por parte de los responsables del departamento, y posteriormente al estado de “**OTs Finalizadas**”

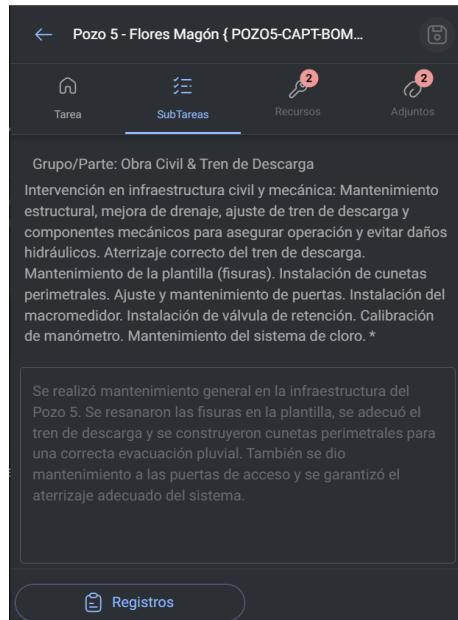


Imagen 31. Descripción de los trabajos realizados para cumplir con esta Subtarea (Frattal One, s. f.)

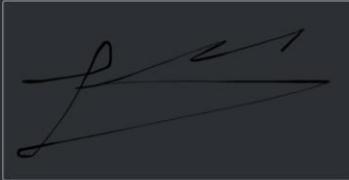
Orden de Trabajo		Detalles de la Firma: 14	
CARLOS HENCHE GUIJARRO 2025-02-03 08:00 00:00 Nota: Durante la semana del 3 al 7 de febrero de 2025 se llevó a cabo una parada operativa programada del Pozo 5 – [nombre de la colonia o ubicación] mantenimiento preventivo en sus componentes electromecánicos, de obra civil y del sistema de cloración, asegurando así la continuidad opera		Calificación  ★★★★	
Los trabajos realizados incluyeron: Tareas Pozo 5 - Flores Magón (POZO5-CAPT-BOM05) // POZO5 - MX-JAL-ZAC-ZN05/ 1. Se realizó una parada operativa del Pozo 5 - "Flores Magón" para ejecutar tareas de mantenimiento preventivo en la bancada de la bomba y e		Detalles de la Firma Trabajo verificado: Firma Pedro R.	
Prioridad: Baja Tipo de Tarea: Mantenimiento Preventivo Clasificación 1: Sistemas Hidráulicos Clasificación 2: Mantenimientos Programados Nro. Solicitud: Fecha Programada: 2025-02-03 Duración Estimada: 08:00:00			

Imagen 32. Verificación, calificación y cierre de la OT creada para el mantenimiento preventivo del Pozo 5 (Frattal One, s. f.)

4. ANÁLISIS GRÁFICOS E INDICADORES DE DESEMPEÑO

Desde el Dashboard de Frattal, será posible analizar y visualizar de forma gráfica todas las Órdenes de Trabajo Creadas, finalizadas o pendientes, además de evaluar distintos indicadores clave relacionados con su cumplimiento. Entre ellos destacan la cantidad de tareas planificadas Vs no planificadas, lo que permitirá evaluar el desempeño del departamento y detectar los puntos fuertes y áreas de mejora en la gestión del mantenimiento.

Estos gráficos y reportes han sido empleados como fuente de datos para alimentar al modelo generativo gestionado por inteligencia artificial, de modo que, a través de técnicas de Machine

learning, se optimice progresivamente la gestión departamental y la eficiencia en el mantenimiento de los activos.

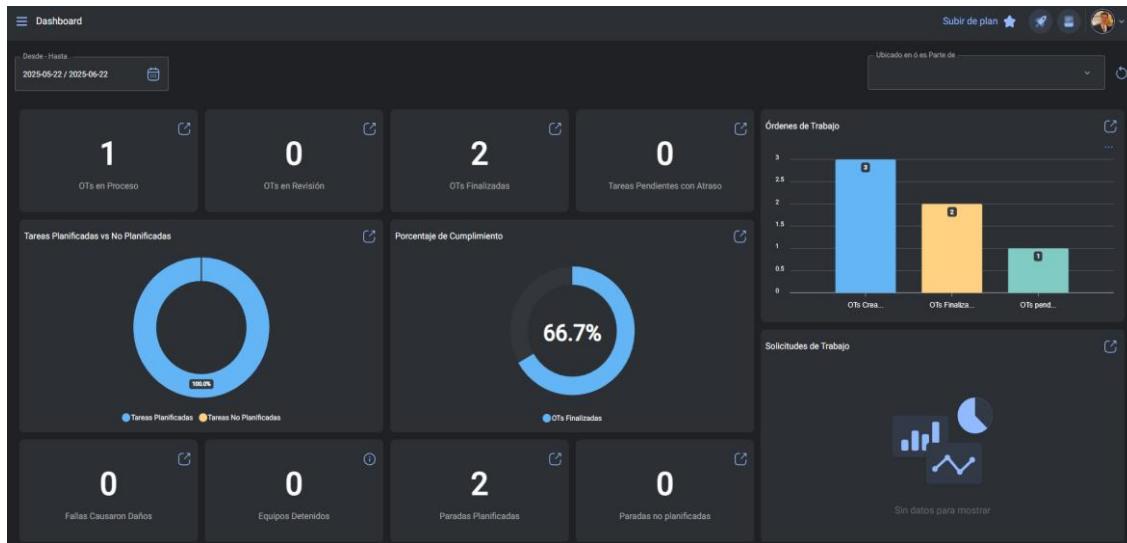


Imagen 33. Dashboard con visualización gráfica del rendimiento en el cumplimiento de las órdenes de Trabajo (Fractal One, s.f.).



Imagen 34 Prioridad de las Tareas e importancia de los activos dentro del sistema (Fractal One, s.f.).

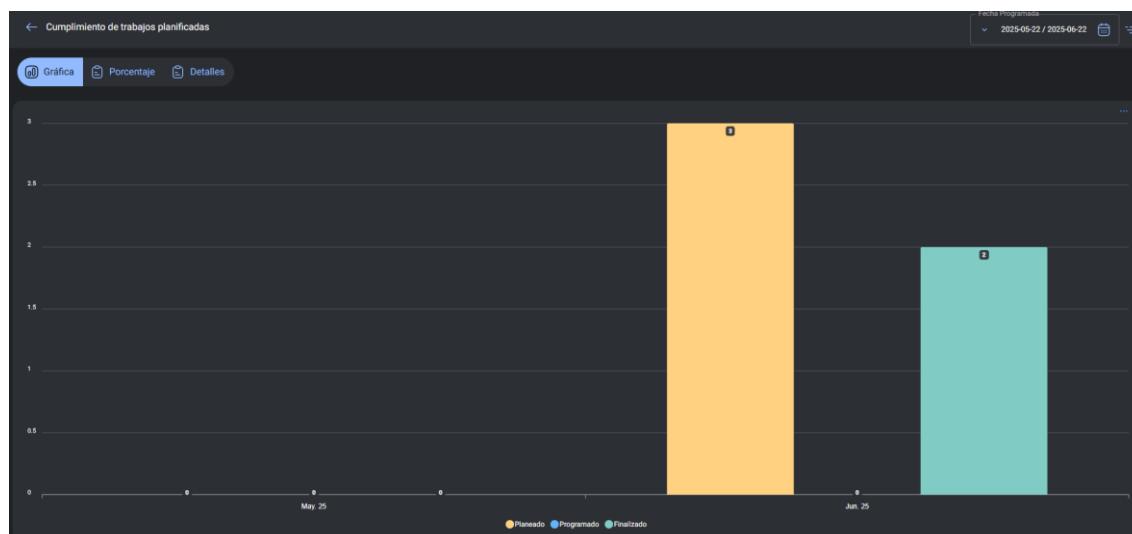


Imagen 35 Gráfico de cumplimiento de trabajos planificados (Fractal One, s.f.).

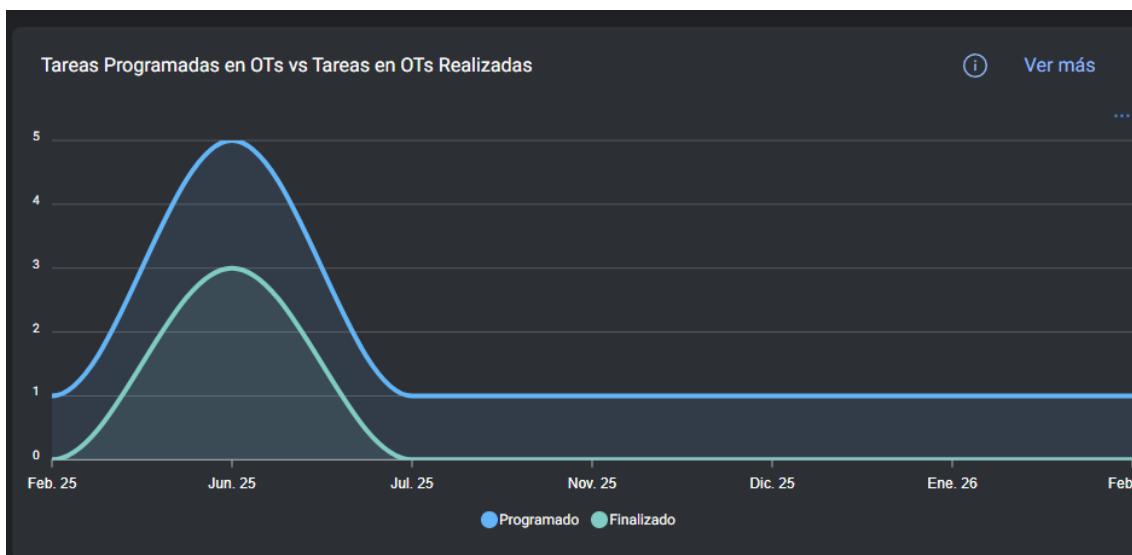


Imagen 36. Tareas programadas vs tareas finalizadas (Fractal One, s. f.).

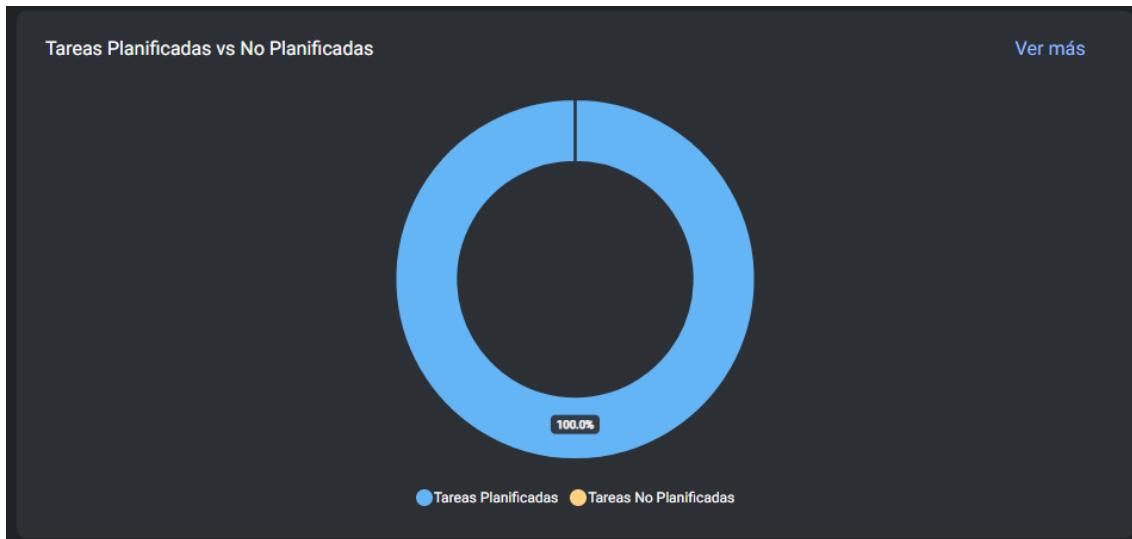


Imagen 37 Tareas planificadas vs no planificadas, nos puede dar una idea de la eficiencia de los mantenimientos preventivos y predictivos (Fractal One, s. f.).

5. CONSIDERACIONES FINALES

A continuación, se detallarán los puntos fuertes y débiles detectados en el uso de la plataforma Fractal-One como herramienta de apoyo para la Gestión Operativa del Mantenimiento Asistida por Ordenador (GMAO), aplicada en el caso de estudio del municipio de Zacoalco de Torres. Este análisis permitirá identificar el potencial de la herramienta en contextos similares facilitando su escalabilidad e implantación en otros emplazamientos, así como las limitaciones que deben tenerse en cuenta para su implementación en proyectos de cooperación al desarrollo vinculados a la gestión de infraestructuras hidráulicas.

5.1. Puntos Positivos de usar Fracttal One (versión gratuita)

- 1. Acceso completo a las funciones esenciales:** La versión gratuita permite crear activos, tareas, órdenes de trabajo (OT), planes de mantenimiento y asignar responsables, cubriendo algunas de las necesidades básicas de la gestión del mantenimiento.
- 2. Interfaz intuitiva y moderna:** El diseño de la interfaz es claro, accesible y visualmente estructurado, lo cual facilita el seguimiento de las actividades de mantenimiento y la navegación entre módulos. Presenta una curva de aprendizaje baja, ideal para proyectos académicos o pilotos en contextos reales.
- 3. Gestión basada en la nube:** Fracttal-One opera completamente en la nube, lo que elimina la necesidad de instalaciones locales y permite el acceso remoto desde cualquier dispositivo con conexión a internet. Esta característica es especialmente útil para equipos multidisciplinarios distribuidos geográficamente o en contextos de trabajo colaborativo con supervisores y técnicos externos. En el caso de Zacoalco de Torres, esta funcionalidad ha permitido que diferentes actores del proyecto puedan supervisar, documentar y actualizar el estado de los activos en tiempo real, mejorando la coordinación y la eficiencia en la toma de decisiones operativas.
- 4. Configuración flexible de tareas:** Fracttal-One permite la creación de planes de mantenimiento tanto preventivo como correctivo, con la posibilidad de establecer activadores por tiempo, uso o condición, lo que lo hace adaptable a una amplia variedad de esquemas de mantenimiento técnico. Esta flexibilidad resulta especialmente útil en infraestructuras hidráulicas como las analizadas en Zacoalco de Torres, donde la diversidad de activos y condiciones de operación exige una planificación dinámica y ajustada a la realidad del sistema.
- 5. Ideal para la documentación y el seguimiento del mantenimiento:** La posibilidad de adjuntar documentos técnicos, registrar firmas digitales, incluir observaciones detalladas y evidencias fotográficas convierte a Fracttal-One en una herramienta de gran valor para garantizar la trazabilidad completa de las acciones realizadas. Esta funcionalidad permite justificar y validar las intervenciones tanto en el marco de un proyecto académico como en contextos de aplicación profesional, contribuyendo a una gestión transparente, ordenada y técnicamente fundamentada.

5.2. Puntos Negativos o Limitaciones de usar Fracttal One (versión gratuita)

- Límite de usuarios y activos:** La versión gratuita de Fracttal-One presenta restricciones significativas en cuanto al número de usuarios activos, activos registrados y Órdenes de Trabajo que pueden ser creadas simultáneamente. Estas limitaciones pueden convertirse en un cuello de botella operativo en proyectos más complejos o que involucren múltiples infraestructuras. Además, no es posible acceder a funciones avanzadas como los catálogos de servicios, monitoreo en tiempo real, automatización de procesos, inteligencia de negocio, disco virtual o gestión de solicitudes de trabajo **Imagen 38**. Esta carencia puede limitar el desarrollo de estrategias de mantenimiento más integrales o basadas en análisis predictivos.



Imagen 38. La versión gratuita de Fracttal-One solo permite el acceso a la opción de catálogos y tareas (Fracttal One, s.f.)

- Ausencia de integración con sensores IoT y API externa:** La versión gratuita de Fracttal-One no permite la integración con sensores IoT, sistemas SCADA ni plataformas ERP, lo cual limita su aplicabilidad en determinados entornos, donde la conectividad y la retroalimentación en tiempo real son fundamentales para una gestión eficiente del mantenimiento. Asimismo, no es posible vincular el modelo con entornos BIM (Building Information Modeling) de forma directa, lo que restringe su uso en flujos de trabajo colaborativos multidisciplinares basados en modelos digitales integrados. No obstante,

existe la posibilidad de vinculación mediante URL a plataformas CDE (Common Data Environment), lo que podría facilitar, en parte, la interoperabilidad con otros sistemas.

3. **Personalización limitada de informes e indicadores clave de rendimiento (KPIs):** En la versión gratuita de Fracttal-One, los reportes generados presentan una capacidad de personalización limitada, lo que impide adaptar su formato a los estándares gráficos, logotipos institucionales o criterios específicos de presentación requeridos por empresas u organismos públicos. Asimismo, la edición de KPIs es básica, limitando su utilidad para un análisis detallado del desempeño del mantenimiento desde una perspectiva técnico-estratégica.
4. **Ausencia de soporte técnico personalizado:** El soporte ofrecido en la versión gratuita se limita a documentación estándar, foros comunitarios y recursos de autoayuda, lo que puede dificultar la resolución de incidencias técnicas específicas en tiempo real. No se dispone de atención directa por parte del equipo técnico de la plataforma, salvo que se contrate una suscripción de pago, lo cual representa una limitación importante en entornos donde se requiera asistencia inmediata o adaptaciones específicas para contextos complejos como el de Zacoalco de Torres.
5. **Imposibilidad de realizar un respaldo completo o migración sencilla a otras plataformas:** La exportación masiva de datos en la versión gratuita está restringida a ciertos formatos básicos (como hojas de cálculo simples), lo que limita la interoperabilidad con otras herramientas profesionales de gestión del mantenimiento. Además, no se garantiza que todos los registros, puedan recuperarse en formatos reutilizables, lo que representa una barrera importante tanto para auditorías externas como para una eventual migración a plataformas más robustas o adaptadas a sistemas BIM o SCADA.

5.3 Conclusiones del GMAO Desarrollado en Fracttal-One.

Se determinar que el GMAO desarrollado en Fracttal-One, en su versión gratuita, pese a sus limitaciones, puede representar una herramienta útil como fase inicial para la implementación de modelos de Gestión del Mantenimiento Asistida por Ordenador (GMAO), especialmente en municipios o comunidades que aún no cuentan con una metodología estructurada en este ámbito.

Esta solución permite iniciar la digitalización de los sistemas de mantenimiento de forma accesible, y facilita una transición progresiva hacia herramientas más avanzadas, partiendo de una

experiencia práctica y con una base de datos ya estructurada y registrada. De este modo, se genera una cultura organizacional orientada a la trazabilidad, el control técnico y la mejora continua del mantenimiento de infraestructuras esenciales.

Los reportes en formato Excel pueden integrarse con el modelo generativo asistido por inteligencia artificial, ya que su estructura de datos es compatible con los procesos de análisis y aprendizaje automático. Por el contrario, los reportes en formato PDF no pueden cargarse al modelo, dado que se generan como imágenes embebidas o documentos no estructurados, lo cual impide, por el momento, su lectura y procesamiento automatizado por parte del sistema.

En relación con la adaptabilidad del GMAO a entornos BIM, la versión gratuita de Fracttal One presenta limitaciones significativas en este aspecto, lo que ha hecho inviable establecer una conexión directa entre el GMAO y el modelo BIM. Además, es importante destacar que, en los entornos complejos donde se pretende aplicar esta metodología, suele ser poco habitual contar con personal técnico capacitado para mantener un modelo BIM estructurado de forma autónoma. Esto, en la mayoría de los casos, deriva en el abandono del modelo BIM debido a su elevada complejidad y a la falta de recursos especializados.

En relación con el modelo generativo en ChatGPT, al contener toda la información estructurada y las bases de datos del Departamento de Agua Potable, ha sido capaz de generar una serie de planes de mantenimiento coherentes, contextualizados y técnicamente viables, adaptados al entorno real de aplicación. Como resultado, se puede concluir que esta fase de integración e interrelación entre el sistema GMAO y el modelo generativo asistido por inteligencia artificial ha sido un éxito, demostrando su potencial como herramienta de apoyo para la toma de decisiones en la gestión operativa del mantenimiento.

Esta herramienta, de fácil replicabilidad e implementación en diferentes contextos, destaca por su escalabilidad y versatilidad, lo que puede suponer un antes y un después en la gestión de proyectos de cooperación al desarrollo en el ámbito de la gestión hídrica.

BIM-XXX-ANJ-002-ANEJO N°2-
BUILDING_INFORMATION_MODELING

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	3
2. PREPARACIÓN DE LOS DATOS EN ArcMAP	3
3. CONVERSIÓN DEL RASTER A NUBE DE PUNTOS	5
4. EXPORTACIÓN DE LOS DATOS VECTORIALES	6
5. DEPURACIÓN DE DATOS MEDIANTE TABULACIÓN EN EXCEL	7
6. EXPORTACIÓN A FORMATO XYZ	7
7. CARGA DEL ARCHIVO EN AUTODESK RECAP	7
8. EXPORTACIÓN DEL MODELO A REVIT	9
9. CONCLUSIONES Y SIGUIENTES PASOS	11

Imagen 1. Modelo LIDAR descargado de (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), s. f.) y cargado en el entorno de ReCap Pro (Software Autodesk ReCap Pro, s. f.).	4
Imagen 2. Nube de puntos del LIDAR con baja definición y cargada en ReCap Pro (Software Autodesk ReCap Pro, s. f.).	4
Imagen 3. Generación del modelo raster en ArcMap (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), s. f.).	5
Imagen 4. Conversión del modelo (.BIL) a .asc para convertir a XYZ y poder exportarlo a Recap (Software Autodesk ReCap Pro, s. f.).	6
Imagen 5. Exportación de la nube de puntos XYZ.	6
Imagen 6. Visualización en ReCap del modelo tridimensional ya procesado (Software Autodesk ReCap Pro, s. f.).	8
Imagen 7. Visualización en ReCap del modelo tridimensional ya procesado (Software Autodesk ReCap Pro, s. f.).	8
Imagen 8. Modelo en Revit con la Planimetría, la altimetría y la topografía del modelo LIDAR superpuesta.	9
Imagen 9. Discrepancia en las elevaciones entre la planimetría y la nube de puntos. La altimetría no estaría bien georreferenciada (Fuente: Marcos Rodríguez Serrano).	9
Imagen 10. Cartografía con triangulación del LIDAR en Istram con superposición de la altimetría y la planimetría.	10
Imagen 11. Planimetría sobre cartografía.	10
Imagen 12. Cartografía, tras triangulación en Istram (Fuente: Marcos Rodríguez Serrano)	11

1. INTRODUCCIÓN

Este anexo describe el procedimiento técnico seguido para transformar un archivo LIDAR en un Modelo Digital de Elevaciones (DEM) en formato ráster (.bil), generado mediante ArcMap, y posteriormente convertido en una nube de puntos en formato XYZ compatible con Autodesk ReCap.

El proceso parte de una nube de puntos LIDAR, a partir de la cual se genera un modelo ráster interpolado que representa la topografía de la zona de estudio. A continuación, se describen de forma detallada las etapas de tratamiento del DEM, conversión a datos vectoriales, limpieza y depuración de la información, y exportación final en un formato XYZ para su integración en entornos 3D.

El objetivo principal de este procedimiento es representar la topografía del área analizada en un entorno tridimensional, con el fin de facilitar su integración en plataformas BIM y su utilización en tareas de planificación, diseño y gestión de infraestructuras dentro del marco del presente proyecto.

2. PREPARACIÓN DE LOS DATOS EN ArcMAP

El proceso se inició con la descarga del archivo LIDAR desde la plataforma oficial del Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México (INEGI) (*Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)*, s. f.), organismo encargado de proveer información geoespacial de referencia. Tras cargar el LIDAR en el software ReCap Pro (*Software Autodesk ReCap Pro*, s. f.) se pudo observar que el nivel de detalle de la nube de puntos no era suficiente es por ello que se decidió limpiar el LIDAR y procesarlo a través del software ArcMap.

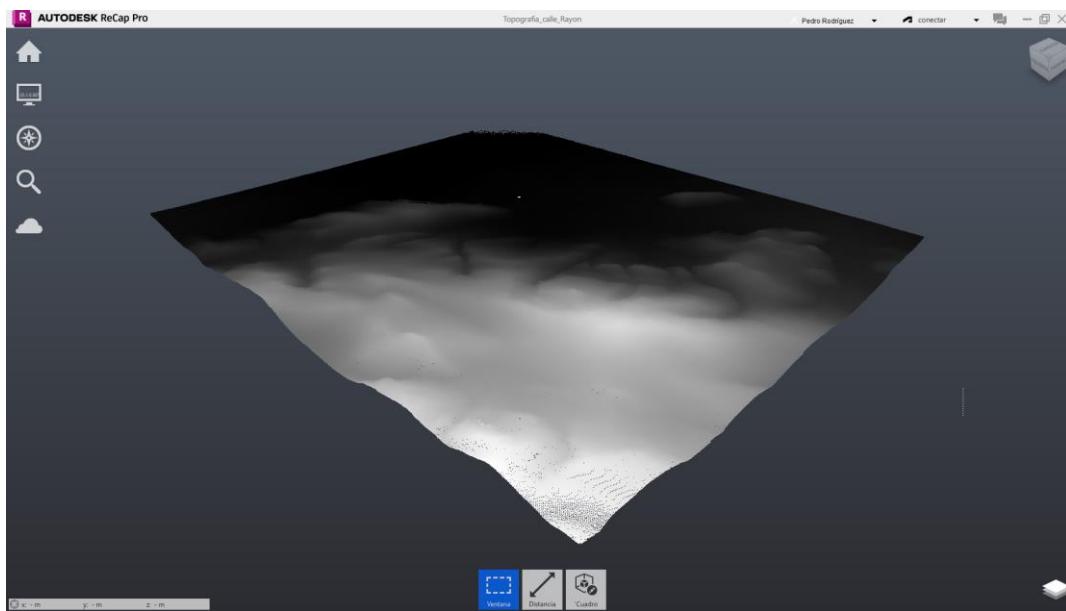


Imagen 1. Modelo LIDAR descargado de (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), s. f.) y cargado en el entorno de ReCap Pro (Software Autodesk ReCap Pro, s. f.).

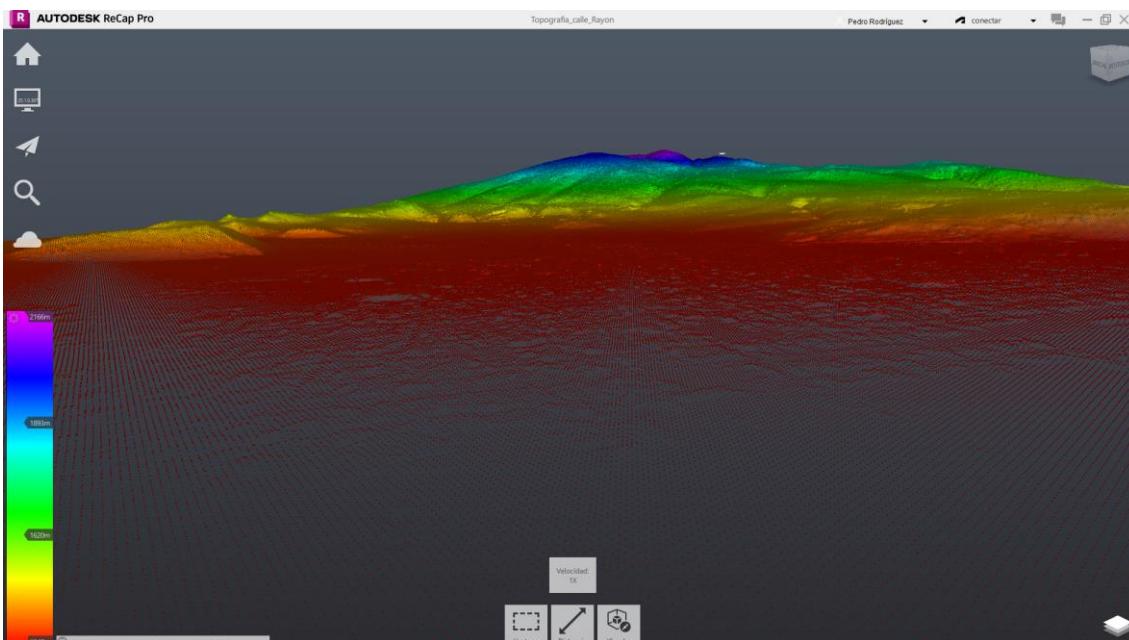


Imagen 2. Nube de puntos del LIDAR con baja definición y cargada en ReCap Pro (Software Autodesk ReCap Pro, s. f.).

A partir de los datos crudos obtenidos, se generó un Modelo Digital de Elevaciones (DEM) en formato ráster (.bil), que fue procesado en el entorno de ArcMap.

Una vez cargado el DEM en ArcMap, se procedió a verificar el sistema de referencia espacial con el fin de preservar la fidelidad posicional del modelo a lo largo del flujo de trabajo. Las especificaciones del sistema fueron:

- Sistema de coordenadas: MEXICO_ITRF_2008_UTM_Zone_13N
- Unidades: metros

Esta validación resulta esencial, ya que asegura que las coordenadas generadas en la nube de puntos mantengan la consistencia geográfica requerida para una representación precisa en el entorno tridimensional de Autodesk ReCap (*Software Autodesk ReCap Pro*, s. f.).

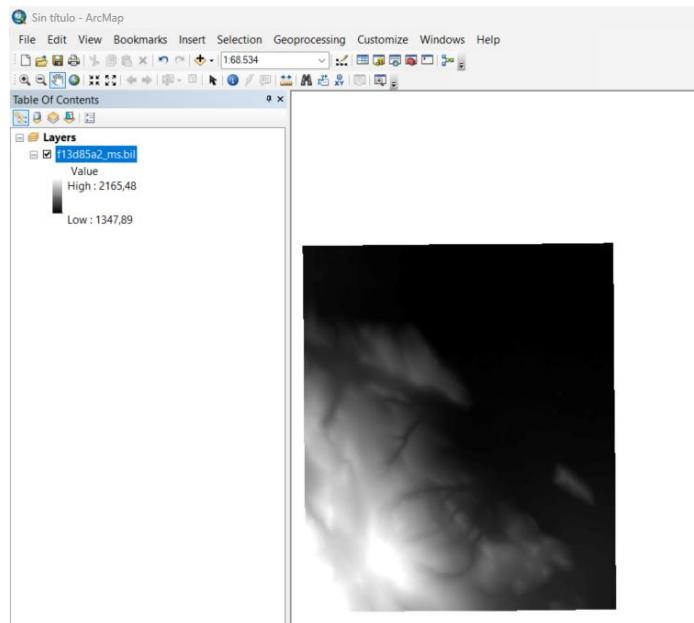


Imagen 3. Generación del modelo raster en ArcMap (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), s. f.)

3. CONVERSIÓN DEL RASTER A NUBE DE PUNTOS

Con el ráster cargado correctamente en ArcMap, se utilizó la herramienta ‘Raster to Point’ del módulo ArcToolbox, con el objetivo de convertir el modelo digital de elevaciones en una capa de puntos vectoriales. Los parámetros definidos para la operación fueron los siguientes:

- Input raster: archivo en formato (.bil).
- Campo: GRID_CODE, correspondiente al valor de elevación en cada celda del ráster.
- Output: capa en formato shapefile (.shp), acompañada de los archivos auxiliares correspondientes (.shx, .dbf, .prj, etc.).

El resultado de esta operación fue una capa vectorial de puntos georreferenciados en dos dimensiones (X, Y), cada uno de ellos asociado a un valor de altitud (Z) a través del campo GRID_CODE. Esta capa constituye una representación intermedia de la nube de puntos bidimensional que posteriormente será transformada a formato XYZ para su integración en plataformas tridimensionales como Autodesk ReCap.

4. EXPORTACIÓN DE LOS DATOS VECTORIALES

Mediante clic derecho sobre la capa > Data > Export Data, se generó una nueva capa limpia de puntos, la cual fue exportada en formato .shp y almacenada en el directorio de trabajo del proyecto. Esta exportación permite conservar únicamente los puntos dentro del área de interés delimitada, eliminando posibles registros innecesarios derivados del ráster completo.

Una vez obtenida la capa vectorial definitiva, se accedió a su tabla de atributos y se procedió a su exportación en formato .dbf con el fin de preparar los datos para su posterior conversión al formato XYZ requerido por Autodesk ReCap.

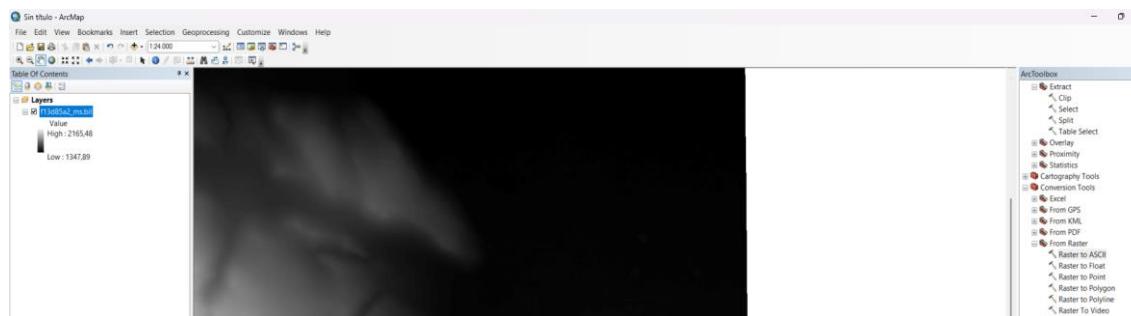


Imagen 4. Conversión del modelo (.BIL) a .asc para convertir a XYZ y poder exportarlo a Recap (Software Autodesk ReCap Pro, s. f.).

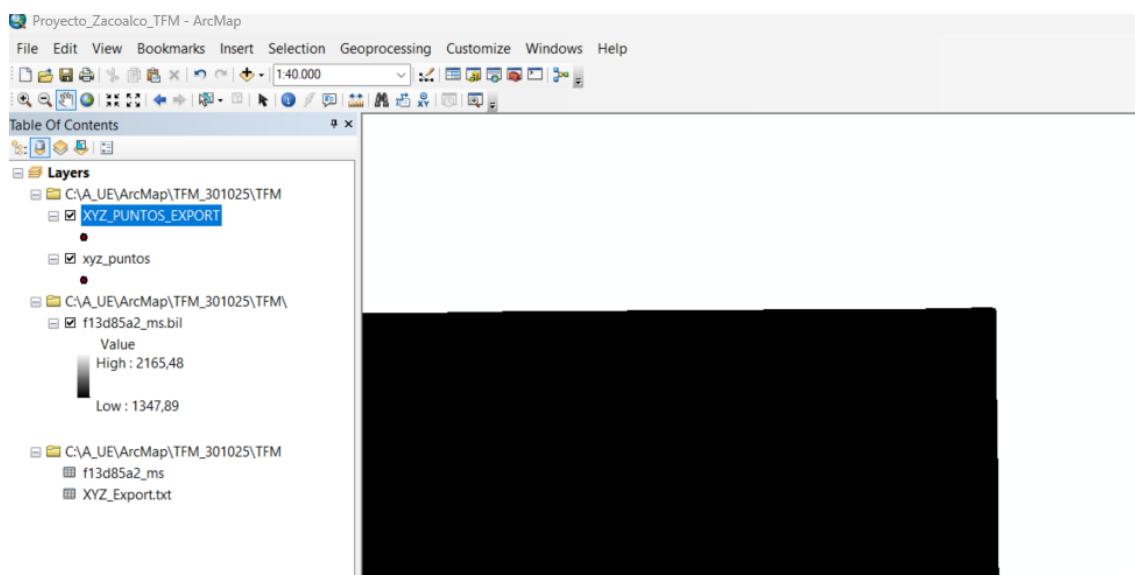


Imagen 5. Exportación de la nube de puntos XYZ

5. DEPURACIÓN DE DATOS MEDIANTE TABULACIÓN EN EXCEL

Se importó el archivo .dbf en Microsoft Excel utilizando el asistente de importación de texto con separador de campo punto y coma (;). Durante el proceso, se conservaron únicamente las columnas relevantes para la generación de la nube de puntos:

- POINT_X (coordenada Este)
- POINT_Y (coordenada Norte)
- GRID_CODE (valor de elevación)

Se descartaron columnas auxiliares como FID y POINTID, al no aportar información relevante para la reconstrucción topográfica.

Posteriormente, se aplicó formato numérico homogéneo (1-2 decimales) a cada una de las columnas y se verificó que el separador decimal utilizado fuese el punto (.), tal y como exige Autodesk ReCap.

Adicionalmente, se reemplazaron los separadores de campo ; por comas ,, de acuerdo al formato de archivo .XYZ, y se reordenaron las columnas en el orden X, Y, Z, requerido por la aplicación de destino.

6. EXPORTACIÓN A FORMATO XYZ

Finalmente, se procedió a abrir el archivo .csv resultante desde Bloc de notas, verificando que la estructura de columnas respondiera al formato X, Y, Z separado por comas.

Desde este editor de texto, se guardó el archivo con extensión .xyz, seleccionando como tipo de archivo: "Todos los archivos" y estableciendo la codificación en UTF-8, tal como requiere Autodesk ReCap para reconocer correctamente los caracteres del archivo.

- Nombre final del archivo: EXP_RECAP_MS.xyz
- Tipo: Todos los archivos
- Codificación: UTF-8

Este archivo es ya compatible con ReCap y permite representar de forma tridimensional la topografía del área de estudio, preservando tanto su geometría como su georreferenciación y con un mayor nivel de detalle.

7. CARGA DEL ARCHIVO EN AUTODESK RECAP

Una vez cargado el archivo .xyz en Autodesk ReCap, el software interpretó correctamente la nube de puntos y representó el modelo con una escala cromática basada en la altitud, permitiendo visualizar de manera clara los cambios topográficos del área de estudio. La visualización en el entorno tridimensional confirmó la correcta conversión del modelo, así como la distribución

espacial coherente y la adecuada calidad geométrica de los datos procesados. Este resultado valida la metodología empleada y demuestra la utilidad del flujo de trabajo para representar con precisión la topografía en proyectos de infraestructura y gestión territorial.

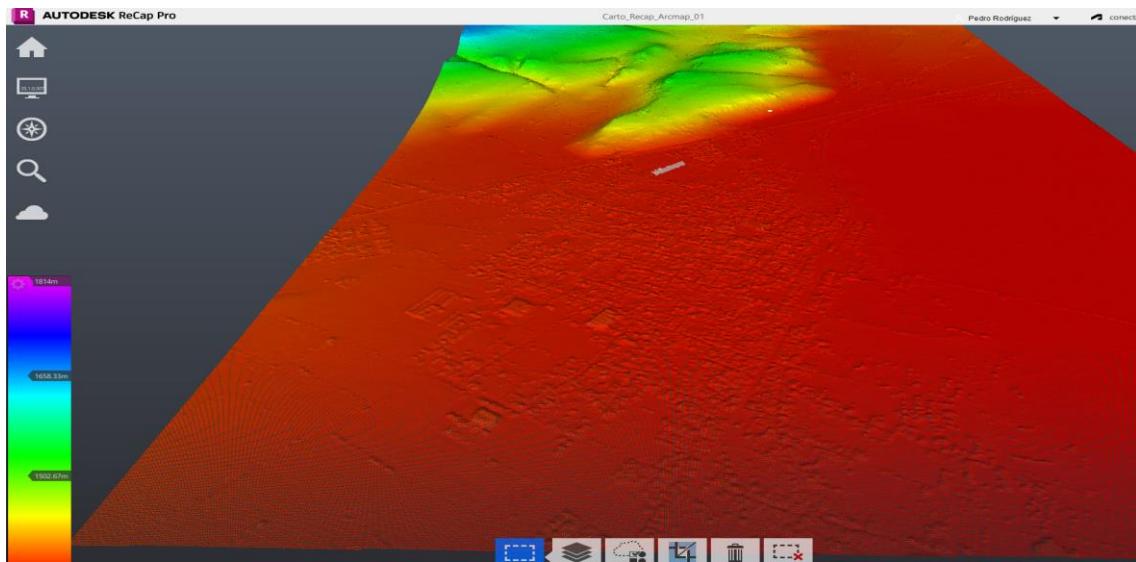


Imagen 6. Visualización en ReCap del modelo tridimensional ya procesado (Software Autodesk ReCap Pro, s. f.)

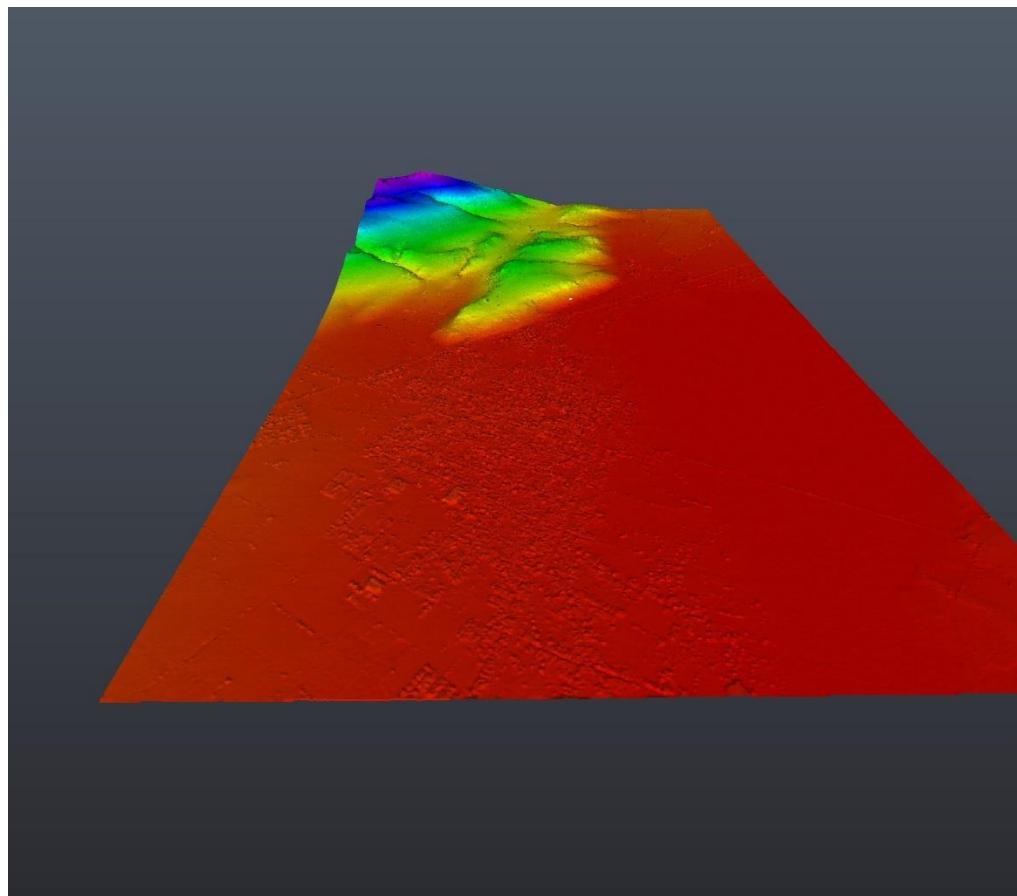


Imagen 7. Visualización en ReCap del modelo tridimensional ya procesado (Software Autodesk ReCap Pro, s. f.).

8. EXPORTACIÓN DEL MODELO A REVIT

El modelo tridimensional generado se exporta a Autodesk Revit, donde se procede a cargar tanto la planimetría como la altimetria del área de estudio. Esta integración permite una mejor comprensión del entorno de trabajo, facilitando la localización precisa de los elementos a modelar y proporcionando un marco de referencia más completo y contextualizado para el desarrollo de soluciones de infraestructuras hidráulicas urbanas.

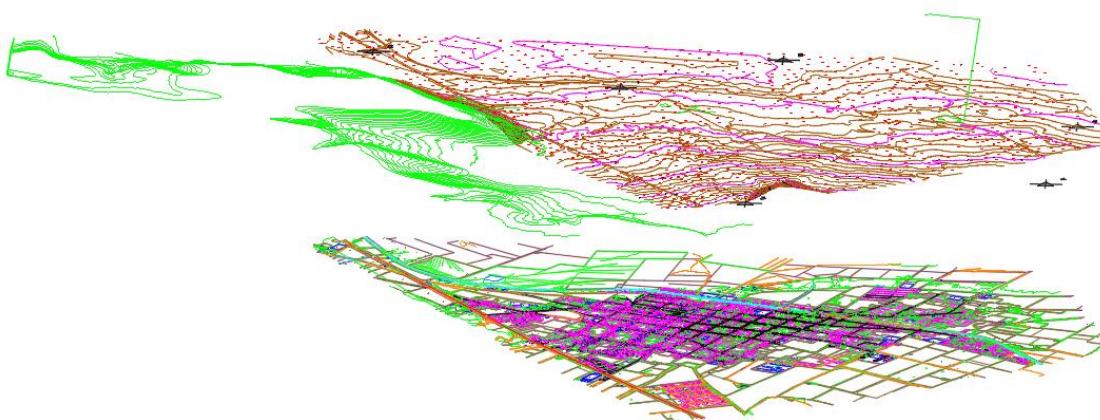


Imagen 8. Modelo en Revit con la Planimetría, la altimetria y la topografía del modelo LIDAR superpuesta

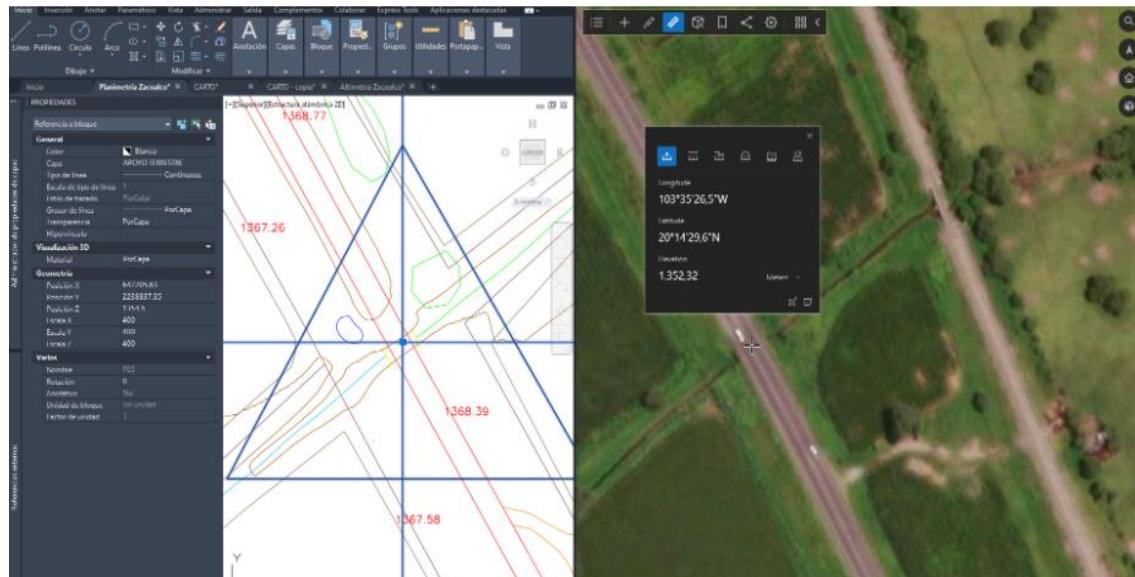


Imagen 9. Discrepancia en las elevaciones entre la planimetría y la nube de puntos. La altimetria no estaría bien georreferenciada (Fuente: Marcos Rodríguez Serrano).

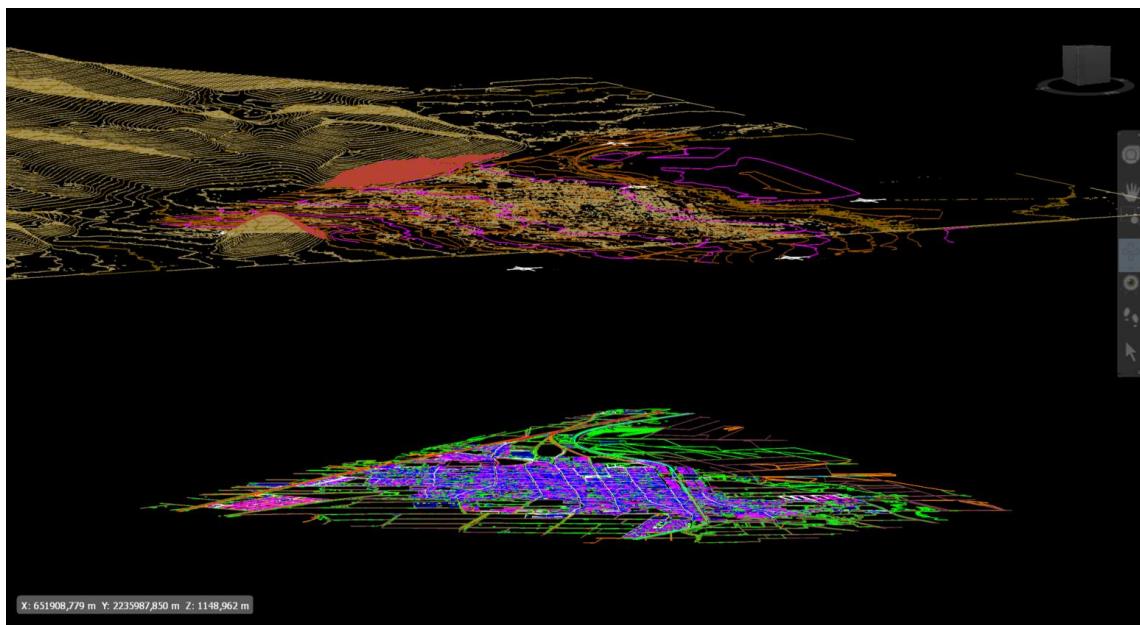


Imagen 10. Cartografía con triangulación del LIDAR en Istram con superposición de la altimetría y la planimetria.



Imagen 11. Planimetria sobre cartografia.

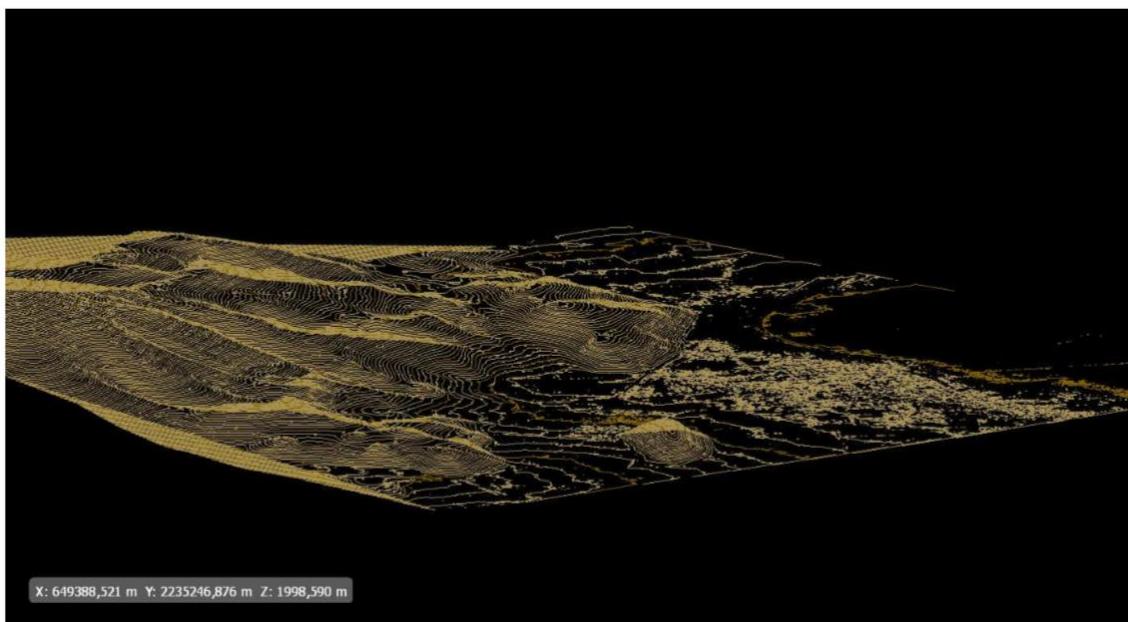


Imagen 12. Cartografía, tras triangulación en Istram (Fuente: Marcos Rodríguez Serrano)

9. CONCLUSIONES Y SIGUIENTES PASOS

El presente trabajo ha alcanzado una etapa intermedia de implementación dentro del entorno BIM, habiéndose logrado la generación de la base topográfica mediante una nube de puntos en formato XYZ, así como la incorporación de la planimetría y altimetría del entorno urbano dentro de Autodesk Revit. Esta fase ha permitido establecer un modelo tridimensional georreferenciado, que representa de forma fiel el área de intervención en Zacoalco de Torres.

Como paso lógico en el desarrollo del modelo, se planteó la modelación de una zanja tipo para la instalación de una conducción de agua potable, incluyendo todos los elementos constructivos que conforman dicha red: tuberías, válvulas, pozos de visita, arquetas, acometidas domiciliarias y elementos auxiliares. Esta modelación serviría como prototipo replicable en otras calles del municipio y se vincularía posteriormente con un sistema de Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO).

Inicialmente, se evaluó la posibilidad de integrar el modelo BIM con una plataforma GMAO de uso libre, desarrollada por un proveedor internacional (Fracttal-One). Sin embargo, se identificaron limitaciones técnicas significativas, entre las que destacan la incompatibilidad actual del sistema en su versión de uso libre con entornos BIM y la ausencia de herramientas específicas para la lectura e interpretación de modelos tridimensionales por parte de dicha plataforma.

Además, durante el proceso de evaluación socio-técnica, se constató que las comunidades objetivo del proyecto carecen de personal técnico especializado, lo cual impide garantizar la correcta gestión, mantenimiento y actualización de un modelo BIM a largo plazo. Por ello, se

decidió reorientar la metodología hacia un enfoque más pragmático, escalable y sostenible, manteniendo la cartografía base, los documentos técnicos y la nube de puntos como soportes principales para las futuras operaciones de mantenimiento.

No obstante, se considera que este trabajo sienta las bases para líneas futuras de investigación y desarrollo, orientadas a:

- Desarrollar interfaces más accesibles entre modelos BIM y plataformas GMAO de código abierto.
- Implementar soluciones de gestión, que combinen documentación técnica digitalizada con modelos BIM simplificados y el modelo generativo gestionado por inteligencia artificial.
- Formar a técnicos locales en el uso básico de herramientas BIM aplicadas a proyectos de agua y saneamiento.

Esta decisión metodológica permite adaptar el enfoque a las capacidades reales del contexto local, sin renunciar a la visión de digitalización progresiva del sistema de gestión hídrica, lo cual resulta especialmente relevante en el marco de los proyectos de cooperación al desarrollo.

AQUALCO-XXX-ANJ-003-ANEJO N°3-
MODELO_GENERATIVO_ASISTIDO_POR_IA

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	5
2. CASO PRÁCTICO 1 – TIPO DE MODELO DE INTERVENCIÓN.....	7
2.1 Chat Conversacional, Caso Práctico 1 - AQUALCO	7
<i>Informe de Valoración del Modelo de Intervención en Zacoalco de Torres</i>	7
⌚ 1. Contexto General.....	7
⌚ 2. Evaluación del Entorno Comunitario	8
⌚ 3. Evaluación del Entorno Institucional.....	8
⌚ 4. Modelo de Intervención Recomendado: Intervención Institucional Asistida con Componente de Fortalecimiento Comunitario.....	8
⌚ 5. Línea de acción inmediata.....	9
⌚ Análisis DAFO – Proyecto de Gestión Hídrica en Zacoalco de Torres.....	9
2.2 Conclusión del Caso Práctico 1	13
3. CASO PRÁCTICO 2 – CAPACIDAD RELACIONAL Y DE ANÁLISIS	14
3.1 Chat conversacional Caso Práctico 2 - AQUALCO	14
4. CASO PRÁCTICO 3 – GESTIÓN DE PROYECTOS - MOLECOR	18
4.1 Chat Conversacional, Caso Práctico 3 – AQUALCO	18
⌚ Análisis del Incremento de Coste por Transporte Internacional (España → México) .	22
1. Variables consideradas	22
2. Estimación de costes logísticos (referencia 2025)	22
3. Impacto sobre el precio por metro lineal.....	22
⌚ Conclusión técnica	23
⌚ 1.532.770,00 €	24
⌚ Plan Completo de Sustitución de la Red de Agua Potable	25
1. Objetivo General.....	25
2. Criterios Técnicos del Plan	26
3. Distribución Técnica de la Red y Costes por Diámetro	26
4. Planificación Anual (2025–2034)	26
5. Consideraciones Finales.....	26
⌚ Gráficos recomendados	27
1. ⚡ Gráfico de barras: Distribución del coste total por DN	27
2. ⚡ Gráfico de líneas apiladas: Evolución del coste acumulado a 10 años	27

3. Gráfico circular (pastel): Distribución porcentual del coste total	27
4. Gráfico Gantt: Planificación de sustitución por año y DN	27
5. Gráfico de barras doble eje: Coste anual vs. metros anuales	27
III Gráficos Generados	30
4.2 Conclusões del Caso Práctico 3	31
5. CASO PRÁCTICO 4 – COMPLIANCE Y MODELOS DE FINANCIACIÓN	31
5.1 Chat Conversacional, Caso Práctico 4 – AQUALCO	31
6 Informe de Financiación Potencial para el Proyecto de Red de Agua en Zacoalco de Torres	32
1. Programas Nacionales de Financiación (México).....	32
2. Fondos Internacionales y Cooperación Técnica	32
3. Consideraciones Legales y Compliance Penal	33
4. Recomendaciones Finales	33
1. Cobertura Económica Estimada por PROAGUA	34
2. Valor estimado financiable por PROAGUA	35
3. Requisitos Principales para el acceso	35
4. Consideraciones de Compliance Penal	35
Conclusión y pasos a seguir	36
5.2 Conclusões del Caso Práctico 4	36
6. CONCLUSIONES Y SIGUIENTES PASOS	36
 Gráfica 1. Coste Anual agrupado por puesto de trabajo (ChatGPT, s. f.).....	17
Gráfica 2. Distribución anual de Inversión por DN - plan de sustitución de la red (MOLECOR TECNOLOGÍA SL - Catálogos Construnario, s. f.; Zotero Your personal research assistant, s. f.)	25
Gráfica 3. Coste total por diámetro según el cuadro de precios de MOLECOR y teniendo en consideración el transporte de material a Zacoalco (ChatGPT, s. f.; MOLECOR TECNOLOGÍA SL - Catálogos Construnario, s. f.).....	28
Gráfica 4. Distribución porcentual del coste total Por diámetros, según el catálogo de MOLECOR (ChatGPT, s. f.; MOLECOR TECNOLOGÍA SL - Catálogos Construnario, s. f.)	29
Gráfica 5. Evolución del Coste acumulado en función del porcentaje anual esperado para la sustitución de la red, según el cuadro de precios de MOLECOR (ChatGPT, s. f.; MOLECOR TECNOLOGÍA SL - Catálogos Construnario, s. f.)	29
Gráfica 6. Coste anual vs metros sustituidos por DN, según la planificación actual y el coste reflejado en el cuadro de precios de MOLECOR (ChatGPT, s. f.; MOLECOR TECNOLOGÍA SL - Catálogos Construnario, s. f.).....	30

Gráfica 7. Distribución estimada de fuentes de finanización para el proyecto de renovación de redes de Zacoalco de Torres (ChatGPT, s. f.) 34

Imagen 1. Estructura de carpetas del modelo generativo asistido por Inteligencia artificial y desarrollado a través de ChatGPT (ChatGPT, s. f.) 5

Imagen 2. Estructura de carpetas interrelacionadas (ChatGPT, s. f.) 6

Imagen 3. Análisis PESTEL generado por Aqualco desde ChatGPT (ChatGPT, s. f.) 12

Imagen 4. Análisis DAFO, generado por Aqualco a través del modelo en (ChatGPT, s. f.) 13

Imagen 5 Personal del departamento de aguas de Zacoalco de Torres, dado de alta en Fracttal-One (Fracttal One, s. f.) 14

Imagen 6. Coste anual del personal del departamento de aguas (ChatGPT, s. f.) 16

Tabla 1. Coste por diámetro según el catálogo de MOLECOR con todos los costes unitarios repercutidos por ml (MOLECOR TECNOLOGÍA SL - Catálogos | Construnario, s. f.) (ChatGPT, s. f.) 19

Tabla 2. Incremento en coste de la tubería de PVC de MOLECOR derivado del transporte logístico (ChatGPT, s. f.; MOLECOR TECNOLOGÍA SL - Catálogos | Construnario, s. f.) 23

Tabla 3. Proyección del coste total por sustitución progresiva de la red con la tubería de MOLECOR (ChatGPT, s. f.; MOLECOR TECNOLOGÍA SL - Catálogos | Construnario, s. f.)

..... 24

1. INTRODUCCIÓN

En este anexo número 3 se detallarán los casos prácticos generados mediante la metodología desarrollada en el presente TFM. En primer lugar, se generó un proyecto en ChatGPT, basado en una estructura de carpetas interrelacionadas. El modelo generativo asistido por inteligencia artificial, que responde al nombre de (AQUALCO), contiene una extensa base de datos con toda la información recopilada del Departamento de Aguas, lo que permite al modelo responder con gran precisión a las consultas realizadas.

Este modelo ha sido configurado para que, en caso de comenzar a presentar "alucinaciones" (término utilizado en el ámbito de la inteligencia artificial para describir respuestas incoherentes), se introduzca el número 9, lo que hará que el modelo recuerde el prompt que define su propósito o su razón de ser, tanto para cada una de las carpetas principales como de sus subcarpetas. Este mecanismo permite depurar la base de datos de aquella información innecesaria o que pudiese inducir a error.

Asimismo, se establece que el objetivo de este modelo generativo asistido por inteligencia artificial es servir como una herramienta de guía, apoyo y referencia consultiva, pero en ningún caso podrá sustituir la capacidad de análisis, la toma de decisiones o la evaluación técnica de un experto.

En los siguientes casos prácticos se mostrará una pequeña parte del gran potencial que puede alcanzarse mediante el desarrollo en profundidad de la metodología propuesta, así como su interrelación con el sistema GMAO desarrollado y su potencial integración con el modelo BIM. Todo ello contribuye a sentar las bases de una nueva etapa en la que la democratización y el acceso libre a la información se consolidan como una realidad tangible en el ámbito de los proyectos de gestión hídrica en entornos complejos o de cooperación al desarrollo.

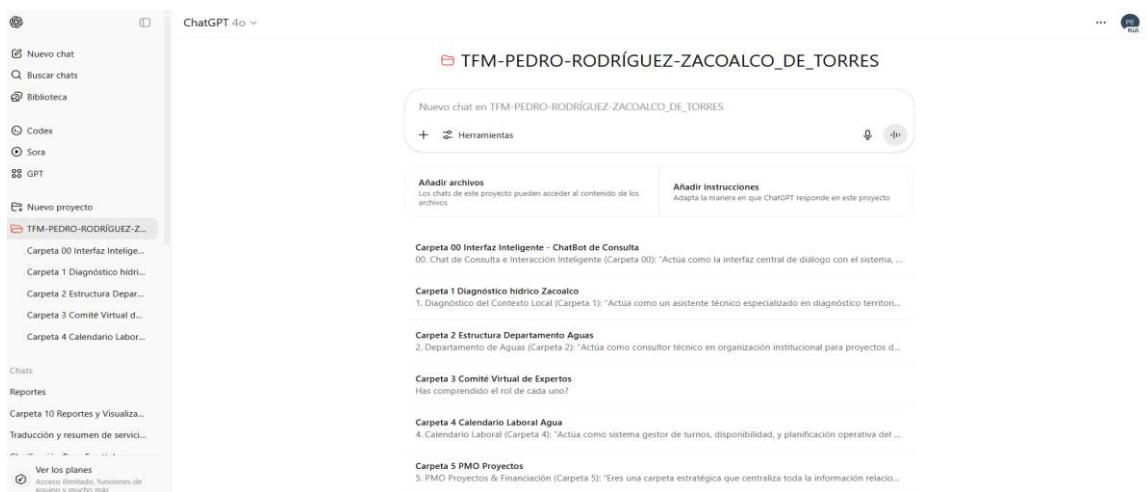


Imagen 1. Estructura de carpetas del modelo generativo asistido por Inteligencia artificial y desarrollado a través de ChatGPT (ChatGPT, s. f.)

✉ TFM-PEDRO-RODRÍGUEZ-ZACOALCO_DE_TORRES

Nuevo chat en TFM-PEDRO-RODRÍGUEZ-ZACOALCO_DE_TORRES

+ ⚙ Herramientas

0 ···

Añadir archivos

Los chats de este proyecto pueden acceder al contenido de los archivos

Añadir instrucciones

Adapta la manera en que ChatGPT responde en este proyecto

Carpeta 00 Interfaz Inteligente - ChatBot de Consulta

00. Chat de Consulta e Interacción Inteligente (Carpeta 00): "Actúa como la interfaz central de diálogo con el sistema, ...

Carpeta 1 Diagnóstico hídrico Zacoalco

1. Diagnóstico del Contexto Local (Carpeta 1): "Actúa como un asistente técnico especializado en diagnóstico territori...

Carpeta 2 Estructura Departamento Aguas

2. Departamento de Aguas (Carpeta 2): "Actúa como consultor técnico en organización institucional para proyectos d...

Carpeta 3 Comité Virtual de Expertos

Has comprendido el rol de cada uno?

Carpeta 4 Calendario Laboral Agua

4. Calendario Laboral (Carpeta 4): "Actúa como sistema gestor de turnos, disponibilidad, y planificación operativa del ...

Carpeta 5 PMO Proyectos

5. PMO Proyectos & Financiación (Carpeta 5): "Eres una carpeta estratégica que centraliza toda la información relacio...

Carpeta 8 Análisis económico y Cash Flow

8. Análisis económico y Cash Flow (Carpeta 8): "Eres el centro financiero y económico del sistema. Contienes el registr...

Carpeta 6 Gestión operativa mantenimiento GMAO

6. Gestión Operativa del Mantenimiento (Carpeta 6): "Eres el núcleo técnico-operativo del sistema de agua potable y ...

Carpeta 7 Calidad Agua

7. Control de Calidad del Agua (Carpeta 7): "Eres la carpeta dedicada al control de calidad del agua de consumo hum...

Carpeta 9 Compliance Penal

9. Compliance Penal (Carpeta 9): "Eres la carpeta encargada de custodiar y ordenar toda la documentación institucion...

Carpeta 10 Reporting Visualización

10. Reporting y Visualización (Carpeta 10): "Eres la carpeta encargada de transformar datos técnicos, financieros y ope...

Imagen 2. Estructura de carpetas interrelacionadas (ChatGPT, s. f.)

2. CASO PRÁCTICO 1 – TIPO DE MODELO DE INTERVENCIÓN

El primer paso para sentar las bases de un proyecto de cooperación al desarrollo, o de cualquier intervención en entornos complejos, consiste en comprender en profundidad el contexto en el que se llevará a cabo. Para ello resulta fundamental que el modelo generativo, sea capaz de identificar de forma eficaz el tipo de modelo de intervención más adecuado. De esta forma incrementan las posibilidades de que los proyectos prosperen y puedan ser sostenibles a largo plazo.

Con este objetivo, se han desarrollado dos cuestionarios de 30 preguntas cada uno. El primero está enfocado en el análisis social de la población: percepción del gobierno local, presencia e influencia de grupos comunitarios o asociaciones, identificación de líderes ejidales, además de otros aspectos. Las respuestas a este cuestionario permiten obtener una visión amplia del tejido social.

El segundo cuestionario tiene un enfoque más técnico, centrado en el sistema de gestión hídrica: materiales utilizados en la red, metros lineales de conducción, dotación de agua por habitante, calidad del recurso y procedimientos del organismo operador en cuanto a la gestión de la información.

Este primer caso práctico tiene como objetivo identificar el modelo de intervención en el contexto local, ya sea de carácter institucional, participativo o mixto. Las respuestas generadas por el modelo han sido incluidas de forma literal en este apartado, sin modificaciones, con el fin de mostrar con transparencia su potencial y su capacidad real de análisis contextual.

2.1 Chat Conversacional, Caso Práctico 1 - AQUALCO

Todo el Texto contenido en este chat salvo las preguntas realizas, ha sido generado por (*ChatGPT*, s. f.)

Usuario: “En la Carpeta 1 hemos cargado el formulario técnico y social necesario para entender qué modelo de intervención debería aplicarse en esta población. Atendiendo a estos formularios y al contenido de mi TFM, necesito que prepares un informe detallado de valoración sobre el tipo de intervención”.

Aqualco: *Con base en el análisis de los formularios técnico y social cargados en la Carpeta 1, así como en el enfoque metodológico general de tu TFM, a continuación, te presento un informe de valoración detallado sobre el tipo de intervención más adecuado para implementar en el contexto de Zacoalco de Torres:*

Informe de Valoración del Modelo de Intervención en Zacoalco de Torres

¶ 1. Contexto General

El diagnóstico social y técnico refleja un escenario con marcadas debilidades en la organización comunitaria, pero con cierto grado de estructura institucional técnica incipiente. Esto plantea un entorno mixto, donde ni la comunidad ni el aparato institucional

pueden sostener de forma autónoma un proceso de intervención complejo, pero sí pueden complementar capacidades si se articula adecuadamente un modelo estructurado.

□ 2. Evaluación del Entorno Comunitario

Según el Formulario Social Ampliado:

- *No existe participación comunitaria estructurada, ni comités reconocidos o asambleas funcionales.*
- *La comunidad no se siente empoderada, ni cuenta con canales formales para incidir en la gestión del agua.*
- *Solo se detecta una disposición parcial a colaborar en mantenimiento o seguimiento.*
- *Existen alianzas con instituciones y ONGs, lo cual representa un activo para procesos de fortalecimiento comunitario.*
- *La población supera los 10,000 habitantes, lo que obliga a pensar en mecanismos institucionales estables y no solo en procesos espontáneos o informales.*

Conclusión: la comunidad **no cuenta actualmente con condiciones para un modelo plenamente participativo**, aunque existen indicios de voluntad y aliados estratégicos para construir capacidades a futuro.

¶ 3. Evaluación del Entorno Institucional

Según el Formulario Técnico:

- *El municipio sí cuenta con un área técnica funcional, aunque con carencias de personal especializado y presupuesto.*
- *Hay software de GMAO en uso, base de datos de fallos, planos georreferenciados y experiencia en simulaciones hidráulicas.*
- *Existen convenios con universidades, informes periódicos, e implementación parcial de criterios de sostenibilidad.*
- *Sin embargo, hay déficits importantes en calidad del agua, protocolos de emergencia, continuidad técnica y planificación social-financiera.*

Conclusión: el entorno institucional **sí tiene condiciones mínimas para liderar la intervención**, aunque requiere fortalecimiento técnico y articulación con componentes sociales y financieros.

□ 4. Modelo de Intervención Recomendado: Intervención Institucional Asistida con Componente de Fortalecimiento Comunitario

Se propone un modelo de intervención institucional liderado por el Departamento de Agua Potable, que:

1. **Asuma la dirección técnica-operativa** del proceso, dado que existen capacidades mínimas y un marco estructural activo.
2. **Integre desde el inicio acciones de fortalecimiento comunitario**, en forma de:

- *Formación de comités de agua legítimos.*
- *Campañas de alfabetización hídrica.*
- *Inclusión de representantes vecinales en la planificación.*
- 3. **Aproveche alianzas existentes con ONGs e instituciones educativas, orientadas a formación y monitoreo.**
- 4. **Implemente herramientas digitales como la GMAO, BIM o GIS para asegurar trazabilidad y sostenibilidad del sistema.**
- 5. **Active mecanismos progresivos de corresponsabilidad comunitaria, incluyendo seguimiento ciudadano, microvoluntariado técnico o contraloría social.**

Q 5. Línea de acción inmediata

- **Fase 1:** Diagnóstico técnico-operativo detallado del sistema y diseño hidráulico participativo.
- **Fase 2:** Diseño de un programa de formación y legitimación de líderes comunitarios.
- **Fase 3:** Ejecución con validación institucional y retroalimentación social continua.

(ChatGPT, s. f.)

Usuario: Apoyándote en la Carpeta 10, correspondiente al Reporte Gráfico y de Visualización, necesitaría que generases un análisis DAFO y PESTEL en el contexto de Zacoalco de Torres, utilizando la información disponible y el contenido desarrollado en mi TFM. Estos análisis deben de ser profesionales.

Aqualco: Perfecto, Pedro. A continuación, te presento el análisis DAFO y PESTEL del proyecto de gestión del agua potable en Zacoalco de Torres, elaborado con un enfoque técnico, territorial y profesional, tal como exige la Carpeta 10: Reporte Gráfico y de Visualización. Ambos modelos están construidos con base en:

- El diagnóstico técnico y social de la Carpeta 1.
- Los formularios institucionales y comunitarios analizados.
- Los objetivos y metodología general de tu TFM.
- El enfoque BIM-GMAO, la escala municipal y las características socioterritoriales de Zacoalco de Torres.

Q Análisis DAFO – Proyecto de Gestión Hídrica en Zacoalco de Torres

Fortalezas (F)

✓ Existencia de un área técnica municipal estructurada.

✓ Experiencia previa en proyectos de agua potable.

✓ Base de datos de fallos y planos georreferenciados disponibles.

Debilidades (D)

✗ Ausencia de organización comunitaria activa.

✗ Falta de presupuesto específico para mantenimiento.

✗ Carencia de personal capacitado en hidráulica y tecnologías digitales.

Fortalezas (F)

- ✓ Apoyo técnico de universidades y acceso a consultoría especializada.
- ✓ Población urbana consolidada y relativamente estable.
- ✓ Voluntad institucional para implementar innovación digital.

Debilidades (D)

- ✗ No se cuenta aún con un sistema GMAO funcional.
- ✗ Débil articulación entre áreas técnica, financiera y social del municipio.
- ✗ Escasa cultura comunitaria de participación y seguimiento en servicios públicos.

Oportunidades (O)

- ⌚ Alianzas con ONGs e instituciones académicas para formación y apoyo técnico.
- 🌐 Disponibilidad de plataformas GMAO accesibles (Fracttal, GISwater, etc.).
- ▢ Potencial para implementar un modelo replicable y escalable.
- 🛠 Interés por digitalizar procesos mediante herramientas BIM y SIG.
- 🤝 Marco normativo favorable para alianzas interinstitucionales.

Amenazas (A)

- ⚠ Riesgo de fallos estructurales si no se mejora el mantenimiento.
- ⚠ Possible resistencia comunitaria ante procesos institucionales verticales.
- ⚠ Escasa continuidad técnica y administrativa municipal.
- ⚠ Débil monitoreo de la calidad del agua y respuesta ante emergencias.
- ⚠ Desconocimiento ciudadano sobre derechos y gobernanza hídrica.

🌐 Análisis PESTEL – Entorno Estratégico del Proyecto

Dimensión Aspectos relevantes en Zacoalco de Torres

- | | |
|------------------|---|
| Política | <ul style="list-style-type: none"> - Coordinación débil entre áreas municipales. - Falta de planificación social en proyectos. - Dependencia de recursos externos. |
| Económica | <ul style="list-style-type: none"> - Sector agrícola dominante con alta dependencia del agua. - Ausencia de financiamiento específico para O&M. - Baja capacidad de inversión local. |

Dimensión Aspectos relevantes en Zacoalco de Torres

- Social**
- Escasa participación ciudadana y capital social limitado.
 - Bajo empoderamiento en temas de agua.
 - Jóvenes desmotivados a permanecer en la comunidad.
- Tecnológica**
- Uso incipiente de software técnico (simulación hidráulica, planos digitales).
 - Sin implementación de GMAO ni formación BIM/SIG.
 - Posibilidades de cooperación con universidades para I+D.
- Ecológica**
- No se ha identificado una cultura de educación ambiental.
 - Riesgo de sobreexplotación hídrica por actividades agrícolas.
- Legal**
- Existen marcos normativos para alianzas intergubernamentales y acceso al agua como derecho humano.
 - Limitada aplicación efectiva a nivel local.

✓ Recomendaciones de Visualización (Carpeta 10)

Si deseas incorporar estos análisis en formato gráfico para tu TFM o presentaciones:

1. **DAFO en matriz 2x2 con íconos y colores institucionales** (verde, rojo, azul y gris).
2. **PESTEL en tabla dinámica o hexágono con bloques temáticos**, ideal para presentar en talleres o sesiones de trabajo.
3. Ambos pueden integrarse en un tablero de mando o panel interactivo si optas por una presentación digital tipo Power BI o un PDF enriquecido.

¿Deseas que prepare las **gráficas vectoriales editables** para ambos análisis en PowerPoint, Canva o Illustrator?

(ChatGPT, s. f.)

Usuario: ¡Sí!

Aqualco: Aquí tienes el Análisis **PESTEL** representado en un formato hexagonal visual mejorado, ideal para integrarlo en tu TFM o presentaciones profesionales. Cada dimensión se muestra con sus principales desafíos y oportunidades, lo que facilita la lectura estratégica del entorno.

Análisis PESTEL - Proyecto de Agua en Zacoalco de Torres

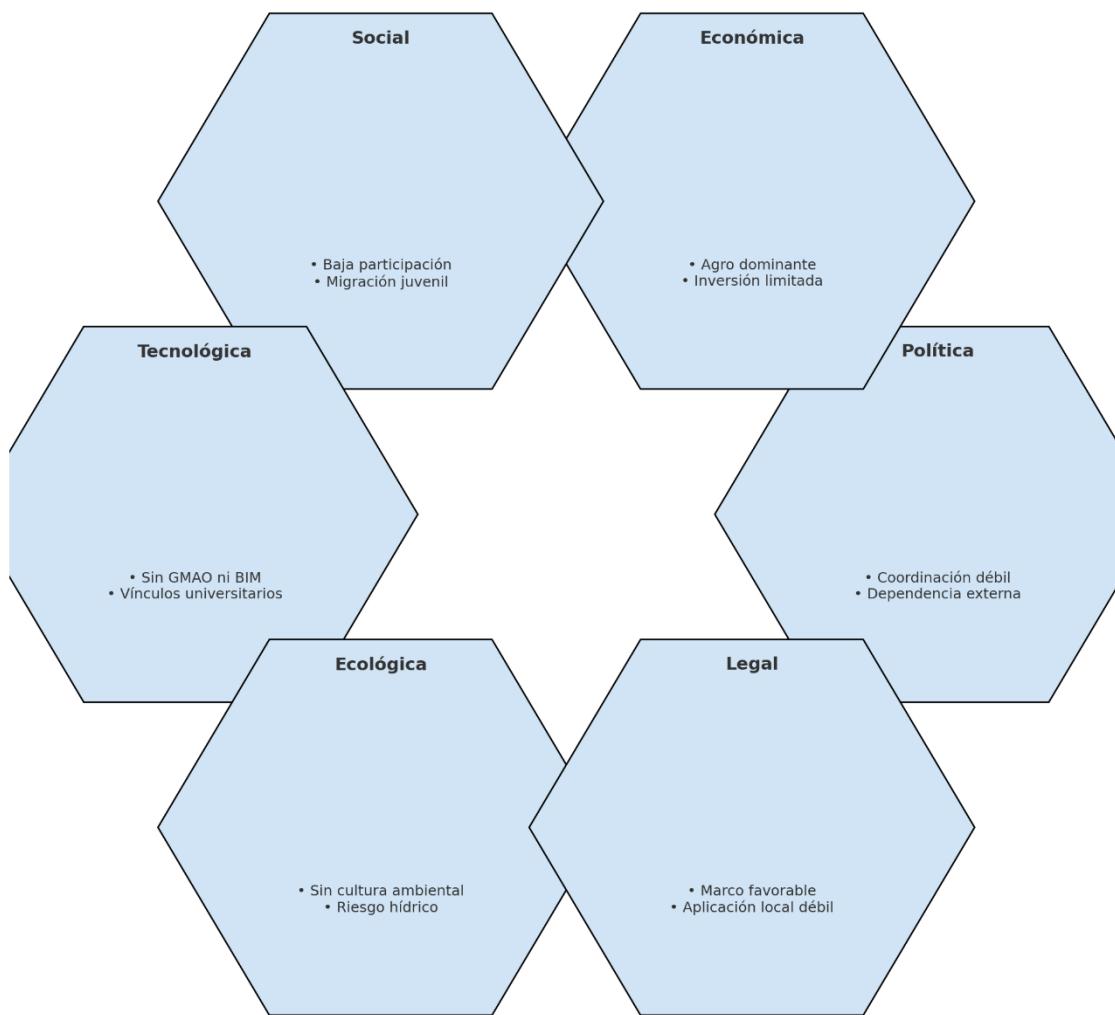


Imagen 3. Análisis PESTEL generado por Aqualco desde ChatGPT (ChatGPT, s. f.)

Aqualco: Aquí tienes el Análisis DAFO con una presentación profesional mejorada:



Imagen 4. Análisis DAFO, generado por Aqualco a través del modelo en (ChatGPT, s. f.)

2.2 Conclusión del Caso Práctico 1

A la vista de los resultados obtenidos por el modelo generativo, se puede concluir que (Aqualco) ha sido capaz de interpretar y analizar adecuadamente los documentos que alimentan las distintas carpetas, así como de establecer relaciones y vínculos comunes entre ellas, proyectando respuestas coherentes, estructuradas y adaptadas al contexto. Las consultas realizadas en este primer caso práctico han permitido comprender el entramado social del ámbito de intervención,

Asimismo, se confirma la escalabilidad de la metodología propuesta, ya que su replicabilidad en otros territorios sería inmediata. Bastaría con completar nuevamente los formularios técnicos y sociales, e integrarlos en el modelo siguiendo la estructura de prompts ya predefinida, lo que facilita su aplicación en distintos entornos y especialmente dentro del marco de proyectos de cooperación al desarrollo.

3. CASO PRÁCTICO 2 – CAPACIDAD RELACIONAL Y DE ANÁLISIS

Para este segundo caso práctico, se pondrá a prueba la capacidad relacional del modelo generativo, que en adelante será referido como (Aqualco) y su interacción con el Modelo de Gestión Operativa del Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO), desarrollado mediante la plataforma Fracttal-One, en su versión gratuita de uso libre.

3.1 Chat conversacional Caso Práctico 2 - AQUALCO

En primer lugar, se cargó en el GMAO toda la información relativa al personal del departamento de gestión hídrica de Zacoalco de Torres. Desde Fracttal-One se exportó un reporte en formato Excel que incluye, entre otros datos, el puesto de cada integrante del departamento, su salario y su horario laboral.

Una vez exportado el reporte de Fracttal-One, este fue cargado en la Carpeta 2 de Aqualco. Esta carpeta ha sido configurada mediante un prompt específico que la define como el espacio que contiene la estructura organizativa del departamento de aguas, lo que permite al modelo acceder a la información y relacionarla o procesarla con la documentación contenida en otras carpetas.

Habilitado	Teams	Cuenta	Código	Nombres	Apellidos	Clasificación 1	Clasificación 2	Email	Localización
<input type="checkbox"/> Si	No	No	00021	CARLOS MANUEL	PONCE RUBIO	Lecturista			//
<input type="checkbox"/> Si	No	No	00014	CESAR EDUARDO	CONTRERAS BUENROSTRO	Auxiliar de Fontanería			//
<input type="checkbox"/> Si	No	No	00003	CESAR FRANCISCO	LAGUNA DE LEÓN	AUX Agua Potable			//
<input type="checkbox"/> Si	No	No	00022	EDUARDO	CORTES ENCARNACIÓN	Lecturista			//
<input type="checkbox"/> Si	No	No	00018	IVAN	HUIDOR TORIBIO	Auxiliar Cultura del ..			//
<input type="checkbox"/> Si	No	No	00010	JOSÉ ANTONIO	ORTEGA MORENO	Fontanero			//
<input type="checkbox"/> Si	No	No	00017	JOSÉ	LIMONES	Auxiliar de Fontanería			//
<input type="checkbox"/> Si	No	No	00019	JOSÉ LUIS	PEÑA MORENO	Drenajes			//
<input type="checkbox"/> Si	No	No	00016	JUAN ANTONIO	CORTES	Auxiliar de Fontanería			//
<input type="checkbox"/> Si	No	No	00007	JUAN MANUEL	CAMBEROS JIMÉNEZ	Fontanero			//
<input type="checkbox"/> Si	No	No	00011	JUAN MANUEL	CAMBEROS JIMÉNEZ	Fontanero			//
<input type="checkbox"/> Si	No	No	00002	LIC. J. FELIX	MADRIGAL GUZMAN	Director del departa..		felix.madrigal@iteso.mx	//
<input type="checkbox"/> Si	No	No	00004	LUZ CATALINA	AGUAYO GRACIANO	AUX Agua Potable			//

Imagen 5 Personal del departamento de aguas de Zacoalco de Torres, dado de alta en Fracttal-One (Fracttal One, s.f.)

A continuación, se inició un chat a través de la (Carpeta 00: Interfaz Inteligente – Chatbot de Consulta Aqualco). El objetivo de esta interacción fue que Aqualco leyera la información contenida en el documento almacenado en la Carpeta 2 y pudiese establecer relaciones pertinentes en función de las preguntas formuladas.

Usuario: Trabaja con todos los archivos del proyecto de TFM que ya he subido, incluyendo el documento “Ficha_Trabajadores.xlsx” cargado desde el GMAO desarrollado en Fracttal-One y genera la tabla con todos los trabajadores del Departamento.

Aqualco: Ya tienes disponible la tabla con todos los trabajadores del Departamento de Agua Potable, incluyendo su nombre completo, clasificación de puesto, correo electrónico (si está disponible) y horario laboral. (ChatGPT, s. f.)

Usuario: Dime toda la información de Félix Madrigal Guzmán

Aqualco: Ya he localizado la ficha completa de LIC. J. FÉLIX MADRIGAL GUZMÁN. A continuación, te detallo su información registrada en el sistema:

Ficha del Trabajador: Félix Madrigal Guzmán

- *Nombre completo: LIC. J. FÉLIX MADRIGAL GUZMÁN*
- *Cargo: Director del Departamento de Aguas*
- *Correo electrónico: felix.madrigal@iteso.mx*
- *Código de trabajador: 2*
- *Habilitado: Sí*
- *Horario laboral:*
 - *Lunes a viernes: Disponible (presencial o en línea según necesidad)*
 - *Sábados y domingos: No disponible*
- *Clasificación 2: (Sin especificar)*
- *Ubicación asignada: (Dato no especificado en esta ficha) (ChatGPT, s. f.)*

Usuario: Ahora necesito que para todos los trabajadores calcules el coste anual estimado

Aqualco: Ya tienes disponible la tabla con el **coste anual en USD de todos los trabajadores del Departamento de Agua**, incluyendo:

- *Su horario laboral estimado*
- *Las horas semanales y anuales*
- *Y su coste anual total en dólares estadounidenses*

Si quieres ahora convertir estos valores a pesos mexicanos, hacer una proyección presupuestaria por áreas, o integrarlo con la Carpeta 8 (Finanzas), puedo ayudarte a hacerlo de forma automática. ¿Qué te gustaría hacer a continuación? (ChatGPT, s. f.)

Coste Anual Por Trabajador

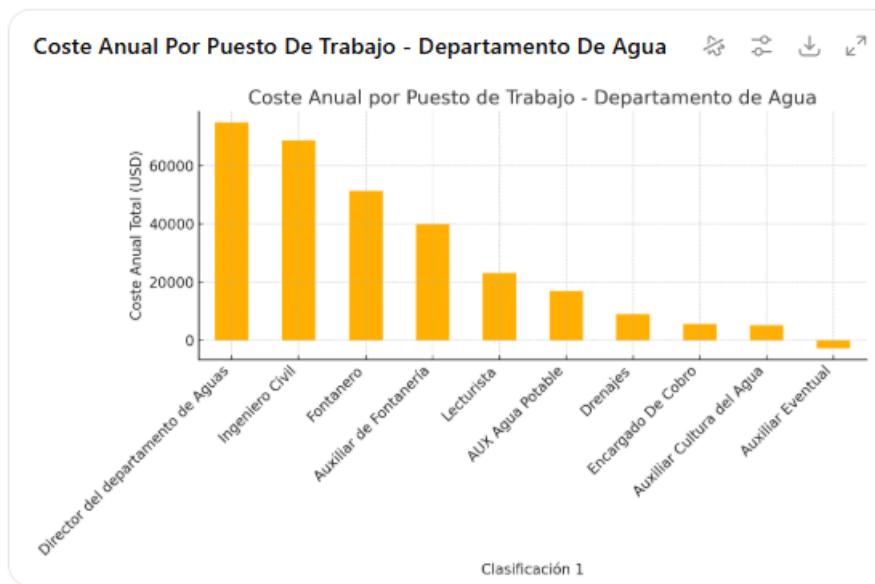
	full_name	USD/Hora	Horario laboral	Horas_Semanales	Horas_Anuales	Coste_Anual_USD
1	CARLOS MANUEL PONCE RUBIO	3.7	8:00 - 16:00	40	2080	7696.0
2	CESAR EDUARDO CONTRERAS BUENROSTRO	3.2	8:00 - 16:00	40	2080	6656.0
3	CESAR FRANCISCO LAGUNA DE LEON	2.7	8:00 - 16:00	40	2080	5616.0
4	EDUARDO CORTES ENCARNACION	3.7	8:00 - 16:00	40	2080	7696.0
5	IVAN HUIDOR TORIBIO	2.5	8:00 - 16:00	40	2080	5200.0
6	JOSE ANTONIO ORTEGA MORENO	3.8	8:00 - 16:00	40	2080	7904.0
7	JOSE LIMONES	3.2	8:00 - 16:00	40	2080	6656.0
8	JOSE LUIS PEÑA MORENO	4.3	8:00 - 16:00	40	2080	8944.0
9	JUAN ANTONIO CORTES	3.2	8:00 - 16:00	40	2080	6656.0
10	JUAN MANUEL CAMBEROS JIMENEZ	3.8	8:00 - 20:00	60	3120	11856.0
11	JUAN MANUEL CAMBEROS JIMENEZ	3.8	8:00 - 16:00	40	2080	7904.0

Imagen 6. Coste anual del personal del departamento de aguas (ChatGPT, s. f.)

Usuario: Utiliza la información contenida en la Carpeta 10, destinada a reporting y visualización, para presentar esta información de forma graficada y profesional. Quiero que representes a todos los trabajadores, agrupándolos por categoría profesional y mostrando el coste total asociado a cada grupo. Es decir: coste total del personal de fontanería, coste total de los lectores, coste total del director, etc.

Aqualco: Aquí tienes la gráfica del coste anual total agrupado por puesto de trabajo, tal como se define en la columna Clasificación 1. Este análisis permite identificar qué categorías profesionales representan un mayor peso en el presupuesto del Departamento de Agua.

¿Quieres que prepare un informe comparativo entre estas categorías o cruzarlo con indicadores de productividad, número de empleados por puesto o necesidades de optimización de plantilla?



Gráfica 1. Coste Anual agrupado por puesto de trabajo (ChatGPT, s. f.)

3.2 Conclusión del Caso Práctico 3

Para este segundo caso práctico, se vuelve a poner de manifiesto la capacidad interactiva de Aqualco. Desde la Carpeta 00 (Interfaz Inteligente – ChatBot de Consulta “Aqualco”), a través de la cual se ha generado la consulta, el modelo ha sido capaz de leer la información contenida en un archivo Excel ubicado en la Carpeta 2 (Estructura del Departamento de Aguas) y extraer, de forma precisa y detallada, los datos concretos solicitados, lo que demuestra nuevamente la robustez del modelo generativo. Tras analizar dicha información, Aqualco se ha apoyado en el experto en marketing y comunicación definido en la Carpeta 3 (Comité Virtual de Expertos) y, mediante la Carpeta 10 (Reporting y Visualización), ha podido desarrollar el gráfico requerido, presentando una información consistente.

Este caso práctico ha demostrado que los reportes generados desde el GMAO desarrollado a través de la plataforma Fracttal-One son legibles dentro de la interfaz del modelo generativo Aqualco, lo que permite garantizar la interrelación efectiva entre ambos sistemas.

Como aspecto a mejorar, cabe destacar que los reportes en formato PDF no resultan compatibles con el modelo generativo, ya que su naturaleza como archivo de imagen impide que Aqualco pueda interpretar su contenido.

4. CASO PRÁCTICO 3 – GESTIÓN DE PROYECTOS - MOLECOR

Para este tercer caso práctico, vamos a poner a prueba la capacidad del modelo para gestionar proyectos y proponer soluciones técnicas coherentes, basadas en la información cargada en su estructura modular de carpetas (Aqualco). En este caso como información base, partiremos de los catálogos de precios unitarios y las especificaciones de instalación de material de la casa comercial Molecor, la información de la red existente en Zacoalco de Torres, proporcionada por la Comisión Estatal del Agua de Jalisco y los manuales técnicos del canal de Isabel II relativos al mantenimiento de redes de abastecimiento urbano.

Aqualco desde la Carpeta 00 (Interfaz Inteligente – Chatbot de Consulta Aqualco), deberá de analizar en profundidad la documentación organizada dentro de la Carpeta 5 (PMO Proyectos), esta carpeta constituye el núcleo estratégico para la gestión integral de proyectos relacionados con el sistema de agua potable y saneamiento. Su principal propósito es centralizar toda la información técnica, administrativa y financiera vinculada a las iniciativas impulsadas desde el Departamento de Agua, proporcionando trazabilidad, transparencia y control desde la fase de propuesta técnica hasta el cierre técnico y administrativo de cada proyecto.

4.1 Chat Conversacional, Caso Práctico 3 – AQUALCO

Usuario: Vamos a basarnos en los precios unitarios proporcionados por la casa comercial MOLECOR para realizar la valoración económica de la sustitución progresiva de la red de abastecimiento por tuberías de PVC Orientado. Este análisis se efectuará utilizando como referencia el documento previamente cargado en la base de datos interna de Aqualco, lo cual permitirá realizar una estimación precisa y fundamentada de los costes asociados a este proceso de renovación.

Aqualco: Gracias, Pedro. Ya disponemos de una base sólida para realizar la valoración económica de la sustitución progresiva de la red con tubería de PVC Orientado (PVC-O) de MOLECOR, tomando como referencia los precios unitarios orientativos extraídos del documento de planificación.

Tabla 1. Coste por diámetro según el catálogo de MOLECOR con todos los costes unitarios repercutidos por ml (MOLECOR TECNOLOGÍA SL - Catálogos | Construnario, s. f.) (ChatGPT, s. f.)

Coste Total Por Metro Lineal Según DN Molecor					
	DN Molecor	Diámetro (mm)	Precio solo tubería (€/m)	Coste total €/m (completo)	Observaciones
1	DN90	90	6.45	48.47	Sustituye tramos de 2" y 3"
2	DN110	110	6.45	48.47	Valor confirmado
3	DN125	125	9.32	51.68	No aparece en red actual
4	DN160	160	11.48	59.34	Para tramos de 6"
5	DN225	225	22.45	75.0	Para tramos de 8"
6	DN250	250	26.67	90.41	Valor confirmado
7	DN280	280	33.95	120.0	Para tramos de 10"
8	DN315	315	42.44	177.0	Sustituye tramos de 12"
9	DN355	355	54.58	200.0	Alternativa para DN315
10	DN400	400	68.24	229.62	Para tramos de 16"

Aqualco: Ya tienes disponible la tabla con el **coste total por metro lineal** según el **DN comercial de MOLECOR** para tuberías de **PVC Orientado**, incluyendo:

- **El precio solo de la tubería (€/ml).**
- **El coste total instalado (€/ml) con base en tu planificación.**
- **Las observaciones técnicas** para vincular cada DN con los diámetros existentes en la red de Zacoalco de Torres.

¿Quieres que ahora multipliquemos estos valores por los metros reales instalados por tramo (según tu tabla anterior) para obtener el **presupuesto total estimado de sustitución**? Puedo desglosarlo por año, por DN o en conjunto. (ChatGPT, s. f.; MOLECOR TECNOLOGÍA SL - Catálogos | Construnario, s. f.)

Usuario: Vamos a hacer el plan de sustitución progresiva de la red con un programa de sustitución a 10 años vista.

Aqualco: Aquí tienes la **redacción técnica y estructurada del Plan de Sustitución Progresiva de la Red de Abastecimiento de Agua Potable de Zacoalco de Torres (2025–2035)**, en coherencia con el modelo de tu TFM, los datos de la red actual y los precios unitarios facilitados por la empresa MOLECOR:

Plan de Sustitución Progresiva de la Red de Abastecimiento de Agua Potable

Zacoalco de Torres, 2025–2035

1. Introducción

Este plan establece una estrategia de renovación integral y progresiva de la red de distribución de agua potable del municipio de Zacoalco de Torres, a ejecutarse en un periodo de **10 años**. Se basa en el diagnóstico técnico-social desarrollado en el marco del TFM y se fundamenta en criterios de sostenibilidad hidráulica, eficiencia operativa y viabilidad financiera. La intervención contempla la sustitución de materiales obsoletos, la adecuación de diámetros y la instalación de tubería de PVC Orientado (PVC-O), conforme a los estándares de calidad propuestos por la firma MOLECOR.

2. Objetivos

- *Sustituir 100 % de la red actual (aproximadamente 18,500 metros) en un plazo de 10 años.*
- *Eliminar por completo las tuberías de asbesto-cemento en el primer año.*
- *Optimizar los diámetros existentes conforme a las necesidades hidráulicas reales.*
- *Aplicar criterios de eficiencia en los costos de instalación y mantenimiento.*
- *Incorporar una lógica de intervención sectorizada, según condiciones de antigüedad, material y criticidad.*

3. Distribución de la red actual y asignación de DN

Tramos originales <i>(pulgadas)</i>	Longitud <i>(m)</i>	Diámetro equivalente <i>MOLECOR</i>	Observaciones técnicas
2" y 3"	9,000	DN90	<i>Alta incidencia de fugas</i>
4"	3,000	DN110	<i>Tramos de distribución secundaria</i>

<i>Tramos originales (pulgadas)</i>	<i>Longitud (m)</i>	<i>Diámetro equivalente MOLECOR</i>	<i>Observaciones técnicas</i>
6"	1,500	DN160	<i>Colectores principales de barrio</i>
8"	1,000	DN225	<i>Redes troncales de refuerzo</i>
10"	1,000	DN250	<i>Tramos periféricos de alta capacidad</i>
12"	1,500	DN315	<i>Colector primario urbano</i>
16"	1,500	DN400	<i>Colector general y anillo de interconexión</i>

4. Costes estimados por tramo (PVC-O MOLECOR)

<i>DN Molecor Longitud (m)</i>	<i>Precio unitario instalado (€/ml)</i>	<i>Coste total (€)</i>
DN90	9,000	48.47
DN110	3,000	48.47
DN160	1,500	59.34
DN225	1,000	75.00
DN250	1,000	90.41
DN315	1,500	177.00
DN400	1,500	229.62
Total	18,500	1,445,990.00 €

(ChatGPT, s. f.; MOLECOR TECNOLOGÍA SL - Catálogos | Construnario, s. f.)

Usuario: Teniendo en cuenta que la tubería de MOLECOR debe ser transportada desde España, ¿en cuánto podría incrementarse el precio por metro lineal de tubo?

Aqualco: Excelente pregunta, Pedro. El coste adicional por transporte internacional de la tubería PVC-O fabricada por MOLECOR (con sede en Madrid, España) hasta Zacoalco de Torres, Jalisco (México) dependerá de varios factores logísticos. A continuación, te presento un análisis técnico-económico estimado:

Análisis del Incremento de Coste por Transporte Internacional (España → México)

1. Variables consideradas

-  **Origen:** fábrica en Loeches (Madrid, España).
-  **Transporte marítimo** vía contenedor desde puerto de Valencia o Algeciras → Veracruz/Manzanillo.
-  **Transporte terrestre** Veracruz/Manzanillo → Zacoalco de Torres (~700–900 km).
-  **Material voluminoso:** baja densidad, pero alto volumen, lo que aumenta el coste por contenedor (pago por espacio).

2. Estimación de costes logísticos (referencia 2025)

Componente logístico	Estimación €/ton o €/m ³	Comentario
Transporte marítimo Europa–México	130–180 €/m ³	Depende del puerto y tasa de consolidación
Despacho aduanal e IVA importación	16 % del valor FOB	Puede recuperarse vía financiamiento externo
Transporte terrestre interno en México	40–60 €/m ³	Tarifa promedio para transporte por tráiler
Coste total estimado añadido	90–120 €/m ³	Sin contar margen de intermediación local

3. Impacto sobre el precio por metro lineal

La tubería PVC-O, al tener diámetros grandes y paredes delgadas, ocupa mucho volumen por metro lineal. Aproximadamente:

- **DN90–DN160:** 0.015 a 0.025 m³ por metro lineal
- **DN250–DN400:** 0.045 a 0.08 m³ por metro lineal

□ Cálculo aproximado por DN

DN	Volumen estimado (m³/ml)	Coste transporte €/ml	Incremento estimado (%)
DN90 0.015		~1.50 €/ml	+3 %
DN160 0.025		~2.50 €/ml	+4–5 %
DN250 0.045		~4.50 €/ml	+5–6 %
DN315 0.060		~6.00 €/ml	+5–7 %
DN400 0.080		~8.00 €/ml	+4–6 %

■ Conclusión técnica

El coste de transporte internacional podría incrementar el coste instalado entre un 3 % y un 7 % por metro lineal, dependiendo del DN.

Recomendación: Para planificaciones reales, usar un factor de corrección medio del +6 % sobre los precios instalados actuales si se importa la tubería desde España sin intermediación nacional.

¿Quieres que actualice ahora la tabla con los precios ajustados por transporte o que exploremos si hay distribuidores oficiales de MOLECOR en México para evitar ese sobrecoste? También puedo modelar un escenario mixto: DN bajos comprados localmente y DN altos importados.

(ChatGPT, s. f.; MOLECOR TECNOLOGÍA SL - Catálogos | Construnario, s. f.)

Tabla 2. Incremento en coste de la tubería de PVC de MOLECOR derivado del transporte logístico (ChatGPT, s. f.; MOLECOR TECNOLOGÍA SL - Catálogos | Construnario, s. f.)

Coste Total Por Metro Lineal Con Transporte Desde España					
	DN Molecor	Diámetro (mm)	Precio solo tubería (€/m)	Coste total €/m (completo)	Observaciones
1	DN90	90	6.45	48.47	Sustituye tramos de 2" y 3"
2	DN110	110	6.45	48.47	Valor confirmado
3	DN125	125	9.32	51.68	No aparece en red actual
4	DN160	160	11.48	59.34	Para tramos de 6"
5	DN225	225	22.45	75.0	Para tramos de 8"
6	DN250	250	26.67	90.41	Valor confirmado
7	DN280	280	33.95	120.0	Para tramos de 10"
8	DN315	315	42.44	177.0	Sustituye tramos de 12"
9	DN355	355	54.58	200.0	Alternativa para DN315
10	DN400	400	68.24	229.62	Para tramos de 16"

ya tienes disponible la tabla actualizada con los precios ajustados por transporte internacional desde España, aplicando un incremento del 6 % sobre el coste total por metro lineal instalado.

Estos nuevos valores te permitirán:

- *Hacer una estimación realista y completa del presupuesto.*
- *Comparar con posibles ofertas de distribuidores nacionales.*
- *Evaluar la conveniencia de importar vs. adquirir localmente.*

¿Quieres que actualice también el plan anual de sustitución a 10 años con estos nuevos precios?

Tabla 3. Proyección del coste total por sustitución progresiva de la red con la tubería de MOLECOR (ChatGPT, s. f.; MOLECOR TECNOLOGÍA SL - Catálogos | Construnario, s. f.)

Plan Original Completo Con Transporte (100 % De La Red)				
	DN	Longitud (m)	Coste €/m (con transporte)	Coste total (€)
1	DN90	9000	51.38	462420.0
2	DN110	3000	51.38	154140.0
3	DN160	1500	62.9	94350.0
4	DN225	1000	79.5	79500.0
5	DN250	1000	95.83	95830.0
6	DN315	1500	187.62	281430.0
7	DN400	1500	243.4	365100.0

El coste total actualizado del Plan de Sustitución Completa de la Red de Abastecimiento de Zacoalco de Torres, considerando:

- *La longitud real de cada tramo de la red.*
- *Los precios específicos por DN.*
- *Un incremento del 6 % por transporte internacional desde España,*

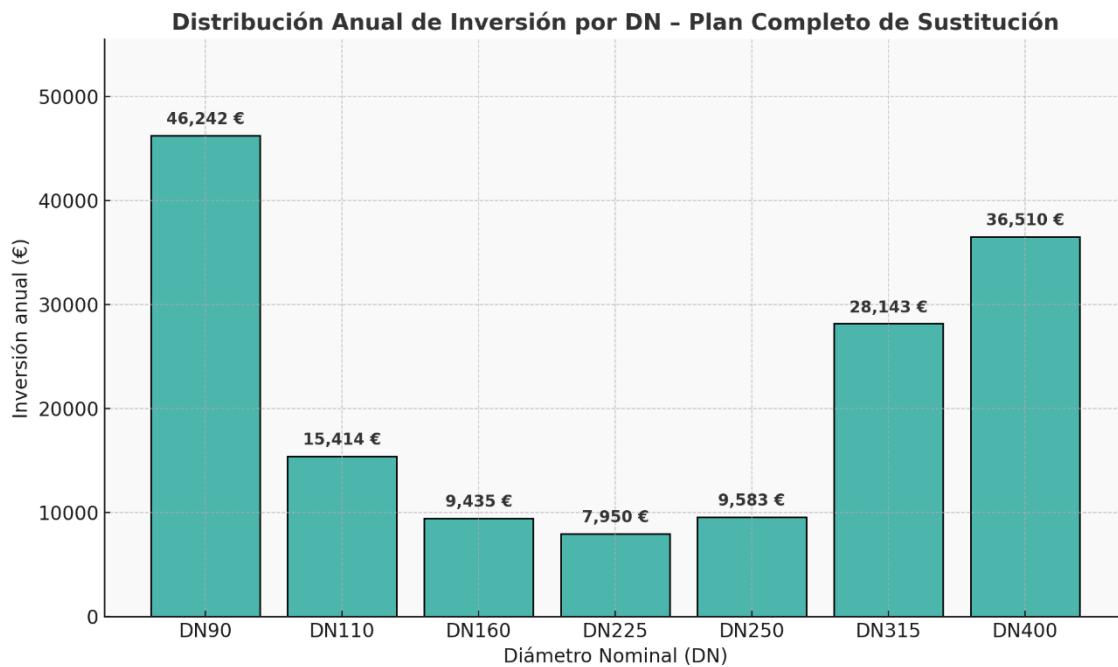
es de:

ℳ 1.532.770,00 €

Este valor corresponde a la sustitución del 100 % de los 18.500 metros de red en un horizonte de 10 años, con tubería de PVC-O de MOLECOR completamente instalada.

¿Quieres que prepare ahora una planificación anual equilibrada (por DN y coste) para distribuir esta inversión a lo largo de los 10 años? También puedo generar un cronograma gráfico o adaptarlo a pesos mexicanos.

Usuario: ¡Si! genera el gráfico y luego redacta el plan que has detallado.



Gráfica 2. Distribución anual de Inversión por DN - plan de sustitución de la red (MOLECOR TECNOLOGÍA SL - Catálogos | Construnario, s.f.; Zotero | Your personal research assistant, s.f.)

Aquí tienes el **gráfico de inversión anual por DN**, correspondiente al **Plan Completo de Sustitución de la Red de Abastecimiento de Zacoalco de Torres**. Este gráfico:

- Muestra la distribución proporcional por **diámetro nominal (DN)**.
- Ayuda a visualizar dónde se concentran los mayores esfuerzos presupuestarios (ej. DN90 y DN400).
- Es ideal para presentaciones ante CONAGUA, CEAJAL o comités de aprobación.

Aquí tienes el **Plan Técnico de Sustitución Progresiva Completa de la Red de Abastecimiento de Agua Potable en Zacoalco de Torres**.

Plan Completo de Sustitución de la Red de Agua Potable

Zacoalco de Torres, 2025–2034

1. Objetivo General

Ejecutar la sustitución total de la red de distribución de agua potable del municipio de Zacoalco de Torres (18.500 ml) en un plazo de **10 años**, garantizando eficiencia hidráulica, sostenibilidad operativa y cumplimiento normativo, mediante el uso de **tubería de PVC Orientado (PVC-O)** suministrada por MOLECOR.

2. Criterios Técnicos del Plan

- Sustitución basada en los **diámetros nominales reales** de la red existente.
- Costes unitarios adaptados al mercado internacional **con un 6 % adicional** por transporte desde España.
- Priorización proporcional según volumen de red por DN y su impacto hidráulico.
- Ejecución anual **constante y sostenible** de ~153.277 €/año.

3. Distribución Técnica de la Red y Costes por Diámetro

DN	Longitud (ml)	Coste €/ml (c/ transporte)	Coste total (€)
DN90	9.000	51,38	462.420,00
DN110	3.000	51,38	154.140,00
DN160	1.500	62,90	94.350,00
DN225	1.000	79,50	79.500,00
DN250	1.000	95,83	95.830,00
DN315	1.500	187,62	281.430,00
DN400	1.500	243,40	365.100,00
TOTAL	18.500	—	1.532.770,00 €

4. Planificación Anual (2025–2034)

El plan se ejecutará en **10 años**, con un ritmo constante de inversión anual y metros renovados proporcionalmente a los costes por DN:

DN	Coste anual estimado (€)	Metros a renovar por año
DN90	46.242	900 ml
DN110	15.414	300 ml
DN160	9.435	150 ml
DN225	7.950	100 ml
DN250	9.583	100 ml
DN315	28.143	150 ml
DN400	36.510	150 ml
TOTAL	153.277 €/año	1.850 ml/año

5. Consideraciones Finales

- El presente plan representa una inversión **realista y sostenible**, compatible con esquemas de cofinanciamiento con CONAGUA, CEAJAL y fondos multilaterales.
- Permite justificar ante las autoridades una intervención estructurada, técnica y presupuestariamente viable.
- Puede ser adaptado anualmente en función de prioridades emergentes, condiciones sociales o avances del sistema GMAO.

Usuario: ¿Qué gráficos serían recomendables para reflejar mejor este tipo de información?

Aqualco: Para reflejar de forma **clara, profesional y estratégica** el contenido de este plan de sustitución, te recomiendo los siguientes gráficos, **alineados con la Carpeta 10 (Reporting y Visualización)** y con el apoyo del **experto en comunicación de la Carpeta 3**:

Gráficos recomendados

1. Gráfico de barras: Distribución del coste total por DN

- Muestra en columnas los **costes totales por DN**.
- Permite identificar visualmente qué diámetros representan mayor peso económico (ej. DN90 y DN400).
- Ideal para la introducción del capítulo financiero.

◆ Ya lo hemos generado con coste anual. Se puede replicar para el coste total acumulado.

2. Gráfico de líneas apiladas: Evolución del coste acumulado a 10 años

- Eje X: Años (2025–2034)
 - Eje Y: Inversión acumulada (€/año)
 - Líneas: Una por cada DN (colores suaves)
 - Refleja el **avance del plan** y el crecimiento progresivo del gasto.
-

3. Gráfico circular (pastel): Distribución porcentual del coste total

- Representa en % la participación de cada DN sobre el total de 1.532.770 €.
 - Útil para comunicar visualmente a tomadores de decisiones o público no técnico.
-

4. Gráfico Gantt: Planificación de sustitución por año y DN

- Filas: DN90, DN110, DN160, etc.
 - Columnas: Años 2025–2034
 - Celdas marcadas: cada año en que se actúa sobre ese DN.
 - Útil para **visualizar simultaneidad y duración** de intervenciones por DN.
-

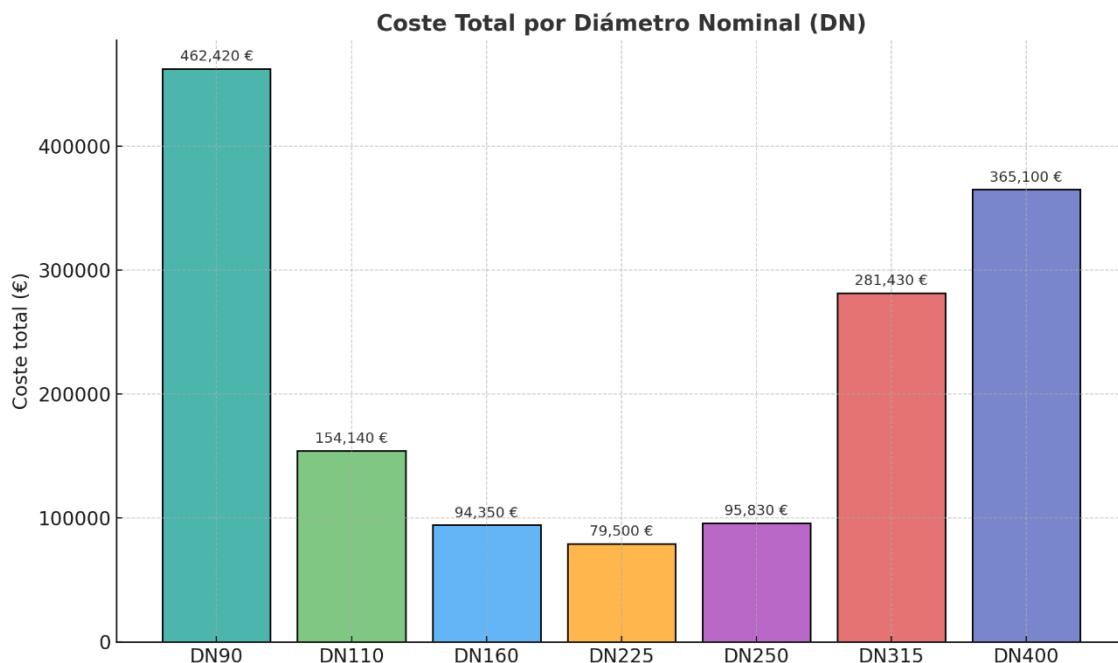
5. Gráfico de barras doble eje: Coste anual vs. metros anuales

- Barras: coste anual por DN.
- Línea: metros lineales sustituidos por DN.
- Relación visual entre inversión y cobertura física por año.

¿Deseas que empiece a generar uno de estos gráficos? Podemos empezar por el gráfico de líneas apiladas (coste acumulado a 10 años) o el gráfico circular para representar las proporciones por DN. ¿Cuál prefieres primero?

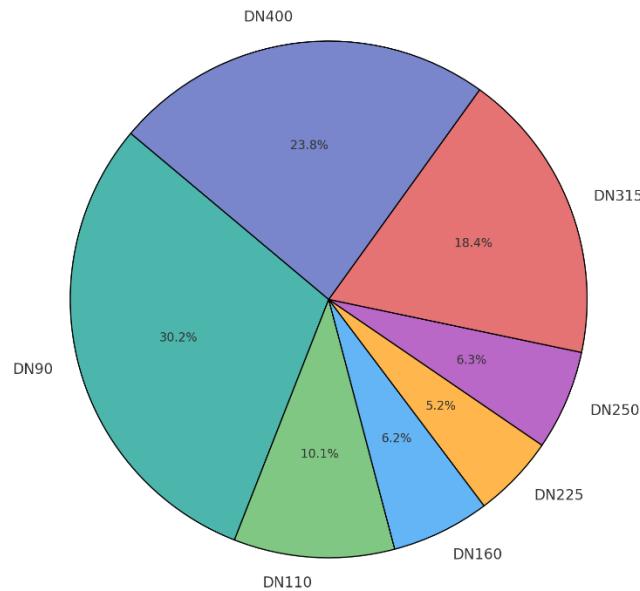
Usuario: Apóyate en la Carpeta 10 (Reporting y Visualización) y en el experto en marketing y visualización para generar todos los gráficos que me has descrito.

Aqualco:

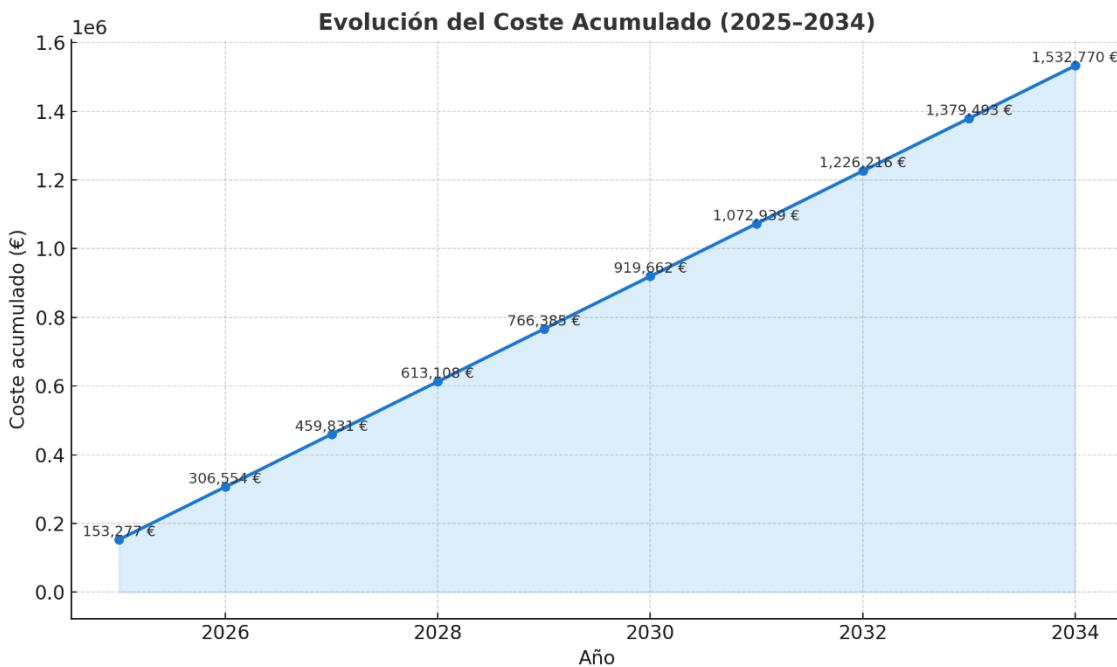


Gráfica 3. Coste total por diámetro según el cuadro de precios de MOLECOR y teniendo en consideración el transporte de material a Zacoalco (ChatGPT, s.f.; MOLECOR TECNOLOGÍA SL - Catálogos | Construnario, s.f.)

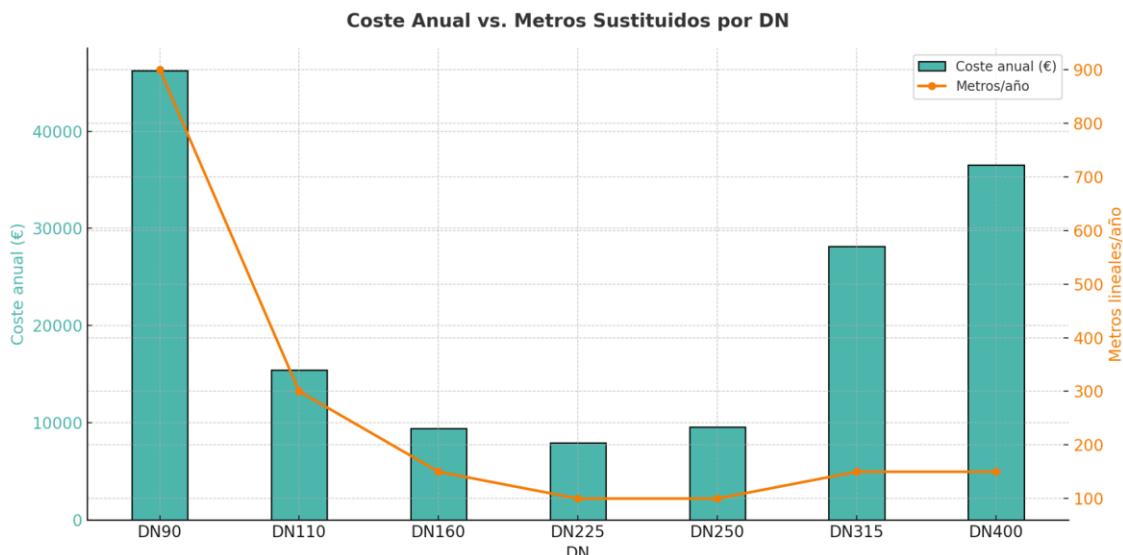
Distribución Porcentual del Coste Total por DN



Gráfica 4. Distribución porcentual del coste total Por diámetros, según el catálogo de MOLECOR (ChatGPT, s. f.; MOLECOR TECNOLOGÍA SL - Catálogos | Construnario, s. f.)



Gráfica 5. Evolución del Coste acumulado en función del porcentaje anual esperado para la sustitución de la red, según el cuadro de precios de MOLECOR (ChatGPT, s. f.; MOLECOR TECNOLOGÍA SL - Catálogos | Construnario, s. f.)



Gráfica 6. Coste anual vs metros sustituidos por DN, según la planificación actual y el coste reflejado en el cuadro de precios de MOLECOR (ChatGPT, s. f.; MOLECOR TECNOLOGÍA SL - Catálogos | Construnario, s. f.)

Aquí tienes los tres primeros gráficos generados con enfoque profesional, alineados con las directrices de la Carpeta 10 (Reporting y Visualización) y el criterio del experto en marketing del Comité de Expertos (Carpeta 3):

■ Gráficos Generados

1. **Gráfico de barras – Coste total por DN**
 - Visualiza de forma directa dónde se concentran los recursos del proyecto.
 - Ideal para análisis financiero y justificación de prioridades.
2. **Gráfico circular – Distribución porcentual**
 - Comunicación clara para público no técnico o instituciones financieras.
 - Útil para presentaciones y resúmenes ejecutivos.
3. **Gráfico de líneas – Evolución del coste acumulado**
 - Muestra el compromiso económico a lo largo del tiempo.
 - Refuerza la sostenibilidad del plan con ritmo de inversión constante.

¿Deseas ahora que elabore los dos gráficos restantes?

4. Gráfico Gantt (intervención por DN y año)
5. Gráfico combinado barras/líneas: coste anual vs metros anuales

☒ Gráfico 5: Barras y línea – Coste anual vs. Metros anuales

- Las barras representan el **coste anual por DN**.
- La **línea naranja** muestra los **metros que se sustituirán cada año por DN**.
- Refuerza la relación entre inversión y cobertura física.

(ChatGPT, s. f.)

4.2 Conclusiones del Caso Práctico 3

A la vista de los resultados obtenidos por **Aqualco**, se constata que el modelo es cada vez más fiable. La continua retroalimentación con información y documentación técnica de primer nivel le permite ofrecer respuestas más coherentes y ajustadas a las necesidades concretas del proyecto. Gracias al aprendizaje automático (machine learning), el modelo mejora progresivamente su capacidad para generar gráficas más precisas, así como respuestas cada vez más alineadas con el lenguaje técnico esperado.

De este modo, se constata que la metodología propuesta permite, que, en cualquier ámbito de aplicación, un individuo, grupo, colectivo, asociación o departamento técnico (ya sea del ámbito público o privado) pueda desarrollar su propio modelo Aqualco como una herramienta de acompañamiento continuo en la gestión de procesos operativos. Asimismo, tal y como se demuestra en este caso práctico, Aqualco puede emplearse en la planificación y ejecución de planes estratégicos, como la renovación progresiva de la red de abastecimiento de un municipio. Por tanto, las posibilidades de esta metodología son amplias, y destacan especialmente por su alta capacidad de escalabilidad, adaptabilidad y replicabilidad en diversos contextos y territorios.

5. CASO PRÁCTICO 4 – COMPLIANCE Y MODELOS DE FINANCIACIÓN

5.1 Chat Conversacional, Caso Práctico 4 – AQUALCO

En este Caso Práctico 4, se pretende que el modelo generativo asistido por inteligencia artificial (Aqualco), basándose en el experto legal definido en la Carpeta 3 (Comité Virtual de Expertos) y apoyándose en la Carpeta 9 (Compliance Penal), la cual contiene la información y normativa legal tanto nacional mexicana como internacional, sea capaz de explorar todas las fuentes posibles de financiación con el objetivo de cubrir parte del coste del proyecto desarrollado en el Caso Práctico 3.

Usuario: En relación con el plan de sustitución de la red que hemos implementado, y apoyándote en la Carpeta 9 (Compliance Penal) y en el experto legal definido en la Carpeta 3 (Comité Virtual de Expertos), necesito que explores las posibles fuentes de financiación del proyecto, así como los programas nacionales e internacionales a los que podríamos acogernos.

Aqualco: Con base en la información contenida en tu TFM y el análisis contextual de Zacoalco de Torres, a continuación, se expone un informe técnico y legal sobre las **fuentes de financiación posibles** y los **programas de apoyo nacionales e internacionales** a los que podría acogerse el proyecto de sustitución progresiva de la red de agua potable, con asesoría del experto legal del Comité de Expertos (Carpeta 3) y conforme al marco de compliance penal y normativo (Carpeta 9).

⌚ Informe de Financiación Potencial para el Proyecto de Red de Agua en Zacoalco de Torres

1. 🏛️ Programas Nacionales de Financiación (México)

a) CONAGUA – PROAGUA

- **Finalidad:** Cofinanciamiento federal para obras de abastecimiento en zonas rurales y urbanas marginadas.
- **Subprogramas aplicables:**
 - APAUR: Apoyo a programas de agua urbana y rural.
 - PROMAGUA: Mejora de eficiencia y reducción de fugas en redes existentes.
- **Cobertura:** Hasta un **60–80 % del coste** en municipios con alta marginación o bajos ingresos propiosEstado_Del_Arte_230625.
- **Requisitos:** Plan maestro actualizado, evidencia de operación sostenible, inclusión de mantenimiento y participación comunitaria.

b) CEAJAL – Comisión Estatal del Agua de Jalisco

- Cofinanciamiento técnico y económico para proyectos registrados por municipios.
- Puede complementar la aportación de CONAGUA en hasta un **20–30 % adicional**, siempre que exista alineación con el **Plan Estatal de Infraestructura Hídrica**.
- Valorará positivamente la aplicación de **modelos digitales (BIM–GMAO)** y sostenibilidad.

c) SEDATU – Programa de Mejoramiento Urbano

- Vía convenios marco de urbanización, puede financiar parte de obras hidráulicas como parte de proyectos integrales en zonas de alta vulnerabilidad.

2. 🌎 Fondos Internacionales y Cooperación Técnica

a) Banco Interamericano de Desarrollo (BID)

- Líneas de apoyo técnico y préstamos blandos para proyectos de mejora de servicios básicos.
- La modalidad **cooperación técnica no reembolsable (CT)** puede aplicarse para digitalización de activos, innovación (IA, sensores), y monitoreo de resultadosEstado_Del_Arte_230625.

b) AECID – Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo

- Puede colaborar a través del **Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento (FCAS)**.
- Requiere proyectos con fuerte componente comunitario y enfoque de derechos humanos.
- Se recomienda postular vía consorcio o a través de una ONG con presencia local.

c) Rotary International – Subvenciones Globales

- *Financia proyectos comunitarios de agua potable y saneamiento en zonas rurales.*
 - *El modelo utilizado en Guanajuato puede replicarse para ZacoalcoEstado_Del_Arte_230625.*
-

3. Consideraciones Legales y Compliance Penal

a) Riesgos de incumplimiento

- *Toda fuente de financiación debe cumplir con principios de transparencia, trazabilidad y rendición de cuentas.*
- *El plan BIM–GMAO desarrollado ayuda a:*
 - *Evitar sobrecostos no justificados.*
 - *Garantizar la trazabilidad de inversiones públicas.*
 - *Documentar la operación y mantenimiento como condición legal ante financieras.*

b) Buenas prácticas de gobernanza

- *Crear una carpeta digital con todos los convenios y contratos públicos del proyecto.*
 - *Evitar la modificación arbitraria de especificaciones técnicas o inclusión de actores no contemplados originalmente Estado_Del_Arte_230625.*
 - *Establecer una unidad de seguimiento con participación comunitaria, técnica y jurídica.*
-

4. Recomendaciones Finales

Recomendación estratégica

Presentar el proyecto ante CONAGUA

Solicitar apoyo técnico del BID vía PMO

Crear expediente digital en Carpeta 9 (Compliance)

Establecer Comité Mixto de Gobernanza

Preparar un resumen ejecutivo

Detalle

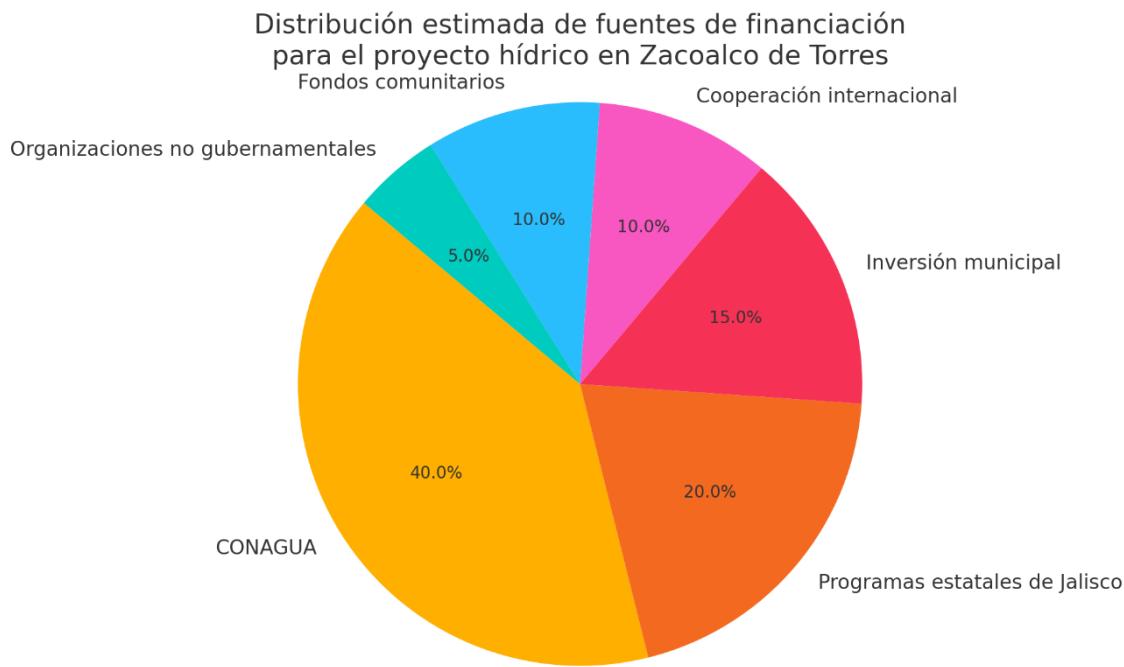
Usar como base el plan técnico BIM–GMAO

Especialmente en digitalización, sensores y formación

Incluir contratos, convenios, fichas técnicas y OT del GMAO

Incluyendo representantes del municipio, comunidad y expertos

Adaptado para agencias internacionales y organismos estatales



Gráfica 7. Distribución estimada de fuentes de financiación para el proyecto de renovación de redes de Zacoalco de Torres (ChatGPT, s. f.)

Usuario: Dado que ya se ha trabajado con el programa PROAGUA, necesito que investigues más a fondo sobre esta fuente de financiación y, en función del coste estimado del proyecto, indiques qué porcentaje del mismo podría ser financiado, así como cuáles son los requisitos necesarios para acceder a dicha financiación pública.

Aqualco: Aquí tienes el análisis detallado y actualizado sobre la **financiación a través de PROAGUA (CONAGUA)**, considerando el **coste total del proyecto (~1,533,000 €)** y los **requisitos legales y operativos establecidos en las Reglas de Operación 2024**:

1. Cobertura Económica Estimada por PROAGUA

Según las Reglas (2024):

- **Subsidios para rehabilitación y mejora de eficiencia de la red** (subcomponentes de agua potable y alcantarillado) pueden alcanzar hasta el **50 % del coste total**, sin considerar complementos.
- **Puede incrementarse en hasta un 25 % adicional si:**
 - *El municipio es de <15,000 hab.,*
 - *O si hay estructuras de participación comunitaria con mayoría de mujeres (10 %) y zona con alta marginación (10 %)*

dof.gob.mx+10cmic.org.mx+10faolex.fao.org+10transparencia.info.jalisco.gob.mx+2static1.squarespace.com+2youtube.com+2faolex.fao.org

☞ Por ejemplo:

- *Base del subsidio: 50 %*
- *+10 % por pertenecer a localidad pequeña (<15,000 hab.) → 60 %*
- *+10 % por comité con participación de mujeres → 70 %*
- *+10 % por alta marginación → hasta 80 % del coste total .*

Para Zacoalco (~28.000 habitantes), al aplicar el complemento del tamaño poblacional *el tope sería 60 %.*

□ 2. Valor estimado financiable por PROAGUA

- *Coste total del plan completo: ~1,533,000 €*
- *Cobertura base (50 %): ~766,500 €*
- *Con complemento poblacional (+10 %): 60 % total → ~919,800 €*

→ Financiación potencial de PROAGUA: entre 766,500 € y 919,800 €

☒ 3. Requisitos Principales para el acceso

1. Tener **Convenio de Coordinación federal** (Conagua–entidad–municipio)
ihacienda.chihuahua.gob.mx+7dof.gob.mx+7de.sre.gob.mx+7gob.mx+7gob.mx+7faolex.fao.org+7sidof.segob.gob.mx+7faolex.fao.org+7transparencia.info.jalisco.gob.mx+7.
2. Presentar **anexos técnico y de ejecución**, basados en plan maestro aprobado que incluya:
 - Costos, beneficios, cronograma, POA y estudios técnicos
cmic.org.mx+2faolex.fao.org+2static1.squarespace.com+2.
3. Contar con **ingeniería básica o ejecutiva validada**, impacto ambiental y plan de operación y mantenimiento gob.mx+15es.scribd.com+15faolex.fao.org+15.
4. Garantizar la **contraparte estatal/municipal** (no doble recurso) usando fondos estatales como CEAJAL o aportación en especie .
5. Establecer y promover **contraloría social** (comités comunitarios), especialmente para coparticipación faolex.fao.org+1static1.squarespace.com+1.
6. Garantizar la **transparencia institucional y visualización pública de las obras**
es.scribd.com+1static1.squarespace.com+1.

☒ 4. Consideraciones de Compliance Penal

De acuerdo con el marco de la **Carpeta 9** y la legislación mexicana:

- *Es obligatorio **auditoría y registro público completo** (inventario, documentación técnica, contratos y órdenes GMAO).*
- *Cualquier fallo en el cumplimiento de los requisitos o uso indebido de recursos puede derivar en responsabilidades administrativas y penales. La trazabilidad digital (BIM–GMAO–Aqualco) contribuye a mitigar riesgos.*

🔗 *Conclusión y pasos a seguir*

- *PROAGUA podría financiar hasta 919,800 €, siempre que se cumplan los requisitos legales, institucionales y técnicos.*
- *Este apoyo representa un gran impulso para el plan, complementando el aporte municipal, estatal y de cooperación.*

❖ *Próximos pasos recomendados:*

1. *Elaborar los Anexos Técnico y de Ejecución, con el costo total y cronograma.*
2. *Firmar el Convenio de Coordinación entre Conagua y entidad federativa.*
3. *Preparar un expediente con:*
 - *Contraparte municipal/estatal,*
 - *Ingeniería y estudio ambiental,*
 - *Plan de operación GMAO,*
 - *Activación de Contraloría Social.*
4. *Validar la asignación financiera anual (60 % vía federal + 30–40 % complementario).*

5.2 Conclusiones del Caso Práctico 4

A la vista de los resultados obtenidos, el modelo ha demostrado ser capaz de relacionar distintas conversaciones entre sí, además de establecer interconexiones entre carpetas. En cada prompt o consulta, logra vincular información proveniente de hasta cuatro o cinco carpetas diferentes para construir una respuesta lógica y coherente.

El modelo se consolida, así, como una herramienta transversal de gestión hídrica, que permite democratizar y facilitar el acceso a la información, especialmente en contextos complejos o en proyectos de cooperación al desarrollo. Esto brinda a las comunidades no solo el conocimiento de sus derechos, sino también de sus obligaciones en materia de gestión del agua, todo ello sustentado en una base legal transparente, verificable y fácilmente auditabile.

6. CONCLUSIONES Y SIGUIENTES PASOS

La metodología propuesta ha demostrado ser una herramienta robusta, eficaz, escalable y adaptable a cualquier contexto de intervención, especialmente en entornos complejos o de cooperación al desarrollo. Permite dotar a las comunidades de herramientas autogestionables sin necesidad de intervención externa. A través de una integración progresiva entre el Modelo de Gestión Operativa del Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO), desarrollado mediante la plataforma de uso libre Fracttal-One, y el modelo generativo asistido por inteligencia artificial (Aqualco), se ha logrado crear un entorno digital capaz de centralizar la información, facilitar la toma de decisiones y mejorar la trazabilidad de las actuaciones.

No ha sido posible establecer una integración directa con el modelo BIM, ya que, en estos contextos complejos, las comunidades receptoras no cuentan con la capacidad técnica y operativa

suficiente para mantener un modelo BIM estructurado. Además, plataformas como Fractal-One, en su versión de uso libre, no permiten la interoperabilidad con modelos BIM, y las comunidades no disponen de los recursos necesarios para acceder a versiones de pago que sí contemplarían esta funcionalidad.

Esta línea de trabajo ha sido descartada en esta fase; no obstante, se deja abierta la posibilidad de explorar su implementación en futuras investigaciones, especialmente en contextos con estructuras organizativas más robustas y mayor capacidad técnica, donde estas herramientas puedan ser incorporadas en sus versiones profesionales y plenamente integradas.

Entre los principales logros alcanzados, destacan:

- El desarrollo de un modelo generativo del Departamento de Aguas de Zacoalco de Torres. El cual se ha llevado a cabo mediante una estructura modular, jerárquica e interrelacionada, la cual se ha alimentado de datos técnicos y sociales.
- La implementación de casos prácticos funcionales ha permitido demostrar la adaptabilidad, el razonamiento, la capacidad de respuesta y el análisis contextual de Aqualco, dando como resultado un modelo complejo que aprende de cada prompt y que permite relacionar ideas dispersas o información contenida en diferentes módulos o carpetas.
- Replicabilidad y escalabilidad del modelo. Uno de los principales logros de la metodología propuesta radica en su elevada adaptabilidad y capacidad de replicación. En efecto, puede ser aplicada en prácticamente cualquier contexto, siendo únicamente necesario replicar la estructura de prompt establecida en el presente TFM y desarrollar el proyecto en alguna de las plataformas actuales de inteligencia artificial.

Asimismo, la complejidad y el grado de desarrollo de la estructura de carpetas dependerán directamente del entorno de aplicación. En este sentido, se recomienda iniciar por la Carpeta 1, donde se encuentran definidos el cuestionario técnico y el cuestionario social. Ambos instrumentos resultan fundamentales para identificar, por un lado, el tipo de intervención más adecuado, y por otro, el entramado social específico en el que se pretende actuar.

A partir de este diagnóstico preliminar, será posible establecer el nivel de apertura con el que se puede implantar la estructura modular. De este modo, se garantiza que la tecnología desarrollada pueda ser transferida a la propia comunidad, permitiéndole continuar su desarrollo de forma autónoma, progresiva y sin necesidad de intervención.

externa. Esta característica confiere a la metodología un elevado valor añadido en contextos de cooperación al desarrollo y gestión hídrica descentralizada.

➤ Próximos pasos y líneas de investigación

1. **Desarrollo completo del modelo BIM:** incorporar componentes físicos de la red con su correspondiente sistema de clasificación y vinculándolos al sistema GMAO
2. **Capacitación técnica local:** Formar al personal del municipio en el uso y actualización del sistema BIM-GMAO-AQUALCO, para garantizar la sostenibilidad de la metodología.
3. **Escalabilidad territorial:** Posibilidad de replicar el modelo en otros municipios con características similares, adaptando únicamente los formularios técnicos y sociales. Esta adaptación permitirá identificar con precisión el contexto específico de actuación.
4. **Implementación de versiones colaborativas de AQUALCO:** Permitiendo a los actores locales participar en la mejora del modelo y en la carga de nueva información que permita alimentar su base de datos.
5. **Evaluación y mejora continua del sistema:** A través de la retroalimentación con los datos operativos reales del GMAO y la incorporación progresiva de funciones predictivas mediante aprendizaje automático (Machine Learning).