

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme apoyado económicamente durante la maestría, gracias a este apoyo conté con los recursos para obtener el grado de maestro.

A Dios por la vida que me ha dado, por darme fuerzas de seguirme superando día con día, por darme seguridad en las cosas que realizo diariamente y por ayudarme a termina la Maestría en Ingeniería Industrial.

A mis padres por su amor, paciencia, dedicación y apoyo en los momentos difíciles, gracias a ellos tengo una carrera y un futuro por delante.

A mis hermanos Alma, Yolanda y César por su amor, apoyo y comprensión.

A los doctores Hérica Sánchez Larios y Servio Tulio Guillén, por su tiempo, dedicación, y consejos, ya que a ellos se debe en primer lugar que éste trabajo haya llegado en buen término, pues su estímulo y apoyo técnico lo hizo materialmente posible.

A mis profesores por brindarme sus conocimientos, apoyo y experiencia para poder desarrollarme en mi vida profesional.

A mi novia Urbán Solano Mirza Guadalupe por su cariño, comprensión y presencia incondicional en todo momento.

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	7
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2. METODOLOGÍAS PARA LA PLANIFICACIÓN E IMPLANTACIÓN DE PROYECTOS DE REUTILIZACIÓN DE AGUA	21
2.1. Una perspectiva desde la ingeniería. <i>Takashi Asano</i> y colaboradores	21
2.2. Una perspectiva multidisciplinaria. Banco Mundial	24
2.3. Una perspectiva social. <i>Perri Standish-Lee</i>	27
2.4. Metodología para la evaluación de proyectos de saneamiento de aguas residuales urbanas en países latinoamericanos	31
2.4.1. Metodología de preinversión para proyectos de agua y saneamiento urbano	31
2.4.2. Objetivo	31
2.4.3. Metodología	31
2.4.3.1. Identificación de proyectos	31
2.4.3.2. Formulación del proyecto	31
2.4.3.3. Estudio de mercado	32
2.4.3.4. Costos del proyecto	32
2.4.3.5. Beneficios del proyecto	32
2.4.3.6. Evaluación del proyecto	33
2.4.3.7. Externalidades del proyecto	33
2.4.3.8. Distribución de los costos y beneficios e impacto fiscal	33
2.4.3.9. Financiamiento de la inversión	33
2.4.3.10. Sostenibilidad	33
2.5. Manual de formulación y evaluación de proyectos	34
2.5.1. Objetivo General	34
2.5.1.1. Objetivos Específicos	34
2.5.2. Marco Conceptual	35
2.5.3. Metodologías de Formulación y Evaluación de Proyectos	35
2.5.4. Diagnóstico	35
2.5.5. Justificación del proyecto	36
2.5.6. Análisis de alternativas	36
2.5.7. Aspectos Técnicos	36
2.5.8. Financiamiento	36
2.6. Metodología para la formulación de proyectos de sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales domésticas	36
2.6.1. Objetivo general	38
2.6.1.1. Objetivos específicos	38

2.6.2. Metodología para el proceso del proyecto	38
2.7. Metodología propuesta de evaluación de una planta de tratamiento y reutilización de aguas residuales municipales	40
3. PROCESO DE PREPARACIÓN DE PROYECTOS	43
3.1. Ciclo de vida del proyecto	44
3.1.1. Preinversión.	46
3.1.2. Idea.	46
3.1.3. Perfil.	46
3.1.4. Prefactibilidad.	46
3.1.5. Factibilidad.	46
3.1.6. Diseños finales.	46
3.1.7. Inversión.	46
3.1.8. Operación.	46
3.1.9. Evaluaciones.	48
3.2. Preparación y presentación de proyectos	48
3.3. Diagnostico	49
3.3.1. Antecedentes	49
3.3.2. Identificación de la problemática a resolver	49
3.4. Planteamiento de alternativas de proyectos	51
3.4.1. Selección de alternativas viables	52
3.5. Formulación del proyecto	52
3.5.1. Aspectos Generales del Proyecto	52
3.5.2. Descripción General del Proyecto	52
3.5.3. Objetivos de Desarrollo y Específicos	52
3.5.3.1. Objetivos Específicos	54
3.5.3.2. Resultados Esperados	54
3.5.3.3. Indicadores Específicos	54
3.5.3.4. Medios de Verificación	54
3.5.4. Limitantes Externas	55
3.5.5. Inserción de los Beneficiarios en el Proyecto	55
4. ESTUDIO DE MERCADO	57
4.1. Análisis de la demanda	57
4.1.1. Demanda insatisfecha	58
4.1.2. Demanda satisfecha	58
4.1.2.1. Satisfecha saturada	58
4.1.2.2. Satisfecha no saturada	58
4.1.3. Demanda de bienes social y nacionalmente necesarios	58
4.1.4. Demanda de bienes no necesarios o de gusto	59
4.1.5. Demanda continua	59

4.1.6.	Demanda cíclica o estacional	59
4.1.7.	Demanda de bienes finales	59
4.1.8.	Demanda de bienes intermedios o industriales	59
4.2.	Análisis de la Oferta	59
4.2.1.	Oferta competitiva o de mercado libre.	60
4.2.2.	Oferta oligopólica	60
4.2.3.	Oferta monopolística	60
4.3.	Proyección de la oferta	60
4.3.1.	Análisis de los precios	60
4.3.1.1.	Internacional	60
4.3.1.2.	Regional externo	60
4.3.1.3.	Regional interno	61
4.4.	Proyectos Sociales	61
4.4.1.	Demanda	64
5.	ESTUDIO TÉCNICO	65
5.1.	Aspectos técnicos	65
5.2.	Localización	65
5.2.1.	Macrolocalización	66
5.2.2.	Microlocalización	66
5.3.	Tamaño	67
5.4.	Ingeniería del proyecto	68
5.4.1.	Distribución de la planta	69
5.4.2.	Proceso de producción	69
5.4.3.	Marco legal de la empresa y factores relevantes	69
5.4.3.1.	Mercado	69
5.4.3.2.	Localización	69
5.4.3.3.	Estudio técnico	70
5.4.3.4.	Administración y organización	70
5.4.3.5.	Aspecto financiero y contable	70
6.	ESTUDIO ECONÓMICO	71
6.1.	La inversión total inicial: fija y diferida	72
6.2.	Costos del proyecto	72
6.2.1.	Valoración a Precios Nominales y Constantes	72
6.2.2.	Precios Internos	72
6.2.3.	Precios Nominales y Constantes	72
6.2.4.	Clasificación de los Costos de un Proyecto	73
6.2.5.	Costos de Inversión	73
6.2.6.	Costos de Operación	74

6.3.	Beneficios del proyecto	75
6.3.1.	Identificación de Beneficios	75
6.3.2.	Clasificación de los Beneficios	76
6.4.	Alternativa Metodológica de Cálculo de Beneficios por Concepto de Cobro de Tarifas	77
6.5.	Cálculo de Beneficios Según Disposición a Pagar de los Usuarios	79
6.6.	Beneficios No Cuantificables	79
6.7.	Los costos del Sistema de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales (SRRAR)	80
6.7.1.	Los costos de la Regeneración y Reutilización de Aguas	80
6.7.2.	Los precios del agua regenerada	84
6.8.	Evaluación Económica-Social	85
6.8.1.	Precios de Mercado y Precios Económicos-Sociales	86
6.9.	Estudio económico del sistema de regeneración y reutilización de aguas residuales	88
6.9.1.	Definición de objetivos	89
6.9.2.	Estudio de las necesidades y posibilidades financieras	91
6.9.3.	Agregación de costos e ingresos	91
6.9.4.	Beneficio total	91
6.9.5.	Beneficio privado	92
6.9.6.	Beneficio de Externalidades	94
6.9.7.	Costo de oportunidad	95
7.	ESTUDIO FINANCIERO	97
7.1.	Evaluación Financiera o Privada	97
7.2.	Análisis Financiero	97
7.3.	Financiación Pública	98
7.4.	Financiación mixta	99
7.5.	Financiación privada	99
7.6.	Análisis de Sensibilidad	99
7.7.	Análisis financiero de regeneración y reutilización de aguas residuales	99
7.7.1.	Análisis Económico-Financiero	102
7.7.1.1.	Indicadores de Evaluación	102
7.7.2.	Análisis Costo-Beneficio	102
7.7.3.	Valor Actual Neto	102
7.7.4.	Relación Beneficio Costo	103
7.7.5.	Análisis Costo Eficacia	104

8. CASO DE ESTUDIO: INGENIERÍA BÁSICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CHILPANCINGO DE LOS BRAVO.	107
8.1. Introducción	107
8.2. Diseño de la planta de tratamiento	108
8.2.1. Objetivos a cumplir en materia de saneamiento	109
8.3. Localización geográfica	110
8.4. Geología	112
8.5. Morfología	113
8.6. Fisiografía	114
8.7. Hidrología	115
8.8. Medio socioeconómico	118
8.8.1. Población	118
8.9. Vivienda	120
8.10. Actividades productivas.	120
8.11. Infraestructura.	120
8.12. Vías de comunicación	122
8.13. Sistema de agua potable.	123
8.14. Cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado	124
8.15. Estudios básicos	125
8.15.1. Estudio topográfico	125
8.15.2. Características de las aguas residuales	125
8.15.2.1. Concentración de DBO ₅ en descargas al río	126
8.15.2.2. Demanda química de oxígeno	128
8.15.2.3. Concentración de oxígeno disuelto en el río	129
8.15.2.4. Concentración de nitrógeno orgánico	130
8.15.2.5. Concentración de nitrógeno amoniacal en el río	132
8.15.2.6. Concentración de nitrógeno de nitritos en el río	133
8.15.2.7. Concentración de nitrógeno de nitratos en el río	134
8.15.2.8. Concentración de nitrógeno total en descargas	135
8.15.2.9. Concentración de nitrógeno total en el río	136
8.15.2.10. Concentración de fósforo orgánico en el río	136
8.15.2.11. Concentración del fósforo total en el río	138
8.15.3. Estudio demográfico	138
8.15.3.1. Métodos de los cálculos para la población de diseño por diferentes pasos	139
8.16. Evaluación de alternativas	144
8.17. Análisis de diagramas de flujo y selección del más adecuado	145
8.17.1. Eficiencia del Tratamiento Propuesto	145
8.18. Diseño del pretratamiento de la planta.	146
8.18.1 Canal de llamada.	146
8.18.2. Cribado o rejillas	146
8.18.3. Canal desarenador de flujo horizontal	146
8.18.4. Vertedor Proporcional	147
8.18.5. Canal Parshall	148
8.18.6. Tanque de Igualación	149

8.19.	Diseño del tratamiento Primario de la planta	150
8.19.1.	Sedimentación primaria	151
8.20.	Tratamiento Secundario (Diseño del proceso biológico)	152
8.20.1.	Sedimentación Secundaria	152
8.20.2.	Alternativas del tratamiento secundario	154
8.21.	Tratamiento terciario	158
8.21.1.	Desinfección	159
8.22.	Conclusiones	161
9.	EVALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA	163
9.1.	Costos de inversión privada	163
9.2.	Costos de inversión sociales	163
9.3.	Cuantificación de los costos de operación y mantenimiento	167
9.3.1.	Costos privados	167
9.3.2.	Costos sociales	167
9.4.	Costos de capital (TIR)	170
9.5.	Valor presente neto	171
9.6.	Valor presente neto social	176
9.7.	Análisis de sensibilidad	177
9.8.	Conclusiones	182
	CONCLUSIONES	183
	BIBLIOGRAFÍA	

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Verificar criterios y metodologías de evaluación de obras de saneamiento utilizadas en países desarrollados para obtener un método de diseño e implementarlo para mejorar la evaluación en obras de saneamiento de aguas residuales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Llevar a cabo un diagnóstico de la situación actual en obras de saneamiento en países desarrollados.

Exponer algunas metodologías para la planificación e implantación de proyectos en obras de saneamiento de aguas residuales.

Analizar las metodologías e implementar una metodología eficaz y eficiente para proyectos de obras de saneamiento de aguas residuales.

Llevar a cabo la evaluación en una obra de saneamiento con base en la metodología propuesta.

PREFACIO

América Latina es una de las regiones del mundo con mayor concentración de población en áreas urbanas y alberga a más de 360 millones de habitantes (74% de su población total). La cobertura de tratamiento de aguas residuales domésticas es de solo 14%. Existen más de 500.000 hectáreas de cultivos regados con aguas residuales, en su mayor parte sin tratamiento, lo que implica un alto riesgo de diseminación de enfermedades entéricas.

De acuerdo al Banco Mundial, más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producen 225,000 toneladas de residuos sólidos cada día. Sin embargo, menos del 5% de las aguas de alcantarillado de las ciudades reciben tratamiento. Con la ausencia de tratamiento, las aguas negras son por lo general vertidas en aguas superficiales, creando un riesgo obvio para la salud humana, la ecología y los animales. En Latinoamérica, muchas corrientes son receptoras de descargas directas de residuos domésticos e industriales. La contaminación del suelo ocurre tanto en áreas urbanas como rurales.

En los países en vías de desarrollo, aproximadamente 1.3 mil millones de personas no tienen acceso a cantidades adecuadas de agua limpia y casi 3 mil millones carecen de medios adecuados para deshacerse de sus heces. Se estima que unas 10,000 personas mueren cada día por enfermedades relacionadas con el agua o saneamiento y miles más padecen una variedad de enfermedades debilitadoras.

El impacto de servicios inadecuados de agua y saneamiento recae principalmente sobre los sectores pobres. Mal servidos por el sector formal, los pobres deben hacer sus propios y a menudo precarios, arreglos para satisfacer sus necesidades básicas de sobrevivencia. Muchos acarrear agua desde lugares lejanos o se ven forzados a pagar precios muy altos a un vendedor de agua por cantidades muy pequeñas del precioso elemento.

Las alternativas para las operaciones de tratamiento de aguas residuales hechas por el hombre involucran cierto número de tratamientos naturales. Los sistemas de desecho en sitio (tanques sépticos o pozos negros) ofrecen una opción viable para deshacerse de los residuos, al ser debidamente manejados. Además, el uso de lagunas de estabilización, sistemas de tratamiento de terrenos y sistemas acuáticos para el desecho de residuos son adecuados, nuevamente, al ser manejados apropiadamente. Las lagunas de estabilización son una alternativa de bajo costo para el tratamiento de corrientes de residuos, pero requieren vastas extensiones de terreno. Las aguas de alcantarillado también pueden ser aplicadas al terreno y utilizadas como una fuente de agua para los cultivos agrícolas. Los sistemas de tratamiento acuático incluyen estanques o ciénagas con plantas que tienen la capacidad de tomar los contaminantes dañinos que se encuentran en las aguas negras.

En la actualidad, ya no solamente es necesario satisfacer la calidad físico-química del agua, sino que es necesario satisfacer una calidad microbiológica, de tal forma que, la reutilización de las aguas regeneradas no conlleve riesgos para la salud pública.

PRÓLOGO

América Latina es una de las regiones del mundo con mayor concentración de población en áreas urbanas y alberga a más de 360 millones de habitantes (74% de su población total). La cobertura de tratamiento de aguas residuales domésticas es de solo 14%. Existen más de 500.000 hectáreas de cultivos regados con aguas residuales, en su mayor parte sin tratamiento, lo que implica un alto riesgo de diseminación de enfermedades entéricas.

De acuerdo al Banco Mundial, más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producen 225,000 toneladas de residuos sólidos cada día. Sin embargo, menos del 5% de las aguas de alcantarillado de las ciudades reciben tratamiento. Con la ausencia de tratamiento, las aguas negras son por lo general vertidas en aguas superficiales, creando un riesgo obvio para la salud humana, la ecología y los animales. En Latinoamérica, muchas corrientes son receptoras de descargas directas de residuos domésticos e industriales. La contaminación del suelo ocurre tanto en áreas urbanas como rurales.

En los países en vías de desarrollo, aproximadamente 1.3 mil millones de personas no tienen acceso a cantidades adecuadas de agua limpia y casi 3 mil millones carecen de medios adecuados para deshacerse de sus heces. Se estima que unas 10,000 personas mueren cada día por enfermedades relacionadas con el agua o saneamiento y miles más padecen una variedad de enfermedades debilitadoras.

RESUMEN

A partir de la revisión bibliográfica de metodologías de evaluación de proyectos de tratamiento de aguas residuales municipales en diferentes países, se recomienda una metodología de evaluación de este tipo de proyectos que consta de las siguientes etapas: identificación los problemas derivados de la contaminación del agua, estudio técnico, estudio de mercado, evaluación económica y análisis financiero.

La metodología propuesta se aplicó a un caso de estudio en el municipio de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero. En este municipio, la problemática incluye la falta de agua y la falta de saneamiento de las aguas residuales. Se llevó a cabo el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales hasta el tratamiento terciario.

ABSTRACT

Starting from a bibliographical revision about methodologies on projects evaluation of treating municipal residual waters in different countries, in this thesis a methodology of evaluation of projects of treatment of municipal residual waters is proposed which consists of the following stages: to identify the derived problems of the contamination of the water, a technical study, a market study, an economic evaluation and financial analysis.

The proposed methodology was applied to a case of study in the municipality of Chilpancingo de los Bravo, Guerrero. In this municipality, the problematic situation includes water shortage and absence of clean water. It was carried out the design of a plant of treatment of municipal residual waters until the tertiary treatment.

Hipótesis

El río Omitlán del municipio de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, tiene altas concentraciones de contaminantes, por lo tanto, los límites permisibles establecidos por las Normas Ecológicas y los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua no los cumple.

El grado de contaminación del cuerpo no es apto para preservación de la vida acuática ni riego agrícola.

Se argumenta que para mejorar la calidad de agua en el municipio se requiere implantar una planta de tratamiento de aguas residuales municipales residuales hasta un tratamiento terciario que puede cumplir las siguientes características:

- Acuacultura
- Preservación de la vida acuática
- Riego agrícola
- Uso recreativo sin contacto directo

El reúso de aguas residuales es una opción válida para el desecho, donde el medio ambiente puede filtrar efectivamente las corrientes de residuos moderadamente tratados.

Es necesario hacer una evaluación del nivel óptimo de tratamiento requerido, al igual que una evaluación práctica de tratamiento esté dentro del presupuesto.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El propósito de este capítulo es identificar el problema, para esto se lleva cabo un diagnóstico de la situación actual del saneamiento de aguas residuales, efectos por falta de saneamiento e higiene. Se mencionan opciones de tratamiento para el saneamiento de aguas residuales.

1.1. Diagnóstico de la situación actual

En los países en vías de desarrollo, aproximadamente 1.3 mil millones de personas no tienen acceso a cantidades adecuadas de agua limpia y casi 3 mil millones carecen de medios adecuados para deshacerse de sus heces. Se estima que unas 10,000 personas mueren cada día por enfermedades relacionadas con el agua o saneamiento y miles más padecen una variedad de enfermedades debilitadoras. El impacto de servicios inadecuados de agua y saneamiento recae principalmente sobre los sectores pobres. Mal servidos por el sector formal, los pobres deben hacer sus propios y a menudo precarios, arreglos para satisfacer sus necesidades básicas de sobrevivencia. Muchos acarrear agua desde lugares lejanos o se ven forzados a pagar precios muy altos a un vendedor de agua por cantidades muy pequeñas del precioso elemento.

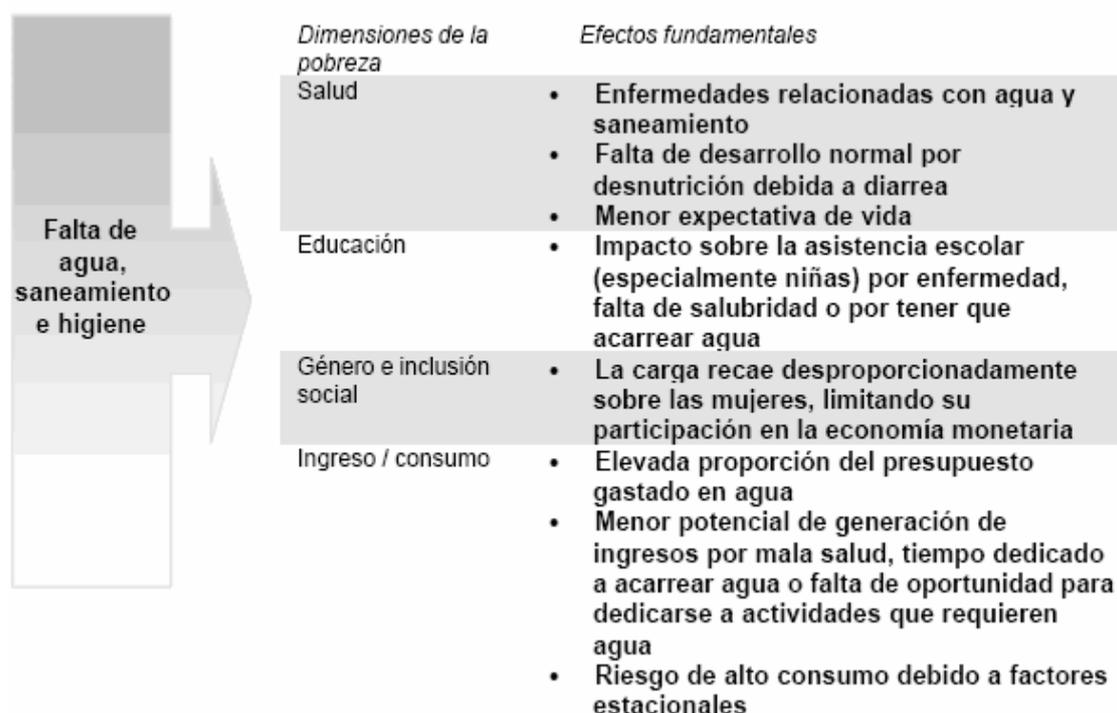


Fig.1.1. Vínculos entre la pobreza, el agua y el saneamiento

La cobertura varía sustancialmente de un país a otro pero, en la mayoría de los países con ingresos muy bajos, más de un tercio de la población rural carece de acceso a agua limpia o saneamiento. Esto sucede a pesar de que los sectores que carecen de acceso práctico o económico al agua, la identifican invariablemente como su necesidad básica de más alta prioridad.

1.2. Efectos sobre la salud

Los mecanismos clásicos de contagio de las enfermedades transmitidas por el agua son la falta de aseo personal, que se describe como “ciclo corto” (heces -> mano -> boca) y la contaminación ambiental, descrita como “ciclo largo”. La fig.1.2., explica estos ciclos.

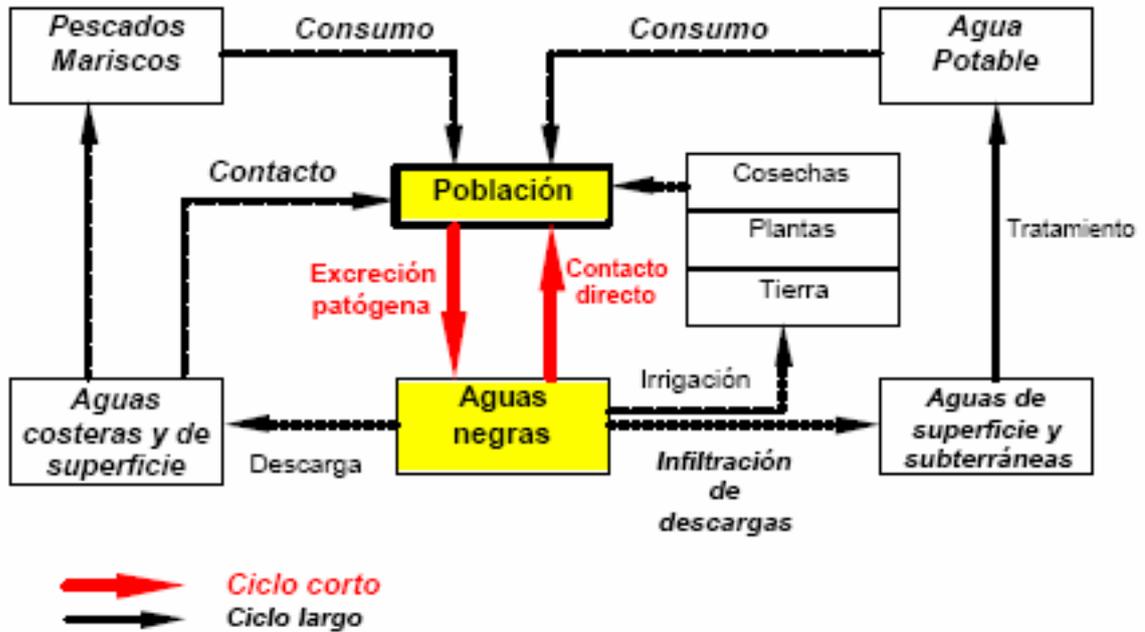


Fig.1.2. Formas principales de exposición humana a los agentes patógenos del ámbito acuático (adaptado de Meybeck et al, 1989).

En la fig. no.1.3, se muestran los efectos sobre la salud de las intervenciones en la provisión de agua y saneamiento.

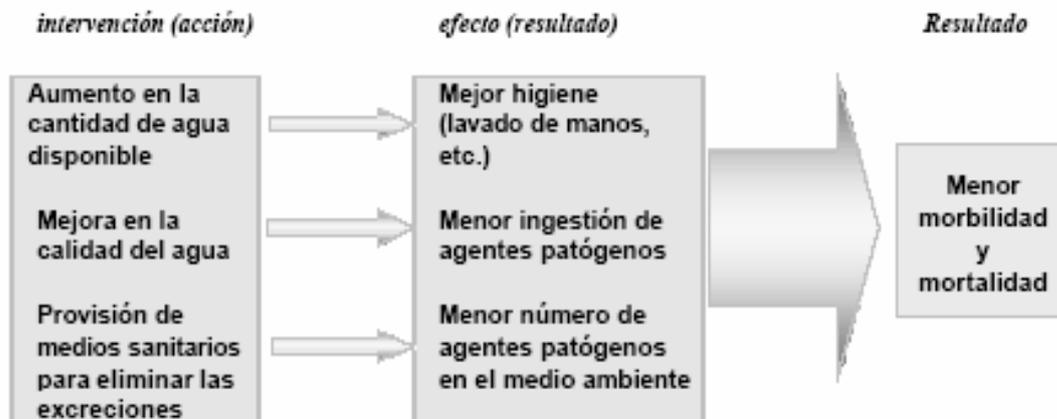


Fig.1.3. Efectos sobre la salud.

En la figura No.1.4, se muestra los costos económicos por la falta de agua y de saneamiento.

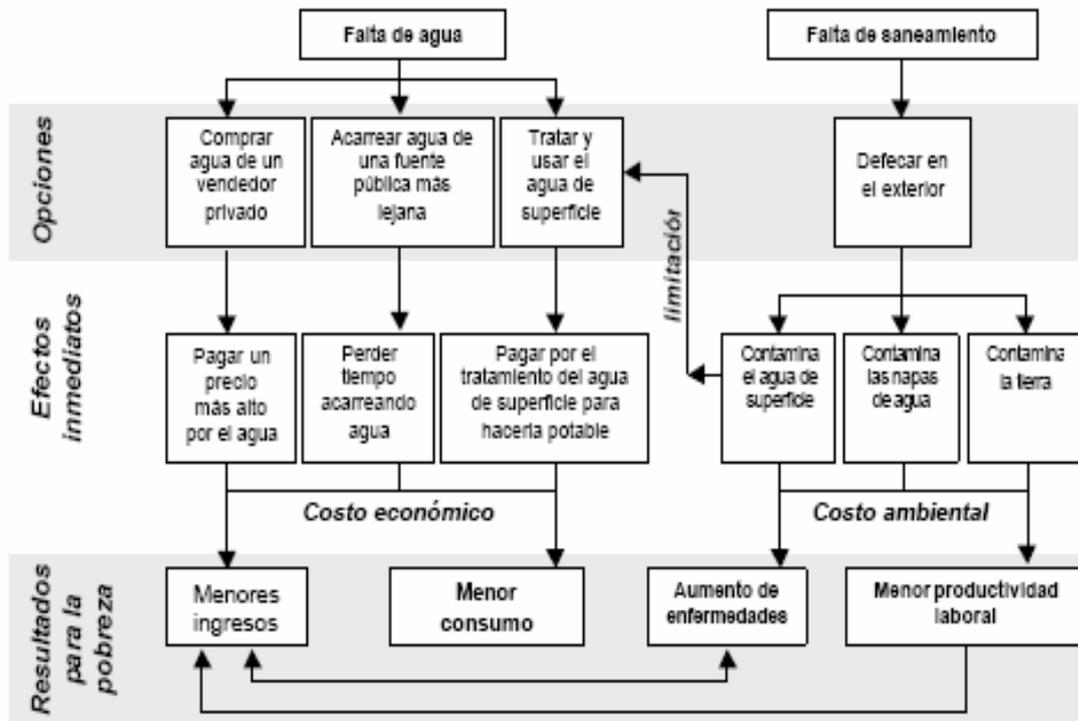


Fig.1.4. Efectos sobre el ingreso y el consumo

1.3. Opciones de tratamiento

El tratamiento de aguas residuales es necesario para la prevención de la contaminación ambiental y del agua, al igual que para la protección de la salud pública. Mientras que cada región tiene sus propias necesidades correspondientes a métodos de tratamiento particulares, cierto número de opciones tradicionales y modernas de tratamiento se encuentran disponibles al diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales. Es necesario hacer una evaluación del nivel óptimo de tratamiento requerido, al igual que una evaluación práctica de cuáles métodos de tratamiento está dentro del presupuesto. En aquellas áreas donde no es factible construir plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales, podrían emplearse muchas otras opciones naturales de tratamiento. El manejo efectivo de aguas residuales debe dar como resultado un efluente ya sea reciclado o reusable, o uno que pueda ser descargado de manera segura en el medio ambiente. La meta del tratamiento de aguas residuales nunca ha sido producir un producto estéril, sin especies microbianas, sino reducir el nivel de microorganismos dañinos a niveles más seguros de exposición, donde el agua es comúnmente reciclada para el riego o usos industriales. Al escoger la tecnología apropiada de tratamiento, deben considerarse cierto número de factores, incluyendo la cantidad y composición de la corriente de residuos, los estándares del efluente, opciones indicadas de uso y desecho, opciones de pretratamiento industrial; y, factibilidad de funcionamiento (es decir, inquietudes económicas y técnicas). Muchas opciones de tratamiento pueden ayudar a reducir los efectos de contaminación ambiental. La eficacia del tratamiento debe ser balanceada con el costo, la aplicación práctica y el cumplimiento con los métodos que han sido escogidos para la implementación. El reúso de aguas residuales es una opción válida para el desecho, donde el medio ambiente puede filtrar efectivamente las

corrientes de residuos moderadamente tratados. La minimización del ingreso de residuos peligrosos generados por procesos industriales (como, metales pesados) a las plantas municipales de tratamiento, es algo clave para reducir los efectos tóxicos de estos efluentes, muchos de los cuales no pueden ser eliminados a través de procesos convencionales de tratamiento.

2. METODOLOGÍAS PARA LA PLANIFICACIÓN E IMPLANTACIÓN DE PROYECTOS DE REUTILIZACIÓN DE AGUA

El propósito del presente capítulo es exponer las metodologías que se pueden llevar a cabo para la planificación e implantación de proyectos de reutilización de agua, en la cuáles se menciona la investigación preliminar de viabilidad, y la planificación a detalle. Inicialmente se realiza la planificación a un nivel conceptual, se identifican 7 categorías para la reutilización de aguas regeneradas. Todo lo anterior para analizar e implementar una metodología que sea eficiente y eficaz para la evaluación en obras de saneamiento de aguas residuales.

Básicamente existen tres corrientes que desarrollan el tema a profundidad:

- 2.1. Takashi Asano y colaboradores, quienes han desarrollado una metodología basada en su gran mayoría bajo una perspectiva de la ingeniería y visualizada para ser aplicada en países desarrollados.
- 2.2. Banco Mundial, quienes desarrollan una metodología con visión multidisciplinaria e interdisciplinaria, dirigida básicamente a países en vías de desarrollo, y;
- 2.3. Perri Standish-Lee quien continúa la escuela de Takashi Asano pero dando mayor importancia a los aspectos sociales, legales y de mercado.

A continuación se analizan cada una de estas metodologías.

2.1. Una perspectiva desde la ingeniería. Takashi Asano y Colaboradores

La metodología para la planificación e implantación de proyectos de reutilización de agua residual ha sido descrita y documentada por este investigador durante la última década. A continuación se presenta una síntesis de su trabajo.

Desde el punto de vista de la ingeniería, un proyecto de regeneración y reutilización de aguas residuales ideales es aquel que contempla integrar las necesidades del tratamiento de agua residual así como las del suministro de agua. Para lo cual, es necesario planificar la regeneración de aguas residuales y su reutilización en los siguientes aspectos:

- Evaluar las necesidades del tratamiento de aguas residuales y su disposición.
- Conocer el suministro de agua y la evaluación de la demanda
- Desarrollar un análisis minucioso de mercado del agua regenerada
- Elaborar un análisis técnico y económico de las alternativas, y;
- Desarrollar un plan de implantación, apoyado en un análisis financiero

En los Estados Unidos de Norteamérica, se dan dos tendencias que fomentan el cambio en la visión de abordar los proyectos de regeneración de aguas residuales y su reutilización:

1. Estándares cada vez más estrictos para el vertido de las aguas residuales, y;
2. La disminución de la disponibilidad de los recursos hídricos por la competencia creciente de las demandas de agua.

Típicamente la planificación de la regeneración y reutilización de agua se desarrolla a través de tres estrategias: (1) la planificación a escala conceptual, (2) La investigación preliminar de viabilidad, y (3) la planificación a detalle. Inicialmente para realizar la planificación a un nivel conceptual, es preciso visualizar el grado de regeneración al que se desea llegar, para lo cual, se han identificado 7 categorías para la reutilización de aguas regeneradas, las cuales se resumen en el cuadro 2.1. Si la concepción parece ser válida, una investigación preliminar de viabilidad consistirá en:

Cuadro 2.1. Categorías de la reutilización de aguas regeneradas y sus restricciones.

Categorías de la reutilización de aguas residuales municipales	Restricciones potenciales
Irrigación agrícola Irrigación en cultivos Viveros comerciales	Efectos por la calidad del agua, particularmente, sales, sólidos y cultivos. Comercialidad de cultivos y aceptación pública.
Irrigación en jardinería Parques Jardines escolares Jardines en calles y vías públicas Campos de golf Cementerios Zonas verdes Jardines residenciales	Concernientes a la salud pública, relativo a microorganismos patógenos (bacterias, virus y parásitos). Contaminación de aguas superficiales y subterráneas si no se gestiona correctamente el agua regenerada. Aceptación pública.
Reutilización industrial Enfriamiento Calderas Agua para el proceso industrial Construcción	Constituyentes del agua regenerada relativos a la corrosión, crecimiento biológico y residuos. Concernientes a la salud pública, particularmente la transmisión por el aerosol de microorganismos patógenos en el agua de enfriamiento y microorganismos patógenos en varios procesos de agua.
Recarga de acuíferos Recarga de acuíferos Intrusión salina Control de hundimientos	Trazas de compuestos orgánicos en el agua regenerada y sus efectos tóxicos. Sólidos disueltos totales, metales y microorganismos patógenos en el agua regenerada.
Usos recreativos / ambientales Lagos y lagunas Mejoramiento de humedales Aumento del caudal ecológico Acuicultura Nieve artificial	Concernientes a los riesgos en la salud pública por bacterias y virus. Eutrofización por nitrógeno y fósforo. Estéticos incluido el olor.

Cuadro 2.1. Categorías de la reutilización de aguas regeneradas y sus restricciones. Continuación.

Categorías de la reutilización de aguas residuales municipales	Restricciones potenciales
Usos urbanos no potables Protección contra incendios Aire acondicionado Agua para sanitarios	Concernientes a la salud pública debido a la transmisión de microorganismos patógenos por aerosoles. Efectos de la calidad del agua en la corrosión, crecimiento biológico y residuos. Potencial riesgo en el cruce de conexiones con los sistemas de agua potable.
Reutilización potable Mezcla en el abastecimiento de agua Conexión directa a la conducción del suministro de agua.	Trazas de compuestos orgánicos en el agua regenerada y sus efectos tóxicos. Estéticos y de aceptación pública. Concernientes a la salud pública en la transmisión de microorganismos patógenos incluidos los virus.

1. Desempeñar una evaluación de mercado, como por ejemplo, identificar un mercado para el agua regenerada y determinar las condiciones más apropiadas para el mercado.
2. Evaluar la existencia de los abastecimientos de agua y los vertidos de aguas residuales, los medios y posibilidad de desarrollo de algunas alternativas preliminares que puedan dar servicio a una parte o a todo el mercado y las necesidades técnicas, así como los requerimientos de calidad.
3. Desarrollar o identificar las alternativas no relacionadas con la facilidad para regenerar, tal como el tratamiento de las aguas residuales para verterlas en la masa de agua o la construcción de depósitos de almacenamiento para el suministro de agua, con los cuales pueda compararse contra la opción de la regeneración y reutilización del agua residual; y
4. Desempeñar una selección preliminar de las alternativas de regeneración del agua, que consideren los requerimientos técnicos, económicos, las ventajas financieras, comerciabilidad del agua regenerada, y otras restricciones, como la protección a la salud pública.

Muchos proyectos se proponen originalmente con un sólo propósito teniendo inevitablemente más ventajas de las preconcebidas. Si los múltiples beneficios y beneficiarios se reconocen al principio, los planificadores podrían aprovecharse de opciones disponibles adicionales tales como compartir la responsabilidad y los costos de los proyectos, y de esta forma alcanzar el balance de beneficios óptimo (es decir, la obtención del máximo beneficio).

La clave en la tarea de la planificación de proyectos en regeneración y reutilización de aguas residuales, es encontrar los clientes potenciales que desean y saben del uso de agua regenerada. La aproximación a esta tarea, se basa en la comercialización del agua regenerada que depende de dos factores:

1. La finalidad del proyecto: El proyecto puede tener como objetivo solamente el tratamiento y disposición de las aguas residuales, o el objetivo se centra en la obtención de una fuente alternativa de suministro de agua.
2. Opciones del usuario: El usuario decide libre y voluntariamente consumir el agua regenerada, o el usuario debido a ciertas condiciones se ve obligado al consumo de agua regenerada.

2.2. Una perspectiva multidisciplinaria. Banco Mundial

Por otro lado, el Banco Mundial en sus publicaciones para la reconstrucción y el desarrollo, propone una metodología para la planificación en proyectos de reutilización del agua residual, la figura 2.1 muestra el esquema conceptual de esta metodología. Estos autores establecen una estrategia multidisciplinaria para la planificación de proyectos en reutilización, y cómo los técnicos, especialistas en salud, sociólogos, y economistas deben coordinarse.

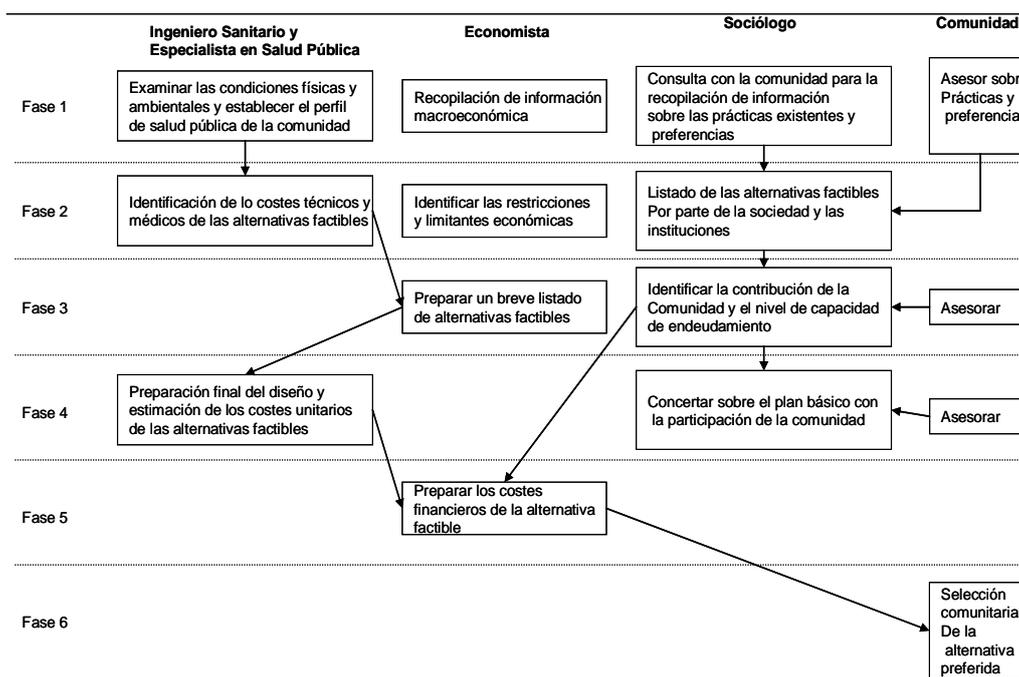


Fig. 2.1. Estructura para los estudios de factibilidad para la planificación de sistemas de regeneración y reutilización del agua residual

Descripción de las necesidades de un plan para la regeneración de aguas residuales y su reutilización.

1. Características de la zona de estudio: geografía, geología, climatología, situación de los acuíferos y las aguas superficiales, usos de la tierra, crecimiento poblacional.

2. Características y necesidades del suministro de agua: jurisdicción de las agencias del agua, cantidad y calidad de los abastecimientos, descripción de las mejores alternativas, tendencias de los usos del agua, necesidades futuras, administración y problemas del agua subterránea, costos actuales y futuros del agua potable, subsidios y precios a los clientes.
3. Características y necesidades del agua residual: jurisdicción de las agencias del agua, descripción de las mejores alternativas, cantidad y calidad de los efluentes tratados, variaciones estacionales y horarias del flujo y calidad del agua residual, necesidades futuras, necesidades de tratamiento para controlar los constituyentes que afecten la reutilización, descripción y existencias de reutilización (usuarios, cantidades, convenios contractuales de precio).
4. Requerimientos de tratamiento: para el vertido y reutilización, otras restricciones: requerimientos relativos a la salud pública y calidad del agua, requerimientos de calidad del agua para usos específicos, controles de uso en el área.
5. Clientes potenciales de reutilización del agua: descripción del procedimiento para el análisis de mercado, inventario de los usuarios potenciales para la reutilización y resultados de usuarios encuestados.
6. Análisis de las alternativas de proyecto: costos de capital, explotación y mantenimiento, viabilidad técnica, análisis económico, análisis financiero, análisis energético, impactos en la calidad del agua, aceptación pública y de mercado, impactos en los derechos a terceros, impactos sociales y ambientales, comparación de alternativas y selección.
7. Plan recomendado: descripción de las necesidades propuestas, criterios de diseño preliminar, proyección de costos, descripción de los potenciales usuarios y compromisos, cantidad y variabilidad de la demanda de agua regenerada en relación con la suministrada, confiabilidad de los abastecimientos y necesidades para respaldar el suministro de agua, implantación del plan, operatividad del plan.
8. Plan de construcción, financiamiento y el programa de ingresos: recursos y tiempos de financiamiento para el diseño y construcción, política de precios del agua regenerada, costos de asignación y beneficios entre suministro de agua y las propuestas para el control de la contaminación, proyección de futuros usos del agua regenerada, precios del agua fresca, costos del proyecto de regeneración, costos unitarios, precios unitarios, financiamiento total, subsidios, costos a fondo perdido y, análisis de sensibilidad al cambio de condiciones.

Los autores de esta metodología argumentan que una tecnología puede fallar técnicamente si las preferencias sociales de los usuarios actúan contra su implantación o mantenimiento, o que el costo económico de un sistema depende fuertemente de los factores económicos de la población donde se implanta. Como consecuencia de estas relaciones debe haber una asociación de trabajo cercana entre los diversos agentes participantes en el proceso de la planificación.

Los especialistas del Banco Mundial asumen que, los individuos o los grupos de especialistas que participan en el proyecto son responsables de cada parte, aunque las responsabilidades pueden traslaparse en la práctica. En la fase 1 de la figura 6, cada especialista recoge la información necesaria para hacer su evaluación respectiva. Para la recopilación de la información el ingeniero, el especialista en salud, el economista y el sociólogo deberán interactuar estrechamente con la comunidad en la que se pretende implantar el sistema de regeneración y reutilización de agua residuales.

El economista hablará con las autoridades de gobierno y los funcionarios municipales para obtener la información necesaria que le permita calcular las posibles tarifas, así como investigará sobre la disponibilidad de los fondos de concesión o de otros medios de subsidio.

El ingeniero, el especialista de la salud y el sociólogo aplicarán la información que han recopilado para llegar a definir las listas preliminares de las posibles alternativas técnicas, médicas y sociales viables. En la tercera fase el economista prepara las valoraciones de costos para esas tecnologías que han sido aprobadas tanto técnica como socialmente, y seleccionará la alternativa de menor costo para cada uno.

En el cuarto paso, el ingeniero prepara los diseños y los costos unitarios finales para estas opciones. Así mismo, con la información social recopilada, el sociólogo debe concertar el proyecto propuesto con la comunidad, a fin de involucrarlos en la toma de decisión.

Los diseños finales se utilizan en la quinta fase para determinar los costos financieros (basados en la disponibilidad del financiamiento nacional y municipal), incluyendo cuánto tendrá el usuario que pagar para la construcción y el mantenimiento de cada alternativa. La fase final está para que el sociólogo presente y explique a la comunidad las alternativas y sus costos para la selección final.

Los estudios de viabilidad convencionales se desarrollan básicamente con equipos formados en su mayoría por ingenieros. Pueden contar con un analista financiero, pero raramente con un economista, y casi nunca con un sociólogo. Las soluciones que se obtienen son generalmente el resultado del subconjunto individual del grupo técnico, y en muchos casos los términos de la referencia para el alcance del estudio (escrito por otros ingenieros) se basan solamente en aspectos técnicos. Kalbermatten y colaboradores consideran que si alguno de los grupos domina sobre los otros, el proceso de planificación fallará. Esto repercutirá como consecuencia en que el SRRAR no se implante o que su funcionamiento sea deficiente.

En los estudios de viabilidad convencional, tradicionalmente no se efectúa la interacción con la comunidad con el fin de asegurarse que la solución técnica diseñada y presupuestada es socialmente aceptada. Excluyendo la comparación económica entre alternativas, el método tradicional no garantiza que la solución ofrecida es la económicamente viable.

Los responsables en la toma de decisión dictaminan sin considerar las prioridades económicas o la capacidad de pago de los usuarios, que finalmente son los últimos beneficiarios.

En una evaluación realizada a las instituciones y sectores del agua en 11 países (México, Chile, Brasil, España, Marruecos, Israel, Sudáfrica, Sri Lanka, Australia, China e India), concluyeron que en lo relativo a los criterios de selección de proyectos, en promedio los expertos deciden sobre factores de justicia, sin llegar a criterios de decisión como: factores ecológicos, análisis beneficio-costos, tasa interna de retorno, y criterios múltiples. Así mismo, en lo que al criterio de la recuperación de costos se refiere, en promedio se considera una recuperación parcial de los costos invertidos.

2.3. Una perspectiva social. Perri Standish-Lee

Por su parte ha publicado un trabajo sobre la planificación de proyectos de reutilización de agua que considera los siguientes elementos:

- El mercado del agua regenerada.
- La aceptación social al programa de reutilización.
- La calidad de agua requerida.
- Las restricciones legales y ambientales.
- Los derechos jurídicos del recurso y la administración del sistema.
- El análisis económico y financiero.

Este autor incorpora en la metodología de planificación dos aspectos de gran interés, (1) los sociales y (2) los legales.

En referencia a los aspectos sociales, argumenta que la aceptación social es esencial para iniciar, implantar y sostener por largo tiempo un programa de reutilización. Varios estudios resumen la actitud que el público tiene hacia varias alternativas en la reutilización del agua regenerada, y cuyos resultados han arrojado constantemente que la aceptación pública de una alternativa depende del nivel de contacto que el ser humano tenga con el agua.

Por ejemplo, el uso de agua residual regenerada para aumentar el agua de abastecimiento o para la preparación de alimentos en conserva no fue favorecido (54% al 56% de oposición), mientras que, la aceptación para usos como el riego de jardines públicos y campos de golf es extensa (solamente entre el 1% y 2% se oponen).

Además de ser necesario legislar y reglamentar los usos y calidades que el agua regenerada deberá cumplir, en los aspectos legales también se debe contemplar: los derechos de propiedad del agua producida, la reducción de los flujos de agua en las masas de agua, la obligación de otros marcos legales (leyes estatales), acuerdo entre usuarios y estructuras institucionales.

Respecto a los derechos de propiedad del agua regenerada, concluye que tradicionalmente la ley sobre derechos del agua (en los EE.UU.) apoya el concepto de que el dueño de una estación depuradora de aguas residuales tiene el derecho de propiedad de las aguas regeneradas, sobre cualquier persona que ha vertido el agua residual en un sistema de alcantarillado, o sobre cualquier usuario aguas abajo del vertido.

El cuadro 2.2 presenta un análisis de las metodologías descritas. Se observa que los diferentes aspectos que componen estas metodologías muestran una enorme descompensación en su desarrollo.

Cuadro 2.2. Análisis crítico de las metodologías técnicas para la planificación de proyectos en regeneración y reutilización de aguas residuales.

Aspecto de la Planificación	Metodología		
	Asano y Colaboradores	Banco Mundial	Perri Standish-Lee
Legal	Una amplia aportación en relación con los criterios que deberá cumplir el agua regenerada para su reutilización, sobre todo en lo que a la protección de la salud pública se refiere.	Hace importantes reflexiones sobre la importancia de tener presente el marco legal donde se piensa implantar el proyecto, sobre todo lo relacionado al daño a terceros.	Reflexiona sobre los derechos a terceros y la interacción entre los marcos legales.
Técnico	Es la mayor aportación, sus análisis y pasos para la planificación técnica son exhaustivos y con un amplio soporte de experiencias.	Da una importancia relevante a las alternativas de baja tecnificación, y donde no es necesario personal con una alta capacitación técnica.	Hace un breve análisis de las tecnologías disponibles, apoyándose en los trabajos desarrollados por Asano y colaboradores.
Social	Realiza algunas reflexiones, pero basa su aprobación social con el estudio de mercado.	Es una de las mayores aportaciones, de manera explícita detalla la forma de intervención social y su retroalimentación para la aceptación y participación social.	Reflexiona sobre la necesidad de involucrar a los interesados en el proyecto en la toma de decisiones.

Cuadro 2.2. Análisis crítico de las metodologías técnicas para la planificación de proyectos en regeneración y reutilización de aguas residuales.

Aspecto de la Planificación	Metodología		
	Asano y Colaboradores	Banco Mundial	Perri Standish-Lee
Financiero	Cita la necesidad de un análisis financiero pero de manera muy somera.	Cita la necesidad de un análisis financiero pero no da más detalles.	Cita la necesidad de un análisis financiero pero no da más detalles.
Ambiental	Se contemplan dos componentes básicamente dentro de este aspecto: a) La eliminación de vertidos a los cuerpos de agua b) La utilización del agua regenerada con fines ambientales.	Se contempla básicamente como una mejora al entorno ambiental, en busca de solucionar los problemas de salud pública debido a la relación que existe entre la falta de saneamiento y las enfermedades gastrointestinales de origen hídrico	No hace referencias directas a este aspecto.

La principal diferencia entre estas metodologías es básicamente el ámbito de aplicación, las metodologías de Asano y Standish-Lee están orientadas hacia países desarrollados, donde la responsabilidad de la gestión del agua está bien definida y existen instituciones que realizan esta administración, mientras que la metodología del Banco Mundial está desarrollada para países donde la gestión del agua es incipiente y las instituciones del agua no están consolidadas, lo que conlleva la necesidad de buscar la participación de la comunidad para el éxito de los proyectos hidráulicos. De manera específica las particularidades para cada aspecto son:

1. Aspecto Legal. La tendencia básica es la creación y homogenización de criterios de calidad del agua regenerada que normen su reutilización, así como la protección de los derechos al uso del agua por los usuarios que se ven afectados por la reutilización de las aguas regeneradas.

2. Aspecto Técnico. Es el aspecto más desarrollado, existe un consenso general en cuanto a los SRRAR viables, asimismo se tiene una amplia experiencia para pronosticar con un mínimo de información los requerimientos técnicos necesarios para alcanzar los objetivos de reutilización que se plantean en un proyecto.
3. Aspecto Social. Las metodologías del Banco Mundial y Standish-Lee reconocen la necesidad de la participación social para este tipo de proyectos, mientras que Asano delega esta participación o aceptación social al estudio de mercado.
4. Aspecto Financiero. Las tres corrientes reconocen la necesidad de un análisis financiero, pero no detallan la forma en que éste deberá realizarse.
5. Aspecto Económico. Se establece la necesidad de realizar un análisis de mercado, pero en realidad lo que se plantea es un análisis potencial de la demanda de agua regenerada, en ningún caso se establece la idea de un verdadero mercado del agua cuyo objetivo central sea el establecimiento del precio mediante el estudio de la oferta y la demanda.
No se explica con detalle la forma en que se realizará el análisis económico, si bien es cierto que se establece como técnica genérica el Análisis Costo - Beneficio (ACB) sin mayor profundización. Sólo son considerados los costos privados (es decir, los costos de inversión, explotación y mantenimiento del SRRAR) por lo que en la gran mayoría de los proyectos, no se realiza un ACB, sino un Análisis Costo – Eficiencia (ACE).

Los beneficios de la reutilización de aguas regeneradas entre los que se pueden citar a manera de ejemplo: 1) la disminución de los costos de tratamiento y de vertido del agua residual, 2) la reducción del aporte de contaminantes a los cuerpos de agua, 3) el aplazamiento, la reducción o incluso la supresión de instalaciones adicionales de tratamiento de agua de abastecimiento, 4) ahorros energéticos y 5) mayor fiabilidad y regularidad del caudal de agua disponible, entre otros.

6. Aspecto Ambiental. Este aspecto si bien no se reconoce explícitamente, es abordado en la metodología de Takashi Asano y sus colaboradores como parte de un uso más dentro de las posibilidades de reutilización del agua regenerada. Así pues, en esta metodología considera que la regeneración y reutilización de aguas residuales puede tener, entre otros, los siguientes efectos en el medio ambiente: 1) la disminución de los vertidos contaminantes a cuerpos de agua sensibles, 2) la creación o mantenimiento de hábitats en humedales y ríos, 4) reducir y evitar la contaminación.

La metodología desarrollada por el Banco Mundial aborda el aspecto ambiental al relacionarlo con la salud pública, esta metodología argumenta que la eliminación de los vertidos de agua residuales conllevan un efecto en la salud pública, ya que la reutilización adecuada del agua regenerada elimina los contaminantes, particularmente los biológicos que tienen que ver con las enfermedades gastrointestinales típicas de los países en vías de desarrollo.

Hasta aquí se ha realizado un análisis de las principales metodologías para la planificación de los sistemas de regeneración y reutilización de las aguas residuales descritos en la literatura, como se ha podido apreciar, la planificación de este tipo de proyectos tiene múltiples aspectos que son necesarios afrontar para el buen desarrollo de los mismos.

2.4. Metodologías para la evaluación de proyectos de saneamiento de aguas residuales urbanas en países latinoamericanos

Existen publicaciones relacionadas con la evaluación de proyectos de saneamiento de aguas residuales que son de interés por su relación con este trabajo de investigación, enseguida se describen algunas, las cuales son fuente de información, ideas y comparación para la metodología propuesta de evaluación de proyectos de saneamiento de aguas.

2.4.1. Metodología de preinversión para proyectos de agua y saneamiento urbano

Esta metodología facilita la toma de decisiones en materia de inversión pública, asegura una eficiente asignación de recursos internos y externos y, permite además, dar seguimiento físico y financiero a la ejecución de proyectos. El propósito es disponer de una herramienta de análisis en las propuestas de inversión (Proyectos), es una metodología homogénea, y se orienta hacia el cumplimiento de los objetivos generales y específicos.

2.4.2. Objetivo

La presente **Metodología para Formulación y Evaluación de Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario**, es utilizada por las instituciones del sector público y privado, la cual podrá ser enriquecida y fortalecida por éstas con aportes de carácter técnico, que estén acordes con la naturaleza de sus actividades.

2.4.3. Metodología

2.4.3.1. Identificación de proyectos

En general, se puede establecer que un diagnóstico debe cumplir dos condiciones, a saber: **ser descriptivo**, es decir, mostrar todos los elementos reales o visibles que demuestran la existencia de un problema o necesidad (qué sucede), y por otra, **ser explicativo**, es decir, debe efectuarse un análisis de la situación (problema o necesidad), de forma que se comprendan las causas que lo originan y las interrelaciones existentes con otras áreas o sectores (por qué sucede).

El diagnóstico permite encontrar respuesta a elementos principales o básicos como los siguientes:

¿Cuál es la alternativa viable de solución en los problemas de agua y disposición de excretas?

¿Cuál es la capacidad socioeconómica de la población para el futuro mantenimiento de las obras de agua y letrinas?

2.4.3.2. Formulación del proyecto

En esta etapa se integra la visión global del proyecto a formular en los aspectos de la definición del nombre mismo, la descripción breve de los puntos más importantes a modo de resumen, los objetivos de desarrollo y

específicos de cómo se inserta el proyecto en la política de desarrollo del país y cuál es el rol de los beneficiarios con relación al proyecto.

En esta sección se hace una descripción del Proyecto, deben quedar las principales ideas relacionadas con lo que se está diseñando. Así por ejemplo, en la descripción debe señalarse aspectos de tamaño, localización, monto de la inversión, diseño organizacional del funcionamiento, costos, beneficios, etc.

2.4.3.3. Estudio de mercado

Al formularse el proyecto se tiene como responsabilidad fundamental reconocer y establecer las variables que actúan alrededor de la idea del proyecto. En un proyecto privado se habla de estudio de mercado en donde se analizan comportamientos del consumidor y proyecciones de demanda, competencia y proyecciones de la oferta (comportamiento de los productos y sus sustitutos) y toda la cadena de comercialización.

2.4.3.4. Costos del proyecto

El costo de un proyecto es la suma del valor de los recursos o insumos que dicho proyecto ocupa durante toda la vida útil del mismo, y que para mayor énfasis, se puede decir que esos insumos estarían libres para ser ocupados por otros proyectos si es que no se ejecuta el primero. La aplicación de recursos se justifica sólo si a partir de la utilización de ellos se genera un beneficio para la sociedad, o parte de ella. Si el “valor” de estos beneficios es mayor que el “valor” de los recursos utilizados para conseguirlos, se habla entonces de un proyecto rentable

2.4.3.5. Beneficios del proyecto

- Los beneficios de un proyecto están en estrecha relación con los problemas detectados en un inicio y que han dado origen a los objetivos planteados en el proyecto (alternativa seleccionada).
- Beneficios de un proyecto de agua potable y saneamiento:
- Disminución tiempo ocupado en acarreo de agua
- Mejorar el abastecimiento de servicios sanitarios para reducir las enfermedades que derivan de la falta de agua o del empleo de aguas infectadas.
- Aumento de la cantidad de agua disponible, satisfacer el crecimiento de la demanda de agua.
- Acceso a agua potable segura y limpia; acrecentando el bienestar económico y social y, mejorando la efectividad económica en el aprovisionamiento de los servicios.
- Aumento en la continuidad de la disponibilidad de agua.

2.4.3.6. Evaluación del proyecto

El análisis financiero del proyecto es diferente a su análisis económico, aunque ambos conceptos están íntimamente relacionados. El propósito de la evaluación financiera es lograr apreciar la capacidad del proyecto para afrontar los compromisos asumidos para su financiamiento y para remunerar al capital propio aportado por la empresa o agencia ejecutora.

2.4.3.7. Externalidades del proyecto

Todo proyecto genera externalidades en otros ambientes o agentes relacionados directamente con él. Estas pueden ser positivas o negativas si existen beneficios o perjuicios para ellos. Los proyectos de Agua Potable y Saneamiento Rurales deben ser examinados con detención, especialmente en lo que se refiere a la evacuación de aguas residuales. Si se pueden reconocer externalidades positivas si se considera que disponer de agua potable y saneamiento puede ser causa de arraigo de poblaciones evitando el problema de emigraciones, fomento de actividades productivas antes no previstas, mejoramiento en la calidad de vida de la comunidad en general.

2.4.3.8. Distribución de los costos y beneficios e impacto fiscal

Este análisis consiste en determinar quien recibe los beneficios del proyecto y quien paga los costos, es decir un análisis de generadores y receptores de fondos del proyecto. También determina si el impacto neto del proyecto es beneficioso o no para la sociedad.

2.4.3.9. Financiamiento de la inversión

Las modalidades de financiamiento de proyectos son de varios tipos, siendo los más frecuentes los siguientes:

- Financiamiento a través de agencias financieras nacionales e internacionales.
- Financiamiento de recursos públicos (gobierno central, municipios), a través de asignaciones presupuestarias.
- Ahorros propios de las instituciones, casos de empresas públicas y organismos descentralizados.
- Aporte de la comunidad e instituciones de la sociedad civil.

Cada una de las fuentes de financiamiento analiza y decide en combinación con el organismo promotor del proyecto como se realizarán los desembolsos y en qué tipo de moneda.

2.4.3.10. Sostenibilidad

En primer lugar, se debe analizar el impacto fiscal del proyecto. Si el impacto es positivo, la sostenibilidad del mismo resulta más viable. Si el impacto es

negativo, la sostenibilidad dependerá de la capacidad del gobierno de incrementar sus ingresos.

En algunos proyectos habrá que analizar las contribuciones de la comunidad. Puede darse el caso de proyectos en que una vez que se ha incurrido en los gastos de inversión, los gastos recurrentes sean cubiertos por los beneficiarios del proyecto, en otros, los beneficiarios pueden contribuir a cubrir los gastos recurrentes en un determinado porcentaje.

2.5. Manual de formulación y evaluación de proyectos

La SEGEPLAN (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia) de Guatemala, como ente rector del proceso de la Inversión Pública, ha manifestado en numerosas oportunidades, su preocupación por el uso racional, eficiente y transparente de los recursos públicos. El Sistema Nacional de Inversión Pública -SNIP-, el cual tiene como propósito ordenar el proceso de la inversión para poder concretar las opciones de inversión más rentables económica y socialmente, considerando los lineamientos de la Política de gobierno.

La SEGEPLAN, tomando en consideración la responsabilidad que la normativa vigente le asigna en la materia y la necesidad evidente de mejorar los criterios existentes, en el tema de la formulación y evaluación de proyectos de inversión, ha elaborado el presente manual, con el cual busca alcanzar los siguientes objetivos:

- a) Posibilitar la comparación de proyectos de un mismo sector, lo que permite establecer la bondad de cada uno de ellos;
- b) Hacer más expedita la identificación de iniciativas de inversión;
- c) Contribuir al análisis de las posibles iniciativas de inversión;
- d) Facilitar a quienes promueven proyectos de inversión, el conocimiento de los criterios y los indicadores utilizados en la preparación y evaluación de proyectos públicos.

2.5.1. Objetivo General

El principal objetivo del SNIP es concretar las opciones de inversión más rentables desde el punto de vista económico y social atendiendo los lineamientos de la política de Gobierno.

2.5.1.1. Objetivos Específicos

Desarrollar y difundir los procedimientos metodológicos, evaluación, análisis técnico económico, ejecución y seguimiento de las iniciativas de inversión.

Disponer de carteras de proyectos, bien formulados y evaluados, con el propósito de apoyar la toma de decisiones en la gestión de la inversión y en la negociación de la cooperación internacional.

Apoyar la selección, priorización y asignación de los recursos de inversión mediante el establecimiento de procedimientos y criterios que eviten la discrecionalidad en el uso de los recursos públicos.

2.5.2. Marco Conceptual

El SNIP es el conjunto de normas, instrucciones y procedimientos que tienen por objetivo, en el contexto de un Estado moderno, ordenar el proceso de la inversión pública, para poder concretar las opciones de inversión más rentables económica y/o socialmente, considerando los lineamientos de la política de Gobierno. Es un instrumento de gestión que permite transformar las iniciativas de inversión en proyectos concretos, considerando el ciclo de vida del proyecto. El SNIP opera en el marco de las políticas macroeconómicas, sectoriales y regionales definidas por el Gobierno, las cuales sirven de marco referencial para la selección y priorización de proyectos.

De esta forma, el SNIP canaliza sus esfuerzos en la formulación y actualización de un Programa de Inversiones Públicas (PIP) multianual, que proporciona al sistema presupuestario la información necesaria para la elaboración del Presupuesto de Ingresos y Egresos del Estado en materia de inversión y a la vez, también permite orientar la negociación de la cooperación internacional en función de las prioridades de desarrollo que haya decidido el Gobierno, en especial en materia social.

2.5.3. Metodologías de Formulación y Evaluación de Proyectos

Es una herramienta de diseño y análisis que contribuye a guiar la toma de decisiones sobre la mejor alternativa que se debe ejecutar, permitiendo con ello, optimizar la utilización de los recursos de inversión al comparar los beneficios y los costos asociados a un proyecto durante su ciclo de vida, caracterizada por:

Ser una herramienta que apoye la formulación y evaluación de proyectos; permita recopilar, crear y analizar en forma sistemática un conjunto de antecedentes económicos y técnicos para analizar cualitativa y cuantitativamente las ventajas y desventajas de asignar recursos a una determinada iniciativa de inversión.

Ser el instrumento que permita determinar la alternativa más rentable y desechar el resto.

Ser el insumo que provea información para el análisis técnico-económico de las alternativas de inversión.

2.5.4. Diagnóstico

De manera general se sugieren como pasos para la definición del problema, la identificación de las causas y efectos, respondiendo a los siguientes planteamientos:

- Síntomas o manifestaciones del problema
- Magnitud del problema, este es un criterio cuantitativo que trata de explicar por ejemplo que porcentaje de la población está siendo afectada por el problema.
- Posibles causas que generan el problema
- Cuáles son los efectos del problema o la necesidad insatisfecha.
- Se cuenta con datos e información suficiente para describir y delimitar el problema.

2.5.5. Justificación del proyecto

El análisis de la situación “sin” y “con” proyecto, es un análisis que busca determinar el rendimiento global de un proyecto, no tratándose de una comparación entre antes y después, sino que básicamente compara costos y beneficios tratando de establecer los beneficios netos del proyecto.

2.5.6. Análisis de alternativas

Todo problema, puede tener más de una forma de ser solucionado, en este sentido, quien trabaja en la formulación de un proyecto debe tener la preocupación de identificar cuales podrían ser estas alternativas a las que se puede recurrir para dar solución a la problemática existente.

2.5.7. Aspectos Técnicos

El estudio técnico permite analizar y proponer las diferentes opciones tecnológicas para producir el bien o servicio que se requiere, verificando la factibilidad técnica de cada una de ellas. El análisis identificara equipos, maquinaria, instalaciones necesarias, costos de inversión y capital de trabajo.

La elaboración del estudio técnico para un proyecto implica analizar variables relacionadas con aspectos como: Localización, tamaño, tecnología, permite además definir la inversión a nivel de costo directo e indirecto.

2.5.8. Financiamiento

Este tema se refiere fundamentalmente al análisis de los ingresos y los gastos que se producen cuando el proyecto inicia su operación, traduciéndose como ingresos, aquellos provenientes de la venta del bien cuando se trata de proyectos productivos para lo cual normalmente se habla de precios, en algunos proyectos sociales como los de agua potable, alcantarillados, sistemas de recolección. En lo que a gastos se refiere, el análisis se orienta a establecer los costos que se producen por la administración, la operación y el mantenimiento. Hay proyectos sociales que no generan ingresos, pero que si generan costos de operación, administración y mantenimiento (escuelas, servicios de salud), que deben ser estimados en el proceso de formulación del proyecto.

2.6. Metodología para la formulación de proyectos de sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales domésticas

América Latina es una de las regiones con mayor concentración de población en áreas urbanas y alberga a más de 360 millones de habitantes (74% de su población total). La cobertura de tratamiento de aguas residuales domésticas es de solo 14%.

Existen más de 500.000 ha de cultivos regados con aguas residuales, en su mayor parte sin tratamiento, lo que implica un alto riesgo de diseminación de enfermedades entéricas.

En este contexto, el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo del Canadá (IDRC) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS) suscribieron un convenio para que el Centro Panamericano de Ingeniería

Sanitaria y Ciencias del Ambiente (OPS/CEPIS) ejecutara entre los años 2000 y 2002 el proyecto **Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial**. Los propósitos del proyecto fueron analizar las experiencias de la Región de América Latina, recomendar estrategias para el diseño e implementación de estos sistemas e identificar nuevas oportunidades.

El Proyecto es ejecutado en tres etapas de recopilación y análisis de información en diversas ciudades de la Región que poseen o no tratamiento y hacen uso o no de sus aguas residuales domésticas. En la primera etapa de **Estudios Generales** se abordaron aspectos técnicos y económicos generales de 18 casos. Luego se seleccionaron 11 de los 18 casos para ejecutar la segunda etapa de **Estudios Complementarios**, que incluyó la evaluación de los aspectos ambientales, sociales, culturales y legales, así como la elaboración de una propuesta preliminar para la integración del tratamiento y uso agrícola de las aguas residuales.

Durante la última etapa de **Estudios de Viabilidad**, se eligieron siete de estos 11 casos y se promovió la socialización y desarrollo de estas propuestas con los principales actores locales.

El cuadro 2.3 presenta los casos seleccionados para representar las cuatro situaciones del manejo de las aguas residuales: ciudades donde se tratan y usan las aguas residuales para riego agrícola, ciudades donde se tratan pero no se usan las aguas residuales, ciudades donde se riega con aguas residuales sin tratamiento y ciudades donde ni se tratan ni se usan aguas residuales para riego. Estas experiencias sistematizadas han permitido proponer un modelo para integrar el tratamiento al uso e identificar los aspectos que determinan el diseño, implementación y manejo de sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales domésticas, los que deberán reflejarse en las directrices y guías que elaborará el Proyecto.

Durante la última etapa de **Estudios de Viabilidad**, se eligieron siete de estos 11 casos y se promovió la socialización y desarrollo de estas propuestas con los principales actores locales. El cuadro 2.3 presenta los casos seleccionados para representar las cuatro situaciones del manejo de las aguas residuales: ciudades donde se tratan y usan las aguas residuales para riego agrícola, ciudades donde se tratan pero no se usan las aguas residuales, ciudades donde se riega con aguas residuales sin tratamiento y ciudades donde ni se tratan ni se usan aguas residuales para riego.

Estas experiencias sistematizadas han permitido proponer una metodología para integrar el tratamiento al uso e identificar los aspectos que determinan el diseño, implementación y manejo de sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales domésticas, los que deberán reflejarse en las directrices y guías que elaborará el Proyecto.

Cuadro 2.3. Relación de estudios de caso para las cuatro situaciones de manejo

	Con tratamiento	Sin tratamiento
Con reúso	Antofagasta (Chile) Cochabamba (Bolivia) Juárez (México) La Vega (Rep. Dominicana) Mendoza (Argentina) Tacna (Perú) Texcoco (México) Villa El Salvador (Perú)	Mezquital (México) San Agustín (Perú) San Martín (Argentina) Santiago (Chile)
Sin reúso	Fortaleza (Brasil) Maracaibo (Venezuela) Portoviejo (Ecuador) Puntarenas (Costa Rica)	Ibagué (Colombia) Jinotepe (Nicaragua) Luque (Paraguay) Sololá (Guatemala)

2.6.1. Objetivo general

El objetivo general de la Guía es presentar una metodología práctica para abordar los aspectos que determinan la viabilidad y sostenibilidad de los sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales domésticas.

2.6.1.1. Objetivos específicos

- Proponer una secuencia lógica para abordar la evaluación del problema y la formulación de una propuesta adecuada.
- Describir una metodología práctica para desarrollar los aspectos técnicos, ambientales, sociales y económicos que determinan la viabilidad y sostenibilidad de la propuesta.

2.6.2. Metodología para el proceso del proyecto

1. Conceptualización del modelo de sistema integrado
2. Ubicación del estudio en el contexto de la cuenca
3. Identificación del contexto social en el área de estudio
4. Identificación del contexto legal de las aguas residuales
5. Evaluación del tratamiento y el reúso existentes
6. Diagnóstico ambiental del área de estudio
7. Identificación de los actores involucrados en el proyecto
8. Evaluación de los recursos agua y suelo en la cuenca
9. Definición de la propuesta de un sistema integrado
10. Socialización de la propuesta con los actores identificados
11. Elaboración del plan según el aprovechamiento del agua
12. Diseño del sistema de tratamiento
13. Definición del plan de implementación del proyecto
14. Formulación de la propuesta de gestión del proyecto
15. Definición de la estrategia para el financiamiento del proyecto
16. Evaluación económica y financiera del proyecto.

El modelo de sistema integrado de tratamiento y uso de aguas residuales domésticas incorpora aspectos sanitarios, ambientales, agrícolas, sociales, institucionales, legales y económicos que deberán ser abordados. Por tanto, la institución o consultora responsable deberá conformar un equipo multidisciplinario para elaborar los estudios e incluir estos temas. En la fig.2.2 se muestran los componentes del tratamiento y reúso del agua.

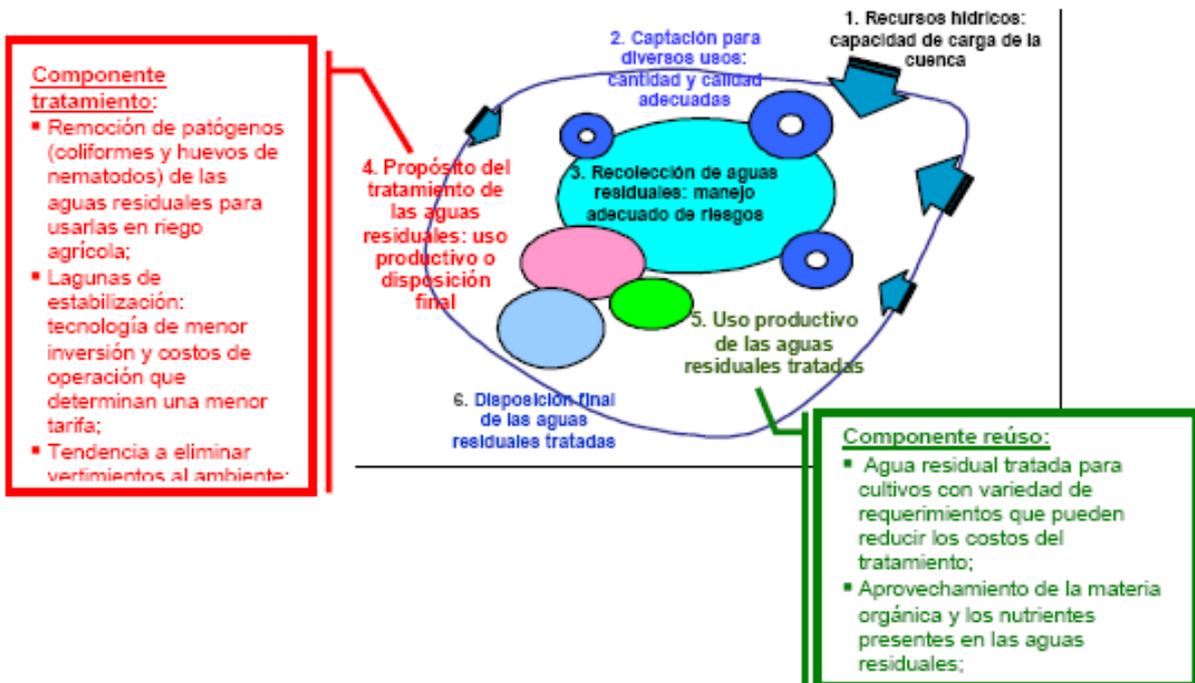


Fig. 2.2. Componentes del tratamiento y reúso y su ubicación en el ciclo del agua

2.6.3. Metodología para desarrollar los factores que determinan la viabilidad

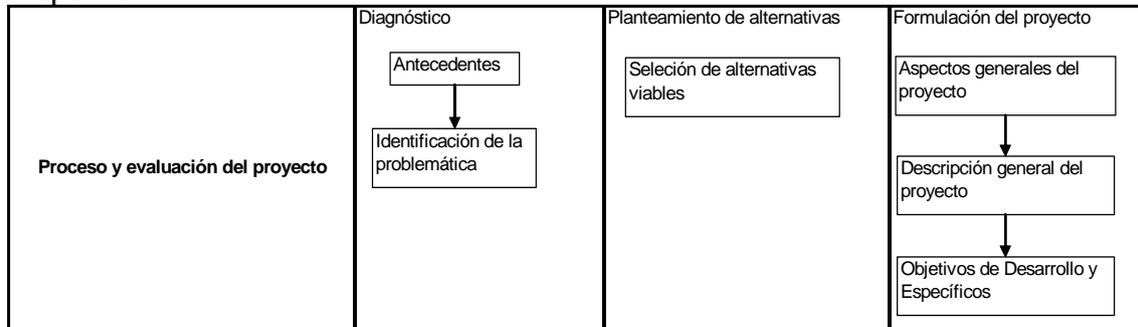
1. Aspectos técnicos
2. Aspectos ambientales
3. Aspectos sociales
4. Aspectos económicos

El enfoque principal de la propuesta es el uso productivo del agua residual tratada. Consecuentemente y dependiendo de la situación de cada caso, el mayor esfuerzo se orientará a definir la viabilidad de una propuesta integral, lo que involucra la exploración de diferentes opciones reales o potenciales por parte de los responsables del estudio. El análisis de las fortalezas y debilidades permitirá establecer las estrategias para manejar los aspectos técnicos, ambientales, sociales, económicos, legales e institucionales.

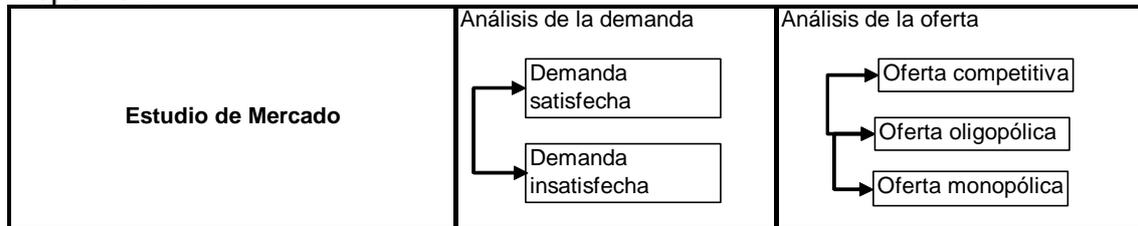
2.7. Metodología propuesta de evaluación de una planta de tratamiento y reutilización de aguas residuales municipales.

Con base en el análisis de metodologías aplicadas a la evaluación de proyectos con enfoque a la reutilización de aguas residuales, la metodología que se propone para este trabajo de investigación es la siguiente:

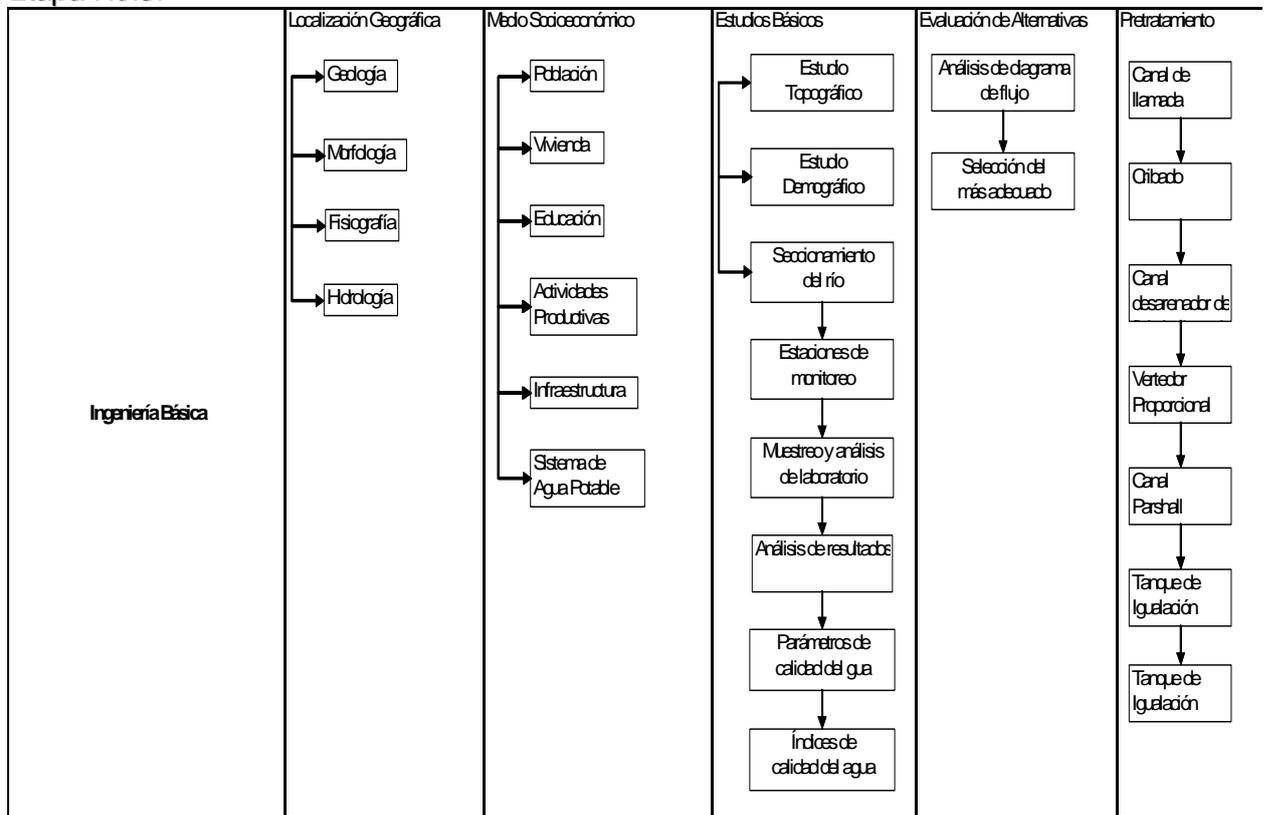
Etapa No.1.



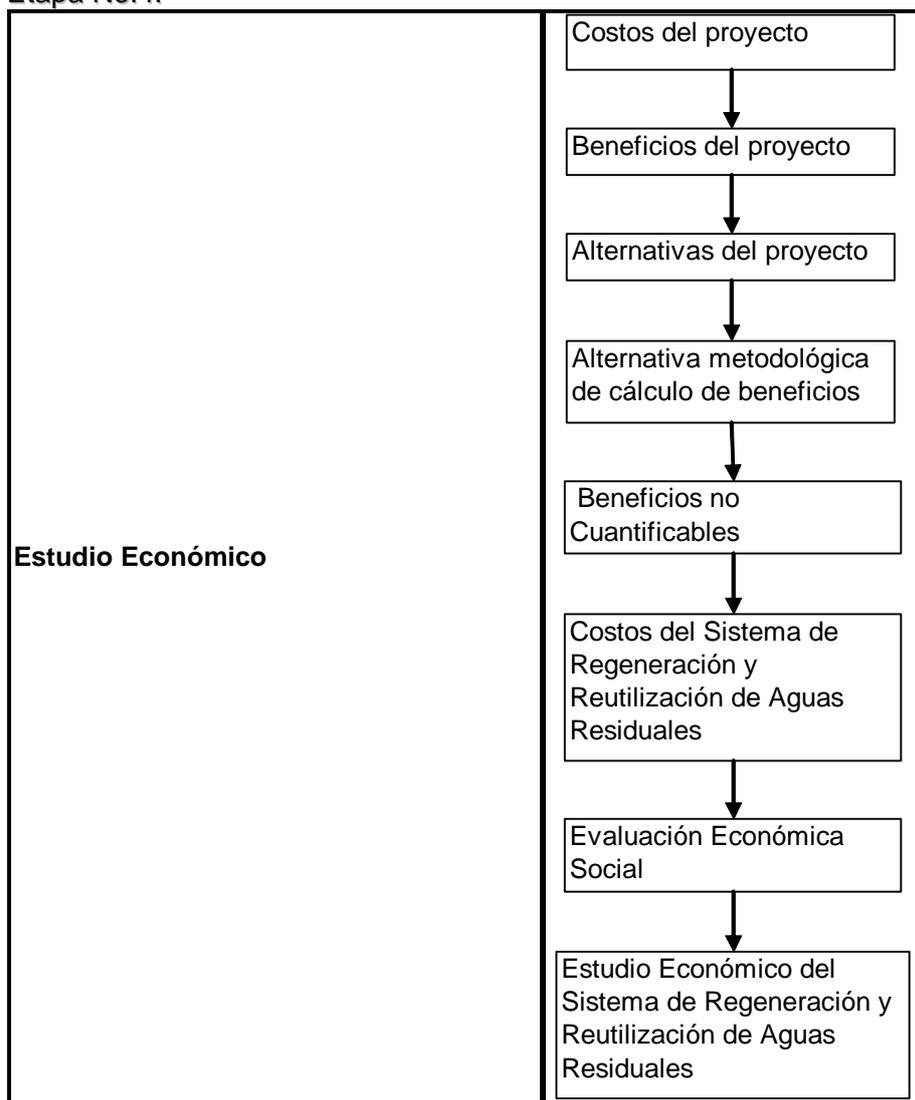
Etapa No.2.



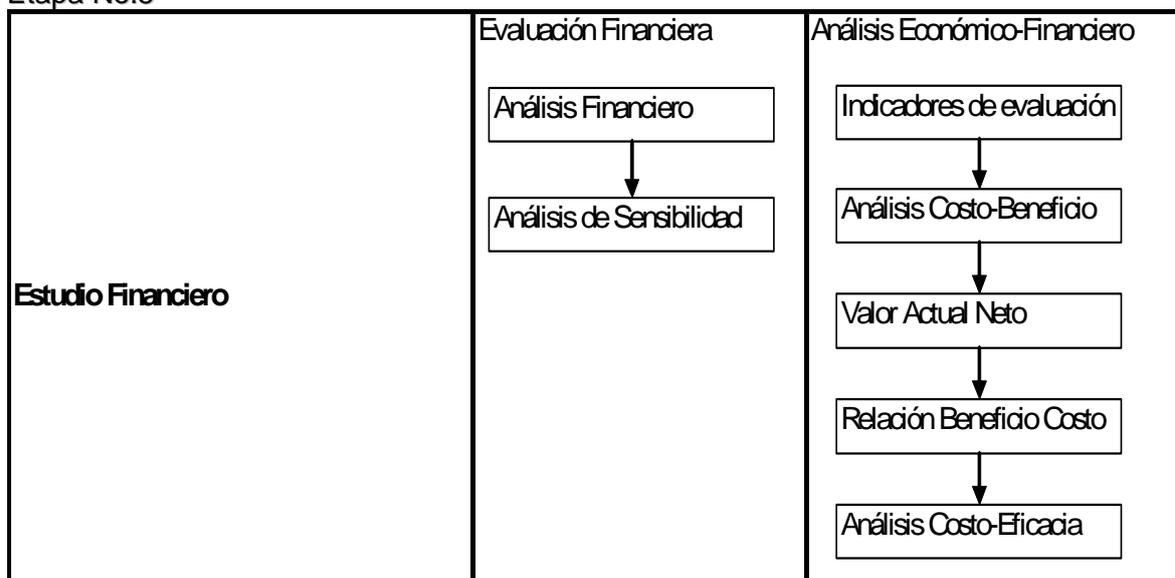
Etapa No.3.



Etapa No.4.



Etapa No.5



3. PROCESO DE PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS

En este capítulo se expone que la metodología implementada contempla de manera integral el proceso de inversión a través de darle seguimiento al ciclo de vida del proyecto, desde la transformación de una idea de inversión hasta que entra en operación. Esto implica un flujo permanente de información con distintos grados de elaboración a medida que se vaya avanzando en el proceso.

Cada estudio de inversión es único y distinto a todos los demás, la metodología que se aplica en cada uno de ellos tiene la particularidad de poder adaptarse a cualquier proyecto. Las áreas generales en las que se puede aplicar la metodología de la evaluación de proyectos son:

- Instalación de una planta totalmente nueva.
- Elaboración de un nuevo producto de una planta ya existente.
- Ampliación de la capacidad instalada o creación de sucursales.
- Sustitución de maquinaria por obsolescencia o capacidad insuficiente.

Aunque las técnicas de análisis empleadas en cada una de las partes de la metodología sirven para hacer una serie de determinaciones, tales como mercado insatisfecho, costos totales, rendimiento de la inversión, etcétera, esto no elimina la necesidad de tomar una decisión de tipo personal; es decir, el estudio no decide por sí mismo, sino que provee las bases para decidir, ya que hay situaciones de tipo intangible, para las cuales no hay técnicas de evaluación y esto hace, en la mayoría de los problemas cotidianos, que la decisión final la tome una persona y no una metodología, a pesar de que ésta puede aplicarse de manera generalizada.

La estructura general de la metodología de la evaluación de proyectos puede ser representada como se muestra en la figura 3.1. En esta parte se intenta describir el proceso global y las interrelaciones de un estudio de factibilidad.

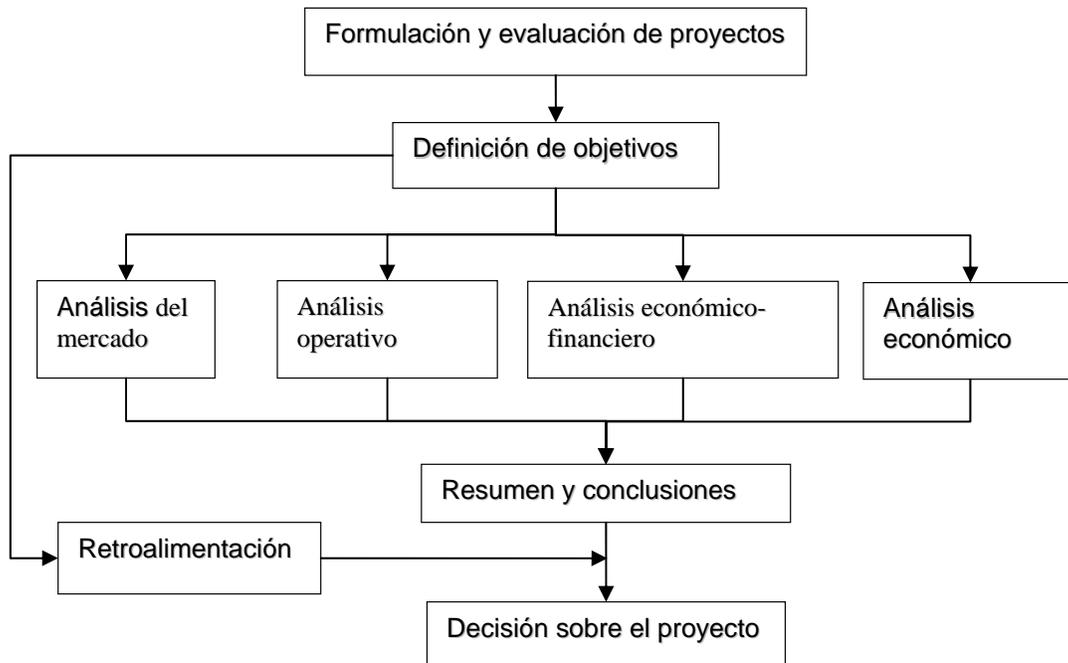


Fig.3.1. Estructura general de la evaluación de proyectos.

3.1. Ciclo de vida del proyecto

Un proyecto puede definirse como un conjunto autónomo de inversiones, políticas y medias institucionales diseñadas para logara un objetivo (o conjunto de objetivos) de desarrollo en un período determinado, solucionar un problema o satisfacer una necesidad.

En el logro de este objetivo o conjunto de objetivos, se incurre en costos y beneficios atribuibles al proyecto, es decir, costos y beneficios asociados a la situación con proyecto contra costos y beneficios asociados en que no se hace el proyecto, situación sin proyecto.

Las fases en la vida de toda iniciativa de inversión son:

3.1.1. Preinversión. En esta fase se identifican iniciativas de inversión, formulan, evalúan y seleccionan las opciones más rentables desde el punto de vista económico social. Es en esta fase donde se conocen los elementos necesarios y suficientes para la toma de decisiones.

La fase de preinversión está conformada por varias etapas, las cuales determinan el grado de desarrollo de la información relativa de un proyecto para la toma de decisiones.

Al terminar una etapa se debe analizar si se puede tomar la decisión de ejecutarla con base a la información que se dispone, o se necesita avanzar a la siguiente para ganar certidumbre, en este caso se debe determinar si los costos incurridos en obtener certidumbre adicional supera a los beneficios derivados del desarrollo de la misma.

Para entender con mayor claridad, se describen las etapas que conforman la fase de preinversión (ver Fig. 3.2):

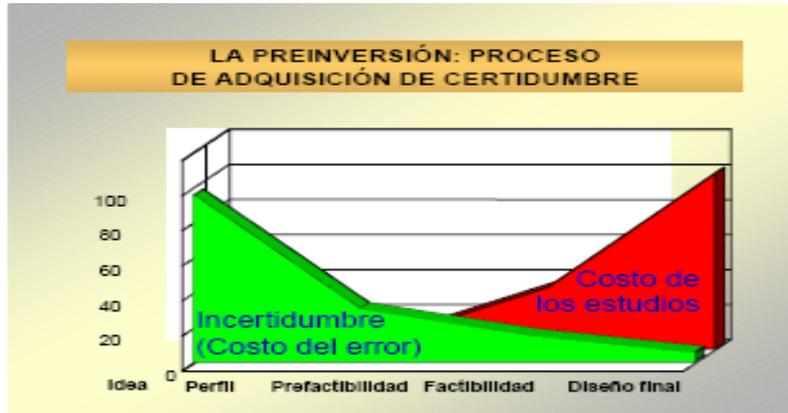


Fig.3.2. La preinversión como proceso para adquirir certidumbre

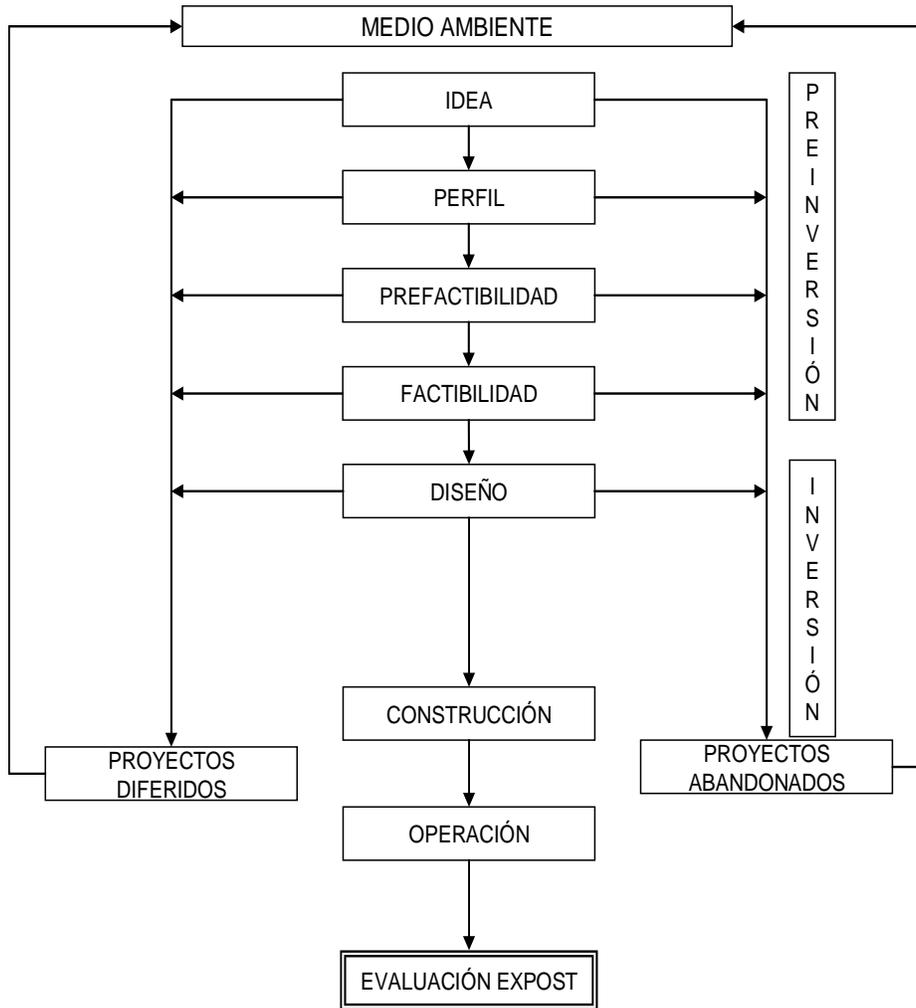


Fig.3.3. El ciclo de vida de los proyectos

- 3.1.2. Idea.** Está asociada a la identificación del problema, y consiste en puntualizar la necesidad insatisfecha o problema por resolver, su localización geográfica, la identificación de los beneficios esperados, los objetivos, el sector de la economía y la institución que lo identifica.
- 3.1.3. Perfil.** En esta etapa se incorpora información adicional y se precisa aquella proveniente del nivel anterior. La información adicional debe referirse a: cuantificación preliminar de la oferta y la demanda y el tamaño del proyecto a partir de la información disponible; un análisis preliminar de alternativas técnicas, una estimación de montos de inversión, costo anual de operación promedio, vida útil. Con base en la información anterior se debe hacer una evaluación técnico – económica de las alternativas planteadas como solución al problema.
- 3.1.4. Prefactibilidad.** En esta etapa se precisa con mayor detalle la información proveniente del nivel anterior y se incorporan datos adicionales para descartar ciertas alternativas y perfeccionar las restantes. Para cada una de las alternativas se hará evaluaciones económicas y técnicas, con el propósito de identificar aquellas que resultan o presentan la mayor rentabilidad económica social y descartar las restantes.
- 3.1.5. Factibilidad.** Consiste en perfeccionar la alternativa que presente mayor rentabilidad económica y social, reduciendo su rango de incertidumbre a límites aceptables mediante la realización de todos los estudios que sean necesarios.
- 3.1.6. Diseños finales.** Comprende la elaboración de diseños finales de arquitectura e ingeniería, la definición de aspectos administrativos, legales e institucionales, la inscripción de terrenos, la definición final detallada de todos los costos del proyecto.
Es necesario mencionar que el grado de desarrollo de la fase de preinversión, dependerá de la naturaleza y dimensión del proyecto. Las siguientes gráficas nos muestran los aspectos a estudiar en las etapas de la preinversión, y el gráfico de curvas nos muestra como en la medida en que se desarrollan estudios de preinversión, se disminuye la incertidumbre.
- 3.1.7. Inversión.** La fase de inversión comprende la etapa de Ejecución, la cual involucra el desarrollo de todas las acciones tendientes a ejecutar físicamente el proyecto tal y como fue especificado y dimensionado en la preinversión. Aquí se realizan las obras físicas, se adquiere e instala el equipo, se capacita al personal y se establece la supervisión del proyecto. En esta última actividad se pretende vigilar su desarrollo y recomendar las medidas administrativas o cambios que sean necesarios cuando no se esté ejecutando el proyecto de acuerdo a lo programado.
- 3.1.8. Operación.** Es la última fase del proyecto, en ésta se generan los bienes y servicios para los cuales fue ejecutado. Es importante indicar que al iniciar esta fase, se debe disponer de los recursos de funcionamiento necesarios para una eficiente operación del mismo, ya que sin ellos, no generará los beneficios esperados.

Cuadro 3.1. Etapas de la preinversión

IDEA	PERFIL	PREFACTIBILIDAD	FACTIBILIDAD	DISEÑO FINAL
<p>Identificación del problema por resolver. Identificación geográfica. Identificación de los beneficios esperados. Los objetivos. El sector de la economía. Institución que lo identifica.</p>	<p>Incorpora información adicional. Precisa información proveniente del nivel anterior. Cuantifica en forma preliminar la oferta y la demanda. Establece en forma preliminar el tamaño del proyecto. Análisis preliminar de alternativas técnicas. Estima monto de inversión. Costo de operación. Vida Útil. Evaluación de alternativas.</p>	<p>Precisa información. Incorpora datos para descartar alternativas. Evaluación técnica-económica de las alternativas. Identifica la de mayor rentabilidad económica y social.</p>	<p>Perfecciona la alternativa que presenta la mayor rentabilidad económica y social. Reduce el rango de incertidumbre hasta límites aceptables mediante estudios.</p>	<p>Diseños finales de ingeniería y arquitectura. Se definen aspectos administrativos, legales e institucionales como inscripción de terrenos, detalle de costos finales.</p>
EVALUACIÓN EXANTE				

3.1.9. Evaluaciones: Las evaluaciones más comunes relacionadas con el ciclo del proyecto, se denominan respectivamente evaluación ex-ante, evaluación sobre la marcha o durante y evaluación de impacto o ex-post, cada una de estas evaluaciones pueden ser: económicas, técnicas y financieras. La evaluación ex-ante, permite tomar las decisiones sobre la mejor alternativa; la durante permite tomar decisiones sobre ajustes que se deben hacer en la ejecución y la ex-post aporta información valiosa para futuros proyectos. Ver Fig.3.4.

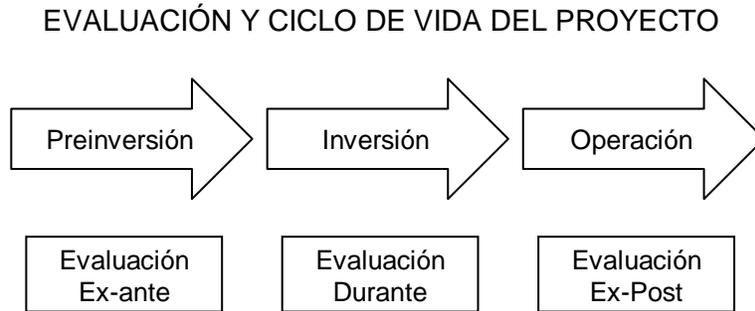


Fig.3.4. Evaluación y ciclo de vida del proyecto

3.2. Preparación y presentación de proyectos

El propósito de esta sección es señalar los contenidos mínimos para la preparación del proyecto en sus aspectos técnico, económico, social, administrativo, financiero y ambiental.

La información requerida al dar comienzo el estudio de un problema a nivel de perfil debe ser objetiva, principalmente basada en experiencias y debe estar disponible en el momento de la formulación, para que los proyectos puedan ser valorados en su justa dimensión y poder decidir sobre su importancia al momento de ser incluidos dentro del proceso de elaboración del presupuesto del sector público, o bien, al momento de buscar el financiamiento por alguna fuente financiera, interna o externa.

Es importante indicar que generalmente, la información con la que se inicia el estudio no se basa en investigación de campo o información elaborada con técnicas complejas de alta precisión que requieran de un alto nivel de detalle, ya que este estudio por lo general a nivel de perfil debe entenderse como la primera aproximación del proyecto en el proceso de la preinversión.

Un estudio a nivel de perfil implica un análisis preliminar de diversas alternativas de solución a un problema y una evaluación de los beneficios y costos, de cada una de ellas. Para su realización se deben utilizar los datos y la información con que se cuenta, sin incurrir en mayores costos adicionales para su obtención.

El perfil permite analizar la viabilidad técnica- económica de las distintas alternativas propuestas, descartando de inmediato aquellas que no son factibles de ejecutar porque sus beneficios no son claros o sus costos demasiado altos.

En el marco del ciclo del proyecto, el perfil es una etapa de la preinversión, en el cual se avanza en el desarrollo del análisis a partir de la idea de proyecto, por lo que la información presentada como alternativa de solución al problema puede ser mejorada en las etapas de pre y factibilidad si fuera necesario, para poder ganar mayor certidumbre y confianza sobre la decisión de una inversión que se deberá adoptar.

Las etapas que al menos deberán considerar la preparación y formulación de un perfil, serán las siguientes:

3.3. DIAGNOSTICO

3.3.1. Antecedentes

En los antecedentes es necesario presentar la forma en que ha evolucionado la posible solución al problema, es decir el proyecto en la institución responsable y también en la comunidad, destacando los trámites y estudios previos que originaron su identificación, la experiencia obtenida en otros proyectos y/o estudios similares, así también, mencionar los proyectos ejecutados, instituciones participantes y las fechas que correspondan. Se deberá hacer mención si se ha recibido algún tipo de colaboración anterior de otras instituciones, indicando el tipo de colaboración o si se espera recibirla y otras generalidades. No debe presentarse en este apartado la justificación, la problemática, los objetivos del proyecto que se está formulando.

3.3.2. Identificación de la problemática a resolver

Esta metodología de análisis se denomina “Árbol de Problema” y en ella se presenta el problema central en forma negativa y a continuación se señalan los efectos hacia arriba, algunos de los cuales pueden estar encadenados y dar origen a varios otros efectos. Una vez concluido que los efectos son importantes y que por lo tanto, el problema necesita solución, se procede a continuación al análisis de las causas que están ocasionando el problema.

Dado que el propósito de formular un proyecto es determinar la alternativa óptima de solución al problema identificado ó bien mejorar la situación actual, será necesario antes de iniciar el diseño del mismo, delimitar y describir claramente cuál es el problema o situación negativa que el proyecto pretende atender.

Una clara y correcta definición del problema que se va a atender, es la clave para la formulación del proyecto y para su éxito en el logro de sus metas y objetivos. Si la definición es incorrecta, difícilmente se pueden alcanzar los resultados esperados.

De manera general se sugieren como pasos para la definición del problema, la identificación de las causas y efectos, respondiendo a los siguientes planteamientos:

- Síntomas o manifestaciones del problema
- Magnitud del problema, este es un criterio cuantitativo que trata de explicar por ejemplo que porcentaje de la población está siendo afectada por el problema.
- Posibles causas que generan el problema
- Cuáles son los efectos del problema o la necesidad insatisfecha.
- Se cuenta con datos e información suficiente para describir y delimitar el problema.

El cambio de todas las condiciones negativas del árbol de problema a condiciones positivas que se estiman viables de ser alcanzadas, reciben el nombre de “Árbol de medios y Fines”. Las causas se transforman en medios y los efectos en fines. Tal como se visualiza en las gráficas relativas al árbol de problemas y árbol de objetivos.

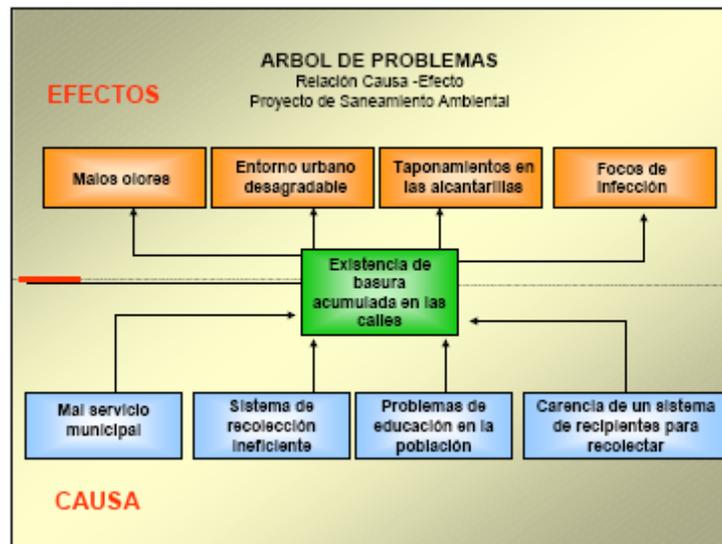


Fig.3.5. Gráfica del árbol de problema

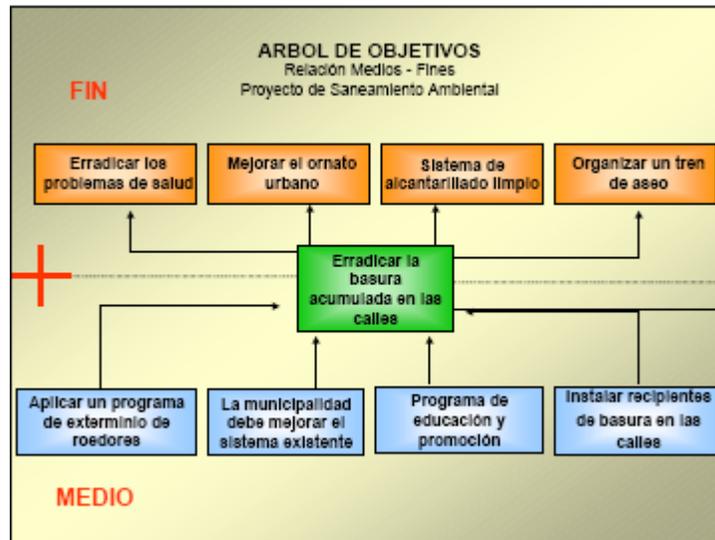


Fig.3.6. Gráfica del árbol de objetivos

3.4. Planteamiento de alternativas de proyectos

El concepto de alternativas de proyectos se refiere al planteamiento de soluciones diferentes unas de otras, y que, aparte sean excluyentes. En cada una de ellas se pueden plantear más de una posibilidad, sin embargo, es posible desechar a priori las que no cumplen en forma clara con el o los objetivos planteados, o no cumplen con criterios lógicos o técnicos, como se aprecia en el cuadro siguiente:

Cuadro 3.2. Análisis de alternativas

ALTERNATIVAS	CONSISTENCIA CON OBJETIVOS	CRITERIOS A CONSIDERAR
A. B. C. D.	La alternativa planteada cumple con el o los objetivos establecidos? SI/NO	Cada alternativa debe revisarse a priori en función de los siguientes criterios (u otros) y descartar las que no los cumplan: - Existen recursos disponibles. - Viabilidad social. - Horizonte del proyecto. - Impactos duraderos. - Etc.

El desarrollo de una alternativa de proyecto puede tener también una conformación de varios componentes, es decir, que puede o deben ejecutarse diversos procesos o conjunto de actividades, en forma paralela o secuencial, las cuales en su conjunto consiguen los impactos esperados, pero en separado buscan conseguir resultados específicos.

La conformación de estos componentes requiere de una atención especial por cuanto debe asegurarse que todos ellos están orientados a conseguir los

objetivos implícitos planteados en la alternativa de solución. A veces se corre el riesgo de incluir un componente de dudoso impacto en el proyecto.

3.4.1. Selección de Alternativas Viabiles

El análisis efectuado según las secciones anteriores cumple el objetivo de establecer el marco técnico y que permita seleccionar las alternativas de proyectos, cumplir los objetivos planteados, y a través de ellos, dar solución a los problemas detectados en el diagnóstico. En el sector agua y saneamiento urbano existen una serie de tipologías que son normales encontrar en cualquier país. De ahí, entonces es posible orientar hacia alguna de esas tipologías las alternativas planteadas en la sección anterior.

Las alternativas seleccionadas (puede ser una o más) deben ser planteadas y desarrolladas en la forma de proyecto, es decir, deben aplicársele herramientas de formulación y evaluación de proyectos que permitan asegurar que en definitiva se elija la alternativa más adecuada, de acuerdo a los criterios de evaluación que se estudiarán más adelante. Como se dijo anteriormente, debe tenerse presente la diferencia entre proyectos distintos y alternativas tecnológicas distintas. Estas últimas se van analizando dentro de la formulación del proyecto y se van descartando las menos viables, según los criterios que se vayan aplicando a medida que avanza la elaboración del proyecto.

3.5. Formulación del proyecto

3.5.1. Aspectos Generales del Proyecto

En esta etapa se integra la visión global del proyecto a formular en los aspectos de la definición del nombre mismo, la descripción breve de los puntos más importantes a modo de resumen, los objetivos de desarrollo y específicos de cómo se inserta el proyecto en la política de desarrollo del país y cuál es el rol de los beneficiarios en relación al proyecto.

3.5.2. Descripción General del Proyecto

En la descripción general del proyecto se hace un relato de lo que se pretende hacer, es decir, en qué consiste la alternativa seleccionada. Esta sección es un resumen de todo el proyecto y se inserta en esta parte después de haber terminado toda la formulación del proyecto

En esta sección dedicada a la Descripción del Proyecto, deben quedar plasmada las principales ideas relacionadas con lo que se está diseñando. Así por ejemplo, en la descripción debe señalarse aspectos de tamaño, localización, monto de la inversión, diseño organizacional del funcionamiento, costos, beneficios, etc.

3.5.3. Objetivos de Desarrollo y Específicos

Como se estableció anteriormente, objetivo es lo que se pretende conseguir. También debe recordarse que un objetivo es el planteamiento en la forma

positiva de un problema, y que para llegar a definir adecuadamente tanto el problema como el objetivo, se pueden seguir pasos como los antes descritos.

Normalmente se establece un objetivo de desarrollo y a partir de éste, varios objetivos específicos. La suma de lo que se espera conseguir con los objetivos específicos debe corresponder a todo lo que se espera obtener con el objetivo principal. Esta es una forma de comprobar que los objetivos están bien planteados.

Los objetivos específicos sirven para definir los componentes de un proyecto. Esto quiere decir que de cada objetivo específico se puede establecer el proceso específico a desarrollar, y con ello, se asegura la consistencia entre los objetivos y las acciones o especificaciones técnicas de un proyecto.

Por ejemplo, si se ha planteado como un objetivo específico de un proyecto abastecer de agua potable a una localidad que actualmente sólo la puede obtener de un río, ello debe ser consistente con un componente de educación sanitaria.

Para el planteamiento de los objetivos específicos del proyecto, debe tenerse presente todo lo señalado acerca de la relación Medios - Objetivos - Resultados o Fines. En el ejemplo de construir letrinas se puede establecer el ejercicio que se muestra en el cuadro siguiente:

Cuadro 3.3. Árbol de objetivos específicos

MEDIOS	OBJETIVO ESPECIFICO	RESULTADOS
Casas sin red de alcantarillado. Moradores motivados con el cambio. Existencia de red cerca idóneos para instalarlas.	Instalación de Red de alcantarillado sanitario.	Cambio de hábitos en los moradores Mejoramiento de las condiciones higiénicas del entorno.

Complementariamente a lo anterior, surge la necesidad de dejar establecido la consistencia de los objetivos y asegurarse de la validez de ellos, mediante la aplicación de la técnica del “marco lógico”, que se expresa a través de una matriz, cuyo esquema y explicación se indican a continuación:

Cuadro 3.4. Matriz lógica

Objetivos de Desarrollo	Objetivos Específicos	Resultados Esperados	Indicadores Específicos	Medios de Verificación	Limitantes Externas
Mejorar niveles de salud	Dotar de agua potable	Atender al 100% de la población	Servicio permanente de agua y saneamiento para viviendas.	Emisión de recibos por el servicio de agua.	Incrementos en los costos de construcción e instalación del sistema.

El objetivo de esta matriz, es el de representar una secuencia lógica de pensamiento que amarre tanto vertical como horizontalmente las variables involucradas en el plan. Su contenido se explica a continuación:

3.5.3.1. Objetivos Específicos

De un objetivo de desarrollo se pueden reconocer objetivos específicos que conlleven una conceptualización más detallada, cualitativa y cuantitativamente, de lo que se pretende conseguir. La “suma” de los objetivos específicos debe corresponder a lo establecido en el objetivo principal o de desarrollo. Con el establecimiento de los objetivos específicos se pueden conformar componentes del proyecto, que no es más que una forma de subdivisión del mismo.

3.5.3.2. Resultados Esperados

Para cada objetivo específico se debe pensar inmediatamente qué se espera obtener como resultado concreto en un tiempo determinado o qué producto se va a obtener. Cada objetivo puede tener uno o más resultados esperados. Estos resultados se van a generar cuando el proyecto entre en funcionamiento (operación), durante su vida útil.

3.5.3.3. Indicadores Específicos

Se refiere a buscar ciertos indicadores o índices cuantitativos o cualitativos, en relación a los resultados esperados. Muestran cómo se puede establecer el éxito del proyecto, a través de pruebas concretas. Constituyen una base para el seguimiento y la evaluación ex-post. Normalmente se diseñan indicadores de calidad, cantidad, de tiempo y de lugar.

3.5.3.4. Medios de Verificación

Debe pensarse desde el inicio cómo se va a comprobar lo exitoso de un resultado, y por lo tanto, el que se haya cumplido un objetivo. Estos medios muestran dónde se obtienen las pruebas de haber alcanzado los resultados u objetivos, y donde se obtienen los datos necesarios para verificar los indicadores. La existencia física de un bien son por sí solos medios de verificación, las anotaciones o registros por parte de los usuarios, son otro medio de verificación.

3.5.4. Limitantes Externas

Se refiere a la necesidad de identificar factores que no son de dominio de los formuladores del proyecto, pero que sí pueden afectar su desarrollo. Se pretende que al reconocer estos factores se esté pendiente.

3.5.5. Inserción de los Beneficiarios en el Proyecto

Todo proyecto de inversión tiene beneficiarios directos e indirectos, los directos son los destinatarios de los resultados del proyecto, los indirectos son los que tienen algún impacto por estar relacionados con los beneficiarios directos del proyecto. En Agua Potable y Saneamiento, normalmente los beneficiarios directos es la población que recibe el servicio y los beneficiarios indirectos, son las familias que se ubican dentro de la zona de influencia del proyecto.

4. ESTUDIO DE MERCADO

El propósito de este capítulo es llevar a cabo un estudio de mercado donde actuará el proyecto, con el fin de proporcionar elementos a quién realizará la inversión sobre el posible comportamiento de las variables demanda y oferta, su grado de incertidumbre o riesgo que pueda asumir el proyecto (bien o servicio). Establecer el costo y el precio del agua regenerada es importante en el diseño y explotación de un Sistema de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales (SRRAR). Si bien es cierto, que se puede tener una aproximación detallada del costo de un SRRAR, no sucede lo mismo con el precio del agua regenerada. Esto se debe básicamente a que no existe un mercado de agua regenerada que permita determinarlo y, por tanto, el único valor de referencia es el precio del agua de las fuentes convencionales. Sin embargo, este precio no refleja todos los impactos que conlleva la regeneración y reutilización de las aguas residuales.

Ya se trate de proyectos productivos, entendidos éstos como aquellos orientados a generar un bien o de proyectos sociales, es decir los orientados a la prestación de un servicio (educación o salud), de todos modos, en el concepto de mercado y sus dos principales elementos como son la demanda y la oferta, es importante destacar que el análisis de mercado implica los análisis de oferta, demanda, de los precios y de la comercialización como se muestra en la Fig. 4.1.

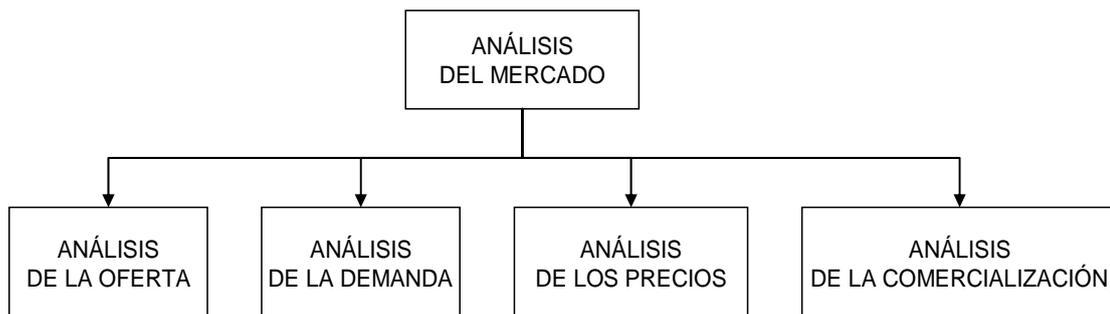


Fig.4.1. Análisis del mercado.

4.1. ANÁLISIS DE LA DEMANDA

En lo que se refiere a Proyectos de Saneamiento de aguas Residuales, el análisis de la demanda, busca en primera instancia cuantificar la demanda actual del bien o servicio estudiando la información histórica en periodos que pueden ir desde 5 hasta 10 años partiendo de un análisis realista, ponderado y participativo de las necesidades y de otros datos que puedan influir sobre ella en función de los beneficiarios directos e indirectos. También persigue determinar la demanda futura proyectándola de acuerdo a los años de vida útil del proyecto; pretende identificar, cuantificar y localizar geográficamente las personas o entidades organizadas que serán usuarios o consumidores del bien o servicio que se ofrecerá con el proyecto, para el efecto se podrá recurrir a diferentes técnicas de proyecciones de tendencias históricas. El estudio de demanda permite determinar la posibilidad real de los productos o servicios, a través de una demanda insatisfecha.

Dentro de los diferentes conceptos de demanda se puede definir como demanda “el número de unidades de un determinado bien o servicio que los

consumidores están dispuestos a adquirir durante un período establecido de tiempo, con ciertas condiciones de precio, calidad, de ingreso y gusto de los consumidores”.

Con los estudios de demanda, pretendemos determinar el volumen de servicio o cantidad de producto requerido en el área de estudio; se busca establecer la población afectada y su nivel de consumo para lo cual requerimos de conocer aspectos como los precios y el nivel de consumo tal como en la ecuación $D=P \cdot C$, donde D es la demanda, P es el precio y C el nivel de consumo.

Siempre dentro de lo que son los estudios de demanda, se deben abarcar varios temas relacionados con el concepto de demanda, en tal sentido se deberá estudiar qué pasa con la demanda si no se realiza el proyecto, al igual que lo que sucederá con la demanda si se realiza el proyecto; dentro de este proceso es necesario establecer estimaciones sobre el crecimiento de la población a efecto de poder llegar a definir un comportamiento del consumo percapita. Es fundamental dentro del análisis de demanda, llegar a determinar el déficit, o sea la brecha que se establece cuando se compara la oferta y la demanda; este déficit puede ser de carácter cualitativo y cuantitativo.

Se entiende por demanda la cantidad de bienes y servicios que el mercado requiere o solicita para buscar la satisfacción de una necesidad específica a un precio determinado.

Para los efectos del análisis, existen varios tipos de demanda, que pueden clasificarse como sigue:

En relación con su **oportunidad**, existen dos tipos:

- 4.1.1. **Demanda insatisfecha**, en la que lo producido u ofrecido no alcanza a cubrir los requerimientos del mercado
- 4.1.2. **Demanda satisfecha**, en la que lo ofrecido al mercado es exactamente lo que éste requiere. Se pueden reconocer dos tipos de demanda satisfecha:
 - 4.1.2.1. **Demanda Satisfecha saturada**, la que ya no puede soportar una mayor cantidad del bien o servicio en el mercado, pues se está usando plenamente. Es muy difícil encontrar esta situación en un mercado real.
 - 4.1.2.2. **Demanda Satisfecha no saturada**, que es la que se encuentra aparentemente satisfecha, pero que se puede hacer crecer mediante el uso adecuado de herramientas mercadotécnicas, como las ofertas y la publicidad.

En relación con su **necesidad**, se encuentran dos tipos:

- 4.1.3. **Demanda de bienes social y nacionalmente necesarios**, que son los que la sociedad requiere para su desarrollo y crecimiento, y están relacionados con la alimentación, el vestido, la vivienda y otros rubros.
- 4.1.4. **Demanda de bienes no necesarios o de gusto** que es prácticamente el llamado consumo suntuario, como la adquisición de perfumes, ropa fina y otros bienes de este tipo. En este caso la compra se realiza con la intención de satisfacer un gusto y no una necesidad.

En relación con su **temporalidad**, se reconocen dos tipos:

- 4.1.5. **Demanda continua** es la que permanece durante largos periodos, normalmente en crecimiento, como ocurre con los alimentos, cuyo consumo irá en aumento mientras crezca la población.
- 4.1.6. **Demanda cíclica o estacional** es la que en alguna forma se relaciona con los periodos del año, por circunstancias climatológicas o comerciales, como regalos en la época navideña, paraguas en la época de lluvias, enfriadores de aire en tiempo de calor, etcétera.

De acuerdo con su **destino**, se reconocen dos tipos:

- 4.1.7. **Demanda de bienes finales**, que son los adquiridos directamente por el consumidor para su uso o aprovechamiento.
- 4.1.8. **Demanda de bienes intermedios o industriales**, que son los que requieren algún procesamiento para ser bienes de consumo final.

4.2. Análisis de la Oferta

Este análisis busca determinar la oferta actual y futura en función de los beneficiarios directos e indirectos, proyectando la misma de acuerdo a los años de vida útil del proyecto. De acuerdo a lo anterior, trata de establecer:

1. Volúmenes de bienes o servicios que se hayan ofrecido en un periodo anterior.
2. ¿Qué cantidades anuales del bien o servicio se ofrecen actualmente en el lugar o área de influencia del proyecto?
3. ¿Quiénes ofrecen el servicio/producto en la actualidad?
4. ¿Cuáles son los precios de venta actuales en que obtiene el bien o servicio?
5. Se deberá describir el bien o servicio a producir por el proyecto
6. Indicar cuáles serán los canales de comercialización que se emplearán cuando salga al mercado el bien o servicio.

7. Debe desarrollarse un programa de producción del bien a producir.

Principales tipos de oferta

Con propósitos de análisis se hace la siguiente clasificación de la oferta:

En relación con el número de oferentes se reconocen tres tipos:

4.2.1. Oferta competitiva o de mercado libre.

Es en la que los productores se encuentran en circunstancias de libre competencia, sobre todo debido a que existe tal cantidad de productores del mismo artículo, que la participación en el mercado está determinada por la calidad, el precio y el servicio que se ofrecen al consumidor. También se caracteriza porque generalmente ningún productor domina el mercado.

4.2.2. Oferta oligopólica (del griego oligos, poco).

Se caracteriza porque el mercado se encuentra dominado por sólo unos cuantos productores. El ejemplo clásico es el mercado de automóviles nuevos. Ellos determinan la oferta, los precios y normalmente tienen acaparada una gran cantidad de materia prima para su industria. Tratar de penetrar en ese tipo de mercados no sólo es riesgoso sino en ocasiones hasta imposible.

4.2.3. Oferta monopolística.

Es en la que existe un solo productor del bien o servicio, y por tal motivo, domina totalmente el mercado imponiendo calidad, precio y cantidad. Un monopolista no es necesariamente productor único. Si el productor domina o posee más del 95% del mercado siempre impondrá precio y calidad.

4.3. Proyección de la oferta

Al igual que en la demanda, aquí es necesario hacer un ajuste con tres variables siguiendo los mismos criterios, a saber, que cada una de las terceras variables analizadas, como puede ser el PIB, la inflación o el índice de precios, se obtenga el coeficiente de correlación sea más cercano a uno.

4.3.1. Análisis de los precios

Es la cantidad monetaria a la que los productores están dispuestos a vender, y los consumidores a comprar un bien o servicio, cuando la oferta y demanda están en equilibrio.

Tipos de precios

Los tipos de precios son los siguientes:

4.3.1.1. Internacional.

Es el que se usa para artículos de importación-exportación. Normalmente está cotizado en dólares estadounidenses y *FOB* (libre a bordo) en el país de origen.

4.3.1.2. Regional externo.

Es el precio vigente sólo en parte de un continente. Por ejemplo, Centroamérica en América; Europa Occidental en Europa, etcétera. Rige para acuerdos de intercambio económico hechos sólo en esos países, y el precio cambia si sale de esa región.

4.3.1.3. Regional interno.

Es el precio vigente en sólo una parte del país. Por ejemplo, en el sureste o en la zona norte. Rigen normalmente para artículos que se producen y consumen en esa región; si se desea consumir en otra, el precio cambia.

Local. Precio vigente en una población o poblaciones pequeñas y cercanas. Fuera de esa localidad, el precio cambia.

Nacional. Es el precio vigente en todo el país, y normalmente lo tienen productos con control oficial de precio o artículos industriales muy especializados.

Conocer el precio es importante porque es la base para calcular los ingresos futuros, y hay que distinguir exactamente de qué tipo de precio se trata y cómo se ve afectado al querer cambiar las condiciones en que se encuentra, principalmente el sitio de venta.

4.4. Proyectos Sociales

La evaluación social es el instrumento que utiliza el Prestatario para analizar los temas sociales y solicitar la opinión de los interesados con vistas al diseño de proyectos financiados por el Banco. Los hallazgos de la evaluación social son evaluados como parte integral del análisis social.

La evaluación social es un tipo de análisis social que puede realizar el Prestatario como parte del diseño de un proyecto. Con frecuencia, la evaluación social continúa durante la instrumentación del proyecto.

La evaluación social contribuye a que el proyecto sea más sensible a las inquietudes en materia de desarrollo social. Asiste al Prestatario a llegar a los grupos vulnerables y pobres, y asegura que los objetivos del proyecto sean aceptables para sus presuntos beneficiarios. Las iniciativas en materia de desarrollo a las que se incorpora la evaluación social alivian la pobreza, aumentan la inclusión social y contribuyen a que los participantes hagan suyos los proyectos, a la vez que minimizan y compensan los impactos sociales adversos que éstos puedan tener en los vulnerables y los pobres.

La evaluación social favorece la participación sistemática de los actores sociales relevantes en el diseño y/o instrumentación del proyecto.

Durante la instrumentación, aumenta la probabilidad de que los potenciales beneficiarios del proyecto tengan un acceso equitativo a las oportunidades de desarrollo. Al recoger y analizar la información relevante desde el punto de vista operativo, la evaluación social permite al Prestatario definir los resultados e impactos del proyecto en materia de desarrollo social, y establecer indicadores y sistemas útiles para monitorearlos y evaluarlos.

Papel del Prestatario en la evaluación social

- Planear la evaluación social como parte integral de la formulación del proyecto.
- Establecer con claridad los resultados que persigue el proyecto en materia de desarrollo social.
- Identificar y evaluar los problemas que presenta el proyecto en relación con la protección social.
- Identificar las fuentes de información para el análisis de la diversidad social, las instituciones, los actores sociales, la participación y los riesgos sociales, y otros métodos de recolección de datos.
- Evaluar la importancia de los problemas de diversidad social y de género.
- Examinar las instituciones formales e informales que pueden gravitar en los resultados del proyecto en materia de desarrollo social, y las reglas y conductas informales imperantes en tales instituciones.
- Examinar los intereses e influencia de los principales actores sociales e instituciones.
- Examinar las oportunidades con que cuentan los principales actores sociales para participar en el diseño e instrumentación del proyecto.
- Evaluar los riesgos sociales, incluidos los probables impactos adversos e incertidumbres que podrían afectar los objetivos del proyecto.
- Teniendo en cuenta todo lo anterior, formular una estrategia para incluir en los beneficios del proyecto a los presuntos beneficiarios, en especial los vulnerables y los pobres; recomendar arreglos institucionales para alcanzar los objetivos del proyecto y sus resultados en materia de desarrollo social; preparar un plan de participación en el proyecto; y establecer indicadores para monitorear las entradas, salidas, procesos y resultados del proyecto en materia de desarrollo social

Facetas y fases de la evaluación social

Del mismo modo que el análisis social realizado por el Banco, la evaluación social es algo más que un informe. Constituye a la vez un proceso y un conjunto de productos. En el caso ideal, presenta todas las características siguientes:

- Es un proceso mediante el cual el Prestatario llega a conocer mejor de qué manera el contexto sociocultural, institucional, histórico y político influye en los resultados en materia de desarrollo social de ciertos proyectos de inversión y políticas sectoriales.
- Es un mecanismo para identificar las oportunidades, limitaciones, impactos y riesgos sociales asociados a las políticas públicas y al diseño del proyecto.

- Es un enfoque tendiente a identificar y mitigar los posibles riesgos sociales de los proyectos de inversión, incluidos sus impactos sociales adversos.

El proceso de evaluación social conducido por el Prestatario se entrecruza con el ciclo de proyecto del Banco Mundial en varios puntos, típicamente en las fases de preevaluación y de evaluación (Figura 4.2). Lo ideal es que la colaboración entre ambos comience en la fase de identificación, en la cual el Prestatario podrá brindar información social relativa al sector y área del proyecto.

Si el Banco recomienda que se efectúe una evaluación social, cooperará con el Prestatario en la preparación de los términos de referencia. Luego de que el Banco haya revisado la evaluación social provisional del Prestatario, éste preparará un informe final que presentará al Banco junto con sugerencias sobre el monitoreo y evaluación. La oportunidad de este proceso dependerá de si, en parte, la evaluación social se realiza para cumplimentar un requisito de información del Banco.

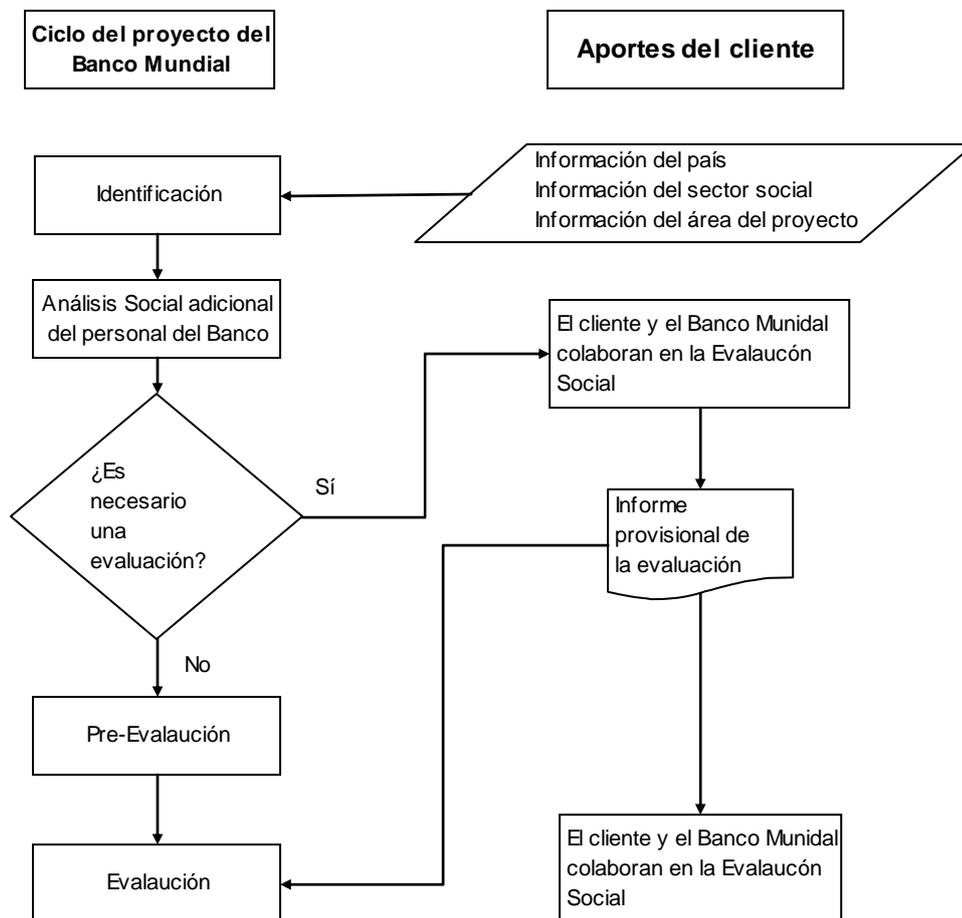


Fig.4.2. El proceso de evaluación social y el ciclo del proyecto del Banco Mundial.

4.4.1. Demanda:

De acuerdo a la definición establecida, para este tipo de proyectos el estudio de demanda debe ser realizado para una comunidad, área o estrato de población bien definidos. En tal sentido busca:

1. Determinar la demanda potencial y actual en función de los beneficiarios directos e indirectos.
2. Determinar la demanda futura del proyecto proyectándola de acuerdo a los años de vida útil del proyecto.
3. Considerar el grado de necesidad (cantidad de la demanda de los bienes o servicios que se quiere producir).
4. Indicar las características de la población demandante: edad, sexo, población urbana o rural, situación socioeconómica, disposición de pago, actitud hacia el proyecto, disposición a participar.
5. Cuantificar la población demandante del servicio con criterio dinámico, para lo cual se puede recurrir a la utilización de las técnicas de proyección de población.

5. ESTUDIO TÉCNICO

En este capítulo se presenta el estudio técnico que permite analizar y proponer las diferentes opciones tecnológicas para producir el bien o servicio que se requiere, verificando la factibilidad técnica de cada una de ellas. El análisis identificará equipos, maquinaria, instalaciones necesarias, costos de inversión y capital de trabajo. Bajo los impactos de la infraestructura hidráulica se consideran todos los costos privados (costos de inversión, explotación y mantenimiento) relacionados con las instalaciones hidráulicas involucradas en la gestión del agua (captación-almacenamiento-potabilización-distribución-recolección-depuración-vertido y/o regeneración-utilización) de una determinada región. Todo lo anterior con base en la metodología para implementar la reutilización de agua.

5.1. Aspectos técnicos

La elaboración del estudio técnico para un proyecto implica analizar variables relacionadas con aspectos como: Localización, tamaño, tecnología, permite además definir la inversión a nivel de costo directo e indirecto. En la Fig.5.1., se muestra las partes que conforman un estudio técnico.

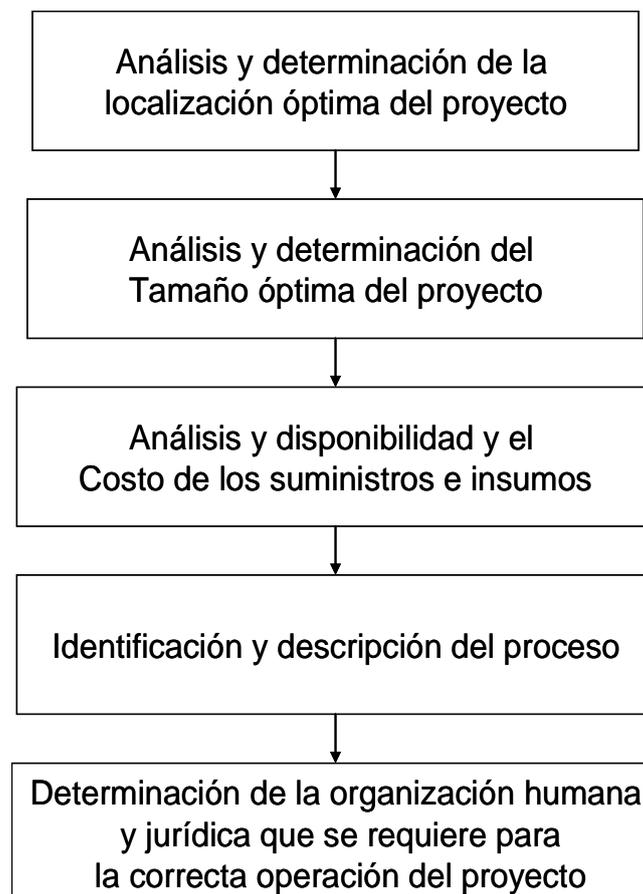


Fig.5.1. Estudio Técnico

5.2. Localización

El estudio de localización tiene como propósito seleccionar la ubicación mas conveniente para el proyecto, es decir aquella que frente a otras alternativas

posibles produzca el mayor nivel de beneficio para los usuarios y para la comunidad, con el menor costo social.

En general, un proceso adecuado para el estudio de la localización debe abordar el problema de la macrolocalización y la microlocalización. El examen de la macrolocalización nos lleva a la preselección de varias áreas de mayor conveniencia. El análisis de la microlocalización nos lleva a la definición puntual del sitio del proyecto.

5.2.2. Macrolocalización: Región donde se sitúa el proyecto.

- Aspectos geográficos. Límites políticos, coordenadas y altitud, clima. Régimen pluviométrico. Suelo; uso actual y potencial. Problemas de cimentación, orografía, hidrografía y recursos naturales.
- Aspectos humanos. Población, número total y distribución por ingreso, edad, ocupación, étnica y geografía, centros de población más importantes, salario mínimo, educación, habitación, alimentación y recreaciones.
- Infraestructura. Caminos, agua, recursos acuíferos, obras de irrigación, red de agua potable, drenaje. Electrificación y teléfonos.
- Mapas de macrolocalización. De la república, señalando el Estado. Del Estado, señalando las regiones. De la región, indicando vías de comunicación, red de electrificación, orografía e hidrografía.

Factores que afectan la macrolocalización:

- Costos de transporte. Materias primas (características y cantidades a movilizar)
- Productos a comercializarse (características y cantidades a movilizar)
- Disponibilidad y costo de los insumos. Mano de obra y supervisión, insumos auxiliares, energía eléctrica, combustibles, agua y drenaje.
- Factores institucionales. Políticas de descentralización, políticas de concentración, contaminación ambiental, incentivos fiscales y financieros.

5.2.2. Microlocalización. La microlocalización, tienen especial importancia entre otros los siguientes factores:

- Existencia de vías de comunicación y transportes
- Servicios públicos básicos
- Topografía y estudio de suelos
- Condiciones ambientales y de salubridad
- Precio de la tierra
- Tamaño y tecnología
- Conservación del patrimonio histórico

- Disponibilidad de áreas para los requerimientos actuales y de futuras ampliaciones.

En la Fig.5.2, muestra que la localización comprende macrolocalización y microlocalización. La macrolocalización involucra los aspectos: geográficos, mercadológicos, socioeconómicos, culturales y ambientales. A su vez la microlocalización es el lugar donde se ubica la planta.

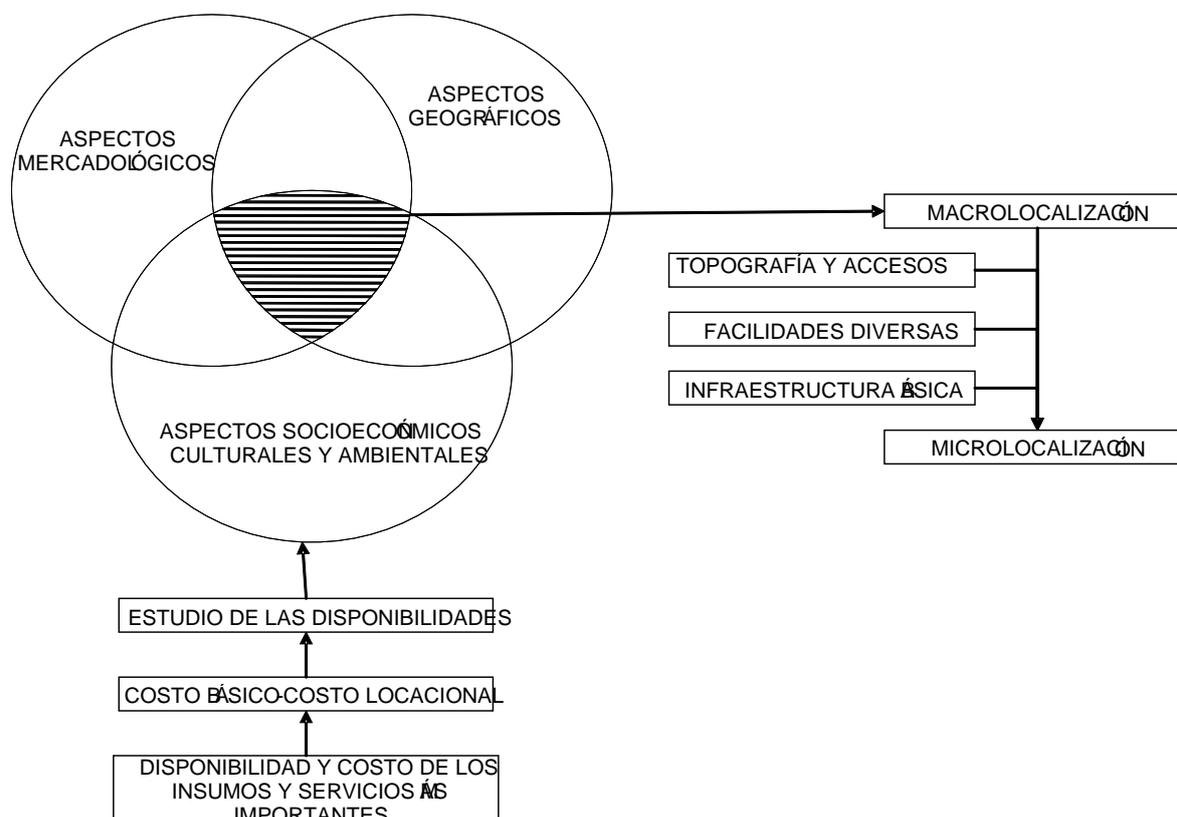


Fig.5.2. Estudio de Localización

5.3. Tamaño

El concepto de tamaño dependerá del tipo de proyecto que se este formulando. Se mide por la capacidad de producción de un bien o de prestación de un servicio, definida en términos técnicos en relación con la unidad de tiempo de funcionamiento normal del proyecto.

En general el estudio de mercado permite una primera aproximación del tamaño del proyecto, ya que arroja información de su magnitud y una estimación de la tasa de crecimiento del mercado del bien o servicio

Dependiendo del tipo de proyecto, productivo o social, en algunos casos habrá de indicarse los siguientes aspectos:

- Capacidad de atención o de cobertura.
- Población servida o área de influencia
- Personas atendidas por periodo

- Comportamiento del crecimiento de la población en edad escolar
- El mercado
- La tecnología
- El financiamiento
- La localización
- Disponibilidad de recursos humanos
- Capacidad gerencial

El tamaño de un proyecto es su capacidad instalada, y se expresa en unidades de producción por año. La Fig.5.3, muestra los estudios que se deben realizar para llegar a un tamaño óptimo y tener posibilidades de expansión. Lo anterior contribuye para que se logre una tasa de mayor rentabilidad sobre el capital (criterio privado) u obtener el costo unitario mínimo (criterio social).

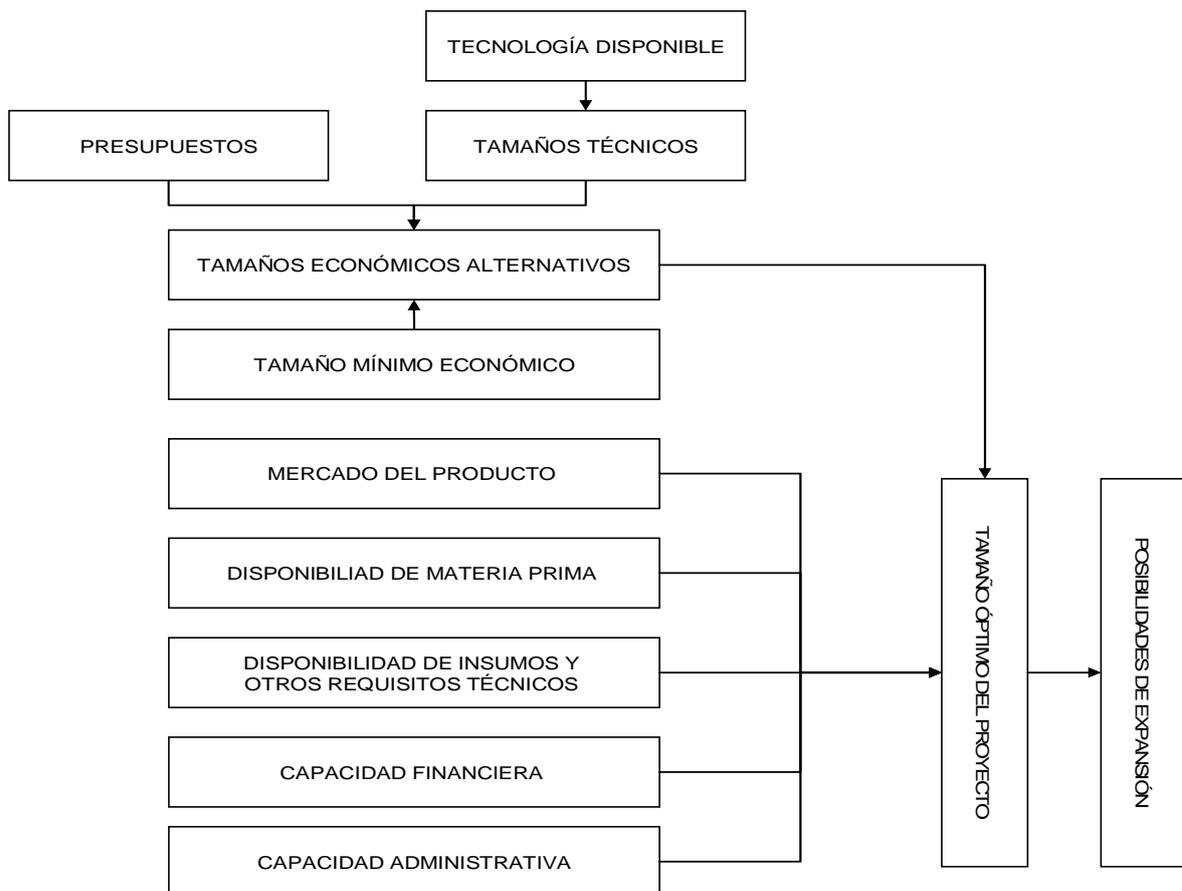


Fig.5.3. Estudio del Tamaño

5.4. Ingeniería del proyecto

La ingeniería del proyecto es todo lo concerniente a la instalación y al funcionamiento de la planta. Desde la descripción, adquisición de equipo y maquinaria. Se determina la distribución óptima de la planta, hasta definir la estructura jurídica y de organización que habrá de tener la planta productiva.

Factores que afectan la Ingeniería de Proyecto:

- Estructura jurídica y de organización
- Adquisición de maquinaria y equipo, proveedor, precio, dimensiones, capacidad, mano de obra, costo del mantenimiento, consumo de energía

eléctrica, infraestructura necesaria, equipos auxiliares, costo de los fletes y seguros, costos de instalación y existencia de refacciones.

- Flexibilidad de los equipos (procesar varias clases de insumos para evitar tiempos muertos)
- Instalación y funcionamiento de la planta
- Distribución de la planta
- Proceso de producción

Todo lo anterior se requiere para una planta productiva. Es un procedimiento técnico que se utiliza en el proyecto para obtener los bienes y servicios a partir de insumos y se identifica como la transformación de una serie de materias primas.

5.4.1. Distribución de la planta

- Integración total. Consiste en integrar en lo posible todos los factores que afectan la distribución, para tener una visión de todo el conjunto y la importancia relativa de cada factor.
- Mínima distancia de recorrido. Al tener una visión general de todo el conjunto, se debe tratar de reducir en lo posible el manejo de materiales, trazando el menor flujo.
- Utilización del espacio cúbico. Esta acción es muy útil cuando se tienen espacios reducidos y su utilización debe ser máxima.
- Seguridad y bienestar para el trabajador. Éste debe ser uno de los objetivos principales de la distribución.
- Flexibilidad. Se debe tener una distribución fácilmente reajutable a los cambios que exija el medio, para poder cambiar el tipo de proceso de la manera más económica, si fuera necesario.

5.4.2. Proceso de producción

- Distribución por proceso. Agrupa las personas y al equipo que realizan funciones similares y hacen trabajos rutinarios en bajos volúmenes de producción.
- Distribución por producto. Agrupa a los trabajadores y al equipo de acuerdo con la secuencia de operaciones realizadas sobre el producto o usuario.
- Distribución por componente fijo. Aquí la mano de obra, los materiales y el equipo acuden al sitio de trabajo, como en la construcción de un edificio.

5.4.3. Marco legal de la empresa y factores relevantes

5.4.3.1. Mercado

- Legislación sanitaria sobre los permisos que deben obtenerse, la forma de presentación del producto, sobre todo en el caso de los alimentos.
- Elaboración y funcionamiento de contratos con proveedores y clientes.
- Permisos de vialidad y sanitarios para el transporte del producto.

5.4.3.2. Localización

- Estudios de posesión y vigencia de los títulos de bienes raíces.
- Litigios, prohibiciones, contaminación ambiental, uso intensivo de agua en determinadas zonas.
- Apoyos fiscales por medio de exención de impuestos, a cambio de ubicarse en determinada zona.
- Gastos notariales, transferencias, inscripción en Registro Público de la Propiedad y el Comercio.
- Determinación de los honorarios de los especialistas o profesionales que efectúen todos los trámites necesarios.

5.4.3.3. Estudio técnico

- Transferencia de tecnología.
- Compra de marcas y patentes. Pago de regalías.
- Aranceles y permisos necesarios en caso de que se importe alguna maquinaria o materia prima.
- Leyes contractuales, en caso de que se requieran servicios externos.

5.4.3.4. Administración y organización

- Leyes que regulan la contratación de personal sindicalizado y de confianza. Pago de utilidades al finalizar el ejercicio.
- Prestaciones sociales a los trabajadores. Vacaciones, incentivos, seguridad social, ayuda a la vivienda, etcétera.
- Leyes sobre seguridad industrial mínima y obligaciones patronales en caso de accidentes de trabajo.

5.4.3.5. Aspecto financiero y contable

- La Ley del Impuesto sobre la renta rige lo concerniente a: tratamiento fiscal sobre depreciación y amortización, método fiscal para la valuación de inventarios, pérdidas o ganancias de operación, cuentas incobrables, impuestos por pagar, ganancias retenidas, gastos que puedan deducirse de impuestos y los que no están sujetos a esta política, etcétera.
- Si la empresa adquiere un préstamo de alguna institución crediticia, hay que conocer las leyes bancarias y de las instituciones de crédito, así como las obligaciones contractuales que de ello se deriven.

6. ESTUDIO ECONÓMICO

En este capítulo se presenta la evaluación económica con el objetivo de medir la rentabilidad del proyecto con base en la comparación de los beneficios económicos y la inversión realizada en función del tiempo.

La evaluación económica es una balanza que mide los beneficios monetarios actualizados contra los capitales invertidos actualizados, a una tasa de descuento fija (tasa de interés que se utiliza para traer valores futuros de dinero a valores presentes o descontados). Descontar es la conversión de una suma futura a su valor presente. Como resultado se obtiene un índice que mide la rentabilidad del proyecto. Si los beneficios son mayores que el capital que se debe invertir, se entiende que el proyecto es rentable.

La Evaluación Económica es un simple indicador de la conveniencia de invertir.

En la figura 6.1 se muestra la estructuración general de análisis económico. Las flechas indican dónde se utiliza la información obtenida en ese cuadro. Por ejemplo, los datos de la inversión fija y diferida son la base para calcular el monto de las depreciaciones y amortizaciones anuales, el cual, a su vez, es un dato que se utiliza tanto en el balance general como en el punto de equilibrio y en el estado de resultados. La información que no tiene flecha antecedente, como los costos totales, el capital de trabajo y el costo de capital, indica que esa información hay que obtenerla con investigación. Como se observa, hay cuadros de información, como el balance general y el estado de resultados, que son síntesis o agrupamientos de información de otros cuadros.

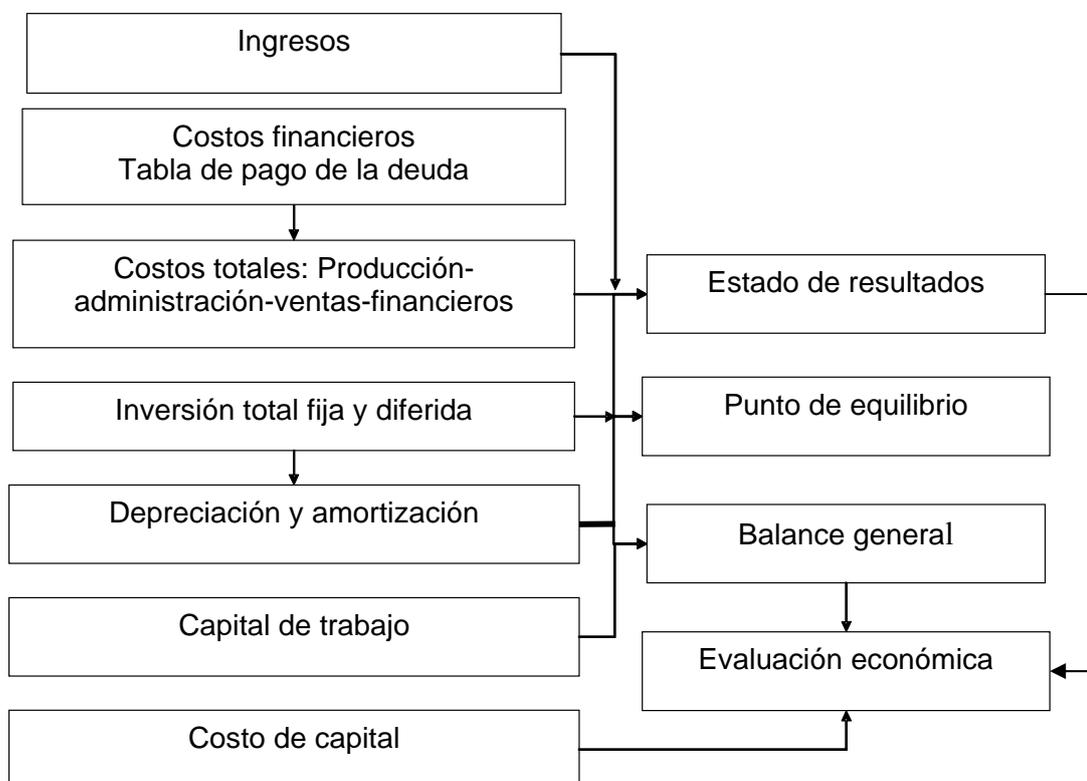


Fig.6.1. Estructuración del análisis económico

6.1. La inversión total inicial: fija y diferida

La inversión inicial comprende la adquisición de todos los activos fijos o tangibles y diferidos o intangibles necesarios para iniciar las operaciones de la empresa, con excepción del capital de trabajo.

Se entiende por activo tangible (que se puede tocar) o fijo, los bienes propiedad de la empresa, como terrenos, edificios, maquinaria, equipo, mobiliario, vehículos de transporte, herramientas y otros. Se le llama *fijo* porque la empresa no puede desprenderse fácilmente de él sin que ello ocasione problemas a sus actividades productivas (a diferencia del activo circulante).

Se entiende por activo intangible el conjunto de bienes propiedad de la empresa necesarios para su funcionamiento, y que incluyen: patentes de invención, marcas, diseños comerciales o industriales, nombres comerciales, asistencia técnica o transferencia de tecnología, gastos preoperativos, de instalación y puesta en marcha, contratos de servicios (como luz, teléfono, agua, corriente trifásica y servicios notariales), estudios que tiendan a mejorar en el presente o en el futuro el funcionamiento de la empresa, como estudios administrativos o de ingeniería, estudios de evaluación, capacitación de personal dentro y fuera de la empresa, etcétera. En el caso del costo del terreno, éste debe incluir el precio de compra del lote, las comisiones a agentes, honorarios y gastos notariales, y aun el costo de demolición de estructuras existentes que no se necesiten para los fines que se pretenda dar al terreno. En el caso del costo de equipo y de maquinaria, debe verificarse si éste incluye fletes, instalación y puesta en marcha.

6.2. Costos del proyecto

El costo de un proyecto es la suma del valor de los recursos o insumos que dicho proyecto ocupa durante toda la vida útil del mismo, y que para mayor énfasis, se puede decir que esos insumos estarían libres para ser ocupados por otros proyectos si es que no se ejecuta el primero. La aplicación de recursos se justifica sólo si a partir de la utilización de ellos se genera un beneficio para la sociedad, o parte de ella. Si el "valor" de estos beneficios es mayor que el "valor" de los recursos utilizados para conseguirlos, se habla entonces de un proyecto rentable.

6.2.1. Precios Internos

Una de las primeras decisiones que hay que tomar en el análisis de un proyecto es la elección de la moneda y el nivel de precios en que será conducido el análisis. En el análisis financiero las valoraciones se hacen a precios de mercado. El análisis económico puede hacerse en moneda nacional o extranjera a niveles de precios internos o de frontera. Existen tres alternativas para ello:

- Moneda nacional a precios internos
- Moneda nacional a precios de frontera
- Moneda extranjera a precios de frontera

6.2.2. Precios Nominales y Constantes

A diferencia de los precios constantes, los precios nominales reflejan cualquier inflación o deflación ocurrida a través del tiempo.

La diferencia entre precios reales y constantes, es que los precios reales no reflejan inflación, sino cambios ocasionados por las condiciones de oferta y demanda; como por ejemplo se puede citar el caso de disminución de la oferta como consecuencia de cambios climáticos, lo que hace subir el precio internacional del café, independientemente de cambios en la inflación. Cuando se pueden proyectar los movimientos de los precios reales, éstos podrán ser utilizados en el análisis, en caso contrario serán utilizados precios constantes.

Los precios constantes están referidos al valor adquisitivo de la moneda en un período determinado que se escoge como referencia y se denomina año base.

6.2.3. Clasificación de los Costos de un Proyecto

La aplicación de recursos de un proyecto de inversión típico se efectúa en dos momentos bien definidos: mientras se construye o implementa el proyecto (durante el cual no se obtienen beneficios directos) y que se reconoce como “período de inversión”, y otro durante el cual el proyecto opera mediante la atención de usuarios y la consecución de los impactos y beneficios previstos y se conoce con el nombre de “período de operación o funcionamiento” del proyecto. Los costos de los bienes aplicados en el primer período se conocen como *costos de inversión* y los del segundo período como *costos de operación*. Esta es la primera gran clasificación de los costos de un proyecto.

6.2.4. Costos de Inversión

Los costos de inversión son todos aquellos que se aplican para armar o implementar el proyecto. Normalmente tienen una vida útil mayor a un año. En dicho concepto se incluyen los costos de construcción, instalaciones, diseño organizacional, capacitación de personal, y cualquier otro que sea previo al funcionamiento propiamente tal. A modo de ejemplo se puede decir que en un proyecto de agua potable, los costos de inversión surgen de la aplicación de los siguientes recursos:

- Terrenos.
- Preparación o habilitación del terreno.
- Construcción de estaciones de bombeo.
- Construcción de tanques elevadores de almacenamiento.
- Redes de distribución compuestas de tuberías de PVC.
- Conexiones de tipo domiciliar o puestos públicos.

El período de inversión de un proyecto, o ejecución del proyecto, puede variar de acuerdo a las características propias de cada proyecto. Además, debe considerarse que en la práctica siempre surgen problemas o imprevistos que hacen alargar los tiempos estimados.

Un formato tipo de un cuadro de costos de inversión se muestra en el cuadro 6.1, donde se establecen las principales categorías de costos, el valor asignado a cada uno, tanto en moneda nacional (C\$) como en divisas (US\$), y finalmente, los períodos cuando se aplican los pagos por los recursos. Los períodos pueden ser definidos de acuerdo a las características del proyecto y pueden ser representativo de meses, trimestres u otro lapso.

Los bienes transables, son aquellos que se relacionan directa o indirectamente con el comercio internacional.

Los bienes no transables, son aquellos cuya producción no se vincula con el comercio exterior. Se pueden dividir en dos grupos.

CUADRO 6.1. Calendarizado de costos de inversión

CATEGORÍA DE COSTOS DE INVERSIÓN	BIENES NO TRANSABLES		BIENES TRANSABLES		PERIODOS (bimestres/trimestres/semestre/ otro)							
	NETO	BRUTO	NETO	BRUTO	1	2	3	4	5	6	7	8
BIENES EXISTENTES Y USADOS												
Terreno												
Otros bienes preexistentes												
EJECUCION OBRAS POR CONTRATOS												
Diseños												
Supervisión												
Construcciones												
Resumen Ejecución Obras:												
• bs. y servicios												
• M.O. Calificada												
• M.O. No Calificada												
MAQUINARIA Y EQUIPO												
Maquinaria												
Equipo												
OTROS												
TOTAL												

6.2.5. Costos de Operación

Terminado el período de ejecución de la inversión, que en el ejemplo de las obras de agua potable correspondería a tenerla terminada y lista para su funcionamiento, comienzan a hacerse presente los costos de operación o de funcionamiento, que son los que permiten que el proyecto cumpla en forma directa con los objetivos para los cuales fue formulado el proyecto.

Siguiendo este mismo ejemplo, se puede establecer que los costos de operación o funcionamiento surgen de la aplicación de los siguientes recursos que se consumen en un período determinado (un mes, un trimestre, pero siempre en menos de un año):

- Mantenimiento de bomba (engrase, cambio de mecate) .
- Limpieza de pozo.
- Reparación de bomba.
- Productos químicos (cloro).
- Rehabilitación de cerco.

De la misma forma en que se agrupan los costos de inversión, se agrupan los costos de operación. El período durante el cual se generan los costos de operación es equivalente a la vida útil del proyecto, es decir, durante todo el período en que se generan los beneficios e impactos directos del proyecto.

Normalmente el período de operación de un proyecto deja de ser conocido como proyecto y se le reconoce como una institución propiamente tal. El formulador de proyecto debe tener la suficiente capacidad para diseñar el funcionamiento de las obras de agua y saneamiento y por lo tanto estimar los costos en que se incurrirá cada año. Obviamente que mientras más lejano en el horizonte se encuentre el costo a estimar, más débil es la exactitud de dicha estimación. Una forma de simplificar las estimaciones es considerar un perfil parejo de costos para el futuro (entendiéndose como promedios), sin perjuicio que debe tenerse presente que para los proyectos de inversión es aplicable el

concepto de “ley de la vida” en donde todo ente nace, crece, madura, envejece y muere.

Un formato para estimar los costos de operación de un proyecto durante su vida útil se presenta en el cuadro No.6.2. En este cuadro se anotan en forma agrupada los costos que corresponden a cada categoría, ya definidas en el cuadro general de costos de los insumos, separando los que correspondan a bienes o servicios no transables y transables, y dentro de cada uno de éstos, el valor neto (sin impuestos) y el valor bruto (con impuestos y aranceles cuando corresponda). La vida útil del proyecto debe ser definida por el formulador del proyecto y por tal motivo el período a considerar es variable. En todo caso, dada la dificultad de estimación a más de 10 años, es recomendable trabajar a precios reales.

Cuadro 6.2. Calendarizado de costos de operación

CATEGORÍA DE COSTOS DE OPERACIÓN	BIENES DEL PAÍS		BIENES. IMPORTADOS		PERIODOS (AÑOS)										
	NETO	BRUTO	NETO	BRUTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
SERVICIOS PERSONALES															
• Personal calificado															
• Personal no calificado															
SERVICIOS NO PERSONALES															
- servicios básicos															
- mantenimiento, rep. y limpieza															
- servicios técnicos															
- servicios comerciales															
MATERIALES Y SUMINISTROS															
- productos químicos (cloro)															
- Otros materiales y suministros															
OTROS COSTOS DE OPERACIÓN															
TOTAL															

6.3. Beneficios del proyecto

Todo proyecto de inversión que se pretenda ejecutar no tiene sentido si no genera beneficios que sean mayores que los costos que implica conseguirlos. Más aún, todo costo que se aplique en un proyecto debe ser consistente con los objetivos establecidos, los cuales se concretan en beneficios. Sin embargo, el análisis de beneficios es una materia compleja en tanto surgen dificultades en varios planos: en la identificación, en la medición o cuantificación, en el momento en que se producen, en los beneficiarios que se apropian de los beneficios.

6.3.1. Identificación de Beneficios

Los beneficios de un proyecto están en estrecha relación con los problemas detectados en un inicio y que han dado origen a los objetivos planteados en el proyecto (alternativa seleccionada).

Beneficios de un proyecto de agua potable y saneamiento:

- a) Disminución tiempo ocupado en acarreo de agua

- b) Mejorar el abastecimiento de servicios sanitarios para reducir las enfermedades que derivan de la falta de agua o del empleo de aguas infectadas.
- c) Aumento de la cantidad de agua disponible, satisfacer el crecimiento de la demanda de agua.
- d) Acceso a agua potable segura y limpia; acrecentando el bienestar económico y social y, mejorando la efectividad económica en el aprovisionamiento de los servicios.
- e) Aumento en la continuidad de la disponibilidad de agua.
- f) Mayores posibilidades productivas (cultivo y forestación por ejemplo)

Estos beneficios son válidos tanto para los usuarios en forma individual como para el país como un todo.

6.3.2. Clasificación de los Beneficios

Los principales beneficios económicos del sector agua potable y saneamiento rural pueden ser clasificados para su cuantificación de la siguiente forma:

- a) Capacidad de pago para el servicio.
- b) Beneficios para la salud pública.
- c) Incremento en el valor de la propiedad.
- d) Mejoramiento posibilidades productivas.
- e) Otros beneficios no cuantificables.
- f)

En cuanto a su cuantificación, es posible afirmar que existen:

- a) Beneficios que son cuantificables económicamente de una manera tradicional** (por similitud con una o más poblaciones de similares ingresos y características que ya cuentan con el servicio y, que tienen un patrón de consumo determinado).

Beneficios para el Estado por disminución en el gasto en salud ocasionado por enfermedades de origen sanitario.

El problema aquí normalmente es contar con la información sobre porcentajes de reducción de enfermedades en localidades y sobre los costos que ocasiona a la sociedad cada enfermedad. Este método permite, al otorgar un valor específico a los beneficios y, contando ya con los costos, el cálculo del Valor Actual Neto del Proyecto (VAN).

- b) Beneficios que es posible estimar su valor por el método de cálculo de disponibilidad a pagar de los usuarios.**

Este método cuenta con determinadas herramientas cuya base es una encuesta a los usuarios, la cual los pone en el escenario de pago por disponer del servicio. Con esta información se sabe la valoración que estos usuarios le dan al servicio. Este método de cálculo debe ser hecho por personal especializado en este tipo de encuestas o entrevistas ya que la información no es fácil de obtener sin elementos que la puedan distorsionar.

c) Beneficios que no es posible cuantificar económicamente

Como son las mejoras en calidad de vida por posibles mejoras en la productividad, en la disponibilidad de servicios varios, etc. Además de disminución en la morbilidad, lo cual ya involucra salvar vidas humanas. El criterio que aquí impera es el de necesidades básicas que corresponde prestar a la sociedad, logrando la mayor eficiencia al mínimo costo. Aquí el supuesto es que las distintas soluciones planteadas tienen un beneficio similar y por ende la elección es por mínimo costo.

d) Beneficios ambientales.

Para la valoración de los beneficios ambientales, existen varias alternativas. Sin embargo, la valoración contingente y los procedimientos de valoración directa, en particular, tienen un amplio espectro de utilización (pueden ser usados para determinar otro tipo de beneficios), la confiabilidad es mayor en esas técnicas. Por lo tanto, se sugiere desplegar un mayor esfuerzo en desarrollar las condiciones para aplicar estos procedimientos. Estos métodos sirven también para medir los costos ambientales. La valoración de los impactos ambientales se da por tres procedimientos:

- Buscar un bien mercantil en que el precio se suponga esté influido por alguna variable ambiental.
- Crear un mercado en el que el valor del bien ambiental se determina a partir de cuestionarios mediante los cuales se pregunta a la gente, conforme a técnicas más o menos elaboradas, cuanto está dispuesta a pagar por tal bien o si aceptaría una compensación por perderla.
- Frecuentemente se requiere un paso previo para aplicar alguna técnica de valoración, y consiste en determinar la relación entre dosis y respuesta. Una vez establecida esta relación, se valora el daño por alguna de las técnicas anteriores o, en el caso que el bien deteriorado tenga un precio de mercado se calcula directamente.

6.4. Alternativa Metodológica de Cálculo de Beneficios por Concepto de Cobro de Tarifas

Los beneficios privados que se generan son aquellos beneficios monetarios, derivados del cobro de las tarifas de agua por el suministro a los consumidores.

Los beneficios sociales son aquellos que la comunidad y los consumidores perciben por el valor que asignan al agua suministrada. Ello se refleja en su disposición a pagar, por cada unidad marginal de agua consumida.

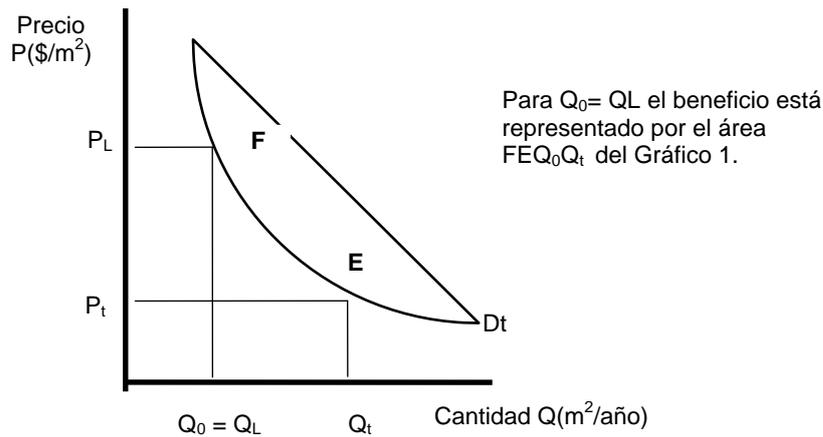
La medición de los beneficios sociales, o la disposición a pagar de los usuarios se efectúa determinando la diferencia entre la cantidad consumida con proyecto (cantidad t ; Q_t) y la cantidad consumida sin proyecto (cantidad 0 ; Q_0) a un determinado precio para cada cantidad.

Para el cálculo es posible distinguir dos casos, dependiendo de si la demanda sin proyecto es menor o igual que el consumo asociado al precio límite (precio límite/cantidad límite; P_l/Q_l).

Es posible suponer, que la curva de demanda por agua potable es de tipo hiperbólica, lo cual significa que la demanda del bien se define por su precio a una determinada elasticidad/precio de la demanda.

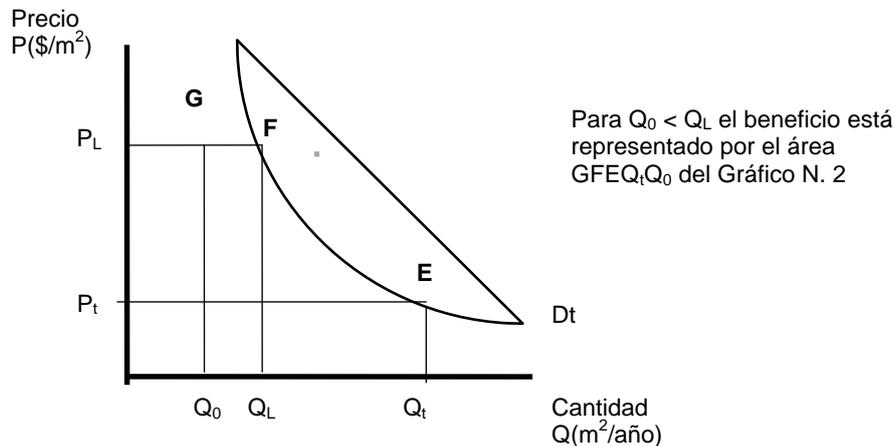
- 1) Cuando la cantidad consumida sin proyecto es igual al consumo asociado al precio límite.
- 2) Cuando la cantidad consumida sin proyecto es menor al consumo asociado al precio límite.

PARA $Q_0 = Q_L$



Gráfica 6.1: Curva de demanda hiperbólica

PARA $Q_0 < Q_L$



Gráfica 6.2: Curva de demanda hiperbólica

En el primer caso, el beneficio con el proyecto será mayor, ya que es posible suponer que con el menor precio del agua se incorporarán o aumentarán su consumo aquellos consumidores que no estaban dispuestos a hacerlo al precio anterior. Conceptualmente el precio límite, que es un parámetro que acota los beneficios del proyecto, representa la disposición máxima a pagar por disponer de agua, o el precio de la fuente alternativa de abastecimiento de agua.

Por otra parte si el nuevo sistema provee las Q_0 unidades de agua potable a un menor costo que en la situación sin proyecto, existirá una liberación de

recursos que se considera como beneficio del proyecto y debe sumarse al beneficio calculado anteriormente.

Cabe destacar que el ahorro de recursos y la cantidad consumida Q_0 son válidos siempre y cuando el sistema que se reemplaza es de calidad aceptable, y su ejecución significa realizar pequeñas obras como captación, estanque, y algún sistema rudimentario de distribución a las viviendas, o a pilones de fácil acceso.

Si existen sistemas alternativos como norias o vertientes en que las personas van directamente con vasijas o recipientes a la fuente en búsqueda de agua; dichas fuentes no son consideradas competitivas con el agua y el servicio que aporta el proyecto.

Por esta circunstancia, el ahorro de recursos no es importante y el valor de Q_0 es nulo. Por consiguiente, el beneficio será la valoración total por el servicio de agua del proyecto, correspondiente a la demanda de los consumidores.

6.5. Cálculo de Beneficios Según Disposición a Pagar de los Usuarios

Este método parte del concepto del beneficio económico, es decir de la cantidad que un usuario está dispuesto a pagar por un bien o servicio en lugar de pasarse sin él.

Los beneficios económicos que se le ofrecen a los dueños de casa sugieren el siguiente método para medir el beneficio:

- Inventariar los sistemas de eliminación de desagües existentes en la comunidad, de acuerdo al grado de calidad.
- Desarrollar o determinar costos que significan para la comunidad el no contar con servicios sanitarios de mejor calidad; desde problemas de olor, saturación del terreno, enfermedades infecciosas.
- Una medición de la disposición a pagar como voluntad de desembolso corriente y futuro para sistemas de desagüe.
- Cuando pocas casas tienen sistemas que ofrecen servicios comparables al de una letrina o fosa séptica, esta medida de la disposición a pagar puede estar dada por una encuesta del tipo "muestra" entre los propietarios usuarios en la comunidad.

6.6. Beneficios No Cuantificables

- Menor morbilidad y mortalidad por enfermedades de origen hídrico, considerando casos leves, moderados y graves.
- Vidas humanas salvadas por disponer de un adecuado servicio sanitario.
- Mejoramiento del nivel de vida
- Posibilidades de aumento de la productividad.
- Menor tasa de emigración.
- Mayor valor de la propiedad.
- Facilita el acceso a la disponibilidad de otros servicios.

En cuanto a una menor morbi-mortalidad; tradicionalmente se acepta en México, que la instalación de un servicio sanitario contribuye a reducir en un

40% aproximadamente la incidencia de las enfermedades de origen hídrico sobre la población beneficiada.

No existen estadísticas de morbi-mortalidad a nivel de cada localidad, razón ésta por la que muchas veces se utilizan para diversos fines las estadísticas nacionales sobre el tema con el convencimiento que subvaloran la morbilidad real ya que se refieren solamente a casos registrados en hospitales y centros de salud.

La Secretaría de Salud lleva actualmente las estadísticas por Centro de Salud y no por comunidad, por lo cual no es posible obtener de allí la información. Sería de gran interés, no sólo para proyectos de agua potable y alcantarillado el contar con algún tipo de registro de la información local en los centros de salud.

6.7. Los costos del Sistema de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales (SRRAR)

El costo total del SRRAR incluye todos los costos internos o privados de la producción y distribución del agua regenerada además de todos los costos externos, tales como los costos ambientales y sociales: Ver fig.6.2. Tradicionalmente los proyectos de regeneración y reutilización del agua han considerado solamente los costos privados y que actualmente son la base de información para el estudio del ciclo de vida del SRRAR.

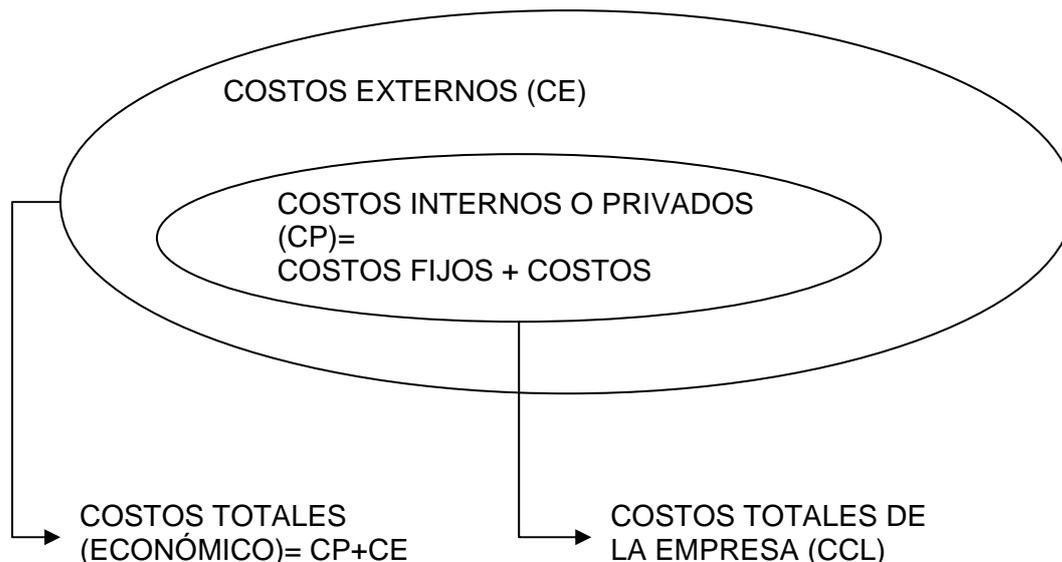


Fig.6.2. El costo del sistema de regeneración y reutilización de aguas residuales y sus componentes

6.7.1. Los costos del Sistema de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales están conformados por:

Los costos de inversión que corresponden a todos aquellos bienes que es necesario adquirir inicialmente durante la vida útil del proyecto para cumplir con las funciones de regeneración y reutilización del agua residual. Los principales componentes del de inversión para un SRRAR son: 1) Terreno, 2) Obra Civil, 3) Maquinaria y Equipo principal e 4) Instalaciones y Obras de conexión. Los costos financieros que corresponden a los intereses monetarios

que deberán pagarse por el financiamiento de capitales para poder realizar la implantación del **Sistema de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales**. Los costos de explotación y mantenimiento son todas aquellas partidas directamente relacionadas con el funcionamiento de la SRRAR, se dividen en costos fijos y variables. Los costos fijos de explotación son aquellos que se generan como consecuencia de la operación del sistema, independientemente del volumen de agua regenerada. Los costos variables de explotación son aquellos que están directamente asociados con la producción del agua regenerada, varían en proporción directa al volumen producido.

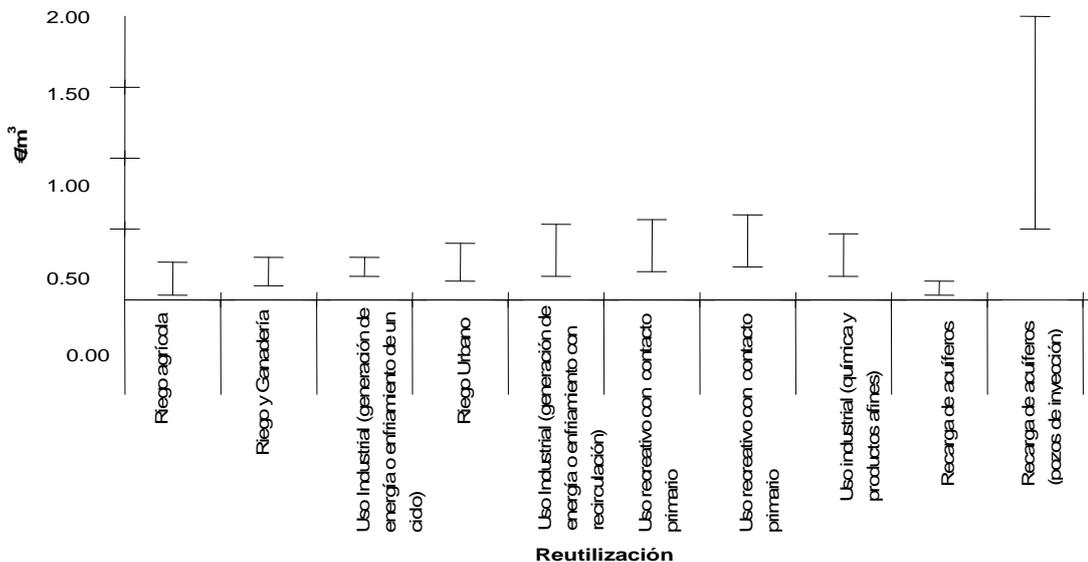
Cuadro No.6.3. Costos de inversión y explotación para varios sistemas de tratamiento en los EE.UU.

Sistemas de tratamiento de aguas residuales	Ciclo de vida de los costos (€/m ³)		
	37000	19000	3800
	m ³ /día	m ³ /día	m ³ /día
Tratamiento primario			
Capital	0.19	0.07	0.05
Explotación y mantenimiento	0.08	0.06	0.05
Total	0.27	0.13	0.10
Fangos activados convencionales y desinfección de cloro			
Capital	0.40	0.19	0.16
Explotación y mantenimiento	0.15	0.10	0.10
Total	0.55	0.29	0.26
Biofiltro combinado con fangos activados y desinfección con cloro			
Capital	0.43	0.20	0.17
Explotación y mantenimiento	0.17	0.12	0.11
Total	0.60	0.32	0.28
Aireación prolongada, coagulación-floculación, filtración y desinfección con cloro			
Capital	0.37	0.17	0.16
Explotación y mantenimiento	0.17	0.11	0.11
Total	0.54	0.28	0.27
Aireación prolongada, mezclador en línea, filtración y desinfección con cloro			
Capital	0.46	0.22	0.20
Explotación y mantenimiento	0.19	0.13	0.13
Total	0.65	0.35	0.33
Aireación prolongada con remoción de fósforo, mezclador en línea, filtración y desinfección con cloro			
Capital	0.47	0.24	0.23
Explotación y mantenimiento	0.37	0.31	0.30
Total	0.84	0.55	0.53
Proceso Bardenpho			
Capital	0.50	0.28	0.25
Explotación y mantenimiento	0.15	0.11	0.11
Total	0.66	0.39	0.36

Cuadro No.6.3. Costos de inversión y explotación para varios sistemas de tratamiento en los EE.UU. Continuación.

Sistemas de tratamiento de aguas residuales	Ciclo de vida de los costos (€/m ³)		
	37000	19000	3800
	m ³ /día	m ³ /día	m ³ /día
Aireación prolongada, mezclador en línea, filtración directa, contacto con carbón activado y desinfección con cloro			
Capital	0.60	0.34	0.33
Explotación y mantenimiento	0.46	0.38	0.37
Total	1.06	0.72	0.70
Fangos activados, coagulación-floculación con cal, filtración, recarbonización, osmosis inversa y desinfección con cloro			
Capital	0.88	0.58	0.55
Explotación y mantenimiento	0.69	0.55	0.53
Total	1.57	1.13	1.08
Los costos de capital son amortizados con base en un ciclo de vida de las instalaciones de 20 Años y una tasa de descuento del 10%. Tipo de cambio 1 dólar = 0.7705€ en 2007			

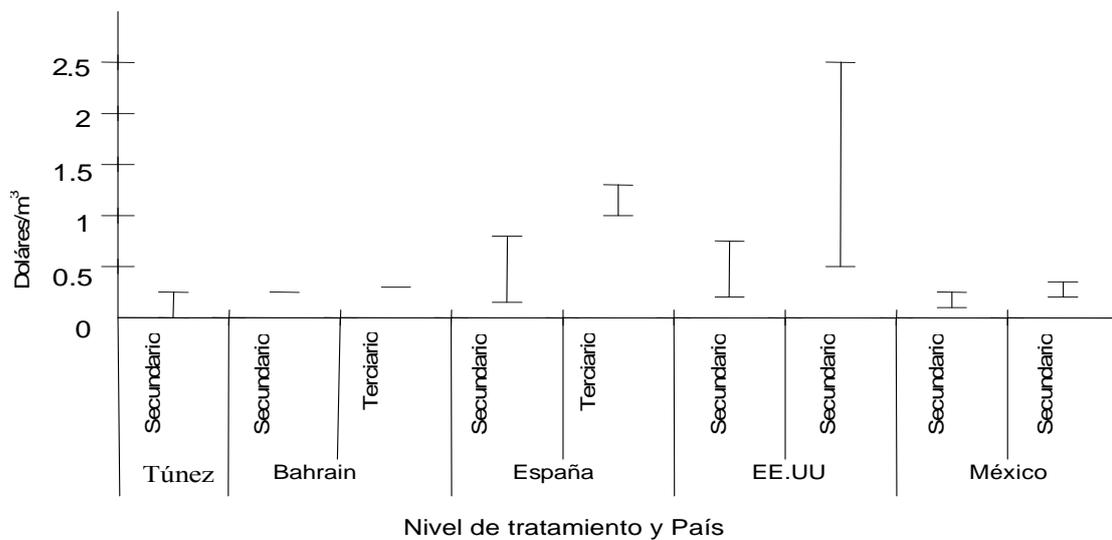
La gráfica 6.3 presenta un resumen de los rangos de fluctuación de los costos totales de diversas alternativas de reutilización (conforme con los criterios de calidad establecidos en California, EE.UU. para la reutilización de agua regenerada). Estos valores han sido obtenidos durante los 20 años de experiencia en la implantación de proyectos de regeneración y reutilización de agua en el estado de California. Como se puede apreciar, las reutilizaciones industriales y de recarga en inyección directa presentan fluctuaciones significativas, esto se debe a la variedad de tecnologías existentes que permiten obtener una calidad de agua aceptable para estos usos. Es importante hacer notar la diferencia tan grande que existe en el costo de la reutilización del agua regenerada para la recarga de los acuíferos según el método empleado. En promedio llega a ser 12 veces más cara la recarga directa la recarga indirecta o por infiltración.



Gráfica 6.3. Costos totales de agua regenerada según su reutilización en E.UU (2007).

Los costos en los sistemas de regeneración en los EE.UU, tienen la siguiente distribución: 24% del costo corresponde al tratamiento primario, 40% al tratamiento secundario, 22% al tratamiento de los fangos y 14% a la infraestructura administrativa y de control.

La gráfica No.6.4 presenta los costos totales, en diferentes países, para sistemas de regeneración de nivel secundario y terciario. La variabilidad de los costos es significativa, sin embargo, se aprecia que en los países más tecnificados el costo de agua regenerada es mayor que en los países en vías de desarrollo.



Gráfica.6.4. El costo de los sistemas de regeneración en diferentes países

Es importante llegados a este punto establecer la siguiente reflexión, Hasta ahora se ha definido, el agua regenerada como el resultado de someter el agua residual cruda a una serie de procesos que conllevan al cambio de sus características iniciales y que permiten la reutilización de la misma. Estos procesos tienen unos costos de inversión, explotación y mantenimiento, sin embargo, el pago de estos costos estará dado por dos entes: 1) el de la generación de agua residual y, por tanto, responsable de su descontaminación y 2) el sujeto interesado en la reutilización del agua con cierta calidad para satisfacer sus necesidades.

El tratamiento y la disposición de las aguas residuales han sido pagados tradicionalmente por la ciudad que produce las aguas residuales. La irrigación con aguas residuales introduce un nuevo componente económico en la fórmula: los agricultores que se beneficiarán de las aguas residuales regeneradas. Los agricultores pueden comprar las aguas regeneradas del sector urbano, o invertir en el SRRAR, o cubrir los costos operacionales y de mantenimiento. Hay diversos esquemas potenciales entre los sectores urbanos y rurales. Esto significa que los costos totales para la regeneración y reutilización de las aguas residuales son compartidos de alguna manera por ambos sectores:

- Para el sector urbano esto significa una reducción de los costos del tratamiento de las aguas residuales.
- Para el sector rural esto significa un acceso a una fuente confiable del agua para la irrigación en un costo más bajo que el costo de importar el agua convencional de fuentes distantes.

Actualmente los sistemas de regeneración experimentan cambios tecnológicos muy importantes, por ejemplo, desde el desarrollo e implantación de la tecnología de membranas, la regeneración de aguas residuales ha modificado procesos de manera significativa como por ejemplo, la sustitución de la sedimentación secundaria por membranas sumergidas en el biorreactor. Esto tiene como ventaja ahorros de inversión y la disminución del tamaño del terreno, y en contraposición mayores consumos de energía y renovación periódica de las membranas.

Este hecho tiene un impacto importante en la determinación de la vida útil de los proyectos, pues si bien en lo que respecta a la obra civil se considera un tiempo de vida útil entre los 45 y 50 años, los equipos son de tan solo 15 años. Esto es una situación que deberá tenerse en cuenta en el momento de analizar los costos de inversión.

6.7.2. Los precios del agua regenerada

Los resultados de una investigación sobre las proporciones y las estrategias de tarifado utilizadas por 23 empresas de abastecimiento de agua de los Estados Unidos que explotan sistemas de agua regenerada. Las 23 empresas estudiadas corresponden a 5 estados de la unión americana: Arizona (5), California (7), Florida (10), Hawai (1) y Texas (3). La mayoría de las empresas estudiadas coinciden en que los mayores usuarios de agua regenerada son clientes de los llamados usos recreativos cómo campos de golf y parques, así como el riego en áreas verdes en escuelas. Otros usos incluyen plantas de producción de energía, lavado de coches y algunas aplicaciones comerciales. Cuatro de las empresas muestran un uso significativo de agua para riego en zonas residenciales. El número medio de usuarios de agua regenerada atendido por las empresas se sitúa en el rango de 1,000 a 2,500.

Once de las 23 empresas indican que su tarifa de agua regenerada se obtiene como un porcentaje de su tarifa de agua potable. El porcentaje varió entre el 50 y 100%, con una media aproximada al 75%. Esto es consistente con la filosofía de tarifado del agua regenerada en la que tarifa 1) se basa en una opción competitiva comparada (por ejemplo, la tarifa para agua potable); 2) es más baja que la tarifa de agua potable siendo así una alternativa viable y atractiva para ciertos consumidores y 3) ofrece un incentivo económico para el uso de agua regenerada, permitiendo potencialmente a una empresa retrasar expansiones costosas o el desarrollo de nuevas fuentes.

La recuperación del costo oscila desde una pequeña proporción hasta el 100% del costo total de regenerar y reutilizar el agua residual. La mayoría de empresas aparentemente recuperan el 75% del costo del agua regenerada, recuperando en casi todos los casos los costos de explotación. Sólo seis de las 23 empresas afirman basar las tarifas del agua regenerada en un estudio de costos del servicio. Los resultados del estudio indican que la mayoría de las empresas no recuperan sus costos, por lo que es necesario que los sistemas de agua regenerada sean subsidiados por otros clientes o por otros medios, dando lugar a subsidios cruzados difíciles de compensar.

Las subvenciones de los costos de agua regenerada pueden ser justificadas por distintas razones, basándose en los beneficios que los clientes tienen al recibir agua regenerada, entre los que podemos mencionar: un agua de mejor calidad, el reducir los vertidos de agua residual, una mayor disponibilidad de abastecimiento con agua potable y menores restricciones de riego durante periodos de sequía.

Actualmente muchas empresas han elegido basar sus tarifas de agua regenerada como un porcentaje de la tarifa de agua potable. Aunque esta estrategia puede ser efectiva para promocionar el uso de agua regenerada, el éxito de un programa de agua regenerada reside en el grado en que sea capaz de recuperar sus costos totales. Se considera que para que un sistema de agua regenerada sea competitivo con los sistemas de agua potable, estos deben ser siempre evaluados en igualdad de condiciones, es decir, contemplando en ambos casos la distribución del agua, ya que de lo contrario los sistemas de regeneración se encontrarán siempre en gran desventaja. Por su parte, reconoce que en Japón el precio del agua regenerada está en función de un porcentaje del agua potable, siendo este inferior al 100%. A escala nacional el agua regenerada tiene un precio de 2.99 USD/m³, mientras que el agua potable es de 3.73 USD/m³. Sin embargo desde un punto de vista económico, parece razonable que los costos deberán ser, cuando menos, la base del bien ofertado. Si, además, consideramos que tal bien puede resultar escaso en términos económicos, es decir, la demanda del bien a ese precio fuera superior a la oferta, la lógica de mercado lleva a valorar el bien sobre la base de su valor de escasez, por encima del citado valor de costo. Este hecho no hace más que reflejar la existencia de externalidades asociadas al consumo y a la producción de agua. Por tanto, el precio del agua no deberá formarse exclusivamente a partir de los costos asociados con su producción, sino que deberá considerar igualmente el precio de la propia agua, los efectos ambientales o externalidades asociadas con su producción y consumo y su costo de oportunidad. Es decir, el precio debería calcularse de manera que al menos todos los costos relacionados (incluyendo los ambientales que no presentan un reflejo en el mercado, por causas diversas) puedan ser recuperados.

6.8. Evaluación Económica-Social

Desde el punto de vista institucional, cada agente tiene sus propias expectativas frente a un proyecto (o alternativa): Considera los beneficios como el conjunto de bienes o servicios que deberá producir el proyecto y por medio del cual obtendrá la satisfacción de sus intereses particulares (por ejemplo, ingresos por venta de los que derivará un lucro financiero). Los costos para la institución están representados por lo que efectivamente tiene que desembolsar para preparar, ejecutar y operar el proyecto. Por lo tanto el balance financiero, igual a beneficios menos costos, es el resultado de una medición a precios de mercado.

La evaluación financiera y la económica presentan sus diferencias, el análisis financiero de un proyecto determina la utilidad o beneficio monetario que percibe la institución que opera el proyecto, en cambio el análisis económico mide el efecto que ejerce el proyecto en la sociedad. Estos conceptos diferentes se reflejan en las diferentes partidas consideradas como costos y beneficios así como en su valoración.

Con relación a los beneficios, cuando la institución construye y opera un camino bajo una concesión pública, sus beneficios están medidos por los ingresos que percibe por concepto de peaje. Desde el punto de vista de la sociedad, los beneficios corresponderán a una gama de ventajas que para el conjunto de agricultores de la región se derivarán de la situación con proyecto tales como: disminución de pérdidas de cosecha, ahorro en tiempos de transporte, incremento de la producción agrícola. También por el lado de los costos hay diferencias. Supongamos que una institución tiene que cerrar una vía pública para construir un edificio, y que la autoridad correspondiente le da permiso para hacerlo. Hay un costo que la institución no paga pero que se causa a los demás y que corresponde a la incomodidad ocasionada por la imposibilidad de uso de la vía durante la construcción. Aquí no se produce un costo financiero a la institución, pero sí se genera un costo para la sociedad.

Finalmente existen diferencias en cuanto a la valoración. La institución efectúa sus mediciones a “precios de mercado”, considerando entre otros, impuestos y subsidios.¹ Para la evaluación económica-social deberán establecerse unos precios que sean los adecuados para expresar lo que le cuesta a la sociedad (precios de eficiencia, precios sombra) los recursos asignados a un proyecto.

¿Pero qué son esos precios de eficiencia o precios sombra? Estos precios reflejan la verdadera escasez para la sociedad de los bienes y servicios o su costo de oportunidad.

Como es bien sabido, el objetivo de toda sociedad es aumentar su bienestar. Para ello la sociedad espera que las inversiones maximicen su aporte al nivel de bienestar y por tanto la evaluación económica-social de proyectos debe incorporar este propósito a su metodología de análisis.

El bienestar social se puede lograr por dos vías: se obtiene de manera directa cuando se producen bienes y servicios destinados al consumo, ya que el consumo incrementa el nivel de bienestar; se logra de manera indirecta cuando un bien se sustrae del consumo final y se utiliza como recurso para producir otros bienes que aumentarán el bienestar con su consumo en el futuro.

En este sentido, todo bien o recurso que se asigne a un proyecto implica su retiro del consumo (como bien o servicio, con lo que se sacrifica bienestar social); o su desvío como recurso, con lo que se sacrificará su contribución alternativa al bienestar que se obtendría de su uso potencial en otro proyecto o en otra actividad productiva.

Así surge el concepto de “**costo de oportunidad**”, entendido como el sacrificio que representa para la sociedad el uso de un recurso en el proyecto: lo que la sociedad deja de percibir como consecuencia de la asignación de un recurso al proyecto, al retirarlo de un uso económico alternativo. La sociedad “sacrifica la oportunidad” de darle otro uso al recurso si lo destina al proyecto (o a la alternativa).

6.8.1. Precios de Mercado y Precios Económicos-Sociales

Examinemos un ejemplo sencillo: Supongamos que el rubro “Maquinaria y Equipo” tiene un precio de 600,000.00 de los cuales 150,000 corresponden a

¹ Los pagos por transferencias directas tales como impuestos a la renta, la propiedad y los subsidios lo que hacen es redistribuir el ingreso nacional afectando positiva o negativamente la tesorería de gobierno. En suma es una transferencia de recursos de un sector a otro y no afecta a la sociedad como un todo.

impuestos indirectos. El precio de mercado para la institución será de 600,000.00

El precio para la sociedad en su conjunto será 450,000.00 ya que los impuestos son meras transferencias entre agentes internos del mismo sistema (del empresario o institución al Estado), por lo que los impuestos no se consideran como parte del costo económico (social).

Así como en el ejemplo anterior se ha presentado la influencia de un impuesto indirecto, hay otros tipos de incidencia que distorsionan los precios de mercado, como los aranceles, subsidios, diferencias en el tipo de cambio de las divisas, regulación de precio etc.

Los precios económicos (sociales) miden el costo alternativo de los recursos para la sociedad, estableciendo las divergencias que tanto a nivel de ingresos como de costos se manifiestan en una economía, atribuible en parte a las imperfecciones del mercado. Los precios económicos más utilizados son:

1. **Mano de Obra No Calificada.** El precio social de la mano de obra no calificada (PSMONC) como el precio mínimo por el cual los trabajadores no calificados estarían dispuestos a emplearse. El factor de ajuste para evaluación social (m) relaciona el precio social con el salario mínimo promedio (SMP).

PSMONC = PRECIO SOCIAL DE LA MANO DE OBRA NO CALIFICADA

$m = \text{PSMONC} / \text{SMP}$

Mano de Obra Calificada. El precio social de los servicios de mano de obra calificada (PSMOC) está de acuerdo con este enfoque, adecuadamente medido por el salario promedio efectivamente recibido por dicha mano de obra. Es decir, que el factor de ajuste para este concepto es igual a uno.

2. **Tasa Social de Descuento.** La tasa social de descuento de acuerdo al enfoque de desequilibrio parcial debe reflejar la rentabilidad social de las mejores inversiones del sector privado. La tasa social de descuento podrá conceptualizarse como un promedio ponderado de la productividad marginal de la inversión y de la tasa de preferencia intertemporal. Dada la relativa inelasticidad-interés de la oferta de los fondos ahorrados, la tasa social de descuento puede considerarse similar a la productividad social de la inversión. Según resultados de investigaciones realizadas, la tasa social de descuento durante los últimos cinco años ha tenido un promedio del 15%.
3. **Precio Social de la Divisa.** El precio social de la divisa es un promedio ponderado de los precios de oferta y de demanda de dicho recurso económico. En una primera aproximación de primer grado, el precio social de la divisa puede estimarse como un promedio simple de ambos precios.

En el cálculo de estos precios, es fundamental distinguir el concepto de bienes transables internacionalmente y no transables.

Los **bienes transables**, son aquellos que se relacionan directa o indirectamente con el comercio internacional.

Los **bienes no transables**, son aquellos cuya producción no se vincula con el comercio exterior. Se pueden dividir en dos grupos.

No Transables por Naturaleza o Restricción Física (mano de obra, transporte etc.).

No Transables por Restricciones Institucionales (fijación de cuotas, aranceles prohibitivos, etc.)

6.9. Estudio económico del sistema de regeneración y reutilización de aguas residuales (SRRAR).

La metodología del SRRAR esta conformada por 7 pasos que deberán realizarse para su aplicación, los cuales son: 1) Definición de los objetivos, 2) Definición del ámbito de estudio, 3) Los impactos del proyecto, 4) Identificación de los agentes implicados, 5) Estudio de las necesidades y posibilidades financieras, 6) Agregación de costos e ingresos y 7) Análisis de sensibilidad.

Una de las aportaciones más importantes de esta metodología es lo referente a la Identificación de los impactos del proyecto, pues en este punto se describen a detalle los impactos, tanto positivos como negativos, relacionados con los SRRAR. Los 6 grupos de impactos descritos son: 1) Infraestructura hidráulica, 2) Acondicionamiento y reutilización de contaminantes, 3) Uso del recurso, 4) Salud pública, 5) Medio ambiente y 6) Educación. Esta información se fundamenta en una revisión bibliográfica, consulta a expertos y en la experiencia profesional.

La metodología para el análisis técnico-económico de los SRRAR considera los impactos privados, así como los impactos externos del sistema.

Una parte fundamental de esta propuesta metodológica es la relativa a los impactos generados por los SRRAR. La práctica de regenerar y reutilizar aguas residuales conlleva una serie de impactos privados y externos, que no son valorados. Por ejemplo, impactos externos negativos como la afectación a terceros por la reutilización de aguas regeneradas o impactos externos positivos como la reducción de la contaminación de las masas de agua, la recuperación de materiales y energía, y/o el aumento de la disponibilidad de agua. Estos impactos en conjunto pueden provocar que regenerar y reutilizar las aguas residuales sea una actividad rentable desde el punto de vista económico.

La metodología para el análisis técnico-económico de los SRRAR tiene la finalidad de generar una herramienta que permita a los responsables de la toma de decisión, en el ámbito del sector hidráulico, emitir un juicio soportado tecnológicamente y económicamente para invertir o no en estos sistemas. Esta metodología evalúa los SRRAR, desde una perspectiva multidisciplinaria e interdisciplinaria.

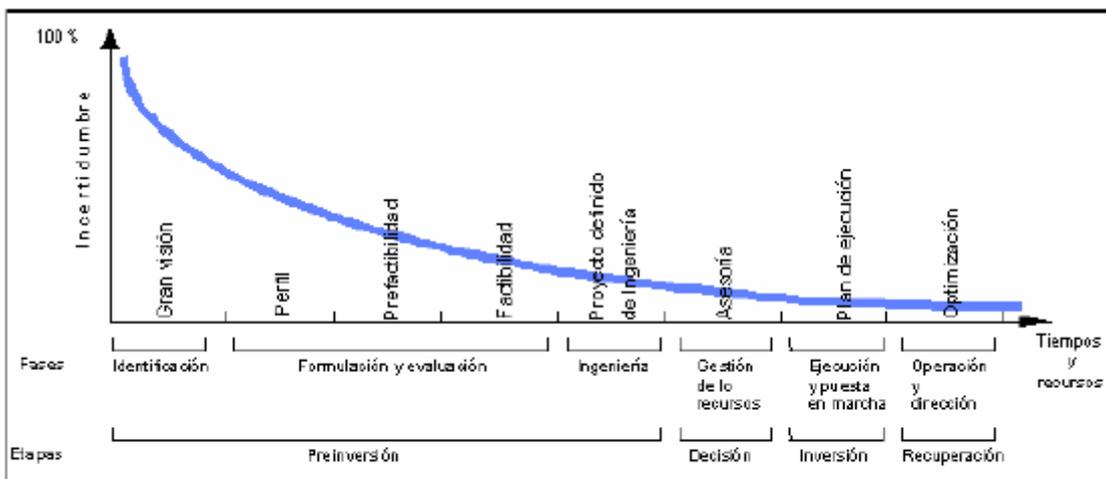
El objetivo principal es determinar la maximización de los beneficios del proyecto. Para lo cual se identifican y documentan una gran cantidad de impactos, tanto privados como externos que tienen efectos significativos sobre la viabilidad económica de los SRRAR.

La metodología persigue avanzar en el soporte metodológico que permita disminuir la incertidumbre y el riesgo de invertir en los SRRAR. Asimismo, esta

metodología puede ser aplicada en todas las fases de la vida útil del proyecto, de acuerdo con las etapas descritas en la siguiente gráfica.

Hasta ahora las evaluaciones económico-financieras realizadas a los SRRAR se han centrado en el proceso de una firma privada. Esta inversión se fundamenta en los siguientes puntos:

1. Solo los ingresos y costos privados que pueden ser medidos en términos financieros se incluyen.
2. La tasa de interés de mercado es la que se usa para el descuento del beneficio anual.
3. La restricción principal es la disponibilidad de fondos.



Nivel de análisis para los proyectos en regeneración y reutilización de aguas residuales (Nacional Financiera, 1997).

Gráfica 6.5. Nivel de análisis para los proyectos SRRAR.

6.9.1. Definición de objetivos

El objetivo del análisis técnico-económico es evaluar el SRRAR, mediante la maximización de la diferencia entre los ingresos y los costos asociados con la producción de agua regenerada.

La fig.6.3 describe esquemáticamente los pasos que deberán realizarse para la aplicación de esta metodología.

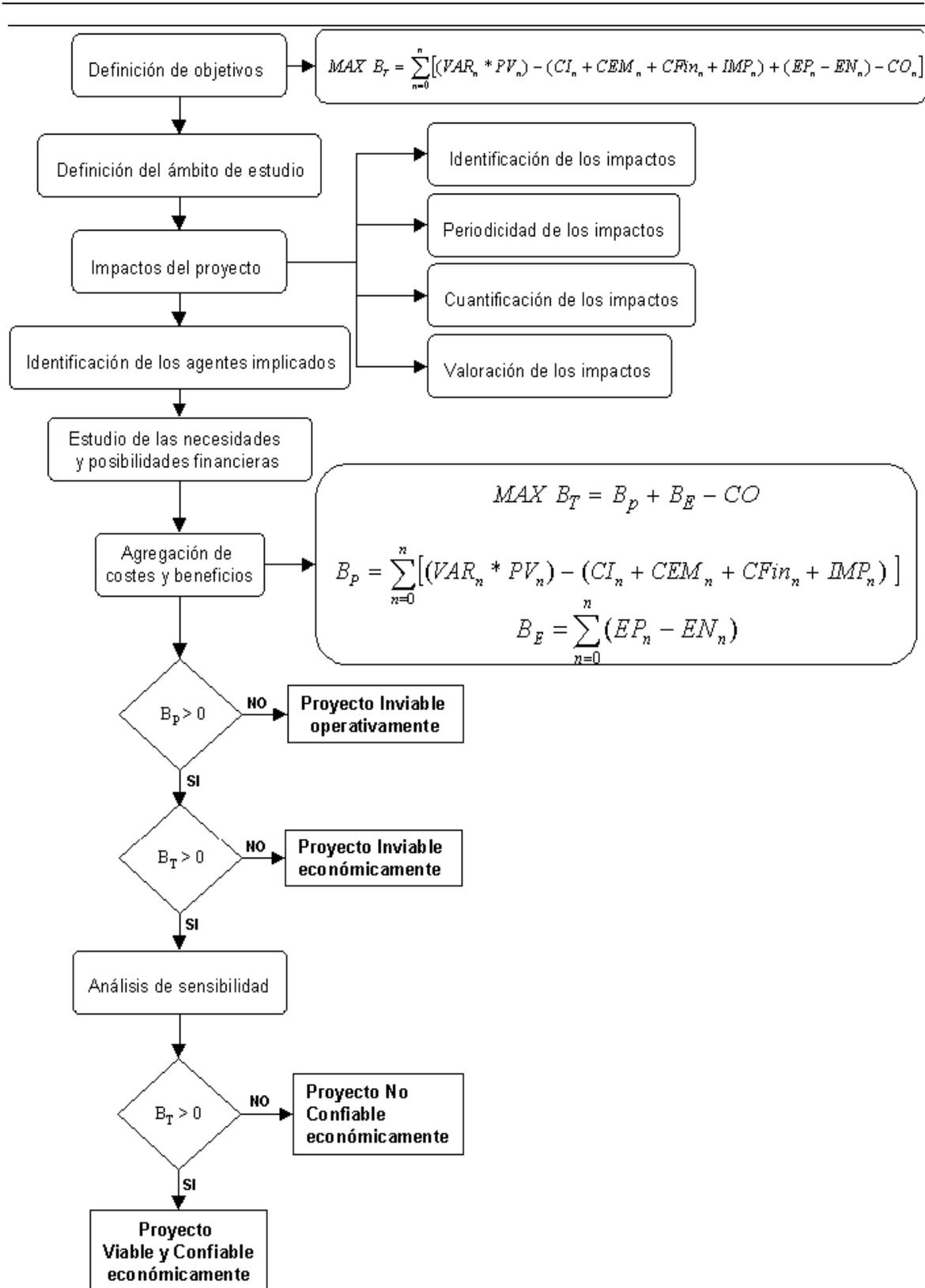


Fig.6.3. Etapas para el análisis económico de los proyectos de regeneración y reutilización de aguas residuales.

Esta maximización considera tanto los impactos privados como los impactos externos, tal y como se aprecia en la ecuación 1.

Este criterio de optimización económica fue seleccionado debido a su intuitiva interpretación, así como a su aplicabilidad en el tipo de problemas que se desean evaluar.

La función objetivo a optimizar es:

$$\text{MAX } B_T = \sum_{j=0}^n (\text{VAR}_j + \text{PV}_j) - (\text{CI}_j + \text{CEM}_j + \text{CFin}_j + \text{IMP}_j) + (\text{EP}_j - \text{EN}_j) - \text{CO}_j \quad (1)$$

donde:

B_T = Beneficio Total
 B_P = Beneficio Privado
 B_E = Beneficio de las externalidades
 VAR = Volumen anual de Agua Regenerada
 PV = Precio de Venta del Agua Regenerada
 CI = Costos de Inversión
 CEM = Costos de Explotación y Mantenimiento
 CFin = Costos Financieros
 IMP = Impuestos
 EP = Externalidades Positivas del impacto ep_j
 EN = Externalidades Negativas del impacto en_j
 CO = Costo de Oportunidad
 n = Año

6.9.2. Estudio de las necesidades y posibilidades financieras

De poco sirve el SRRAR más rentable que pueda imaginarse si no se puede financiar. Por lo cual es necesario considerar los costos financieros que implica la implantación y ejecución del proyecto, de lo contrario un excelente SRRAR desde el punto de vista técnico, sin tener en cuenta su financiación, sea inviable económicamente al incorporar los costos financieros. Determinar las fuentes y condiciones de financiamiento es un punto importante que deberá tomarse en cuenta antes de la agregación de los costos, así mismo las condiciones de financiamiento deben contemplarse como variables dentro del análisis de sensibilidad.

6.9.3. Agregación de costos e ingresos

En esta etapa, la agregación de los costos e ingresos nos permitirá llegar a una decisión sobre invertir o no en el SRRAR. Es importante tener claro en todo momento, que los costos e ingresos varían a lo largo de la vida útil del proyecto razón por la cual deberán ser homogenizados para poder ser comparables.

En la metodología aquí expuesta se propone expresar los costos e ingresos de tal manera que los resultados obtenidos sean en Unidades Monetarias por Unidad de Volumen (U.M./m³). Entendiendo que el ingreso es cualquier ganancia en utilidad (bienestar) y el costo es cualquier pérdida de la utilidad del proyecto.

6.9.4. Beneficio total

El objetivo central del análisis económico del SRRAR es la maximización del beneficio total. Esta maximización se obtiene de los beneficios del costo de oportunidad, de tal forma que la función objetivo a maximizar es:

$$\text{MAX } B_T = B_P + B_E - \text{CO} \quad (2)$$

donde:

- B_T = Beneficio Total (Ingresos totales-costos totales)
 B_P = Beneficio Privado (Ingresos privados-costos privados)
 B_E = Beneficio de las Externalidades (Ingresos externalidades-costos externalidades)
 CO = Costo de Oportunidad

6.9.5. Beneficio privado

El beneficio privado se obtiene de restar los costos privados (CP) al Ingreso Privado (IP). Este ingreso es resultado a su vez del producto entre Precio de Venta del Agua Regenerada y el Volumen de Agua Regenerada. Por otro lado, los costos Privados están formados por la suma de los costos de Inversión, conjunto de asignaciones que es necesario realizar para conformar la infraestructura SRRAR (CI), los costos de Explotación y Mantenimiento, que son aquellos costos producto del funcionamiento del SRRAR, siendo los más importantes la mano de obra, la energía, los reactivos químicos y los materiales fungibles (CEM), los costos Financieros (CFin) e Impuestos (I). Estos costos consideran tanto los costos de producción, como los que se generan por poner el producto (agua regenerada) en el punto de uso (reutilización).

El PMV se define como el precio mínimo al cual el agente debe vender el agua regenerada para garantizar la recuperación de los costos y el beneficio esperado, de tal forma que la inversión realizada sea rentable bajo el criterio del Valor Actual Neto (VAN). En un proceso de optimización y cuando el mercado presenta condiciones de competencia perfecta, se puede considerar a este costo por metro cúbico como una aproximación del Costo Marginal (CMg).

Para obtener el PMV hemos decidido recurrir a la técnica económica del Valor Actual Neto (VAN). La eficiencia se alcanza cuando el ingreso marginal es igual al costo marginal, lo que es equivalente a decir que el beneficio neto es igual a cero. Bajo este criterio buscamos determinar aquel PMV que satisfaga la condición de un VAN igual a cero. La fig.6.4, detalla el algoritmo utilizado para la determinación de PMV.

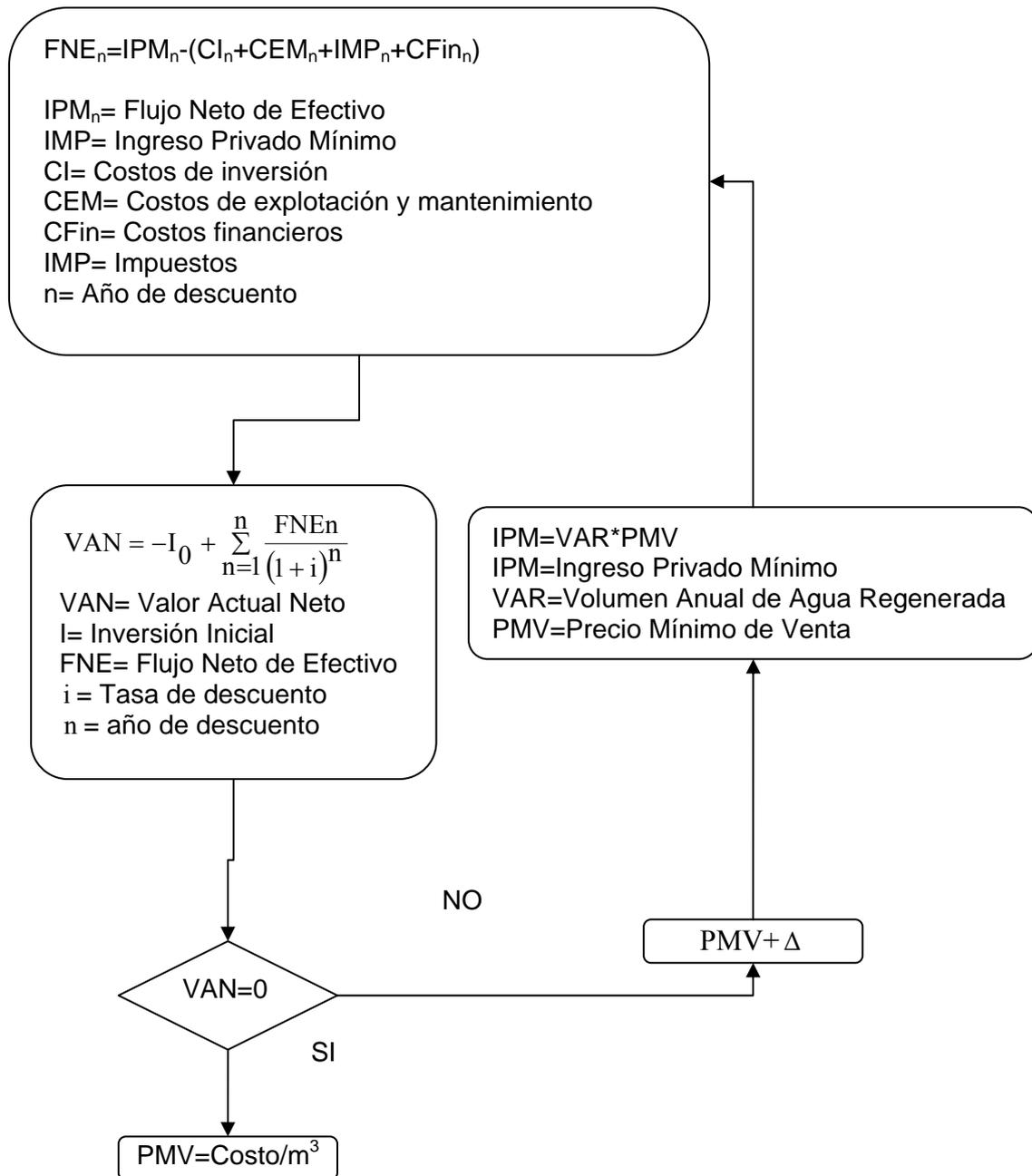


Fig.6.4. Algoritmo para la determinación de PMV

El problema al que se enfrenta el tomador de decisiones es a la selección de la tecnología más idónea. Así, cuando un mismo objetivo de calidad del agua se alcanza con dos o más alternativas tecnológicas, la decisión, racional para la selección será por la alternativa menos costosa monetariamente.

Como un primer paso para seleccionar la tecnología más adecuada, que permita reducir significativamente el universo de alternativas a evaluar, se propone utilizar el análisis costo eficiencia. Este método valora monetariamente los costos privados del SRRAR y los compara entre ellos, siempre y cuando tengan el mismo nivel de eficiencia. Dejando al responsable de la toma de decisión el optar por un determinado nivel de efectividad.

El criterio de selección estará dado por aquel SRRAR que presente el costo más bajo para una predeterminada exigencia de calidad del agua a reutilizar.

De tal forma, una vez establecido un criterio de calidad del agua para reutilizar, la tecnología seleccionada será la que presente el menor costo por metro cúbico (Costo/m³), de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Costo / m^3 = \text{Min} \{ Costo_1 / m^3, Costo_2 / m^3, \dots, Costo_T / m^3 \} \quad (3)$$

Siendo {Costo₁/m³, Costo₂/m³, ..., Costo_T/m³} el conjunto "t" de tecnologías con un mismo nivel de efectividad. La manera de determinar este costo por metro cúbico es el descrito en el algoritmo de la figura anterior.

Es importante dejar claro que, la técnica de costo-eficiencia ha sido elegida debido a que el objetivo es cuantificable, con la ayuda de un indicador de ciencia expresado en unidades de calidad del agua. Del análisis costo-eficiencia se obtiene un costo por unidad de volumen, sin embargo, esta técnica económica no da respuesta a la pregunta de saber si este resultado justifica el costo, esto solo se puede responder mediante la determinación del Beneficio Total (B_T). De tal forma que el Beneficio Privado estará dado por:

$$B_P = \sum_{j=0}^n \left[\left(VAR_j * PV_j \right) - \left(CI_j + CEM_j + CFin_j + IMP_j \right) \right] \quad (4)$$

B_p= Beneficio Privado
 VAR= Volumen de Agua Regenerada
 PV= Precio de Venta del Agua Regenerada
 CI= Costos de inversión
 CEM= Costos de explotación y mantenimiento
 CFin= Costos financieros
 IMP= Impuestos
 n= Año

Los impuestos aquí considerados, se refieren al pago del gravamen fiscal según fa base impositiva correspondiente a una empresa privada que proporciona el servicio de regenerar agua residual ylo distribuir agua regenerada.

Para el cálculo de los impuestos es necesario considerar la amortización o depreciación del capital invertido. Es importante tener presente que, estas amortizaciones sólo son útiles para determinar el beneficio a efectos fiscales y prever los pagos impositivos que correspondan y en consecuencia, para conocer la rentabilidad privada que obtendrá un agente individual determinado.

Siempre que se obtenga un Beneficio Privado (B_p) mayor de cero será garantía de que el SRRAR es operativo económico y financieramente desde el punto de vista privado.

6.9.6. Beneficio de Externalidades.

Además del beneficio privado, esta metodología propuesta considera incorporar las externalidades tanto positivas como negativas, en concordancia con las nuevas tendencias para el análisis económico en el sector hidráulico.

Estas externalidades se obtienen a partir de los impactos positivos y/o negativos que se generan con la implantación y explotación del SRRAR.

De manera que el Beneficio de las Externalidades (BE) estaría dado por:

$$BE = \sum_{j=0}^n (EP_j - EN_j) \quad (5)$$

Tal que:

$$EP = \sum_{j=1}^j (ep_j); \quad EN = \sum_{j=1}^j (cn_j) \text{ Para } j = 1, \dots, J \text{ impactos}$$

Donde:

BE= Beneficio de las Externalidades
 EP= Externalidades Positivas del impacto ep_j
 EN= Externalidades Negativas del impacto en_j
 n = Año

Las externalidades Positivas (EP) están dadas por la sumatoria de todas las ventajas. Estos impactos externos positivos deberán ser identificados, cuantificados y valorados económicamente en términos monetarios.

Las Externalidades Negativas (EN) son aquellos impactos negativos del proyecto expresados en unidades monetarias, en el caso de las EN su valor serán mayor o igual al Costo Ambiental (CA) de la tecnología seleccionada. Esto es,

$$EN \geq CA_i \quad (6)$$

Consideramos como Costo Ambiental de la tecnología seleccionada (CA_i), aquellos impactos negativos producto de la implantación del SRRAR. De manera genérica los CA para los SRRAR están dados por:

Los beneficios por las externalidades (BE), al igual que los beneficios privados (Bp), pueden presentarse de manera irregular a lo largo de la vida útil del proyecto, por esta razón deberán ser anualizados constantemente a lo largo del tiempo que dure el proyecto, de tal forma que el Beneficio de las Externalidades sea expresado en U.M/m³ de agua reutilizada, con el fin de hacerla equiparable al Beneficio Privado.

6.9.7. Costo de oportunidad

El concepto económico más fundamental del costo de oportunidad es el valor que ejerce un bien cuando se renuncia a su uso alternativo. El costo de oportunidad solamente puede presentarse en un mundo donde los recursos disponibles son limitados de modo que no todos pueden quedar satisfechos. Si los recursos fueran ilimitados todos podrían satisfacer su necesidad y el costo de oportunidad sería cero. Aunque la terminología varía, es útil hablar de costo de oportunidad privado en los casos donde se renuncia a las ventajas privadas de una acción; y costo de oportunidad social" cuando la gama de ventajas a las que se renuncia es mucho más amplia.

Así pues, el Costo de Oportunidad (Ca) para los SRRAR puede obtenerse a partir de dos condiciones principalmente:

1. Cuando existan varias alternativas para la reutilización del agua regenerada, el costo de oportunidad estará dado por aquel uso que proporcione el mayor rendimiento económico, siempre y cuando estos rendimientos sean más altos que los de un instrumento financiero.
2. Cuando no se cuente con usos alternativos para la reutilización del agua producida, el costo de oportunidad estará dado por el rendimiento que proporcione algún instrumento financiero al invertirlo costo de inversión, explotación y mantenimiento en este.

En particular, es importante destacar la necesidad del análisis en el costo de oportunidad del terreno destinado a la implantación del SRRAR, ya que tradicionalmente los terrenos seleccionados para la construcción de una estación de regeneración son considerados a costo cero, pues normalmente son terrenos cedidos por los gobiernos municipales, sin embargo, estas superficies en algunas ocasiones pueden tener usos alternativos que presenten una mayor rentabilidad.

Una vez determinados los beneficios privados, los beneficios de las externalidades y el costo de oportunidad, estos deberán ser conjuntados para determinar el beneficio total del proyecto, dando como resultado si el proyecto es viable económica y ambientalmente. Sustituyendo las ecuaciones 4, 5 y el CO en la ecuación 2 se obtiene la función objetivo final del SRRAR a optimizar:

$$\text{MAX } B_T = \sum_{j=0}^n (VAR_j + PV_j) - (CI_j + CEM_j + CFin_j + IMP_j) + (EP_j - EN_j) - CO_j \quad (7)$$

Es significativo destacar, que la exactitud del resultado es cuestionable en la realidad debido a que algunas de las variables pueden ser valores aproximados. De aquí, que la mejora para evaluar los impactos relacionados con la regeneración y reutilización de las aguas residuales se produce no solamente mediante avances metodológicos, sino también en la cantidad y calidad de datos utilizados. Esta mejora en la información es la que permitirá una toma de decisión mejor fundamentada. Para reforzar la validez de la investigación esta metodología considera el análisis de sensibilidad como un instrumento que disminuya el riesgo en la decisión.

7. ESTUDIO FINANCIERO

En este capítulo se expone un estudio financiero que mostrará la factibilidad financiera del flujo del proyecto a tasas diferenciales de mercado. El análisis financiero del proyecto es diferente de su análisis económico, aunque ambos conceptos están íntimamente relacionados. El propósito de la evaluación financiera es lograr apreciar la capacidad del proyecto para afrontar los compromisos asumidos para su financiamiento y para remunerar al capital propio aportado por la empresa o agencia ejecutora. Aunque la metodología formal de análisis a ser aplicada por el proyectista es la misma en el caso de la evaluación financiera que la correspondiente a la evaluación económica, en la evaluación financiera el contenido de los flujos de beneficios y costos debe dar una medida de rendimiento del capital aportado al proyecto por la empresa o agencia ejecutora del mismo. Lo anterior tiene el propósito de ponderar la capacidad del proyecto para cubrir los costos del mismo con los ingresos monetarios del proyecto. Si se demostrase la carencia de tal capacidad financiera, el proyectista debe considerar las diversas medidas promocionales, de tipo fiscal, crediticio o de otra naturaleza que hagan viable financieramente al proyecto, suponiendo que los mismos están justificados por el rendimiento favorable del proyecto desde el punto de vista de la economía en su conjunto.

7.1. Evaluación Financiera o Privada

La Evaluación Financiera consiste en una revisión de los flujos de efectivo a lo largo de la vida útil del proyecto. No supone un costo de capital para los flujos monetarios sin tomar en cuenta las tasas efectivas y pasivas de financiamiento. La tasa activa es aquella con la que la empresa se provee de fondos ajenos, mientras que la pasiva es el premio que recibe por sus depósitos en una institución de crédito. Normalmente, la tasa activa es más alta que la pasiva. La Evaluación Financiera toma en cuenta los flujos a tasas diferenciales. Además del análisis financiero que considera el financiamiento como la rentabilidad de los accionistas, existe el análisis financiero desde el punto de vista de la inversión total; en ésta no se consideran los gastos financieros y las amortizaciones, como es el caso de la evaluación desde el punto de vista del propietario o accionista del proyecto. En resumen, el análisis financiero desde el punto de vista de la inversión total, mide el mérito de la inversión propia y se diferencia de la evaluación económica por la valoración de los beneficios y costos a precios de mercado.

Para elaborar el flujo de caja financiero se necesita toda la información que se pueda obtener acerca del proyecto. El primer cuadro sería entonces uno que contenga la información básica del proyecto como: ingeniería y plan de ejecución, capacidad instalada y plan de producción físico, años de vida útil y años de liquidación, y por supuesto, los precios de mercado. A partir de ese cuadro de información básica, se derivarían los cuadros financieros que contienen: plan de inversiones por rubro, programa de préstamos, depreciaciones y amortizaciones, plan de liquidación, producción y ventas, compras de insumos, determinación de capital de trabajo e inventarios, estado de resultados, balances proforma.

7.2. Análisis Financiero

El análisis financiero es una evaluación que compara en el tiempo el gasto corriente y las inversiones programadas requeridas para la iniciación o

ampliación y mejoramiento de una empresa, así como para su operación y mantenimiento, contra la capacidad de endeudamiento y pago de la empresa; verificando que su solidez y rentabilidad cumplan con las expectativas de sus accionistas, a la vez que se mantiene una estructura de precios o tarifas que pagarán los consumidores de los bienes o usuarios de los servicios, y que permita mantener la demanda de esos bienes o servicios.

7.2.1. Objeto del análisis financiero

El análisis financiero es la evaluación de un conjunto de cálculos cuyos resultados se plasman en una serie de documentos contables o financieros que deben mostrar cuáles son los ingresos y gastos de la empresa, para verificar que los ingresos permitan cubrir todos los costos y que se generen utilidades para los socios de la empresa.

El análisis financiero sirve para medir la capacidad de endeudamiento y pago de la empresa, no depende únicamente de los pagos que efectúan los consumidores o los usuarios de los servicios, depende de la eficiencia con que se opere la infraestructura, instalaciones y equipos con que cuente, de la eficiencia de operación, de la eficiencia comercial y de la eficiencia de cobro.

El análisis financiero toma información de los diversos estudios que integran el expediente del proyecto de inversión; del estudio técnico se obtienen las necesidades de inversión, el importe de los costos de operación y mantenimiento esperados y la eficiencia con la que se espera operará la empresa; del estudio de mercado se obtienen el tamaño del mercado y la capacidad de pago de los posibles clientes, consumidores o usuarios.

Un resultado del análisis financiero es mostrar la solidez y rentabilidad de la empresa durante la vida útil del proyecto, es decir, muestra su situación financiera en cuanto a sus pérdidas y ganancias. Esto se evalúa mediante dos documentos contables: el balance general y el estado de resultados. En el primer documento se compara lo que se tiene contra lo que debe la empresa, y el segundo documento compara los ingresos contra los gastos.

El análisis financiero da respuesta a la posibilidad de implantar un Sistema de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales (SRRAR) y puede ser determinante para la viabilidad económica del proyecto. Los costos de inversión en este tipo de proyectos oscilan entre el 45% y el 75% del costo total, lo que en muchos casos puede ser la limitante para el desarrollo del proyecto. Obtener las cantidades de dinero que cubran la inversión inicial de los SRRAR puede conducir a un costo de intereses que ponga en riesgo la viabilidad económica del proyecto y por ende su ejecución.

7.3. Financiación Pública

Existen básicamente tres modelos de financiación pública. El primero es aquel en que los beneficiarios se comprometen a la devolución de una parte del costo a lo largo del periodo de amortización de las obras, que pueden cifrarse entre 25 y 50 años. En el segundo modelo, llamado "modelo alemán", la iniciativa privada financia la obra y al final de su ejecución el estado resarce los costos devengados. Finalmente el tercero, llamado "peaje a la sombra", acepta la financiación de la construcción y explotación de una determinada obra por parte del sector privado, a cambio de una concesión estatal de dicha obra durante un tiempo determinado para la recuperación de la inversión realizada.

7.4. Financiación mixta

Este esquema de financiación trata de transferir los recursos a otros entes, con el fin de no computarlos en el cálculo del déficit público. Entre estos entes podemos mencionar las nuevas sociedades estatales, cuya característica es que tienen ingresos por la venta de sus servicios, considerándose que estas ventas deben generar al menos el 50% de sus ingresos para que no generen déficit.

La diferencia sustancial entre el modelo tradicional y la Sociedad Estatal reside en el proceso de toma de decisiones y en la distribución de responsabilidades, ya que el modelo de Sociedad Estatal produce una descentralización y permite que la toma de decisiones sobre las obras la realicen los usuarios de manera clara y real. A cambio, se exige a los usuarios que estén dispuestos a impulsar y a financiar las obras que ellos mismos consideren pertinente realizarlas.

La otra gran ventaja es que los recursos aumentan debido a que la aportación es por partes iguales, de tal forma que si el estado aporta 100, en el global se dispondrá de 200, 100 por parte del estado y 100 por parte del usuario.

7.5. Financiación privada

Esta fórmula habrá de tener un gran desarrollo en el futuro para la ejecución de determinadas obras hidráulicas, como podrían ser el caso de los grandes abastecimientos de agua y la depuración de aguas residuales.

7.6. Análisis de Sensibilidad

Finalmente, es necesario evaluar la robustez que el proyecto tiene ante los posibles cambios en las variables económicas más importantes. El análisis de sensibilidad tiene como objetivo el observar cómo se modifica el resultado al variar marginalmente y por separado, el valor de cada uno de los parámetros que intervienen en el cálculo. Las posibles variables para realizar un análisis de sensibilidad son entre otras: 1) la tasa de descuento, 2) las condiciones del financiamiento, 3) el costo de oportunidad, 4) los costos de energía y reactivos y 5) el precio del agua regenerada.

7.7. Análisis financiero de regeneración y reutilización de aguas residuales

El aspecto económico es tal vez el menos abordado en las investigaciones sobre la regeneración y reutilización de las aguas residuales, debido a que en general sólo se considera uno de sus componentes, -los costos privados-, mientras que otros componentes, como los efectos externos (positivos y negativos) o el propio costo de oportunidad del agua se relega a una serie de pronunciamientos sobre las ventajas de realizar la regeneración y reutilización, hecho que tiene como consecuencia que en muchos casos sólo se realice un análisis costo eficiencia. Esto se puede deber, muy probablemente, a que los expertos en el ámbito de la regeneración y reutilización de las aguas residuales consideran difícil valorar los efectos externos, ya sean positivos o negativos, y expresarlos en unidades monetarias, ocasionado por falta de interacción con especialistas de otras áreas del conocimiento. Aunque los factores técnicos, ambientales y sociales son considerados en la planificación de los proyectos, usualmente los factores monetarios o técnicos dominan sobre los otros

factores, como los ambientales, sociales y culturales, cuando se realiza la toma de decisión para la implantación de estos proyectos.

Otro aspecto del análisis económico es que considera solamente los flujos de recursos invertidos en el futuro o derivados del proyecto. Las inversiones realizadas en el pasado son consideradas como costos a fondo perdido y son irrelevantes para la decisión de futuras inversiones. A través de ello, los intereses generados por las deudas en inversiones pasadas no son incluidos en un análisis económico. Un error muy común a este respecto es la confusión entre el precio del agua con el costo de agua.

Un concepto erróneo en el análisis económico es suponer inicialmente que la reutilización de las aguas regeneradas representa un costo más bajo que el de un nuevo suministro de agua. Esta suposición es generalmente cierta, solamente cuando las instalaciones del sistema de regeneración del agua residual están localizadas cerca del usuario potencial, como lo son las grandes superficies agrícolas o instalaciones industriales, evitando así el transporte del agua.

Los sistemas de conducción y distribución para el agua regenerada pueden representar el mayor costo en un proyecto de reutilización, y ser la limitante de la viabilidad económica de un SRRAR.

El proceso de toma de decisiones para implantar los sistemas de regeneración ha consistido en desarrollar una serie de alternativas y realizar su elección, conforme el criterio de la alternativa de menor costo, en lugar de un criterio de viabilidad económica, es decir, una evaluación que refleje los beneficios de realizar las acciones que justifican la inversión, la explotación y el mantenimiento de estos sistemas. En este contexto, cabe señalar que la reutilización es una opción más dentro de la gestión integral del agua, que puedes ser en algunas ocasiones una alternativa viable económicamente.

Se plantean 16 fases que deberían ser abordadas para lograr evaluar el proyecto. La siguiente tabla resume las fases planteadas y una breve descripción de cada una de ellas (sin implicar que el orden aquí presentado obedece al orden estricto de ejecución). A pesar de ser una metodología general de la evaluación de proyectos, ésta aporta elementos esenciales que no han sido considerados en el ámbito técnico de la regeneración y reutilización de las aguas residuales.

Cuadro.7.1. Análisis de la planificación general.

FASES	DESCRIPCIÓN
Definición de objetivos	Un proyecto será más o menos deseable en función de si contribuye a disminuir más o menos la distancia que separa la situación actual o statu quo de una situación ideal predefinida o de un punto que se ha tomado como objetivo para la sociedad en su conjunto.
Definición del ámbito de estudio	Se considera como ámbito de estudio al espacio físico, la duración temporal y el conjunto de agentes a tener en consideración. Los impactos que se producen dentro de este ámbito se consideran internos y, por tanto, computables, en tanto que los demás tienen el carácter de externos y, típicamente, no se toman en cuenta. Un proyecto puede plantearse de forma que sea de interés general o resulte muy especializado, con un alcance extremadamente limitado.
Detección de los impactos del proyecto	La complejidad y dificultad de esta tarea depende del tipo de proyecto del que se trate y de los objetivos que se persigan. Por regla general, se requerirá de un equipo de expertos en diversas disciplinas que sean capaces de identificar impactos.
Identificación de los agentes implicados	El determinar los impactos del proyecto permitirá identificar los agentes que resultan afectados, incluyendo aquellos que participen en la financiación. En una clasificación mínima, los agentes se distinguirán según sean consumidores o productores, agentes privados o gubernamentales y pertenezcan a una generación determinada, presente o futura.
Periodicidad de los impactos	Cada uno de los agentes involucrados en el proyecto recibe unos impactos que es preciso ubicar en el tiempo. Dado que cuanto antes se produzca un beneficio y cuanto más tarde se incurra en un costo, es mejor. Es importante indicar la fecha que corresponde a cada impacto.
Ámbito de influencia real del proyecto	El ámbito real queda delimitado por la unión de los ámbitos detectados para cada tipo de agente con una característica determinada. Analizar el ámbito real teniendo en consideración los propósitos del proyecto, es un ejercicio poco costoso que, en ocasiones, proporciona sorprendentes resultados.
Caracterización de los impactos	Caracterizar cada uno de los impactos como bienes económicos específicos y diferenciados, impactos con un doble objeto, poner a prueba los resultados obtenidos hasta ahora y facilitar el análisis posterior.
Delimitación de un ámbito de compromiso	En esta fase se constituye el ámbito definitivo en el que se enmarcará el estudio, tomando como punto de partida los diversos ámbitos que se han configurado. Se tienen en consideración, además, las restricciones que son relevantes en la práctica, restricciones que pueden ser de tipo cultural, administrativo o político, entre otras.
Cuantificación de los impactos	Los datos obtenidos hasta ahora son abstractos o cualitativos. Interesa saber lo que ocurre y en qué medida, de manera que habrá que tomar la relación de impactos periodificados por agente y cuantificarlos.
Valoración de los impactos	A partir del detalle de cantidades para cada impacto, agente y periodo, sólo falta una indicación de valor relativo, para obtener una relación de costos y beneficios periodificados junto con información acerca de cómo se distribuyen entre los distintos tipos de agentes. Cabe recordar la existencia de una multitud de técnicas de valoración, de entre las cuales se escogerá la más adecuada a cada problema específico.
Estudio de las necesidades y posibilidades financieras	De poco sirve el proyecto más rentable que pueda imaginarse si no se puede financiar.
Agregación de costos y beneficios	Los métodos clásicos para calcular la rentabilidad tales como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), son muy útiles, máxime cuando se deben analizar muchos proyectos relativamente pequeños y la tasa de inversión es aproximadamente igual a la tasa de reinversión.

Cuadro 7.1. Análisis de la planificación general. Continuación.	
Comprobación de la eficiencia de un proyecto	La eficiencia de un proyecto está siempre en cuestión y, como mínimo, se examinará una vez antes de tomar una decisión definitiva. Conviene preguntarse siempre si no fuese posible disminuir alguno de los costos sin merma del beneficio.
Valoración del entorno en el que se enmarca el proyecto	Es necesario tener en consideración los parámetros y variables más importantes del entorno en el que debe desarrollarse el proyecto. Con todo, conviene tener presente un aspecto que puede pasar desapercibido: el grado de eficiencia en suministros de bienes y servicios que de alguna forma están relacionados con los que genera el proyecto.
Análisis de sensibilidad	Con el análisis de sensibilidad se mide la importancia de cada uno de los parámetros que intervienen en el cálculo de la rentabilidad.
Retroalimentación	La evaluación de un proyecto cuando éste ya está en funcionamiento es extremadamente útil, tanto para mejorar futuros proyectos como para afinar los procesos de evaluación.

7.7.1. Análisis Económico-Financiero

La determinación de un factor de corrección menor que la unidad para los rubros de inversión y costos de operación hace que el valor actual de costos económicos sea menor que el financiero.

7.7.1.1. Indicadores de Evaluación

La evaluación de proyectos se realiza con el fin de poder decidir si es conveniente o no realizar un proyecto de inversión. Para este efecto, debemos no solamente identificar, cuantificar y valorar sus costos y beneficios, sino tener elementos de juicio para poder comparar varios proyectos coherentemente.

7.7.2. Análisis Costo-Beneficio

El análisis costo-beneficio es una comparación sistemática entre todos los costos inherentes a determinado curso de acción y el valor de los bienes, servicios o actividades emergentes de tal acción. El propósito esencial de esta comparación es someter a escrutinio los méritos de un curso de acción propuesto, por lo general un determinado acto de inversión, planteando la posible opción de escoger otros cursos de acción alternativos. El realizar estas comparaciones exige que el proyectista reduzca todas las alternativas a un mismo patrón común que sea cuantificable objetivamente.

7.7.3. Valor Actual Neto¹

Una inversión es rentable solo si el valor actual del flujo de beneficios es mayor que el flujo actualizado de los costos, donde ambos son actualizados usando una tasa de descuento pertinente.

Los beneficios económicos, tal como se ha señalado anteriormente, incluyen los beneficios directos, los indirectos, y las externalidades positivas; en el mismo sentido, los costos incluyen los directos, los indirectos, y las externalidades negativas.

¹ Cuando se habla de neto, se asume que los flujos en cada período pueden ser positivos o negativos. El neto se refiere a la diferencia entre los beneficios y los costos. Es decir, se suman los beneficios atribuibles al proyecto y se le restan los costos. El VAN incorpora automáticamente el valor del dinero en el tiempo.

El VAN se define como el valor actualizado de los beneficios menos el valor actualizado de los costos, descontados a la tasa de descuento convenida. Para obtener el valor actual neto se utiliza la siguiente fórmula:

$$VAC = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

C_t = Costo del proyecto en el año t .

t = Año, varía entre 0 y n .

0 = Año inicial del proyecto, en el cual comienza la fase de inversión.

r = Tasa económica de descuento.

Tasa Interna de Retorno

Se define como aquella tasa de descuento que hace igual a cero el valor actual de un flujo de beneficios netos, es decir, los beneficios actualizados iguales a los costos actualizados.

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

a. Criterio de Decisión

La TIR mide la rentabilidad económica del proyecto. Como criterio general, debe compararse la TIR del proyecto con la tasa de descuento económica

RESULTADO	DECISIÓN
Mayor (TIR > 15%)	Se acepta
Igual (TIR = 15%)	Indiferente
Menor (TIR < 15%)	se rechaza

El criterio de la TIR tiene dificultades, por lo que su uso debe siempre realizarse en conjunto con el VAN:

Si se produce más de un cambio de signo en los flujos, es posible más de una solución, es decir, puede haber varias TIR.

El criterio de la TIR supone que los fondos liberados por el proyecto se reinvierten a esa misma tasa, cuando lo lógico es suponer que se invierten a la tasa de oportunidad.

7.7.4. Relación Beneficio Costo

Como su nombre lo indica, es el cociente de los beneficios actualizados entre los costos actualizados, descontados a la tasa de descuento (15%).

Se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$B = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

C_t = Costo del proyecto en el año t .

t = Año correspondiente a la vida del proyecto, que varía entre 0 y n .

0 = Año inicial del proyecto, en el cual comienza la fase de inversión.

r = Tasa económica de descuento.

Se invierte en la alternativa con menor VAC

a. Criterios de Decisión

Como se trata de un cociente, el criterio de decisión es respecto de la unidad.

RESULTADO	DECISIÓN
Mayor (B/C > 1)	Se acepta
Igual (B/C = 1)	Indiferente
Menor (B/C < 1)	Se rechaza

b. Comparación entre Alternativas

Entre alternativas se escoge la de mayor B/C, siempre que sea mayor o igual que uno.

c. Proyectos que se excluyen mutuamente

Hay situaciones en que los indicadores de evaluación anteriormente señalados no son suficientes para tomar una decisión. Tal es el caso de elegir entre proyectos que se excluyen mutuamente, y cuando no es posible o al menos no es conveniente poner en ejecución más de una de las posibilidades.

Cuando hay que decidirse entre posibilidades que se excluyen mutuamente, la actualización de las diferencias ofrece un instrumento analítico conveniente para adoptar una decisión de inversión, y cuando se tiene una tasa social de descuento, se analizan los valores actuales netos de las posibilidades que se excluyen mutuamente a fin de elegir una de ellas. Para expresarlo en términos económicos, lo que se determina en realidad es el rendimiento marginal del costo marginal en que se incurre.

Dado que la TIR puede dar indicaciones erróneas en este caso, debe usarse el VAN incremental; la alternativa elegida debe ser la que tenga el VAN marginal más alto.

7.7.5. Análisis costo eficiencia

Eficiencia en el contexto de evaluación económica de proyectos cuyos beneficios no son fácilmente medibles, se refiere a la forma cómo se logran ciertos resultados dentro de un proceso con los insumos utilizados en el mismo. Un proceso es más eficiente cuando obtiene más resultados con un número específico de insumos, o el mismo resultado con menos insumos. Un proyecto es costo-eficaz cuando es eficiente técnicamente, y además, logra las metas al costo más bajo.

El análisis costo-eficiencia se usa para proyectos con un beneficio muy bien definido, donde la comparación de alternativas de proyectos se hace solo si estas generan el mismo beneficio.

El análisis costo-eficiencia es una medida adecuada para tomar decisiones en proyectos que producen bienes meritorios; en estos se acepta el supuesto de que la validez de los objetivos a cumplir no se cuestiona, también, se acepta el supuesto de que si existen alternativas que satisfacen los objetivos es porque estos generan los mismos resultados.

La minimización de costos para distintas alternativas de proyectos que producen el mismo beneficio se puede hacer calculando el valor actual de los costos de cada alternativa, usando la siguiente fórmula.

$$VAC = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

C_t = Costo del proyecto en el año t .

t = Año que varía entre 0 y n .

0 = Año inicial del proyecto, en el cual comienza la fase de inversión.

r = Tasa económica de descuento.

Se invierte en la alternativa con menor VAC.

El costo anual equivalente se obtiene a partir del valor actual de los costos, de la siguiente manera:

$$CAE = VAC * \frac{(1+r)^n * r}{(1+r)^{n-k+1} - 1}$$

8. CASO DE ESTUDIO: INGENIERÍA BÁSICA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CHILPANCINGO DE LOS BRAVO.

8.1. Introducción

En general, las aguas residuales consisten de dos componentes, un efluente líquido y un constituyente sólido, conocido como lodo. Típicamente existen dos formas generales de tratar las aguas residuales. Una de ellas consiste en dejar que las aguas residuales se asienten en el fondo de los estanques, permitiendo que el material sólido se deposite en el fondo. Después se trata la corriente superior de residuos con sustancias químicas para reducir el número de contaminantes dañinos presentes. El segundo método más común consiste en utilizar la población bacteriana para degradar la materia orgánica. Este método, conocido como tratamiento de lodos activados, requiere el abastecimiento de oxígeno a los microbios de las aguas residuales para realzar su metabolismo.

Los pasos básicos para el tratamiento de aguas residuales incluyen:

1. Pretratamiento—remoción física de objetos grandes.
2. Deposición primaria—sedimentación por gravedad de las partículas sólidas y contaminantes adheridos.
3. Tratamiento secundario—digestión biológica usando lodos activados o filtros de goteo que fomentan el crecimiento de microorganismos.
4. Tratamiento terciario—tratamiento químico (por ejemplo, precipitación, desinfección). También puede utilizarse para realzar los pasos del tratamiento primario.

Las tecnologías de precipitación, coagulación y floculación por lo general involucran sistemas de alimentación química complicados que a menudo se encuentran fuera del alcance tecnológico de los operadores de plantas de tratamiento de agua en las áreas más remotas. Mientras tanto, la filtración lenta con arena es utilizada más a menudo como una aplicación de agua potable, pero puede bajo condiciones propicias ser también utilizada para el control de aguas residuales, jugando un papel doble como un sistema de tratamiento biológicamente activo antes de alimentar las corrientes naturales de agua. Aún así, éstas también requieren un funcionamiento y mantenimiento cuidadoso.

En la actualidad, ya no solamente es necesario satisfacer la calidad físico-química del agua, sino que es necesario satisfacer una calidad microbiológica, de tal forma que, la reutilización de las aguas regeneradas no conlleve riesgos para la salud pública.

En la fig.8.1., se muestra el nivel de tratamiento, tipo de reutilización y procesos unitarios.

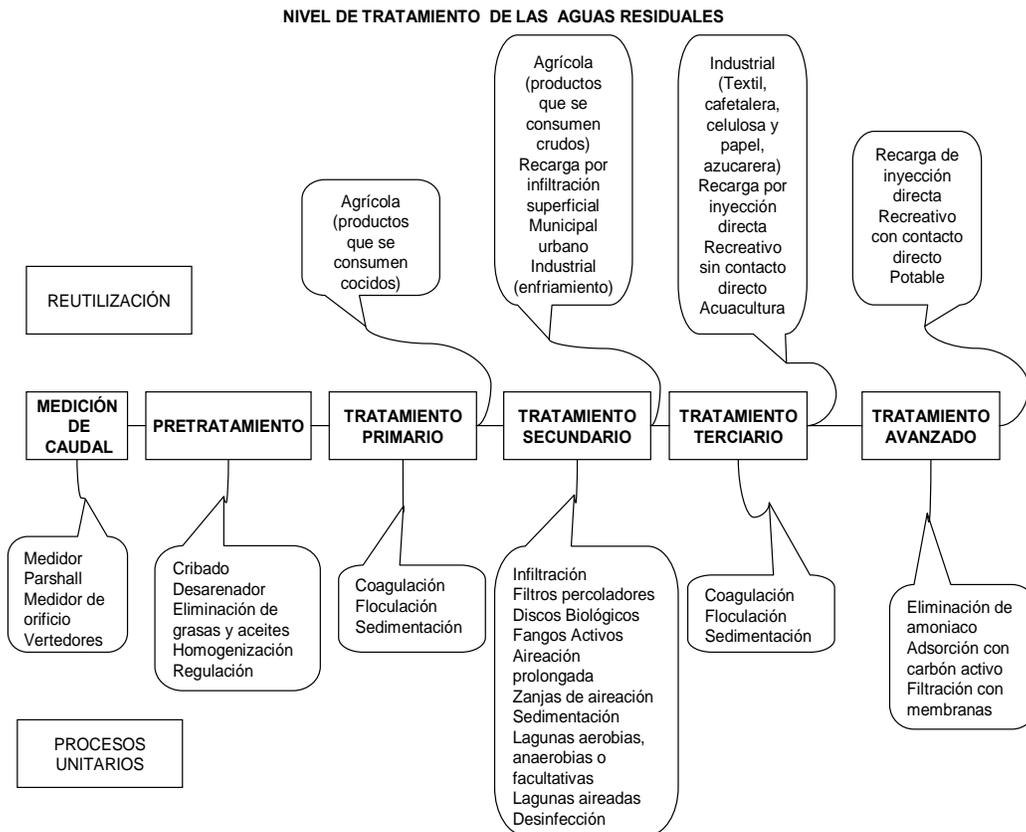


Fig.8.1. Nivel de tratamiento, tipo de reutilización y procesos unitarios

Para el caso de estudio la metodología que se siguió fue la siguiente:

1. Seccionar el río en donde descargan las aguas residuales municipales
2. Colocar estaciones de monitoreo en el río
3. Obtener muestras del río y analizarlas en el laboratorio
4. Con base en los criterios ecológicos de calidad del agua y las normas ecológicas de calidad del agua se analizan las muestras obtenidas en el laboratorio.
5. Determinar que estaciones de monitoreo tienen altos índices de contaminación.
6. Identificar que tramos en el río rebasan los límites de descargas y en el río para los aprovechamientos del agua residual municipal.

8.2. Diseño de la planta de tratamiento

El proceso de tratamiento que consideramos en el diseño está compuesto por varias etapas, la cuales se describen a continuación:

Tratamiento Primario

El tratamiento primario es para reducir aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos. Esta etapa consiste de procesos mecánicos, de ahí que sea conocida también como tratamiento mecánico.

Los elementos de la planta de tratamiento que corresponden al subsistema primario son los siguientes:

1. **Emisor de llegada**
2. **Elementos preparatorios**

Rejillas

Desarenadores para separar la arena

Vertedor, medidor o canal de aforo

Tanque de igualación para amortiguar las variaciones de las descargas de aguas residuales con el fin de tratar un gasto uniforme

3. **Tanques de sedimentación primaria para separar los sólidos suspendidos**

Tratamiento secundario

El tratamiento secundario está diseñado para degradar el contenido biológico de las aguas residuales que se derivan de la basura, jabones y detergentes. La mayoría de las plantas municipales e industriales trata el licor de las aguas residuales usando procesos biológicos aeróbicos. Los sistemas de tratamiento secundario se clasifican como de película fija o de crecimiento suspendido. En los sistemas fijos de película como los filtros de roca, la biomasa crece en el medio y el agua residual pasa a través de él. En el sistema de crecimiento suspendido como lodos activados, la biomasa está bien combinada con las aguas residuales.

Tratamiento terciario

El tratamiento terciario proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.) Más de un proceso terciario de tratamiento puede ser usado en una planta de tratamiento. Si la desinfección se practica en el proceso final, se denomina *pulir* el efluente.

8.2.1. Objetivos a cumplir en materia de saneamiento

En materia de saneamiento, se considera el tratamiento de las aguas residuales como un aspecto fundamental para evitar la contaminación de los cuerpos receptores de aguas nacionales. Para su control se tienen diferentes ordenamientos legales que conjuntamente con lo dispuesto en la Ley de Aguas Nacionales ayudan a la preservación del entorno ecológico y crean una nueva

cultura del agua. La normatividad vigente al respecto corresponde a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997. De esta Norma se tienen los siguientes datos de control de descargas.

Cuadro 8.1. Control de descargas

Fecha de cumplimiento a partir de:	Rango de población de las localidades:	Número de localidades (2586)
1 de enero de 2000	Mayor de 50,000 habitantes	139
1 de enero de 2005	De 20,001 a 50,000 habitantes	181
1 de enero de 2010	De 2,501 a 20,000	2,266

La norma NOM-002-ECOL-1996, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de junio de 1998.

La norma NOM-003-ECOL-1997, establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se rehúsen en servicios al público, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de septiembre de 1998.

A continuación se desarrolla un caso de estudio correspondiente al municipio de Chilpancingo de los Bravo, Gro.

8.3. Localización geográfica de Chilpancingo de los Bravo, Gro.

La extensión territorial distrital se puede dividir entre los cinco municipios que lo integran, en los siguientes términos:

Cuadro 8.2. Extensión territorial

MUNICIPIO	SUPERFICIE (KM ²)
Coyuca de Benítez	1,602.9
Chilpancingo de los Bravo	2,338.4
Juan R. Escudero	652.6
Leonardo Bravo	864.0
Tecoanapa	776.9
Total	6,234.8



Fig.8.1. Localización de Chilpancingo de los Bravo, Gro.

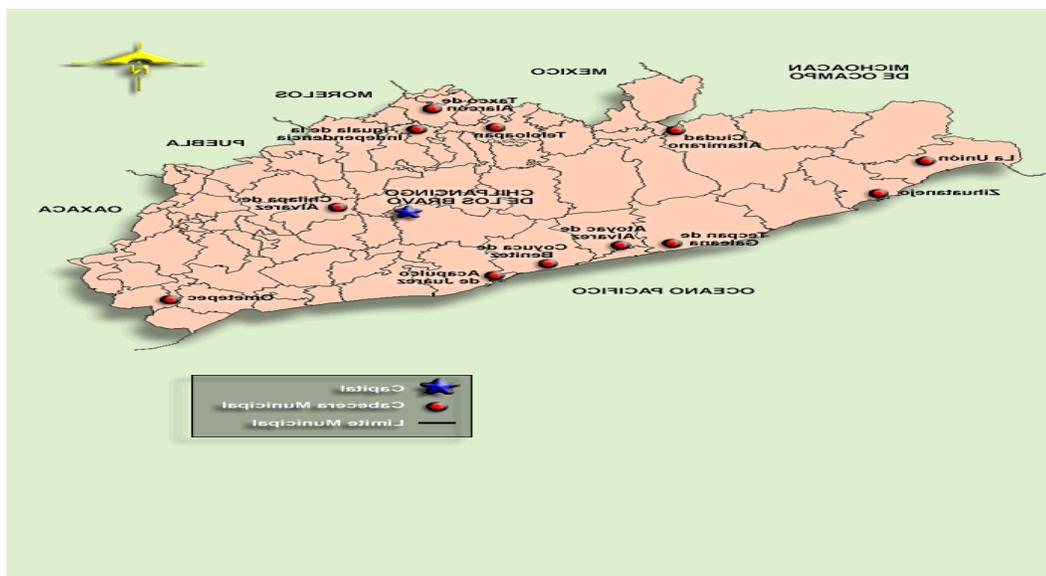


Fig.8.2. Chilpancingo de los Bravo, Gro

8.4. Geología

El material geológico en el estado de Guerrero es de origen predominantemente **sedimentario** (35.8%), le sigue el **metamórfico** (28.62%), la **ígnea extrusiva** (23.54%), la **ígnea intrusiva** (8.02%) y el **suelo** con 4.02%, de la superficie estatal. Las rocas más antiguas son metamórficas del Precámbrico con una edad aproximada de más de 600 millones de años, se ubican al sureste de la entidad, ocupan 16.28%; el Periodo Terciario queda representado en mayor proporción al noroeste, con rocas ígneas extrusivas, y hacia el noreste con rocas sedimentarias; los suelos del periodo Cuaternario, se ubican a lo largo de la costa central de la entidad. Cabe señalar que los suelos de este periodo como las rocas ígneas del anterior son los más jóvenes y pertenecen a la Era del Cenozoico (aproximadamente 63 millones de años) con 40.47% de ocupación territorial. La Era del Mesozoico cubre la mayor parte del estado; de sus periodos el más extenso es el Cretácico (135 millones de años aproximadamente) con 31.1%, le sigue el Jurásico (180 millones de años) con 9.77%, el Triásico (225 millones de años) con 0.90% y el Triásico-Jurásico (200 millones de años) con 0.30%; las principales rocas de estos periodos son de origen sedimentario (21.73%), ubicados al centro y norte del estado, metamórficos (11.27%) al centro y sur e ígneas intrusivas (7.86%), extrusivas (1.21%) al oeste-suroeste. La Era del Paleozoico (375 millones de años), cubre 1.18% de la superficie estatal, sus rocas son de origen metamórfico e ígnea intrusiva, se localizan al noreste del estado cerca del límite estatal con Puebla.



Fig.8.3. Mapa de Geología

8.5. Morfología

La complejidad morfológica que presenta el estado es el resultado de la combinación de procesos endógenos (fenómenos geológicos que tienen en el interior del globo terrestre) y fenómenos exógenos (fenómenos que se producen en la superficie del planeta, así como de las rocas que se han formado en ella).

Tradicionalmente en el estado de Guerrero se ha denominado Sierra al sector occidental y Montaña al sector oriental. Independientemente de otros factores que pueden tomarse en cuenta para esta diferenciación regional, la primera se caracteriza por la continuidad y altura de su filo mayor, donde se alinean una serie de cerros, mientras que la montaña presenta pocas alturas superiores a los 2,000 metros.

La Sierra Madre del Sur que se desarrolla a lo largo de 500 kilómetros, paralela a la costa pacífica, posee la característica de tener su cresta a una altitud de 2,000 metros, sin embargo cuenta con algunas elevaciones que sobrepasan los 3,000 metros sobre el nivel del mar, localizadas en el sector occidental y que constituyen las cumbres más elevadas de la entidad guerrerense. En resumen, el estado de Guerrero cuenta con una geomorfología accidentada donde las planicies, mesetas y valles no se encuentran fácilmente.

Cuadro 8.3. Elevaciones principales de la sierra madre del sur, superiores a los 3,000m.

Nombre	Nivel del mar (m)	Localización
Cerro Teotepec	3, 705	Límites: municipios de Heliodoro
Macizo de Tlacotepec (Los Alzados)	3, 198	Límites: municipios de Heliodoro Castillo, Chilpancingo y Atoyac
Macizo de Tlacotepec (Cerro del Yeladero)	3, 192	Límites: municipios de Heliodoro Castillo, Chilpancingo y Atoyac
Cerro Tejamanil o Cerro del Nudo	3, 189	Municipio Coyuca de Catalán
Yahuitepetl o Yohaultepec	3, 081	Municipio Leonardo Bravo
Cerro de San Pedro (el Baule)	3, 036	Municipio San Miguel Totolapan

8.6. Fisiografía

Guerrero está enclavado en dos Provincias Fisiográficas, la Sierra Madre del Sur, que abarca casi la totalidad del estado y el Eje Neovolcánico, que cubren una mínima parte. De la primera, son cuatro las subprovincias que constituyen este territorio: a) Cordillera Costera del Sur, en la franja central de este a oeste a lo largo del estado; b) Costas del Sur, que se extienden a lo largo de la línea de costa. En conjunto estas dos subprovincias fisiográficas ocupan más de las tres cuartas partes del territorio estatal; en menor proporción, c) Sierras y Valles Guerrerenses, al noreste, y d) Depresión del Balsas al norte y noroeste. De la

segunda provincia, la subprovincia Sur de Puebla se ubica al noreste en el límite con los estados de Morelos y Puebla.



Fig.8.5. Mapa de Fisiografía

8.7. Hidrología

Cuadro 8.4. Regiones y cuencas hidrológicas

Región	Cuenca	% de la superficie estatal
Balsas	R. Balsas-Mezcala	22.66
	R. Balsas-Zirándaro	15.09
	R. Balsas-Infiernillo	5.23
	R. Tlapaneco	5.53
	R. Grande de Amacuzac	2.75
	R. Cutzamala	2.39
Costa Grande	R. Atoyac y otros	8.80
	R. Coyuquilla y otros	5.54
	R. Ixtapa y otros	5.70
Costa Chica-Río Verde	R. La Arena y otros	0.27
	R. Ometepec o Grande	7.10
	R. Nexpa y otros	7.56
	R. Papagayo	11.38
FUENTE: INEGI. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, 1:1 000 000.		



Fig.8.6. Mapa de Regiones Hidrológicas

La información sobre las corrientes de agua es necesaria para estimar las trayectorias de los contaminantes. En el siguiente cuadro 8.6, se proporciona esta información.

Cuadro 8.5. Corrientes de agua

Nombre	Ubicación	Nombre	Ubicación
Balsas-Mezcala	R. Balsas	Guayameo	R. Balsas
Papagayo	R. Costa Chica-Río Verde	Copala	R. Costa Chica-Río Verde
Omitlán	R. Costa Chica-Río Verde	Petatlán	R. Costa Grande
Cutzamala	R. Balsas	Coyuquilla	R. Costa Grande
Santa Catarina-Quetzala	R. Costa Chica-Río Verde	El Coyol-Hacienda Dolores	R. Balsas
Amacuzac	R. Balsas	El Espíritu	R. Balsas
Tecpan	R. Costa Grande	La Laja	R. Costa Grande
Atoyac	R. Costa Grande	Petatlán	R. Balsas
Marquelia	R. Costa Chica-Río Verde	La Tigra	R. Costa Grande
Sultepec	R. Balsas	Río Grande	R. Costa Chica-Río Verde
Tlapaneco	R. Balsas	Las Trojas	R. Balsas
Bejucos	R. Balsas	Las Parotas	R. Balsas
Cocula	R. Balsas	Tehuehuetla	R. Balsas
Oxtotitlán	R. Balsas	Otatlán	R. Balsas
Los Placeres del Oro-Los Fresnos Grandes	R. Balsas	Nexpa	R. Costa Chica-Río Verde
Guadalupe	R. Balsas	San Luis	R Costa Grande
Santa Rita	R. Balsas	Yextla	R. Balsas
Acatepec	R Costa Chica-Río Verde	Las Pilas	R. Balsas
Tameaco	R. Costa Chica-Río Verde	Atempa	R. Balsas

FUENTE: INEGI. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, 1:1 000 000.
INEGI. Carta Topográfica, 1:1 000 000 (segunda edición).



Fig.8.7. Mapa con principales ríos.

8.8. Medio socioeconómico

8.8.1. Población

A continuación se enlistan los datos desagregados de la población distrital, formada por 349, 547 habitantes, los cuales representan el 11.37 % del total estatal (Anuario Estadístico del Estado de Guerrero 2000, INEGI):

CUADRO 8.6. POBLACIÓN DISTRITAL 2007

MUNICIPIO	HOMBRES	%	MUJERES	%	TOTAL
Coyuca de Benítez	33,512	48.5	35,577	51.5	69,089
Chilpancingo	92,382	48.0	100,127	52.0	192,509
Juan R. Escudero	10,558	48.0	11,423	52.0	21,981
Leonardo Bravo	11,203	49.1	11,634	50.9	22,837
Tecoanapa	21,409	49.6	21,722	50.4	43,131
TOTAL	169,064		180,483		349,547

El municipio que concentra a la mayor parte de la población es el de **Chilpancingo de los Bravo, al tener el 55.07 % del total distrital**; el de menor cantidad de habitantes es el de Juan R. Escudero, al representar únicamente el 6.28 % del total.

Por lo que respecta a la población por edades, de acuerdo al Censo de Población y Vivienda 1995, realizado por el INEGI, el municipio que tiene el mayor porcentaje de sus habitantes en el rango de edad entre los 15 y 64 años, es el de Chilpancingo de los Bravo con el 59.03 %; y el municipio con el mayor porcentaje en el rango de los 0 a 14 años, es el de Tecoaapa con el 46.31 %. Las cifras desagregadas para cada uno de los municipios se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 8.7. Población total por edad y sexo

MUNICIPIO	RANGO DE EDAD EN AÑOS	HOMBRES	MUJERES	TOTAL	EDAD MEDIANA
Coyuca de Benítez	0-14	13,437	13,231	26,668	19
	15-64	18,396	18,944	37,340	
	65 y más	1,572	1,702	3,274	
	n.e.	75	133	208	
Chilpancingo	0-14	32,743	31,150	63,893	20
	15-64	47,864	52,696	100,560	
	65 y más	2,589	2,949	5,538	
	n.e.	167	210	377	
Juan R. Escudero.	0-14	4,807	4,643	9,450	18
	15-64	6,102	6,218	12,320	
	65 y más	503	460	963	
	n.e.	159	202	361	
Leonardo Bravo.	0-14	5,187	5,036	10,223	16
	15-64	5,427	5,626	11,053	
	65 y más	496	478	974	
	n.e.	19	34	53	
Tecoanapa	0-14	9,363	9,079	18,442	16
	15-64	9,911	9,791	19,702	
	65 y más	731	839	1,570	
	n.e.	43	70	113	
TOTAL		159,591	163,491	323,082	

De acuerdo al Censo de Población 1995 del INEGI, el municipio que crece a mayor celeridad es el de Chilpancingo de los Bravo y el que menor tasa de crecimiento presenta en el distrito es el de Coyuca de Benítez.

Cuadro 8.8. Tasa de crecimiento poblacional promedio anual 2000-2007

MUNICIPIO	1990 (HABS.)	1995 (HABS.)
Coyuca de Benítez	60,761	67,490
Chilpancingo de los Bravo	136,164	170,368
Juan R. Escudero	19,167	23,094
Leonardo Bravo	19,753	22,303
Tecoanapa	35,417	39,827

8.9. Vivienda

Cuadro 8.9. INDICADORES EDUCATIVOS Y DE VIVIENDA, 2007.

Municipio	Educación		Viviendas particulares habitadas				
	Población de 15 años y más		Total	Con energía eléctrica (%)	Con agua entubada b/ (%)	Con drenaje (%)	Ocupantes por vivienda
	Total	Alfabeta (%)					
Chilpancingo de los Bravo	123,071	89.4	41,954	97.0	87.1	83.2	4.6

8.10. Actividades productivas

La principal actividad económica del estado es la agricultura, pues su producción representa el 85% de todos los municipios. Sin embargo, en la mayoría de los casos, es para autoconsumo. Solamente en algunos municipios de las costas y Tierra Caliente comercializan excedentes hacia otros mercados, ya que en su mayor parte la cosecha es de temporal.

La segunda actividad económica es el comercio local y después está la actividad ganadera (principalmente de ganado vacuno). La actividad ganadera es para autoconsumo y se desarrolla en la Costa Chica y en la región de La Montaña.

La actividad turística y comercial se desarrolla principalmente en Acapulco, Taxco y el municipio de José Azueta.

Chilpancingo de los Bravo, capital del estado, su actividad se sustenta en gran medida en el servicio público.

La industria maquiladora está representada en los municipios de Buenavista de Cuéllar y Leonardo Bravo y artesanalmente se localiza en Olinalá, Zitlala, Xochistlahuaca y Tetipac.

8.11. Infraestructura

En Guerrero se construyó una línea de captación y de conducción del sistema Acahuizotla y se amplió la red de distribución en Chilpancingo; así como obras para garantizar el adecuado desalojo de las aguas residuales en Iguala de la Independencia. Con ello se suministran 200 lps y se incorporan 3,803 habitantes al servicio de alcantarillado.



Fig.8.8. Cabeceras Municipales del Estado de Guerrero

El territorio estatal se ha dividido tradicionalmente en las siguientes regiones: Norte, zona que limita de oeste a este con los estados de México, Morelos y Puebla. La región de Tierra Caliente, que limita al norte con los estados de Michoacán y México. La Montaña, situada en el oriente del estado, limita con Puebla y Oaxaca. La región Centro, como su nombre lo indica está delimitada por las demás regiones estatales y en ella se encuentra la ciudad de Chilpancingo, capital del estado. La región de Costa Grande y Costa Chica, están ubicadas como una franja que se extiende de noroeste a sureste sobre el Océano Pacífico; la primera con una superficie de 325 Km., limita al noroeste con el estado de Michoacán; la segunda, de menor superficie (175 Km.) limita por el este con el estado de Oaxaca.

A partir del Año 1983 la Secretaría de Planeación y Presupuesto del estado de Guerrero considera al municipio de Acapulco separadamente de la Costa Chica, surgiendo así con esta ciudad la séptima región del estado de Guerrero.

La longitud total de los límites del estado de Guerrero con otros estados y con el Océano Pacífico es de 1,597 kilómetros.

8.12. Vías de comunicación

La entidad tiene una muy buena infraestructura de transporte, tanto terrestre como aérea y marítima, ya que es un importante punto turístico, nacional e internacional.

- **Carreteras**

La red carretera de Guerrero es de 12,333 km, lo que da una densidad de 19.39 km de carreteras por cada 100 km². La autopista llamada "Del Sol" cruza la entidad de norte a sur, viene de la Cd. de México, pasa por Chilpancingo de los Bravo y termina en la ciudad de Acapulco; con una trayectoria similar a la autopista, la carretera federal núm. 95, penetra a la entidad por el norte; pasa por Taxco, Iguala, Chilpancingo de los Bravo y llega a la ciudad de Acapulco; la carretera núm. 200 bordea toda la costa guerrerense, entra a la entidad por el oeste, sale por el sureste y pasa por las localidades de Ixtapa, Zihuatanejo, Petatlán, Papanao, Tecpan de Galeana, Acapulco, San Marcos, Copala y Cuajinicuilapa; la carretera núm. 134 viene de la ciudad de Toluca, ingresa al estado al nor-noroeste, comunica las localidades de Ciudad Altamirano, Coyuca de Catalán y se une a la carretera núm. 200 muy cerca de Ixtapa; la carretera núm. 51 comunica la parte norte del estado, viene de Zitácuaro, entra al estado por Ciudad Altamirano, enlaza las comunidades de Tlapehuala, Arcelia, Teloloapan y llega a la ciudad de Iguala.

- **Ferrocarriles**

Este medio de transporte sólo se presenta al norte de la entidad con una longitud aproximada de 93.6 km (AAE,95') procede de la ciudad de México; en el territorio guerrerense cuenta con diez y seis estaciones e inicia en la estación Santa Fe Tepetlapa, pasa por Iguala y termina en la estación Balsas Sur.

- **Aeropuertos**

Acapulco y Zihuatanejo, cuentan con aeropuertos internacionales, además para complementar este transporte, la entidad posee 5 aeródromos.

- **Puertos**

En los puertos de Acapulco y Zihuatanejo, que son los más importantes, se realizan actividades turísticas; comerciales y pesqueras.

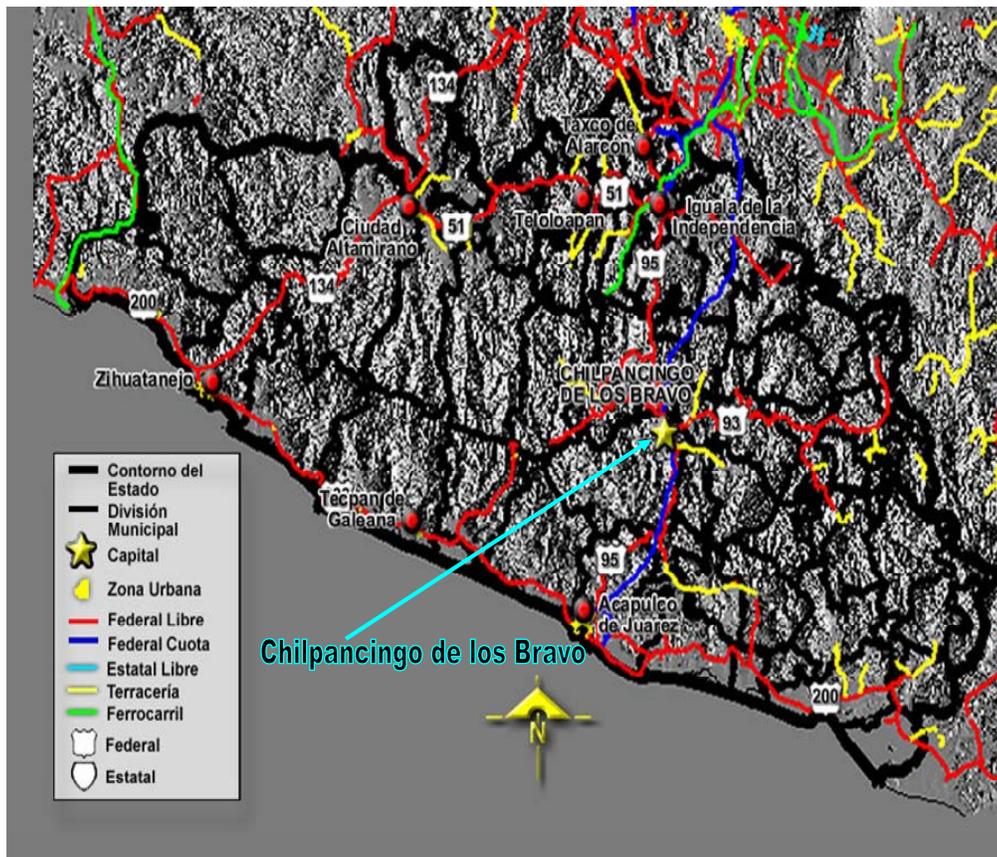


Fig.8.9. Vías de comunicación

8.13. Sistema de agua potable.

Regioncentro (perteneciente a Chilpancingo de los Bravo).

Aproximadamente la mitad de los municipios cuentan con caminos de acceso y servicios públicos lo que ha permitido, aunque de manera muy lenta, el desarrollo económico de algunas comunidades. La otra mitad de esta región carece de infraestructura física y económica, por lo que se hace necesario el impulso a los programas de obras de infraestructura de riego de canales, construcción de presas y la pavimentación de brechas y caminos terrosos.

El Papagayo es uno de los ríos más importantes de Guerrero. Se origina en la Sierra Madre del Sur, a seis kilómetros del poblado de Omiltemi, Municipio de Chilpancingo de los Bravo, donde recibe el nombre de Huacapa.

El río Papagayo recibe varios nombres a lo largo de su trayecto, asimismo, se enriquece de otras corrientes que aportan sus caudales (ríos menores). Todas

estas corrientes confluyen en el río Omitlán y conforman el río Papagayo, en las inmediaciones de Tierra Colorada. En un punto cercano a esta confluencia, se encuentra la presa hidroeléctrica La Venta, la cual es operada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

El río Papagayo tiene una larga trayectoria antes de llegar al Municipio de Acapulco, en la que confluyen varios ríos menores procedentes de las montañas a lo largo de la cuenca. Si se toman en cuenta los altos niveles de deforestación, resulta fácil imaginar la cantidad de suelo fértil que arrastran las corrientes, para finalmente depositarlas en el río. Las aguas del río siguen su curso hasta llegar a la presa La Venta, que, a fin de continuar generando la energía eléctrica se necesita desazolver, es decir, liberar las grandes cantidades de lodo, arcilla y materia orgánica que se han depositado en la parte inferior de la presa. Para poder hacerlo, se levantan las enormes compuertas que expulsan agua extremadamente lodosa.

El río Capama tiene instalados sobre la cuenca del río Papagayo, dos sistemas de captación de agua muy importantes: el sistema Papagayo I, con el que se obtiene agua filtrada del río que por su calidad sólo requiere ser clorada para poder ser distribuida como agua potable, y el Sistema Papagayo II, consistente en una obra de desviación del río que se conoce como "bocatoma"; donde el agua captada directamente del cauce del río, a través de una serie de ventanas, pasa a un gigantesco tanque de concreto, del que se extrae el agua por medio de once equipos de bombeo instalados, de los cuales operan ocho con una potencia de 400 caballos de fuerza (HP) cada uno.

8.14. Cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado

De acuerdo con la información proporcionada por las entidades prestadoras de servicio, la cobertura de agua potable nacional promedio a diciembre de 2001 fue del 89.0%. En el Cuadro No. 22 se puede ver la cobertura en Guerrero.

En materia de alcantarillado la cobertura nacional promedio fue del 76.9%. 18 estados tienen una cobertura superior a esta; Oaxaca y **Guerrero** registraron las coberturas más bajas, 42.7% y 49.7, respectivamente.

Cuadro 8.9. Cobertura por Estado de los servicios de agua potable y alcantarillado.

ESTADO	HABITANTES EN VIVIENDAS PARTICULARES	POBLACIÓN CON SERVICIO				POBLACIÓN SIN SERVICIO			
		AGUA POTABLE		ALCANTARILLADO		AGUA POTABLE		ALCANTARILLADO	
		CANTIDAD	%	CANTIDAD	%	CANTIDAD	%	CANTIDAD	%
GUERRERO	3,118,332.00	2,191,083.00	70.3	1,549,368.00	49.7	927,249.00	29.7	1,568,964.00	50.3

Cuadro 8.10. Plantas de tratamiento en operación

ESTADO	TOTAL		EN OPERACIÓN			FUERA DE OPERACIÓN	
	No DE PLANTAS	GASTO INSTALADO (l/s)	No DE PLANTAS	GASTO INSTALADO (l/s)	GASTO DE OPERACIÓN (l/s)	No DE PLANTAS	GASTO INSTALADO (l/s)
GUERRERO	24	2,836.00	23	2,829.00	1	1,636.70	7.00

8.15. Estudios básicos

8.15.1. Estudio topográfico

La topografía de la línea de conducción y el sitio seleccionado para el establecimiento de la planta de tratamiento presenta las siguientes características: se inicia al término del colector principal, al inicio de la carretera a Acapulco, en la cota 1,175.071 msnm en el cadenamiento 0+000, manteniéndose paralela a la margen derecha del río Huacapa hasta alcanzar una cota de 1,169.50 msnm en el cadenamiento de 29+0000, existiendo un desnivel entre ambos puntos de 5.571 m, y por lo tanto, la pendiente del terreno es $s=0.0002$. En el siguiente cuadro se resume la topografía de la región en estudio.

A partir del cadenamiento 29+000 con una cota de 1,169.50 msnm se desvía al sitio seleccionado ya mencionado a una altura de 1,160.071 msnm en el cadenamiento 60+430, existiendo un desnivel entre el punto de referencia y el sitio en donde se puede ubicar la planta de tratamiento es de 9.429m, por lo tanto una pendiente del terreno de $s=0.0003$.

8.15.2. Características de las aguas residuales

La cantidad de los constituyentes de las aguas residuales varía marcadamente dependiendo del porcentaje y tipo de desechos industriales presentes y de la dilución ocasionada por la entrada de agua subterránea que se infiltra a la red alcantarillado. El cuadro presenta valores típicos de los constituyentes más importantes del agua residual.

Cuadro 8.11. Análisis típico del agua residual municipal

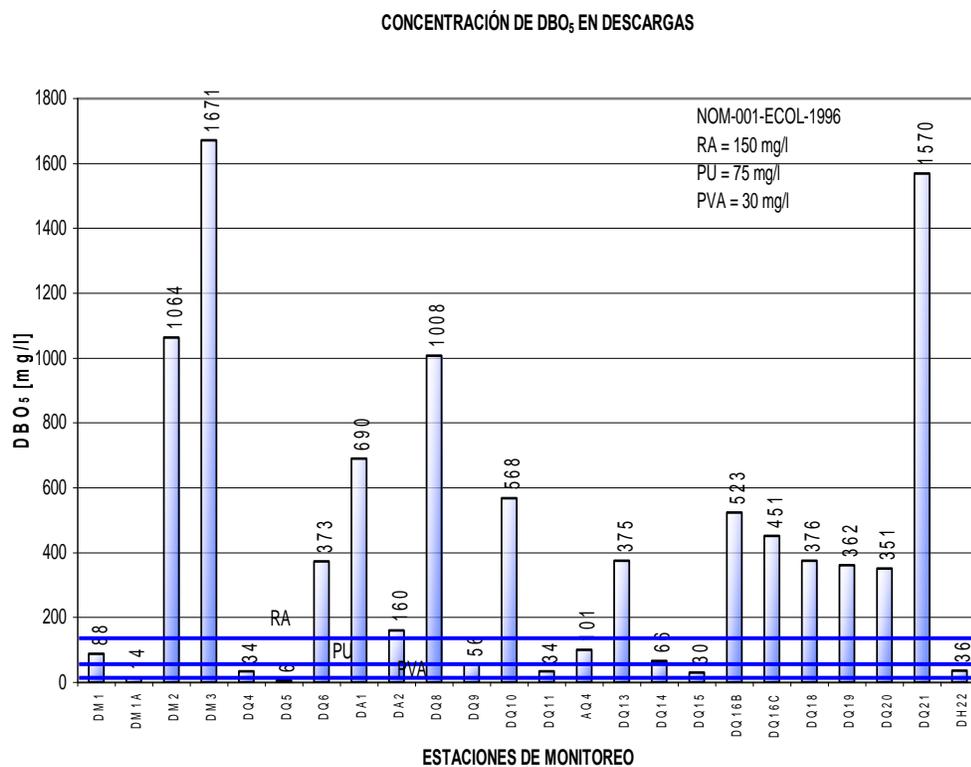
Constituyente	Concentración[mg/l]		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos, totales:	1200	720	350
Disueltos totales	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Suspendidos totales	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sólidos Sedimentables, ml/l	20	10	5
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO₅)	400	220	110
Carbono orgánico (COT)	290	160	80
Demanda química de oxígeno (DQO)	1000	500	250
Nitrógeno (N)	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniacal	50	25	12
Nitritos (NO₂)	0	0	0
Nitratos (NO₃)	0	0	0
Fósforo(P)	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad(C_aCO₃)	200	100	50
Grasas	150	100	50

8.15.2.1. Concentración de dbo₅ en descargas al río omitlán

Como se observa en la gráfica 8.1, la mayoría de las descargas no cumplen con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes para Riego Agrícola (RA) = 150 mg/L, para Uso Público Urbano (PU)= 75 mg/L y Protección de Vida Acuática (PVA) = 30 mg/L.

Debido a que la mayoría de las concentraciones en las descargas al río rebasa los Límites Máximos Permisibles esto implica que se requiera de cierta cantidad de oxígeno para reducir la materia orgánica. Los índices altos de Demanda Bioquímica de Oxígeno traen como consecuencia la eutroficación del medio ambiente acuático y la formación de condiciones anóxicas en el medio ambiente, causando que las bacterias aeróbicas utilicen compuestos orgánicos solubles (de azúcares sencillos a ácidos húmicos y fúlvicos) en su mayoría como nutrientes (procesos de oxidación aeróbica), consumiendo el oxígeno presente en el agua durante este proceso.

La palabra "eutroficación" ha sido empleada para denotar la adición superficial indeseada de nutrientes de plantas, principalmente nitrógeno y fósforo a cuerpos de agua. La eutroficación es más comúnmente conocida como el estado de un cuerpo de agua, manifestado por una intensa proliferación de algas y grandes plantas acuáticas y su acumulación en el agua en cantidades excesivas, llevando a la muerte peces, y generando problemas de olor y apariencia. Estas acumulaciones pueden resultar en detrimento de la calidad del agua y en los organismos vivos de ésta, los cuales pueden interferir significativamente en el consumo del líquido. En la siguiente gráfica se muestran la concentración de DBO₅ en descargas al río, y los límites máximos permisibles de este contaminante de acuerdo con el uso del agua: Riego Agrícola (RA), Uso Público Urbano (PU) y Protección de la Vida Acuática (PVA).



Gráfica 8.1. Concentración de DBO₅ en descargas al río

8.15.2.2. Demanda química de oxígeno

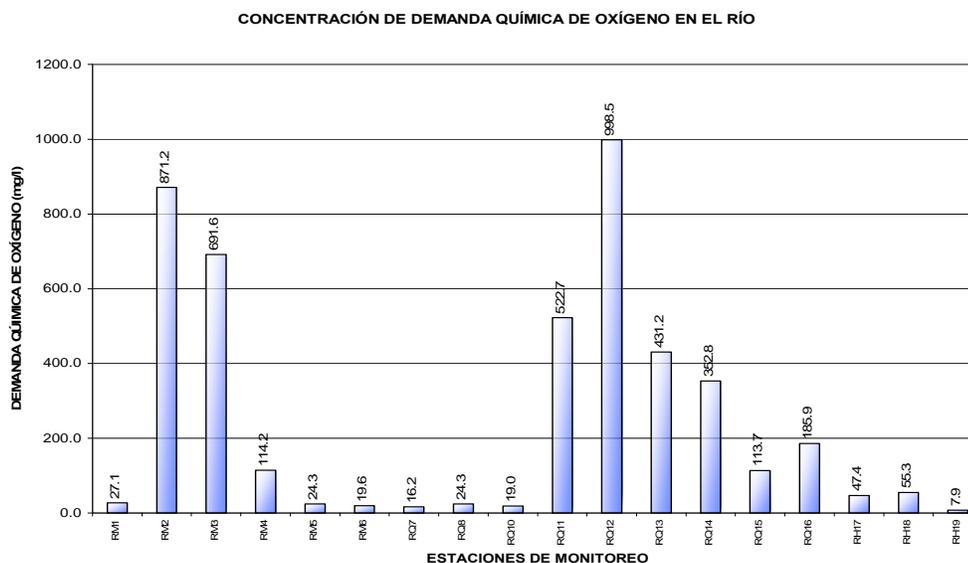
Demanda química de oxígeno (DQO) es una medida del oxígeno requerido para oxidar todos los compuestos presentes en el agua, tanto orgánicos como inorgánicos, por la acción de agentes fuertemente oxidantes en medio ácido y se expresa en miligramos de oxígeno por litro. La materia orgánica se oxida hasta dióxido de carbono y agua, mientras el nitrógeno orgánico se convierte en amoníaco. La DQO permite hacer estimaciones de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), que a su vez es una medida de la cantidad de oxígeno consumido en el proceso biológico de degradación de la materia orgánica en el agua; el término *degradable* puede interpretarse como expresión de la materia orgánica que puede servir de alimento a las bacterias; a mayor DBO, mayor grado de contaminación.

La Demanda Química de Oxígeno es la cantidad de oxígeno (mg/l) consumido en medio sulfúrico y con dicromato potásico que es necesaria para la oxidación de la materia mineral y orgánica, biodegradable o no, presente en las aguas residuales. Es una medida más exacta de la cantidad de materia orgánica presente en el agua.

La DQO es la cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20° C).

La producción acelerada de compuestos orgánicos debido a la eutroficación o a la descarga de tóxicos consumidores de oxígeno, analizados como DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno), en un cuerpo de agua que actúa como receptor, puede resultar en una falta de oxígeno en esta agua y ayudar a la formación de sulfuro de hidrógeno (H₂S).

En la siguiente gráfica se muestra la concentración de DQO en el río Omitlán.



Gráfica 8. 2. Concentración de DQO en el río

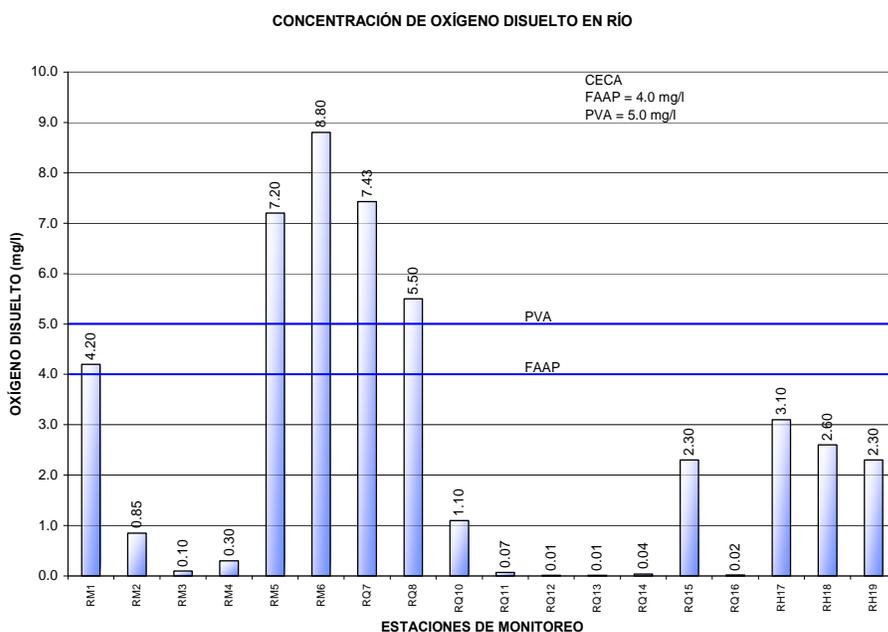
8.15.2.3. Concentración de oxígeno disuelto en el río Omitlán

La presencia de oxígeno disuelto (OD) es fundamental para mantener la vida acuática y la calidad de las aguas. La carencia de oxígeno se presenta como consecuencia de la contaminación. La concentración de OD indica, entre otros, el estado de septización, potencialidad para producir malos olores, calidad de las aguas, y estimación de la actividad fotosintética.

El agua de los ecosistemas naturales recibe siempre ciertas sustancias extrañas, las cuales se diluyen, o se filtran, a través de procesos naturales. Pero cuando la entrada del contaminante es demasiado grande, los procesos naturales que poseen las aguas con oxígeno disuelto suficiente (llamado proceso de "autodepuración"), no pueden controlarla, y entonces decimos que se produce una contaminación.

El aspecto fundamental de la contaminación por compuestos orgánicos es la disminución del oxígeno disuelto como consecuencia de su consumo para los procesos de degradación de los contaminantes. En el caso de la contaminación por compuestos inorgánicos, el resultado más importante depende de su efecto tóxico, aunque también existen compuestos inorgánicos que ejercen una gran demanda de oxígeno.

En la gráfica 8.3 se puede observar que en algunos tramos del río se tienen problemas debido a la baja concentración de oxígeno disuelto en algunas estaciones de monitoreo en el río. De acuerdo con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua la fuente de abastecimiento de agua potable debe ser 4.0 mg/L y para protección de vida acuática de 5.0 mg/L.



Gráfica 8.3. Concentración de oxígeno disuelto en el río

8.15.2.4. Concentración de nitrógeno orgánico

El nitrógeno en la naturaleza puede aparecer en 7 estados de oxidación diferentes. Desde el punto de vista de la calidad de las aguas nos interesan únicamente el nitrógeno orgánico, el amoníaco, los nitratos y nitritos. En la naturaleza las distintas formas del nitrógeno están interrelacionadas según el ciclo del nitrógeno:

N_2 atmosférico \rightarrow N orgánico

N orgánico \rightarrow N amoniacal

N amoniacal \rightarrow Nitrito (Nitrosomonas)

Nitrito \rightarrow Nitrato (Nitrobacter)

Nitrato \rightarrow N_2

Fijación del Nitrógeno: tres procesos desempeñan un papel importante en la fijación del nitrógeno en la biosfera. Uno de estos es el relámpago. La energía contenida en un relámpago rompe las moléculas de nitrógeno y permite que se combine con el oxígeno del aire.

Mediante un proceso industrial se fija el nitrógeno, en este proceso el hidrógeno y el nitrógeno reaccionan para formar amoníaco, NH_3 . Dicho proceso es utilizado por ejemplo para la fabricación de fertilizantes.

Las bacterias nitrificantes son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico que utilizan las plantas para llevar a cabo sus funciones. También algunas algas verde-azules son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico.

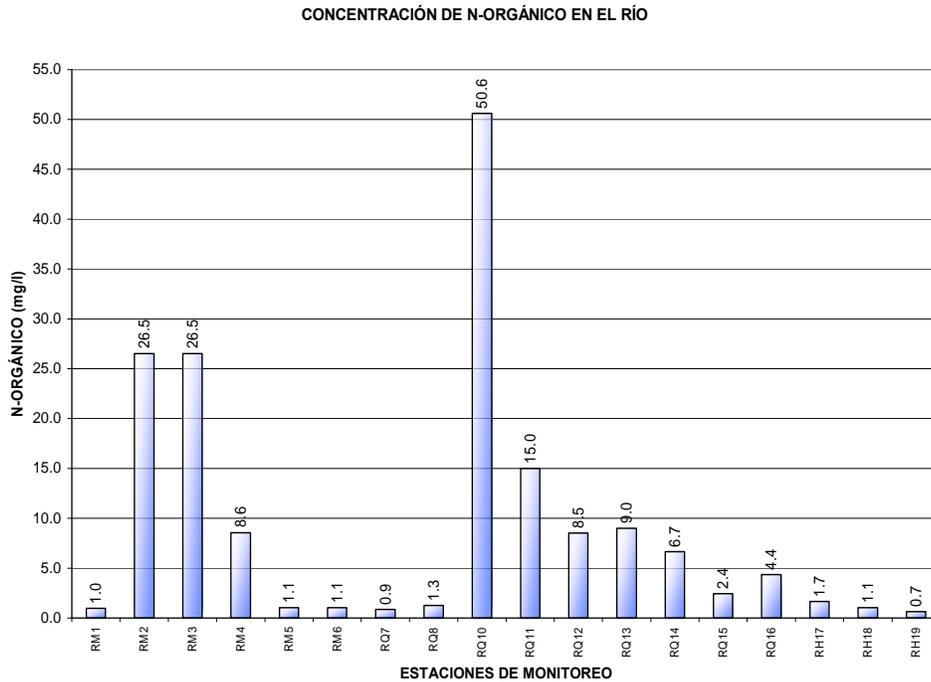
Descomposición: los animales obtienen nitrógeno al ingerir vegetales, en forma de proteínas. En cada nivel trófico se libera al ambiente nitrógeno en forma de excreciones, que son utilizadas por los organismos descomponedores para realizar sus funciones vitales.

Nitrificación: es la transformación del amoníaco a nitrito, y luego a nitrato. Esto ocurre por la intervención de bacterias del género nitrosomonas, que oxidan el NH_3 a NO_2^- . Los nitritos son oxidados a nitratos NO_3^- mediante bacterias del género nitrobacter.

Desnitrificación: en este proceso los nitratos son reducidos a nitrógeno, el cual se incorpora nuevamente a la atmósfera, este proceso se produce por la acción catabólica de los organismos, estos viven en ambientes con escasez de oxígeno como sedimentos, suelos profundos. Las bacterias utilizan los nitratos para sustituir al oxígeno como aceptor final de los electrones que se desprenden durante la respiración. De esta manera el ciclo se cierra.

Las fuentes contaminantes con origen en la agricultura y ganadería, tienen su incidencia en las aguas superficiales y subterráneas, y están compuestas de

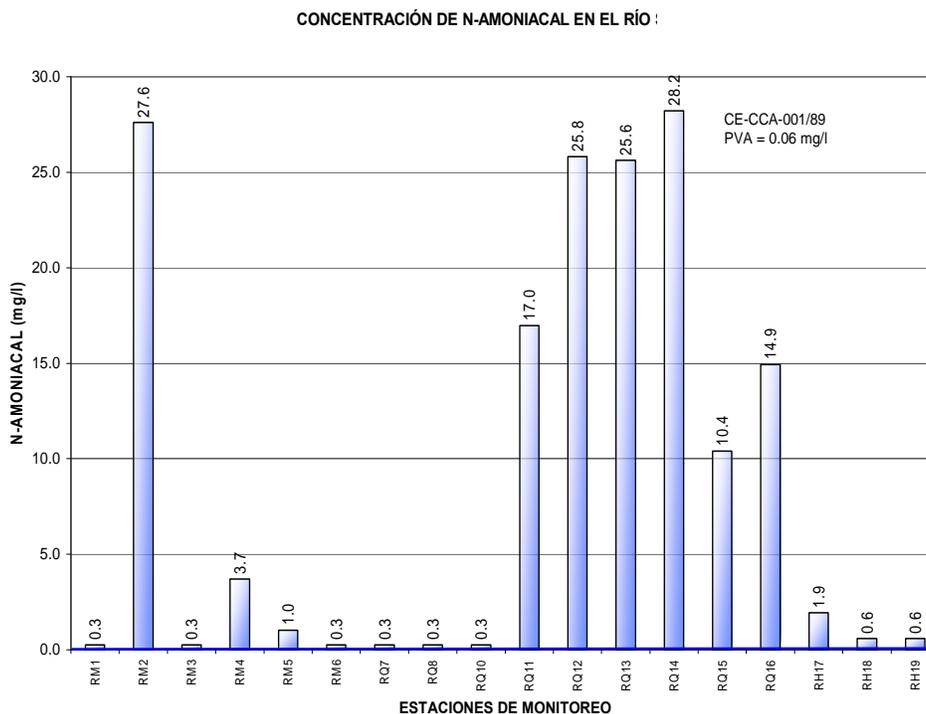
materias orgánicas e inorgánicas, en las que se incluyen compuestos como el fósforo o nitrógeno, los cuales demandan gran cantidad de oxígeno. Estos compuestos suelen proceder de la erosión de tierras de cultivo, que tienen depositados en parte residuos fertilizantes y de naturaleza animal, estos últimos transportadores en ocasiones de organismos patógenos. La gráfica 8.4 muestra las concentraciones que se tienen en el río.



Gráfica 8.4. Concentración de nitrógeno orgánico en el río

8.15.2.5. Concentración de nitrógeno amoniacal en el río Omitlán.

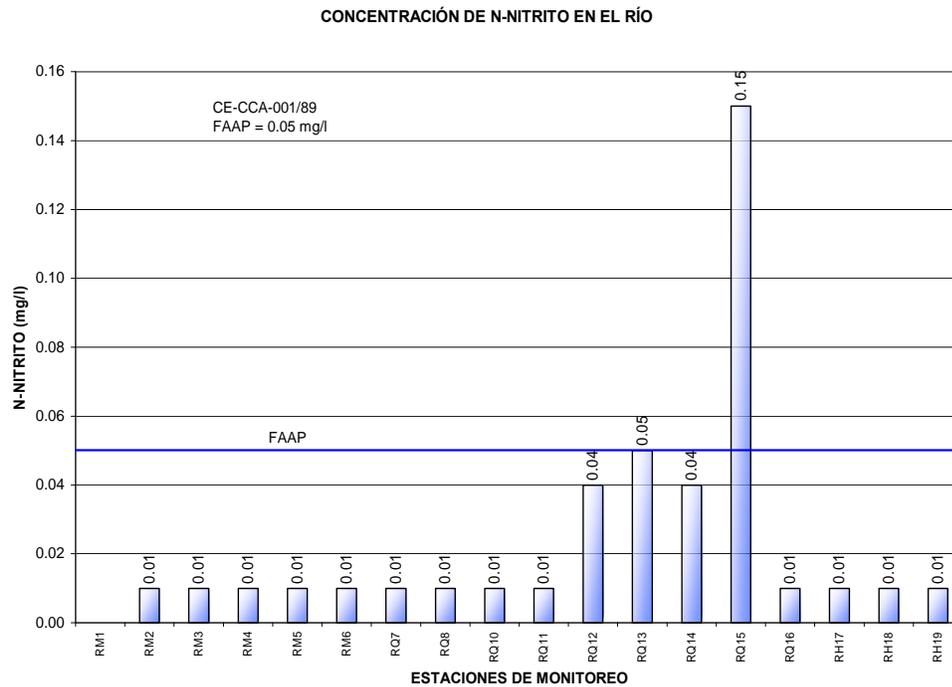
Los efectos tóxicos directos de las distintas formas del Nitrógeno son variables: el nitrógeno amoniacal no tiene efectos apreciables sobre la salud salvo a altas concentraciones. En la gráfica 8.5, todas las estaciones de monitoreo en el río presentan altas concentraciones de nitrógeno amoniacal en el río y esto causa problemas con la protección de vida acuática (PVA). El valor de PVA para el NH_3 debe ser igual a 0.06 mg/L, valor establecido por los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua.



Gráfica 8.5. Concentración de nitrógeno amoniacal en el río

8.15.2.6. Concentración de nitrógeno de nitritos en el río Omitlán.

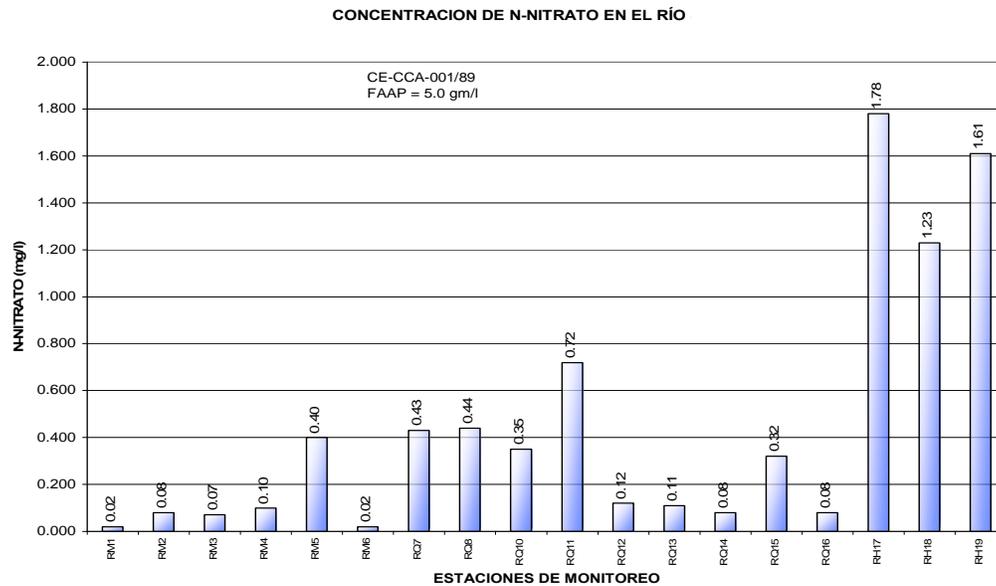
Los nitratos son responsables de la aparición de la metaglobinemia (oxidación de los glóbulos rojos) en niños. En cualquier caso, tanto los nitratos y los nitritos como el amonio, son causantes de la eutrofización. En la gráfica 8.6 se muestra la concentración de nitrógenos de nitritos que se tiene en el río.



Gráfica 8.6. Concentración de nitrógeno de nitritos en el río

8.15.2.7. Concentración de nitrógeno de nitratos en el río Omitlán.

La grafica 8.7 muestra la concentración de Nitrógeno de Nitratos que se tiene en el río y de acuerdo con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para Fuente de Abastecimiento de Agua Potable deber ser de 5.0 mg/L, lo cual implica que no se tiene problemas en el río para este parámetro.

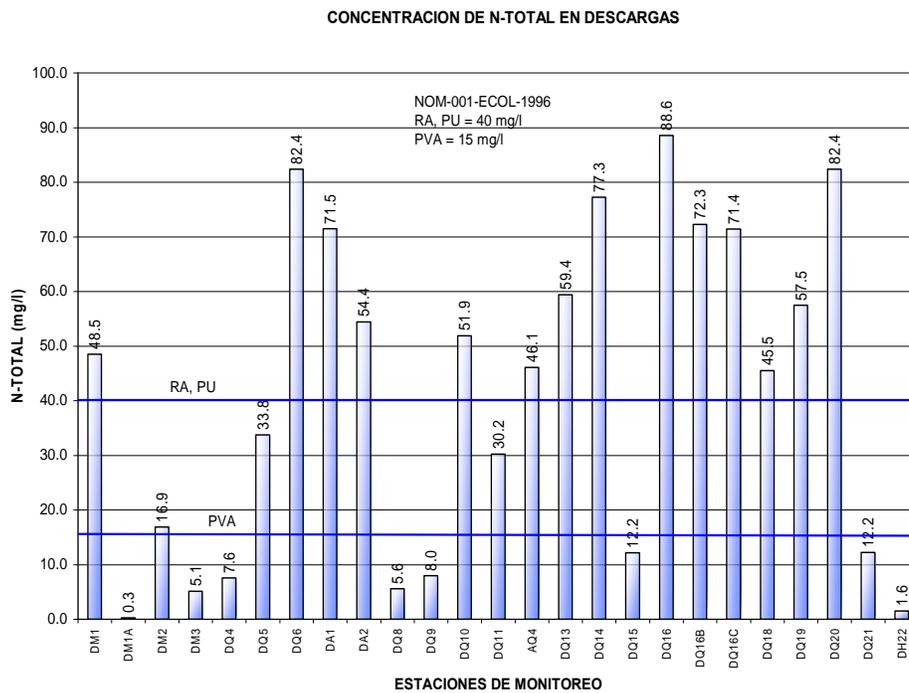


Gráfica 8.7. Concentración de nitrógeno de nitratos en el río

8.15.2.8. Concentración de nitrógeno total en descargas al río Omitlán.

El nitrógeno total comprende nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitritos y nitrógeno de nitratos. Éste parámetro es considerado solamente por la Norma oficial Mexicana NOOM-001-ECOL-1996, que establece los Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las Descargas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales.

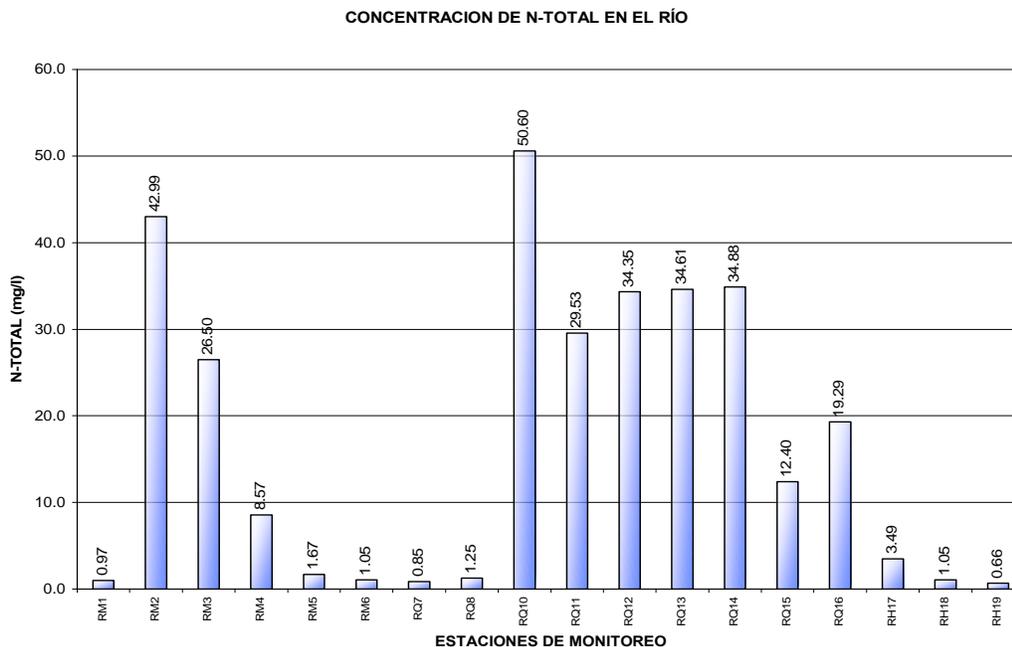
La gráfica 8.8 muestra que para altas concentraciones de nitrógeno total en descargas de acuerdo a la NOOM-001-ECOL-1996, se tienen problemas en el uso para Riego agrícola (RA = 40 mg/L), Protección de Vida Acuática (PVA = 15 mg/L) y Uso Público (PU = 40 mg/L).



Gráfica 8.8. Concentración de Nitrógeno Total

8.15.2.9. Concentración de nitrógeno total en el río Omitlán.

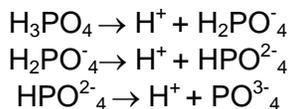
La gráfica 8.9, muestra la concentración de Nitrógeno Total que se tiene en el río.



Gráfica 8.9. Concentración de nitrógeno total en el río

8.15.2.10. Concentración de fósforo orgánico en el río Omitlán.

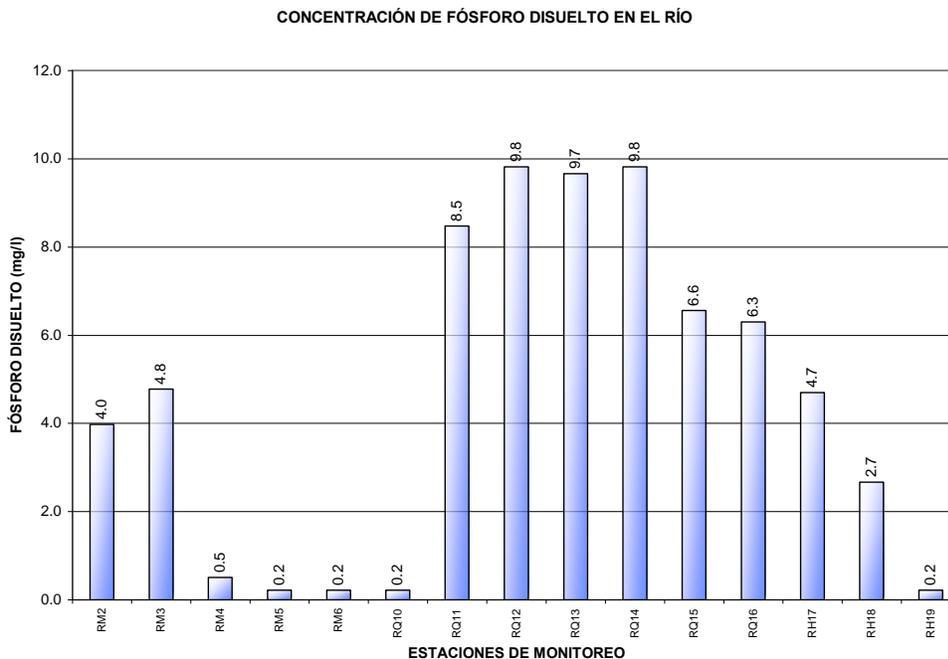
En aguas marinas superficiales el fósforo orgánico disuelto y particulado proviene de la descomposición de plantas. Estos compuestos disueltos de fósforo orgánico son una porción significativa, aunque variable, de fósforo disuelto en aguas superficiales. El fósforo inorgánico disuelto existe enteramente como un producto ionizado del H_3PO_4 , dado por una disociación en tres pasos:



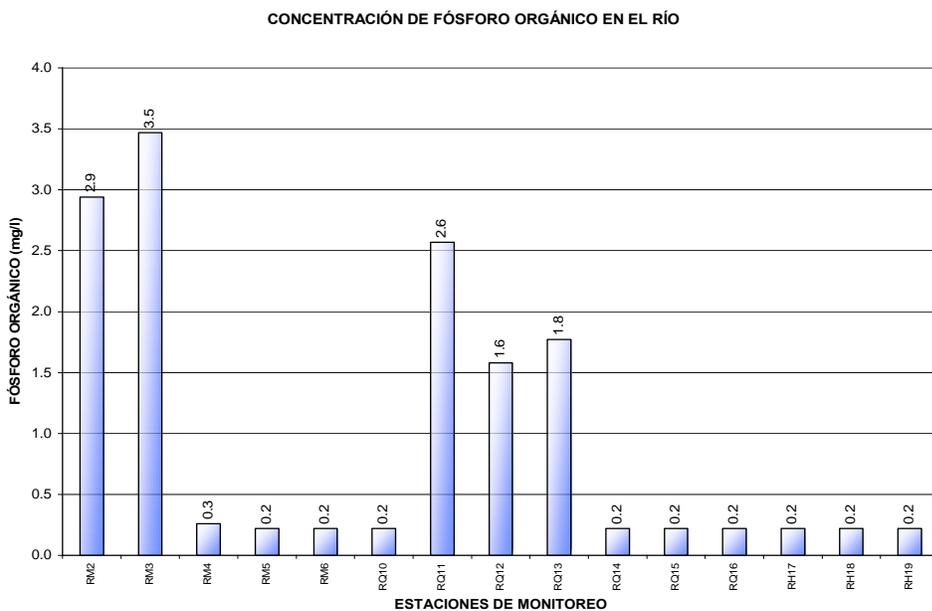
Las fracciones de estas formas están controladas por el pH y la composición de las aguas. La distribución de las formas de fosfatos en las aguas oceánicas está controlada por procesos biológicos y físicos.

En aguas superficiales el fósforo es adquirido por el fitoplancton durante la fotosíntesis, y cuando este muere la fracción orgánica es convertida rápidamente a PO_4^{3-} . Mucho del fitoplancton es consumido por el zooplancton, que asimila así el PO_4^{3-} . Luego el material se pierde en heces fecales que contienen una apreciable cantidad de fósforo orgánico, y así continúa el ciclo en un complejo devenir de especies. Todo esto se complica más aún si

consideramos otros procesos a los que está sujeto el fósforo en el agua: floculación, precipitación y procesos de intercambio de sustancias disueltas con partículas sedimentarias.



Gráfica 8.11. Concentración del fósforo disuelto en el río

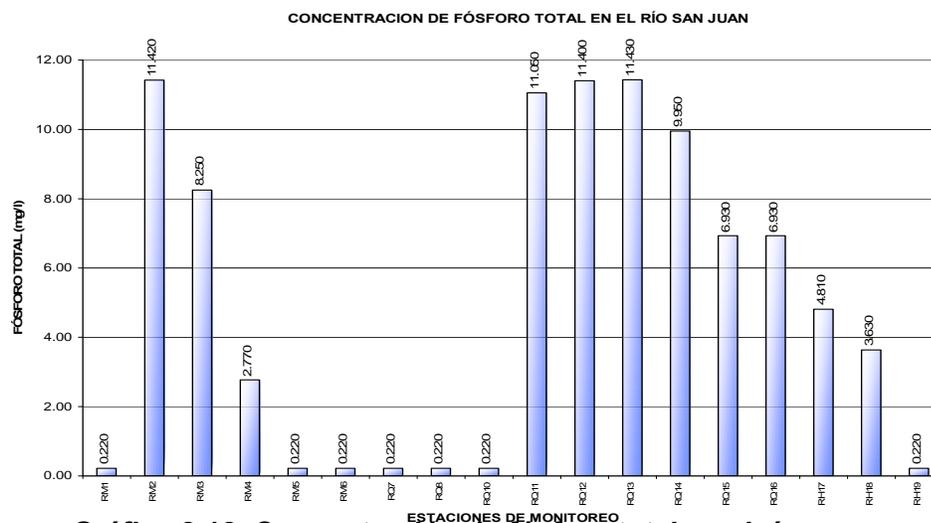


Gráfica 8.10. Concentración de fósforo orgánico en el río

8.15.2.11. Concentración del fósforo total en el río Omitlán.

Las formas más frecuentes en las que se encuentra el fósforo en el agua son como ortofosfatos, polifosfato y fósforo orgánico. Los derivados del P son utilizados como fertilizantes, en las formulaciones de detergentes, en el control de la corrosión en sistemas de abastecimiento, etc. además aparece como componente normal de las aguas residuales domésticas.

La presencia de fósforo en las aguas receptoras constituye un factor determinante en la eutrofización de lagos y corrientes.



Gráfica 8.12. Concentración de fósforo total en el río

8.15.3. Estudio demográfico

El cuadro 8.12 muestra los datos de crecimiento de la población a partir de 1950 hasta el año 2000.

Cuadro 8.12. Crecimiento de la población a partir del año 1950 hasta el año 2000

Tiempo	Población
Año	[hab]
1950	22728
1960	26614
1970	43714
1980	72699
1990	100737
1995	120042
2000	142746

8.15.3.1. Métodos de los cálculos para la población de diseño por diferentes pasos

Método de incrementos diferenciales

En este método se calcula restando las poblaciones de años posteriores contra poblaciones anteriores hasta tener la columna de 1ª diferencia, así sucesivamente es el mismo proceso para la siguiente columna (2ª diferencia). Tomando como resultado la columna de 1ª diferencia, el último valor poblacional y como valores adicionales de población los años 2010 y 2020 son proporcionales.

En el cuadro 8.13 se muestra el método de las segundas diferencias. El primer paso consiste en restar 22,728 y 26,614 correspondientes a los años 1950 y 1960, consecutivamente se obtienen las diferencias de los siguientes años. El segundo paso consiste en restar 3,886 y 17,100 y así sucesivamente se restan las primeras diferencias.

Cuadro 8.13. Método de incrementos diferenciales

AÑOS	POBLACION	1ª DIFER.	2ª DIFER.
1950	22728	3886	13214
1960	26614	17100	11885
1970	43714	28985	-947
1980	72699	28038	13971
1990	100737	42009	9531
2000	142746	51540	9531
2010	194286	61071	
2020	255357		

La población que deseamos estimar es para el año 2016, realizando lo siguiente podemos estimar la población correspondiente a ese año.

Interpolando para el año 2016:
 $255357 - 194286 = 61071$

Población y año comprendido del 2010 y 2020

$61071 / 10 = 6107$ (hab) por año (comprendido en el lapso de 2010 y 2020)
 $6107 (6) = 36642$ (hab)

Por lo que para el año 2016 tenemos:
 Total de la población correspondiente al año 2010 es de 194286
 Por lo tanto, se obtiene lo siguiente:
 $P_{2016} = 194286 + 36642$

$P_{2016} = 230928$

Método por extensión grafica

Con este método se obtiene gráficamente la población del área de estudio. A continuación se presenta la gráfica correspondiente, que da como resultado una población de 220, 000 hab. para el año 2016.

Cuadro 8.14. Método por extensión grafica

AÑOS	POBLACIÓN
1950	22728
1960	26614
1970	43714
1980	72699
1990	100737
2000	142746
2010	194286
2020	255357

Método de cálculo aritmético

Ecuación (1):

$$P = P_2 + ((P_2 - P_1) / (t_2 - t_1)) (T - t_2) \quad (1)$$

Donde:

P es la población al año de cálculo del diseño (hab)

P_2 es la población última censada (hab)

P_1 es la población penúltima censada

T es el tiempo de diseño (años)

t_2 es el tiempo del último de población censada (años)

t_1 es el tiempo del penúltimo de población censada (años)

$$P_{2016} = 142746 + ((142746 - 120042) / (2000 - 1995)) (2016 - 2000)$$

$$P_{2016} = 142746 + (4540.8) (16)$$

$$P_{2016} = 215399 \text{ hab}$$

Método geométrico

Ecuación:

Ln es logaritmo natural

$$\ln P = \ln P_2 + ((\ln P_2 - \ln P_1) / (t_2 - t_1)) (T - t_2) \quad (2)$$

Donde:

P es la población al año de cálculo del diseño (hab)

P_2 es la población última censada (hab)

P_1 es la población penúltima censada (hab)

T es el tiempo de diseño (años)

t_2 es el tiempo del último de población censada (años)

t_1 es el tiempo del penúltimo de población censada (años)

$$\ln P_{2016} = \ln 142746 + ((\ln 142746 - \ln 120042) / (2000 - 1995)) (2016 - 2000)$$

$$\ln P_{2016} = 11.8688 + (0.1732251456 / 5) (16)$$

P2016 = 248481 hab

Método de interés compuesto

Ecuación:

POT es elevación a una potencia n

$$P = P_2 ((1 + i)^{POT(T - t_2)}) \quad (3)$$

Donde:

P es la población al año de cálculo del diseño (hab)

P_2 es la población última censada (hab)

P_1 es la población penúltima censada

T es el tiempo de diseño (hab)

t_2 es el tiempo del último de población censada (hab)

i es la tasa de crecimiento poblacional porcentual

Para la obtención de "i" tenemos lo siguiente

$$142746 = 120042 ((1 + i)^{POT(2000 - 1995)})$$

Despejando i

$$i = ((142746 / 120042)^{POT(1/5)}) - 1$$

$$i = 0.08525$$

Donde i es igual a 3.5 % anual

$$\text{Entonces } P_{2016} = (142746) ((1 + 0.03525)^{POT(2016 - 2000)})$$

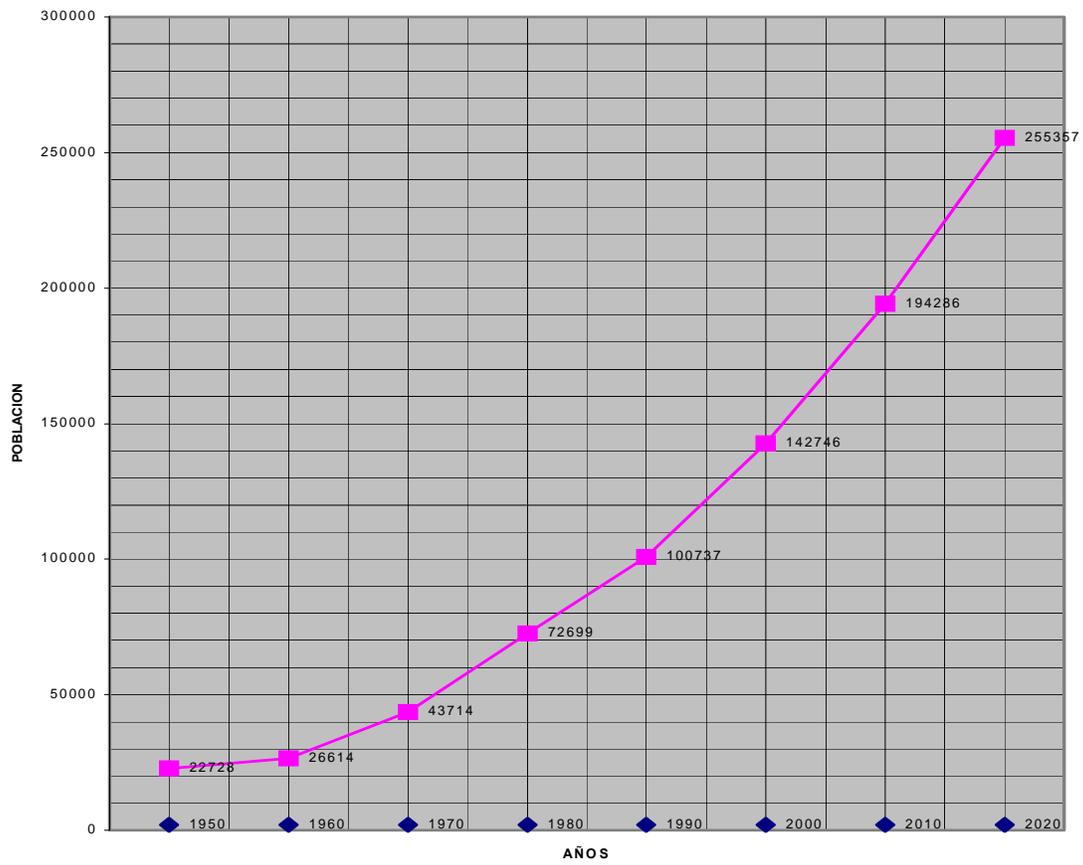
P2016 = 248486 hab

Los métodos descritos anteriores dando como resultado diferentes valores poblacionales por lo que el promedio de todos ellos nos da como resultado la población final de diseño.

Cuadro 8.15. Resumen de los valores de población según su método

MÉTODO	POBLACIÓN EN hab.
ARITMÉTICO	215399
GEOMÉTRICO	248481
INTERÉS COMPUESTO	248486
INCREMENTO DIFERENCIALES	230928
EXTENSIÓN GRÁFICA	220000
PROMEDIO	232659
POR LO QUE EL PROMEDIO DE ES: POBLACIÓN DE DISEÑO 2016 = 232659 hab.	

EXTENSION GRAFICA



Gráfica 8.13. Población

Con los datos anteriores se obtienen los siguientes gastos:

Gasto medio	Aportación de aguas residuales	Población
Q_{medio}	A	P
[l/s]	[l/hab/día]	[hab]
403.92	150	232659

$$Q_{medio} = \frac{A(P)}{86,400}$$

Gasto mínimo
Q_{min}
[l/s]
201.96

$$Q_{min} = 0.5 \times Q_{medio}$$

Gasto máximo instantáneo	Gasto medio	Coefficiente de variación instantánea	Población servida acumulada
Q_{MI}	Q_{medio}	M	P
[l/s]	[l/s]	[1]	[hab/1000]
697.64	403.921875	1.73	232.66

$$Q_{MI} = M(Q_{med})$$

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}}$$

Gasto máximo extraordinario	Coefficiente de seguridad	Gasto máximo instantáneo
Q_{ME}	CS	Q_{MI}
[l/s]	[1]	[l/s]
1046.452453	1.5	697.6349689

$$Q_{ME} = CS(Q_{MI})$$

Datos		
Gastos	[l/s]	[m ³ /s]
Mínimo:	201.96	0.20196
Medio:	403.92	0.40392
Máximo:	697.63	0.69763
Máximo extraordinario:	1046.45	1.04645

8.16. Evaluación de alternativas del tratamiento secundario propuesto

El siguiente cuadro muestra la evaluación de alternativas con los criterios y metodología de evaluación propuestos.

Cuadro 8.16. Principales ventajas y desventajas de los diversos procesos biológicos

CRITERIO	LODOS ACTIVADOS	BIODISCOS	FILTROS BIOLÓGICOS	LAGUNAS
Proceso básico	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA
Variaciones de flujo en el afluente	REGULAR	BUENA	BUENA	BUENA
Variaciones de carga en el afluente	REGULAR	BUENA	BUENA	BUENA
Remoción de DBO ₅	REGULAR	REGULAR	BUENA(para DBO< 500mg/l)	BUENA
Remoción de coliformes totales y fecales	REGULAR	POBRE	POBRE	BUENA
Remoción de sólidos suspendidos	BUENA	BUENA	BUENA	REGULAR
Remoción de helmintos	POBRE	POBRE	POBRE	BUENA
Remoción de virus	REGULAR	POBRE	POBRE	BUENA
Reúso del efluente	REGULAR	REGULAR	REGULAR	BUENA
Presencia de residuos industriales	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA
Cargas industriales	POBRE	POBRE	REGULAR	REGULAR
Bajas temperaturas	SENSIBLE	SENSIBLE	SENSIBLE	SENSIBLE
Capacidad para soportar incrementos en carga orgánica.	SENSIBLE	SENSIBLE	BUENA (Generalmente requiere de mas volumen)	REGULAR (Requiere de mas lagunas)
Complejidad operativa	ALTA	REGULAR	REGULAR	SIMPLE
Facilidad de operación y mantenimiento	BUENA	BUENA	MUY BUENA	MUY BUENA
Requerimientos de energía	ALTA	REGULAR	REGULAR	BAJA
Productos residuales	LODOS	LODOS	LODOS	POCO LODO
Impacto al ambiente	OLORES	OLORES	OLORES	OLORES
Requerimientos de área	BAJA	BAJA	BAJA	ALTA
Topografía	TERRENO NIVELADO	TERRENO NIVELADO	TERRENO NIVELADO	TERRENO NIVELADO
Inversión inicial en equipo mecánico y eléctrico	ALTA	ALTA	ALTA	NO REQUIERE DE EQUIPO

Ventajas del tratamiento propuesto

Entre sus principales ventajas se tienen:

- No genera lodos, estos son transformados en humus.
- No utiliza reactivos químicos que dañen el medio ambiente (cloro, ozono).
- Posee bajos costos de operación e inversión en obras civiles.
- Produce biomasa y fertilizantes naturales útiles para la agricultura.
- Permite la reutilización del agua tratada para procesos industriales y/o riego, ya que cumple holgadamente las normas ambientales vigentes para agua de riego.

La superficie que requiere el sistema es considerablemente inferior a los sistemas de lagunas de estabilización y su eficiencia superior a la de los sistemas de lodos activados actualmente en uso.

8.18. Diseño del pretratamiento de la planta

Se denomina pretratamiento al conjunto de obras y dispositivos que tienen la función de eliminar sólidos visibles que se encuentran flotando o que son conducidos por el agua, tales como: papel, madera, plásticos, latas, etc., así como sólidos de menor tamaño como partículas de arena, pedazos de vidrio, grasas y aceite.

8.18.1. Canal de llamada.

La función del canal de llamada es conducir el agua residual manteniendo un flujo laminar y libre de turbulencia, hacia las siguientes unidades o dispositivos de pretratamiento. El diseño del canal incluye la determinación de su forma, sección, dimensiones, materiales de construcción y comportamiento hidráulico.

8.18.2. Cribado o rejillas

Las aguas residuales llegarán por gravedad, conducidas por el emisor, hasta el lugar donde será construida la planta de tratamiento de aguas residuales, y los materiales sólidos y bastos, tales como papel y madera encuentran su destino en el sistema de alcantarillado. El propósito fundamental de los dispositivos de cribado es proteger las bombas y otros equipos electromecánicos y prevenir el atascamiento de válvulas. Por este motivo la primera operación que se lleva a cabo en el influente de agua residual es el cribado.

8.18.3. Canal desarenador de flujo horizontal

El objetivo del canal desarenador o arenero es remover sólidos inorgánicos que logran pasar por las rejillas, las cuales tienen el tamaño de pedazos de vidrio y la propia arena. Las partículas por remover son de diámetro 0.21 mm y de gravedad específica 2.65. El propósito de esta obra es evitar depósitos de arena en tanques de aireación, desgaste de las bombas y rastras sedimentadores. Ver fig. 8.11.

En los desarenaadores tipo canal de flujo horizontal es importante mantener la velocidad horizontal en aproximadamente 0.3 m/s, ya que un incremento del 25% provoca que la arena se resuspenda, y si se reduce un 25% se retendrán en el canal los materiales orgánicos. Calculando el área hidráulica de la sección transversal correspondiente al gasto máximo extraordinario se tiene:

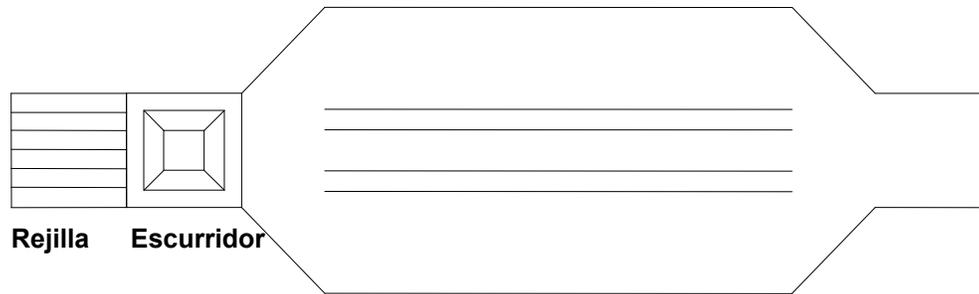


Fig.8.11. Canal desarenador

8.18.4. Vertedor proporcional

El vertedor proporcional es una estructura o dispositivo que se instala en el extremo final del Canal desarenador cuya función es mantener la velocidad del flujo en 0.3 m/s, aguas arriba, independientemente de la variación del gasto.

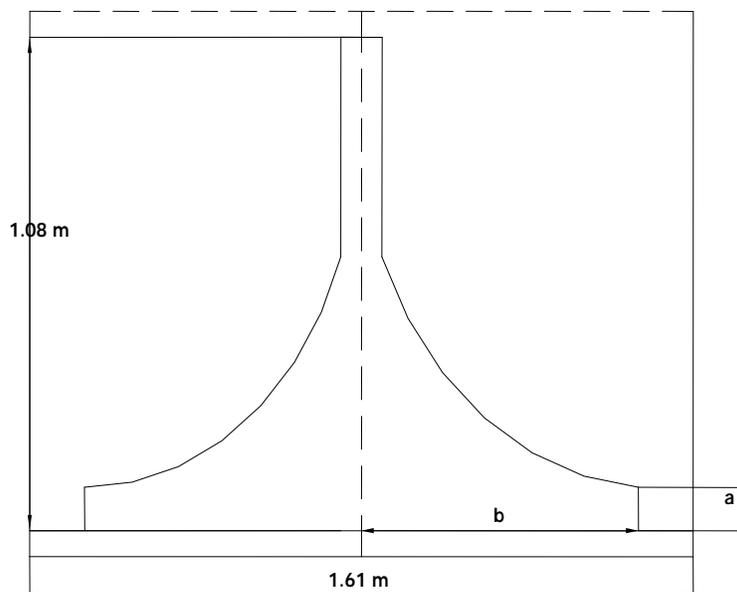


Fig. 8.12. Vertedor Rettger de gasto proporcional

8.18.5. Canal Parshall

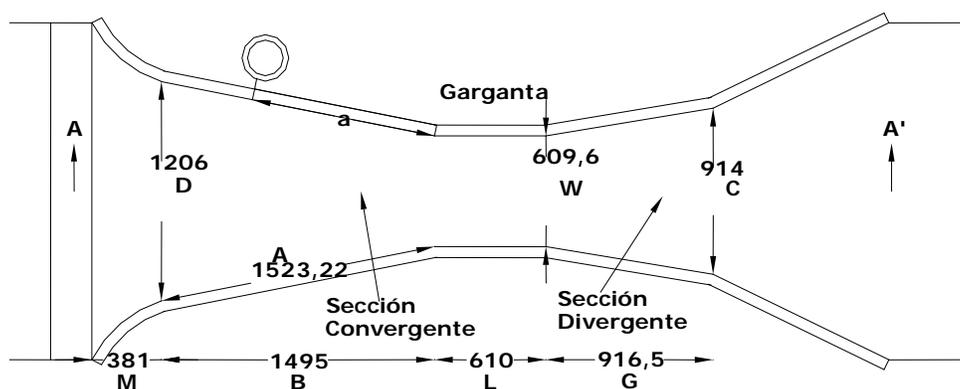
El canal de Parshall es un tipo de medidor perfeccionado del Venturi, estudiado para el aforo de aguas destinadas al riego agrícola. Es un dispositivo de aforo bastante exacto, aunque no tanto como el medidor Venturí, pero tiene la ventaja de que su costo es menor. El canal Parshall ha sido empleado como dispositivo de medición de gastos en las plantas de tratamiento de aguas residuales, instalaciones en las que el bajo costo es cuestión de importancia. Ha resultado un medio de aforo satisfactorio y también útil para verificar la velocidad en los desarenadores.

Los medidores Venturi y Parshall, dotados de dispositivos apropiados, pueden emplearse también para la dosificación de productos químicos a agregar a las aguas en proporción directa a su gasto.

La ventaja del canal Parshall, que lo hace ser el más utilizado, es que su forma no permite acumulación de sólidos en ninguna parte del canal. Su diseño hidráulico se ha hecho de tal manera que el gasto es una función lineal de la altura del tirante a la entrada del dispositivo.

La **fig.8.14** muestra su configuración, que en el sentido de escurrimiento inicia con una sección convergente donde el piso es horizontal, continúa con una sección de paredes paralelas de corta longitud denominada "garganta" en donde el piso tiene pendiente descendente, y termina con una sección convergente cuyo pisos son de pendiente positiva.

En el canal Parshall se tiene dos puntos de medición de carga hidráulica: uno aguas arriba, situado en la sección convergente (designado con h_1 en la **fig.8.14** y otro situado en la salida de la garganta (designado con h_w en la misma figura). Tanto h_1 , como h_w se miden utilizando el piso horizontal de la sección convergente como nivel de referencia.



Medidas en milímetros. La distancia "a" medida desde se inicia la garganta hasta el punto de medición de h_1 es igual a dos tercios de la distancia "A" que tiene de largo la pared convergente.

Fig.8.13. Vista en planta del Canal Parshall

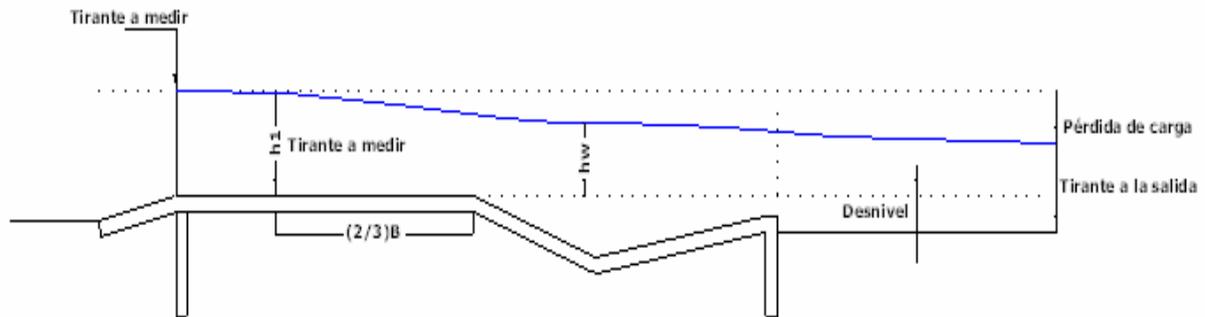


Fig.8.14. Perfil hidráulico del canal Parshall

8.18.6. Tanque de igualación

Las variaciones horarias del gasto de agua residual pueden tener un efecto adverso en el funcionamiento de los procesos de la planta; el cambio constante de la cantidad y concentración del agua residual a ser tratada propicia que la operación eficiente de los procesos sea difícil. Además, muchas unidades de tratamiento tendrían que diseñarse para las condiciones de gasto máximo extraordinario, provocando un sobredimensionamiento para las condiciones promedio. Para prevenir esta situación, es conveniente considerar en el proyecto la construcción de un tanque de igualación, cuya función es amortiguar las variaciones de las descargas de aguas residuales con el fin de tratar un gasto uniforme. La igualación del gasto puede reducir el tamaño y costo de las unidades de tratamiento.

Para el diseño del tanque es preciso conocer un hidrograma representativo del gasto de aguas residuales que descargará en la planta de tratamiento.

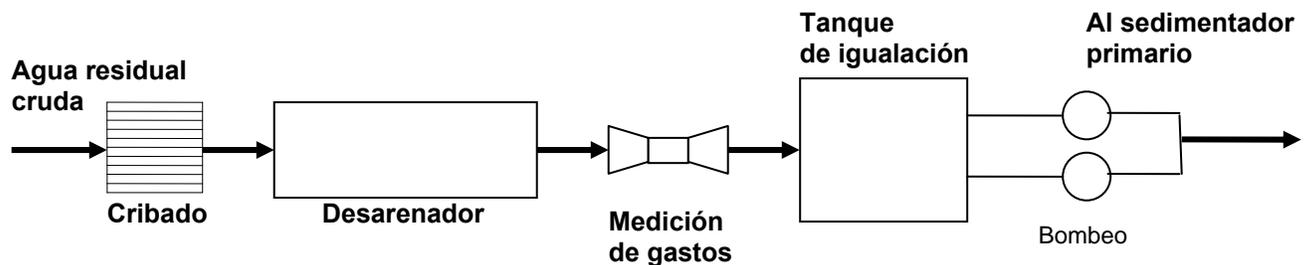
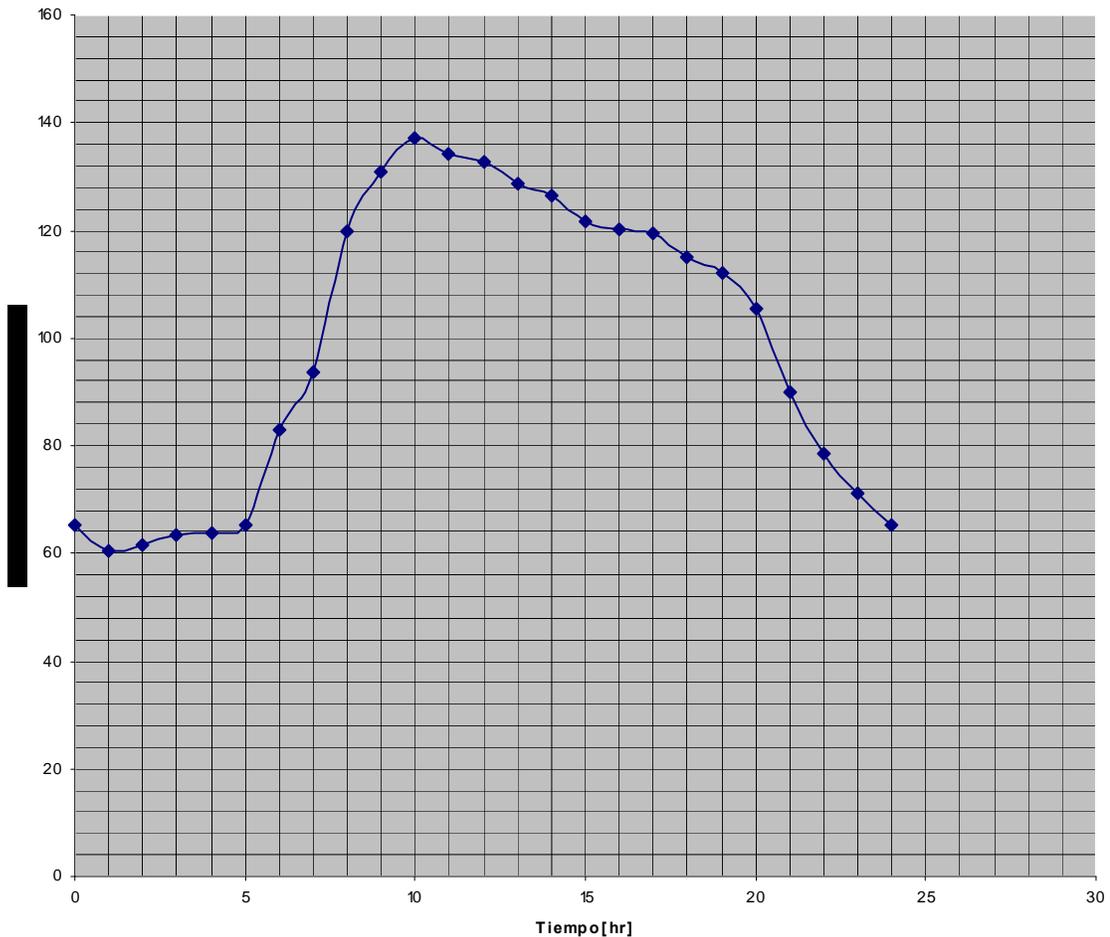


Fig.8.15. Flujo para la igualación del gasto

La gráfica 8.16 muestra la variación del gasto horario, la cual representa los volúmenes acumulados que pasan por una sección del emisor con relación al tiempo.

Variación del gasto Horario para la ciudad de Chilpancingo Guerrero.



Gráfica 8.16. Variación del gasto horario

8.19. Diseño del tratamiento primario de la planta

El tratamiento primario es el nivel básico que se da a las aguas residuales y consiste en el pretratamiento más una unidad de sedimentación primaria. La sedimentación primaria es una operación unitaria diseñada para concentrar y remover sólidos suspendidos orgánicos del agua residual. La mayor parte de los sólidos suspendidos presentes flocculan de forma natural.

8.19.1. Sedimentación Primaria.

El primer tratamiento importante que sufren las aguas residuales después de las fases preliminares es, generalmente, la sedimentación de los sólidos suspendidos en un tanque adecuado en el que se mantienen las aguas por un lapso de 0.5 a 3 horas o más, que es suficiente para permitir que el 40 a 65 % de los sólidos finamente divididos, se posen en el fondo del tanque, del cual se extraen por medio de colectores mecánicos en forma de lodos. La sedimentación primaria es una operación unitaria diseñada para concentrar y remover sólidos suspendidos orgánicos del agua residual.

La mayor parte de los sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales son de naturaleza pegajosa y floculan en forma natural. El material orgánico es ligeramente más pesado, normalmente en el intervalo de 1 a 2.5 m/h. Los materiales orgánicos más ligeros, principalmente grasas y aceites, flotan en la superficie y se deben desnatar.

Descripción de los tanques de sedimentación.

La sedimentación primaria puede llevarse a cabo en tanques rectangulares alargados o en tanques rectangulares circulares.

En los tanques rectangulares, como el mostrado en la **Fig.8.17**, la espuma se retira utilizando unas rastras de lodo que, de manera alternada, después de recorrer el tanque por el fondo, regresan a su punto de partida recorriendo la superficie de agua, lo que se aprovecha, como se dijo, para mover la espuma. El material flotante se desplaza de esta manera hasta un sitio donde se colecta, ubicado a cierta distancia hacia atrás del vertedor del efluente, y allí es retirado al pasar sobre un vertedor de espuma o por medio de una rastra transversal.

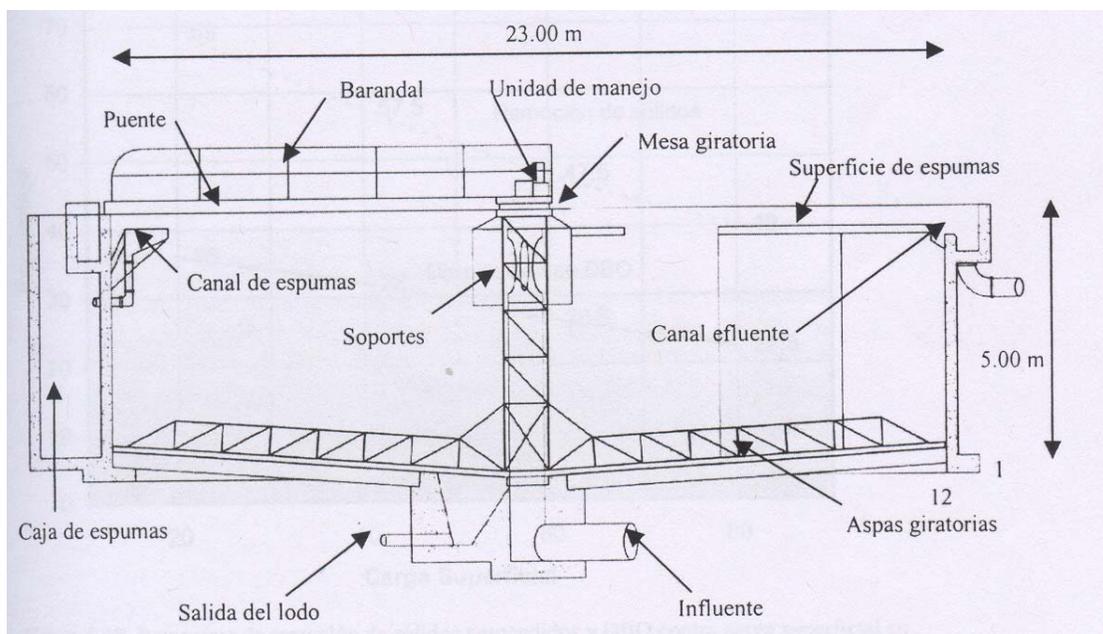


Fig.8.17. Perfil del tanque sedimentador primario.

8.20. Tratamiento secundario (diseño del proceso biológico)

El efluente del tratamiento primario todavía contiene 40 a 50% de los sólidos suspendidos que tenía el influente a la planta y virtualmente todos los compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos. Para cumplir con las normas oficiales mexicanas se requiere reducir significativamente tanto la fracción orgánica suspendida como la disuelta. La remoción de compuestos orgánicos se denomina tratamiento secundario, puede hacerse mediante procesos físicos-químicos o procesos biológicos. En el primer caso se emplean combinaciones de operaciones y procesos unitarios tales como: coagulación, microcribado, filtración, oxidación química, adsorción con carbono y otros procesos para remover los sólidos y reducir la DBO a niveles aceptables. Actualmente la inversión inicial y los costos operativos de estas opciones son de gran magnitud, por esta razón se usan comúnmente. En cambio, los procesos biológicos se usan prácticamente en todos los sistemas municipales de tratamiento secundario.

En el tratamiento biológico los microorganismos usan los compuestos orgánicos presentes en el agua residual como fuente de alimento y los convierten en células biológicas denominadas biomasa. Debido a que el agua contiene diversas sustancias orgánicas, para llevar a cabo el tratamiento se requieren diversos tipos de microorganismos, estos son, un cultivo mezclado. Cada tipo de microorganismos presentes en el cultivo mezclado utiliza la fuente de alimento más adecuada a su metabolismo y la mayoría de los cultivos mezclados contienen además depredadores es decir, microorganismos que devoran a los de otras especies. La biomasa creada se tiene que eliminar del agua residual para completar el proceso de tratamiento.

8.20.1. Sedimentación secundaria

Es la operación unitaria que tiene por objeto separar los sólidos suspendidos que se encuentran en el flujo que proviene del reactor. En este tanque se sedimentan los sólidos, lográndose la clarificación del agua, por ello también recibe el nombre de clarificador.

Mientras los tanques de sedimentación primaria se construyen para la remoción de sólidos sedimentables que se encuentran en estado crudo, es decir, sin tratamiento biológico, los de sedimentación secundaria reciben los lodos del reactor biológico. La sedimentación de partículas en los sedimentadote secundario se hace también por medio de la gravedad, propiciando una cierta quietud de las aguas, es decir, es una sedimentación simple de material floculento.

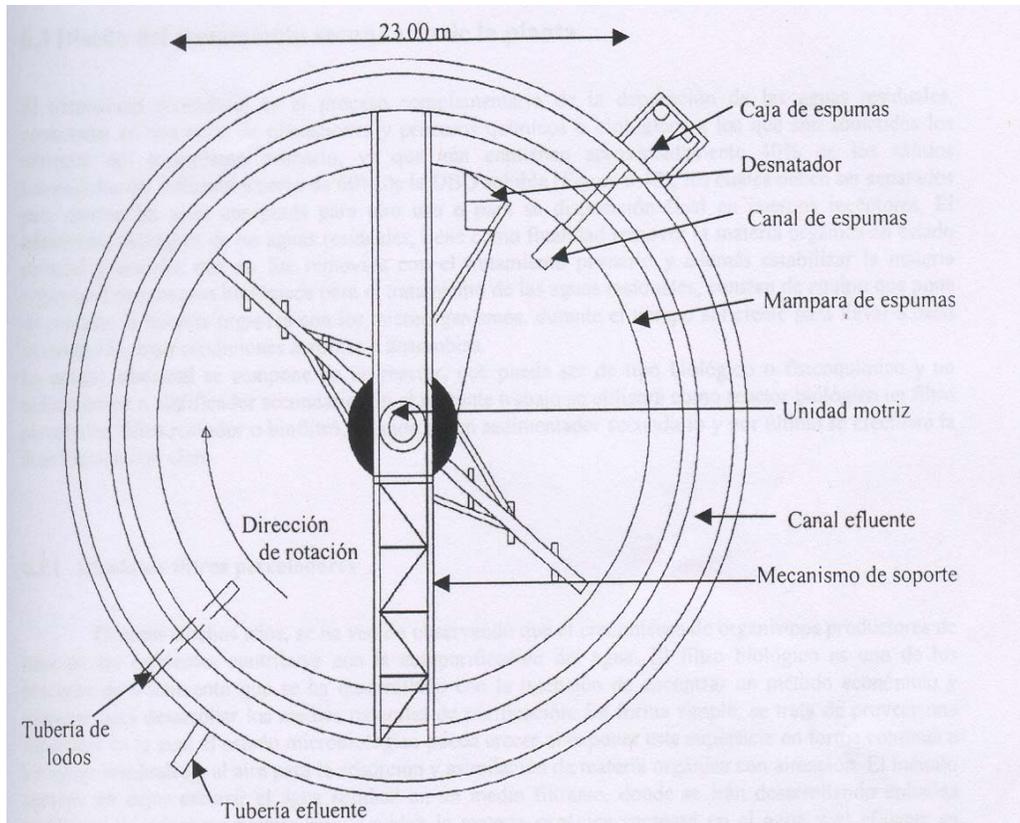


Fig. 8.18. Planta del tanque sedimentador primario

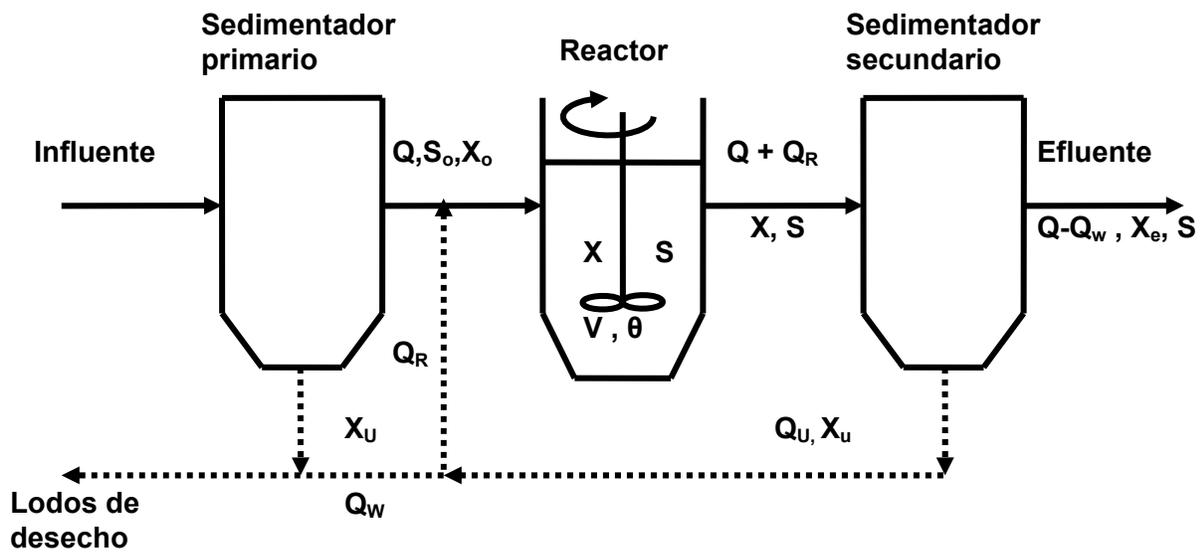


Fig.8.19. Configuración del sistema

Simbología

Q_o, Q_w	Gastos del influente y lodos de desecho, respectivamente, m ³ /d.
X_o, X, X_e, X_u	Concentración de biomasa en el influente, reactor, efluente y flujo inferior del sedimentador (lodos de desecho), respectivamente, kg·m ⁻³ .
S_o, S	Concentración de alimento (sustrato) soluble en el influente y reactor, respectivamente, kg/m ³ .
V	Volumen del reactor
K_s, K_o, K_d, Y	Constantes cinéticas, kg/m ³ , d ⁻¹ , kg/kg.

8.20.2. Alternativas de tratamientos secundarios

El objetivo del tratamiento secundario es remover la DBO soluble que se escapa de un tratamiento primario, además de remover cantidades adicionales de sólidos suspendidos (SS). Estas remociones se realizan por medio de procesos Biológicos.

Un tratamiento secundario remueve un 85% de la DBO y los sólidos suspendidos aunque no remueve cantidades significativas de Nitrógeno y Fósforo, Metales pesados, DQO y bacterias patógenas.

Cuando los efluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales de tipo secundario no cumplen con ciertos niveles de calidad se hace entonces necesario un tratamiento terciario o avanzado.

En el tratamiento secundario de tipo biológico, la materia orgánica es utilizada como alimento de los microorganismos tales como hongos, bacterias, protozoos, rotíferos, etc, de tal manera que ésta es transformada en CO₂, H₂O y un nuevo material celular.

Además de los microorganismos y materia orgánica es necesario hablar de oxígeno o DBO, y ciertas condiciones favorables como el pH, y un adecuado tiempo de contacto.

Los mecanismos utilizados para llevar a cabo la anterior tarea son los lodos activados, filtros percoladores, lagunas de estabilización, o biodiscos.

Lodos Activados

Se denomina de ésta forma porque involucra la producción de una masa activada de microorganismos capaces de estabilizar un residuo en forma aeróbica. El proceso de lodos activados básicamente consiste en una unidad que pone en contacto los lodos activados con las aguas residuales que contienen materia orgánica finamente dividida al estado coloidal y en solución.

La función del lodo activado es absorber y flocular, contiene la población de microorganismos activa, éste es un proceso de contacto aeróbico, por lo tanto requiere de un abastecimiento permanente de oxígeno, el cual se consigue por aireación en un estanque apropiado.

El proceso está caracterizado por tres etapas, las cuales se entrelazan: clarificación o floculación, reactivación, nitrificación.

Ventajas

- Alta remoción de carga orgánica.
- Efluentes de buenas características organolépticas.
- No requiere sedimentación primaria, ni digestión de lodos.
- Procesos estables, cuando los lodos son manejados apropiadamente.
- Estas plantas se caracterizan por el poco espacio que requiere su instalación.

Estas plantas son sistemas modulares, fácilmente expansibles.

Desventajas

- Requiere equipo mecanizado (motor, reductor, aireadores, bombas, etc.).
- Alto consumo de energía.
- Requiere personal capacitado. Eventual producción de olores.
- Eventual aspersión de partículas de agua y espumas.
- Requiere mayor mantenimiento y reposición de equipos.
- Produce gran cantidad de fango
- La opción de lodos activados es la más costosa.

Filtros Percoladores:

Los filtros percoladores consisten en un lecho de material compuesto, en la mayoría de los casos de piedras o materiales sintéticos de diversas formas, sobre el cual son aplicadas las aguas residuales por medio de brazos distribuidores fijos o móviles.

Alrededor de éste lecho fijo se encuentra adherida la población bacteriana que descompone las aguas residuales a medida que éstas percolan hacia el fondo del tanque.

Después de cierto tiempo, la capa bacteriana adquiere un gran espesor y se desprende hidráulicamente del lecho de piedras para pasar luego a un clarificador secundario donde se efectúa la separación de los lodos formados.

Ventajas

- Alta remoción de carga orgánica.
- Ocupa poco espacio.
- Alta remoción de nitrógeno.
- Efluentes de características organolépticas buenas.

Desventajas

- Requiere de equipo mecanizado.
- Requiere de personal técnico calificado.
- Poca capacidad de asimilación.
- Eventual producción de olores.

Lagunas Aireadas.

En esta fase se trabaja con algas que consumen CO_2 y producen oxígeno y con bacterias que consumen oxígeno y producen CO_2 . Aquí es donde se realiza la remoción de patógenos. La profundidad debe ser de aproximadamente 30 centímetros ya que se requiere que el oxígeno molecular se encuentre disuelto en toda la columna de agua.

Las **lagunas de estabilización** son las únicas que remueven microorganismos patógenos hasta en un 99%.

Hay que evaluar la producción de lodos, porque éstos van afectando el período de retención de la laguna. Aproximadamente cada diez años hay que vaciar la laguna para retirar los lodos.

Ventajas

- Presenta alta eficiencia
- Costo inicial bajo.
- Gastos de operación y mantenimiento bajos.
- Gran capacidad para recibir sobrecarga.
- Simplicidad de operación.
- No requiere equipo mecánico.

Desventajas

- Requiere grandes extensiones.
- Puede ocasionar problemas de olores (Generalmente las lagunas Anaerobias).
- Puede producir vectores.
- En épocas de frío disminuye su eficiencia.
- Si el precio del terreno es alto puede salir costosa.

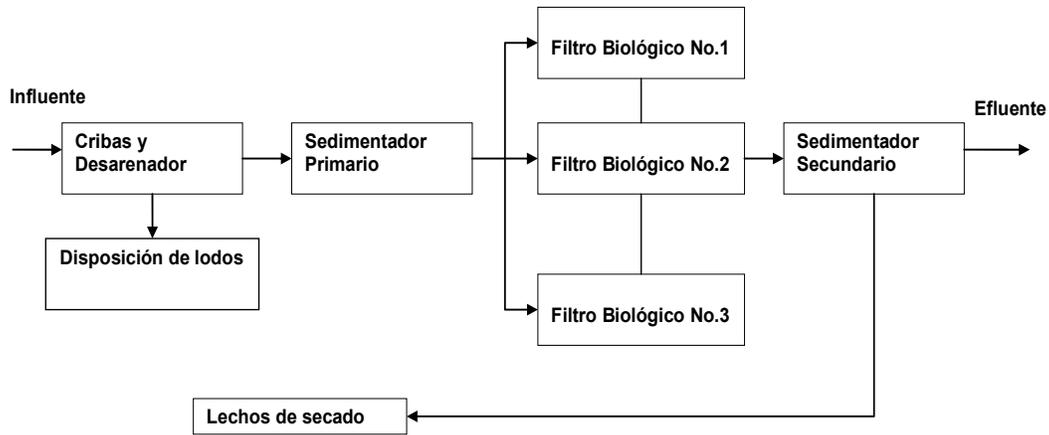


Fig.8.20. Diagrama de flujo del sistema de filtros biológicos

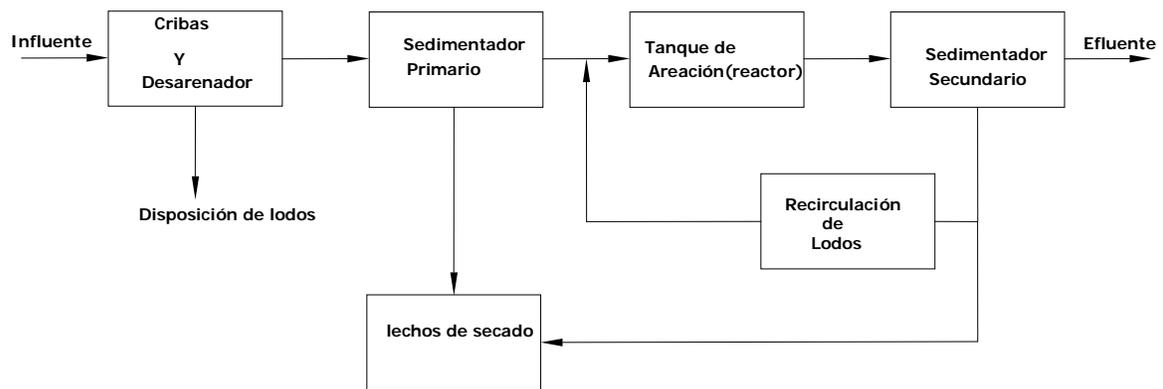


Fig. 8.21. Diagrama del sistema de lodos activados

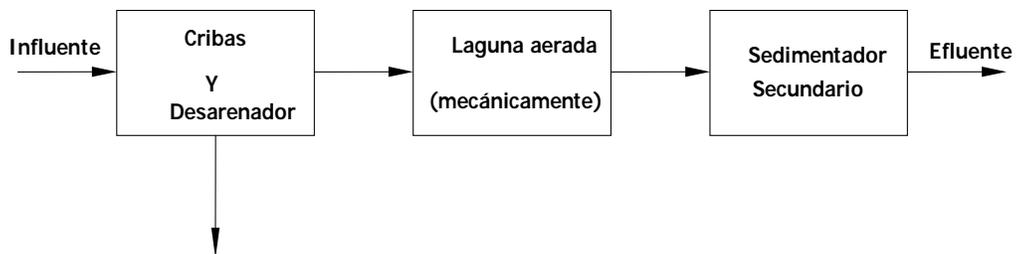


Fig.8.22. Diagrama de flujo del sistema de lagunas aeradas

Cuadro 8.17. Alternativas de tratamientos secundarios

Características	Lagunas de estabilización	Lodos activados	Biofiltro dinámico
Superficie	Requiere grandes superficies para retener el agua de una población por 20 días o más.	Requiere menor superficie que las lagunas pero mayores que el biofiltro.	Requiere muy poca superficie dado que el agua es tratada en minutos.
Costos de la inversión en instalaciones y equipos	Costo moderado. Rango típico 50-80 US\$/hab. No se incluye precio del terreno.	Alto costo. Rango de precios 100-150 US\$/hab. No se incluye precio del terreno.	Costos muy bajos. Se estima 15-60 US\$/hab. No se incluye precio del terreno.
Equipos de control	Sencillos, ya que el sistema funciona por gravedad.	Complejos dado que inyecta aire u oxígeno a presión	Sencillos, ya que el sistema funciona a nivel de terreno.
Costos de Operación y Mantenimiento	Para cumplir las normas de calidad y evitar la producción de malos olores se utilizan elementos químicos	Para cumplir las normas de calidad y evitar la producción de malos olores se utilizan elementos químicos (cloro). Tiene un gasto energético importante por los equipos que inyectan oxígeno (aire)	No utiliza elementos químicos que dañen el medio ambiente. Su gasto energético es mínimo: costo operacional de los equipos de bombeo y de la cámara de radiación.
Eficiencia del tratamiento	Requiere una importante radiación solar. Por lo general las reducciones oscilan en torno al 60%.	Es posible alcanzar la norma de agua apta para riego.	Muy eficiente en la remoción de los contaminantes y microorganismos patógenos. Reducciones superiores al 90%. Cumple la norma de agua apta para riego y de descarga a cursos de aguas.

8.21. Tratamiento terciario

Consisten en procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc. Es un tipo de tratamiento más caro que los anteriores y se usa en casos más especiales como por ejemplo para purificar desechos de algunas industrias.

Una mejor posibilidad para el tratamiento terciario consiste en agregar uno o más estanques en serie a una planta de tratamiento convencional. El agregar esos estanques de "depuración" es una forma apropiada de mejorar una planta establecida de tratamiento de aguas residuales, de modo que se puedan emplear los efluentes para el riego de cultivos o zonas verdes y en acuicultura.

8.21.1. Desinfección

El propósito de la desinfección en el tratamiento de las aguas residuales es reducir substancialmente el número de organismos vivos en el agua que se descargará nuevamente dentro del ambiente. La efectividad de la desinfección depende de la calidad del agua que es tratada (por ejemplo: turbiedad, pH, etc.), del tipo de desinfección que es utilizada, de la dosis de desinfectante (concentración y tiempo), y de otras variables ambientales. El agua turbia será tratada con menor éxito puesto que la materia sólida puede blindar organismos, especialmente de la luz ultravioleta o si los tiempos del contacto son bajos. Generalmente, tiempos de contacto cortos, dosis bajas y altos flujos influyen en contra de una desinfección eficaz. Los métodos comunes de desinfección incluyen el ozono, la clorina, o la luz UV. La cloramina, que se utiliza para el agua potable, no se utiliza en el tratamiento de aguas residuales debido a su persistencia.

La desinfección con cloro sigue siendo la forma más común de desinfección de las aguas residuales en Norteamérica debido a su bajo costo y del largo plazo de la eficacia. Una desventaja es que la desinfección con cloro del material orgánico residual puede generar compuestos orgánicamente clorados que pueden ser carcinógenos o dañinos al ambiente. La clorina o las "cloraminas" residuales puede también ser capaces de tratar el material con cloro orgánico en el ambiente acuático natural. Además, porque la clorina residual es tóxica para especies acuáticas, el efluente tratado debe ser químicamente desclorinado, agregándose complejidad y costo del tratamiento.

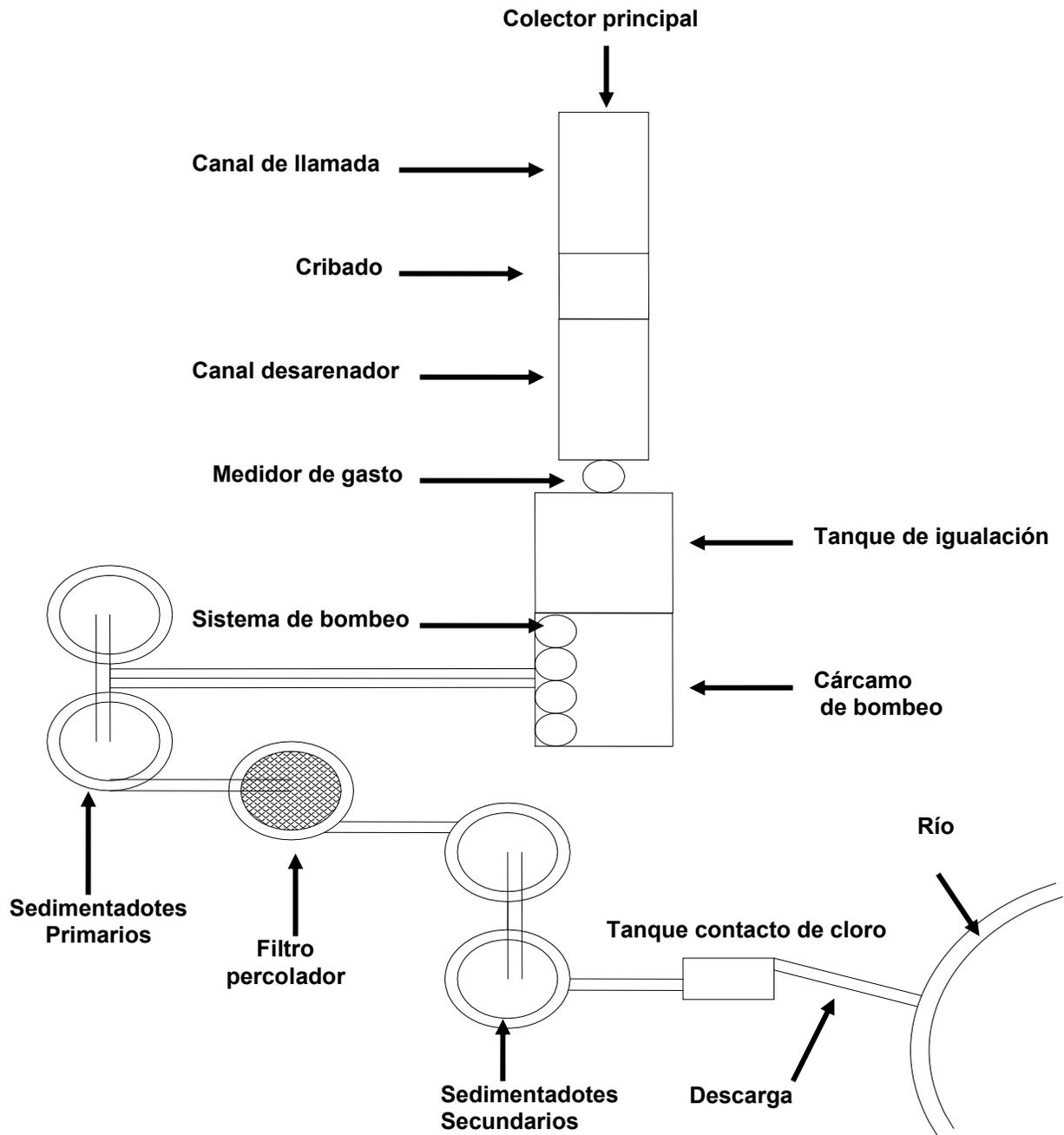


Fig.8.23. Arreglo general de la planta de tratamiento

8.22. Conclusiones

El tratamiento del agua residual permite salvaguardar la vida acuática y estimular el reúso del agua tratada para la floricultura, riego de jardines, recarga por inyección directa, acuacultura y uso recreativo sin contacto directo.

Los gobiernos estatales y municipales deben considerar lo dispuesto por la NOM-001-ECOL-1996, en el sentido de dar tratamiento al agua residual para cumplir con los plazos establecidos al año 2010.

Los índices altos de demanda bioquímica de oxígeno traen como consecuencia la eutrofización del medio ambiente acuático y la formación de condiciones anóxicas en el medio ambiente, causando que las bacterias aeróbicas utilicen compuestos orgánicos solubles en su mayoría como procesos de oxidación aeróbica, consumiendo el oxígeno necesario para la degradación de materia orgánica.

Las fuentes contaminantes con origen en la agricultura y ganadería, tienen su incidencia en las aguas superficiales y subterráneas, están compuestas de materias orgánicas e inorgánicas, en las que se incluyen compuestos como el fósforo y nitrógeno, los cuales demandan gran cantidad de oxígeno. Estos compuestos suelen proceder de la erosión de tierras de cultivo, que tienen depositados residuos de fertilizantes y de origen animal, estos últimos transportadores en ocasiones de organismo patógenos.

Los efectos tóxicos directos de las distintas formas de nitrógeno son variables: el nitrógeno amoniacal no tiene efectos apreciables sobre la salud salvo a altas concentraciones. Tanto los nitratos y nitritos como el amonio, son causantes de la eutrofización.

Para el caso de estudio la metodología que se siguió fue la siguiente:

1. Seccionar el río en donde descargan las aguas residuales municipales
2. Colocar estaciones de monitoreo en el río
3. Obtener muestras del río y analizarlas en el laboratorio
4. Con base en los criterios ecológicos de calidad del agua y las normas ecológicas de calidad del agua se analizan las muestras obtenidas en el laboratorio.
5. Determinar que estaciones de monitoreo tienen altos índices de contaminación.
6. Identificar que tramos en el río rebasan los límites de descargas y en el río para los aprovechamientos del agua residual municipal.

Con base en lo anterior, para nuestro caso de estudio se propone dar un tratamiento hasta el proceso terciario a aguas residuales para un mejor aprovechamiento de ésta.

9. EVALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA

El objetivo de la evaluación de proyectos es contribuir directa o indirectamente a que los recursos disponibles sean asignados a los distintos usos para que rindan el máximo de beneficios.

La evaluación de proyectos consiste en la realización de comparaciones entre distintas opciones de uso de recursos, representadas por los proyectos de inversión y la selección de las que dan rendimiento mayor.

Todos los proyectos son susceptibles de evaluarse con el propósito de escoger sólo aquellos que generen los más altos beneficios. De los objetivos del proyecto y del origen de los recursos que lo financian, depende el beneficio que se espera de éste, ya sea económico social.

La evaluación económica es un simple indicador de la conveniencia de invertir, mientras que la evaluación financiera nos mostrará si es factible el flujo del proyecto a tasas diferenciales de mercado.

9.1. Costos de inversión privada

El cuadro 9.1 muestra los privados de las obras: civil, eléctrica y mecánica, así como los costos indirectos.

Cuadro 9.1. Costos Privados

<i>Concepto</i>	<i>Importe</i>
Obra civil	9,291,101
Obra Mecánica	5,441,046
Obra Eléctrica	12,217,249
Indirectos	203,648
Total	\$27,153,043

9.2. Costos de inversión sociales

En el cuadro no. 9.2 se muestran los conceptos de mano de obra calificada, semicalificada y no calificada. A continuación se explican cada unos de los conceptos:

Mano de obra calificada: aquellos trabajadores que desempeñan actividades cuya ejecución requiere estudios previos o vasta experiencia, por ejemplo: profesionales, técnicos, obreros especializados. Entre estos últimos se debe considerar maestros de primera en general, ya sean mecánicos, electricistas, albañiles, pintores, carpinteros u otros.

Mano de obra semicalificada: aquellos trabajadores que desempeñan actividades para las cuales no se requiere estudios previos y que, teniendo experiencia, ésta no es suficiente para ser clasificados como maestros de primera. Está conformada también por albañiles, pintores, carpinteros u otros, y análogamente, se denominan maestros de segunda.

Mano de obra no calificada: aquellos trabajadores que desempeñan actividades cuya ejecución no requiere de estudios ni experiencia previa, por ejemplo: jornaleros, cargadores, personas sin oficio definido.

En el cuadro 9.2 muestra los porcentajes de mano de obra y materiales para cada uno de los conceptos de: obra civil, obra mecánica, obra eléctrica y costos indirectos.

Cuadro 9.2. Porcentajes de mano de obra y materiales

Concepto	Mano de obra (%)	Materiales (%)	Total (%)	Mano de obra (%)			Materiales (%)	
				Calificada	Semicalif.	No calif.	Comerciables	No comerciable
Obra Civil	31%	69%	100%	10%	25%	65%	20%	80%
Obra Mecánica	44%	56%	100%	28%	45%	37%	80%	20%
Obra Eléctrica	37%	63%	100%	25%	50%	25%	90%	10%
Indirectos	80%	20%	100%	60%	25%	15%	95%	5%

Cuadro 9.3. Factores para determinar los costos sociales (\$)

Mano de obra:	Factor de ajuste:
Calificada.	1.0
Semicalificada.	0.8
No calificada.-	0.7

Cuadro 9.4. Bienes comerciables internacionalmente

Factores de ajuste:	
Deducción arancel promedio	4.692%
Factor de ajuste (tipo cambio)	1.044

Cuadro 9.5. Desglose de los costos privados

Concepto	Mano de obra (\$)	Materiales (\$)	Total (\$)
Obra Civil	2,880,241	6,410,860	9,291,101
Obra Mecánica	2,394,060	3,046,986	5,441,046
Obra Eléctrica	4,520,382	7,696,867	12,217,249
indirectos	162,918	40,730	203,648
Total	9,957,602	17,195,442	27,153,043

Los costos totales del cuadro 9.5, se obtienen realizando las siguientes operaciones:

Costo de mano de obra calificada en obra civil

$$9,291,101 \times 0.31 = 2,880,241$$

Donde 0.31 es el porcentaje de mano de obra en obra civil

Costo de materiales en obra civil

$$9,291,101 \times 0.69 = 6,410,860$$

Donde 0.69 es el porcentaje de materiales en obra civil

Costo total de mano de obra civil

$$2,880,241 + 6,410,860 = 9,291,101$$

Costo total de mano de obra

$$2,880,241 + 2,394,060 + 4,520,382 + 162,918 = 9,957,602$$

Cuadro 9.6. Costos sociales de la mano de obra calificada, semicalificada y no calificada.

Concepto	Calificada	Semicalificada	No calificada
Obra Civil	288,024	576,048	1,310,510
Obra Mecánica	670,337	861,862	620,062
Obra Eléctrica	1,130,095	1,808,153	791,067
indirectos	97,751	32,584	17,106
Total	2,186,207	3,278,646	2,738,745

Los costos totales del cuadro 9.6 se obtienen realizando las siguientes operaciones:

Costo de mano de obra calificada en obra civil

$$2,880,241 \times 1.0 \times 0.1 = 2,880,241$$

Donde:

2,880,241 es el costo de mano de obra en obra civil del cuadro 9.5.

1 es el factor de ajuste de mano de obra calificada

0.1 es el porcentaje de mano calificada en obra civil del cuadro 9.2.

Costo de mano de obra calificada en obra mecánica

$$2,394,060 \times 1.0 \times 0.28 = 670,337$$

Donde:

2,394,060 es el costo de mano de obra en obra mecánica del cuadro 9.5.

1 es el factor de ajuste de mano de obra calificada

El valor 0.28, es el porcentaje de mano calificada en obra mecánica del cuadro 9.2. Para el subtotal de mano obra calificada, semicalificada y no calificada se realiza lo siguiente:

Costo de mano de obra calificada + Costo de mano de obra semicalificada + Costo de mano de obra no calificada=

$$2,186,207 + 3,278,646 + 2,738,745 = \$ 8,203,599$$

Subtotal mano de obra: \$ 8,203,599

Cuadro 9.7. Costos sociales de materiales comerciables y no comerciables

Concepto	Comerciables	No comerciable
Obra Civil	1,275,781	5,128,688
Obra Mecánica	2,425,438	609,397
Obra Eléctrica	6,892,652	769,687
Indirectos	38,500	2,036
Total	10,632,371	6,509,808

Materiales comerciables en obra civil

$$0.20 [6, 410, 860 (1-0.04692)(1.044)]=1, 275, 781$$

Donde:

0.04692 es la deducción arancel promedio del cuadro 9.4.

1.044 es el factor de ajuste del cuadro 9.4.

0.20 es porcentaje de de materiales comerciables en obra Civil del cuadro 9.2.

Para el subtotal de materiales comerciables y no comerciables se realiza lo siguiente:

Costo de materiales comerciables+ Costo de materiales no comerciables

$$10, 632, 371 + 6, 509, 808$$

Subtotal de materiales: \$ 17, 142, 179

Cuadro 9.8. Costos sociales totales

<i>Concepto</i>	<i>Importe</i>
Obra Civil	8,579,051
Obra Mecánica	5,187,096
Obra Eléctrica	11,391,653
Indirectos	187,978
Costo social total	25,345,778

Para el total de cuadro 9.8, se realizó lo siguiente:

Costo de mano de obra calificada, semicalificada y no calificada en obra civil

+

Costo de materiales comerciables y no comerciables en obra civil

=

Total del costo social en obra civil

$$288, 024+ 576, 048+ 1, 310, 510 + 1, 275, 781+ 5, 128, 688= 8,579, 051$$

Total del costo social de obra civil + obra mecánica + obra eléctrica+ indirectos

=

Costo Total social

$$8, 579, 051 + 5, 187, 096 + 11, 391, 653 + 187, 978= 25, 345, 778$$

9.3. Cuantificación de los costos de operación y mantenimiento

9.3.1. Costos privados

Cuadro 9.9. Costos privados anuales

Concepto	Importe
Personal	1,093,635
Materiales	141,605
Mantenimiento	220,731
Energía	961,609
Total	\$2,417,579

9.3.2. Costos sociales

Cuadro 9.10. Determinación de porcentajes de mano de obra y materiales

Concepto	Mano de obra (%)	Materiales (%)	Total (%)	Mano de obra (%)			Materiales (%)	
				Calificada	Semicalificada	No calificada	Comerciales	No comerciables
Personal	100%	0%	100%	0%	100%	0%	0%	0%
Materiales	0%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	100%
Mantenimiento	40%	60%	100%	90%	10%	0%	80%	20%
Energía	0%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	100%

Cuadro 9.11. Costos de Operación y Mantenimiento sociales (\$)

Mano de obra:	Factor de ajuste:
Calificada.-	1.0
Semicalificada.-	0.8
No calificada.-	0.7

Cuadro 9.12. Bienes comerciables internacionalmente

(Factores de ajuste)	
Deducción arancel promedio	4.692%
Factor de ajuste (tipo cambio)	1.044

Cuadro 9.13. Costos totales

Concepto	Mano de obra (\$)	Materiales (\$)	Total
			(\$)
Personal	1,093,635	0	1,093,635
Materiales	0	141,605	141,605
Mantenimiento	88,292	132,438	220,731
Energía	0	961,609	961,609
Total	1,181,927	1,235,652	2,417,579

El cuadro 9.13, se obtuvo realizando lo siguiente:

Costo de mano de obra en personal

$$1,093,635 \times 1 = 1,093,635$$

Donde

1, 093, 635 es el costo privado de personal del cuadro 9.9
 100% es el porcentaje de mano de obra en personal

Costo total de personal

Costo de mano de obra + Costo de materiales = Costo total de personal

$$1, 093, 635 + 0 = 1, 093, 635$$

Total de mano de Obra

Costo de Personal + Costo de Materiales + Costo Mantenimiento + Costo de Energía =
 Total de mano de Obra

$$1, 093, 635+0+88, 292+0= 1, 181, 927$$

Total de materiales

Costo de Personal + Costo de Materiales + Costo Mantenimiento + Costo de Energía
 =
 Total de materiales

$$0+ 141, 605+ 132, 438+ 961, 609= 1, 235, 652$$

Cuadro 9.14. Mano de Obra calificada, semicalificada y no calificada.

Concepto	Calificada	Semicalificada	No calificada
Personal	0	874,908	0
Materiales	0	0	0
Mantenimiento	79,463	7,063	0
Energía	0	0	0
Total	79,463	881,971	0

Mano de obra calificada en mantenimiento

$$88,292 \times 1.0 \times 0.90 = 79, 463$$

Donde:

1 es el factor de ajuste de mano de obra calificada del cuadro 9.11
 0.9 es el porcentaje de mano de obra calificada en mantenimiento del cuadro 9.10

Total de mano obra calificada

$$0+0+79, 643+0= 79, 643$$

Subtotal mano de obra

$$79, 463+ 881, 971= \$961, 434$$

Cuadro 9.15. Materiales comerciables y no comerciables

Concepto	Comerciables	No comerciable
Personal	0	0
Materiales	0	141,605
Mantenimiento	105,423	26,488
Energía	0	961,609
Total	105,423	1,129,701

Materiales comerciables en obra civil

$$0.80 [132, 438 (1-0.04692)(1.044)]= 105, 423$$

Donde:

0.80 es el porcentaje de materiales comerciables en mantenimiento del cuadro 9.11

0.04692 es la deducción arancel promedio del cuadro 9.12

1.044 es el factor de ajuste del cuadro 9.12

Subtotal de materiales comerciables y no comerciables

$$105, 423+ 1, 129, 701= 1, 235, 124$$

Total de mano de obra y materiales

$$961, 434 + 1, 235, 124 = 2, 196, 558$$

Cuadro 9.16. COSTOS SOCIALES

Concepto	Importe
Personal	874,908
Materiales	141,605
Mantenimiento	218,437
Energía	961,609
Total	2,196,558

Total del costo social de personal + costo materiales + mantenimiento+ energía

=

Costo Total social

$$874, 908 + 141, 605 + 218, 437 + 961, 609 = 2, 196, 558$$

Cuadro 9.17. Calendario de inversiones de costos sociales

OBRA	MONTO DE INVERSIÓN	
	TOTAL	AÑO 0
OBRA CIVIL	8,579,051	8,579,051
OBRA MECANICA	5,187,096	5,187,096
OBRA ELECTRICA	11,391,653	11,391,653
INDIRECTOS	187,978	187,978
TOTAL	25,345,778	25,345,778
VALOR PRESENTE AL 2007	25,345,778	25,345,778

Cuadro 9.18. Calendario de inversiones de costos privados

OBRA	MONTO DE INVERSIÓN	
	TOTAL	AÑO 0
OBRA CIVIL	9,291,101	9,291,101
OBRA MECÁNICA	5,441,046	5,441,046
OBRA ELÉCTRICA	12,217,249	12,217,249
INDIRECTOS	203,648	203,648
TOTAL	27,153,043	27,153,043
VALOR PRESENTE AL 2007	27,153,043	27,153,043

9.4. Costos de capital(TIR)

Cuando el capital necesario para llevar a cabo un proyecto es aportado totalmente por una persona física, antes de invertir, tiene en mente una tasa mínima de ganancia sobre la inversión propuesta, llamada Tasa Interna de Retorno.

Sin embargo cuando un inversionista arriesga su dinero, para esta persona, no es atractivo mantener el poder adquisitivo de su inversión, sino que busca un crecimiento real; es decir, le interesa un rendimiento que haga crecer su dinero, más alta de haber compensado los efectos de la inflación.

Rendimiento igual o mayor a la inflación. En este caso se esperaría obtener un rendimiento real igual a cero, lo que en la práctica no resulta aplicable.

Rendimiento mayor o igual al costo de oportunidad de capital. Que es aquella tasa que se deja de ganar en una inversión X por invertir los recursos disponibles en otra opción. Y el criterio se basa en el hecho de comparar el rendimiento estimado del proyecto de inversión con otras opciones accesibles a los inversionistas. Esas opciones de inversión son generalmente más seguras y pueden ser inversiones en el mercado de dinero.

Rendimiento mayor o igual costo del capital. Es el precio que la empresa paga a las fuentes de financiamiento por el uso del dinero, incluyendo el financiamiento por el endeudamiento y por aportaciones de capital de accionistas.

La TIR es la medida de rentabilidad de un proyecto dada como tasa de descuento. La TIR de algún fondo de inversión es la tasa de rendimiento que proporciona dicho fondo. Si la TIR es mayor que el costo de oportunidad, el proyecto es atractivo; si la TIR es menor que la tasa de oportunidad, el proyecto no es rentable.

La TIR se obtiene al resolver la siguiente ecuación

$$\sum_{k=0}^{k=n} FE(1 + TIR)^{-k} = 0 \quad (1)$$

Que es equivalente a:

$$VPN = FE_0 + \frac{FE_1}{(1 + TIR)} + \frac{FE_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{FE_n}{(1 + TIR)^n} \quad (2)$$

Que se puede escribir como:

$$VPN(x)=0=FE_0+ FE_1x+ FE_2x^2+\dots+ FE_nx^n \quad (3)$$

Donde: $x=1/(1+TIR)$ y $VPN(x)$ es un polinomio de grado n que tiene exactamente n raíces entre ellas. Las reales positivas pueden ser TIR. El número de raíces positivas (o disminuido de dos en dos) está dado por el número de cambios de signo en $VPN(x)$, de acuerdo con la regla de Descartes. En el caso más frecuente, la inversión inicial hace que el primer valor del FE (o los primeros valores) sea negativo, pues en él se realiza la inversión inicial y todos los demás valores son positivos; entonces hay un solo cambio de signo y por tanto hay forzosamente una raíz real positiva y un valor único de la TIR que puede ser estimado como ya se indicó.

El corolario es que cuando hay varios cambios de signo, existe la posibilidad de que múltiples tasas satisfagan la condición de ser TIR.

9.5. Valor presente neto

Cuando el valor presente es igual a cero, los dineros invertidos ganan un interés exactamente igual al empleado para calcular el VPN.

El VPN positivo significa que el rendimiento del proyecto es superior a la tasa de interés que se utiliza para calcularlo. Si ésta es la de equivalencia u oportunidad, un VPN positivo indica que el proyecto es atractivo ya que rinde un interés superior al de oportunidad.

El VPN es inversamente proporcional al valor de la i aplicada. Esto es, a mayor tasa de descuento i , menor resulta el VPN. Sin embargo, aunque el VPN sea cero, habrá un aumento en el patrimonio de la empresa. Por otro lado, si el resultado $VPN > 0$, sin importar cuánto supere a cero este valor esto solo implica una ganancia extra después de ganar la TIR. Por esta razón la TIR es de gran importancia. Los criterios de evaluación son si $VPN > 0$ se acepta la inversión, si $VPN < 0$ se rechaza.

Una desventaja del método es que considera una TMAR constante a lo largo de todo el horizonte económico lo cual no necesariamente es cierto pues las condiciones económicas en cualquier lugar no son constantes.

Para nuestro caso de estudio la tasa social de descuento se calculó de la siguiente manera:

Tasa Social de Descuento	Inflación del 2007	Premio por riesgo
TSD	i	j
[%]	[%]	[%]
12.00	6.00	6.00

$$\text{Tasa social de descuento} = i+j+i*j \quad (4)$$

Donde:

i : inflación

j: premio por riesgo

Cuadro 9.19. Valoración del costo social

TASA SOCIAL DE DESCUENTO:12%				
AÑO	COSTOS			VALOR PRESENTE DE LOS COSTOS
	INVERSIÓN	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	TOTAL	
0	25,345,778		25,345,778	\$25,345,778
1		2,196,558	2,196,558	\$1,961,213
2		2,196,558	2,196,558	\$1,751,083
3		2,196,558	2,196,558	\$1,563,467
4		2,196,558	2,196,558	\$1,395,953
5		2,196,558	2,196,558	\$1,246,386
6		2,196,558	2,196,558	\$1,112,845
7		2,196,558	2,196,558	\$993,611
8		2,196,558	2,196,558	\$887,153
9		2,196,558	2,196,558	\$792,101
10		2,196,558	2,196,558	\$707,233
11		2,196,558	2,196,558	\$631,458
12		2,196,558	2,196,558	\$563,802
13		2,196,558	2,196,558	\$503,394
14		2,196,558	2,196,558	\$449,459
15		2,196,558	2,196,558	\$401,303
VALOR PRESENTE NETO				\$40,306,239

En el siguiente cuadro 9.19.1 se muestran las fórmulas del valor futuro y valor presente.

Cuadro 9.19.1. Fórmulas de valor futuro

Concepto	Fórmula
Valor Futuro	$VF = VP (1+i)^n$
Valor Presente	$VP = \frac{VF}{(1+i)^n}$

Donde:

VF: valor futuro

VP: valor presente

i : tasa de interés

Para obtener el valor presente de los costos del cuadro 9.19 se realizó lo siguiente:

$$\frac{25,345,778}{(1 + 0.12)^1} = 1,961,213$$

$$\frac{25,345,778}{(1 + 0.12)^2} = 1,751,083$$

En la figura 9.1 se indican los consumos y valoraciones que se tendrán en las situaciones sin y con proyecto.

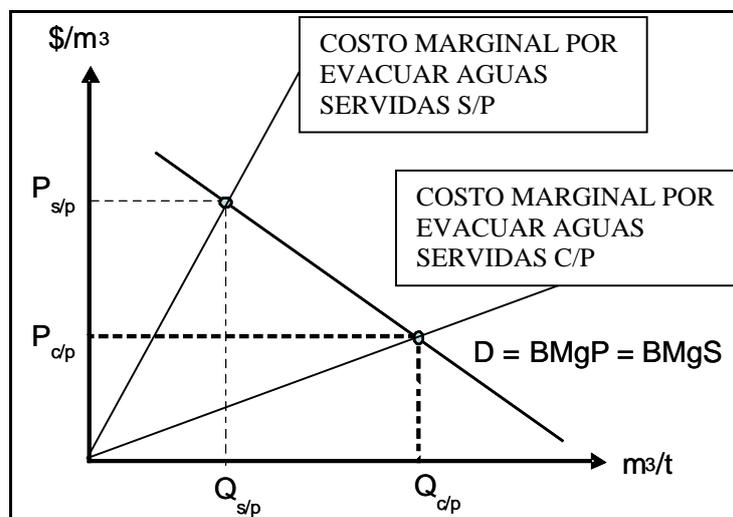


Figura 9.1. Precios y consumos de agua en las situaciones sin y con proyecto

Los principales beneficios que se identifican por la realización de proyectos de alcantarillado son:

Mayor consumo de agua

Debido a que en la situación sin proyecto existe una restricción en el consumo de agua, ocasionada por el costo y molestias de su disposición (ejemplificado en la figura 9.1 anterior), en la situación con proyecto se mejoran estas condiciones, con lo cual los usuarios aumentarán su consumo, mejorando su bienestar.

Eliminación de molestias

Al contar con un sistema eficiente de evacuación de aguas servidas, se eliminan de las viviendas los males olores, fauna nociva que había a en la situación sin proyecto, así como posibles encharcamientos en los patios de las viviendas, etc.

Disminución de enfermedades de origen hídrico

Los habitantes de la localidad no se verán expuestos a tener contacto con fauna nociva, y/o malos olores derivado del funcionamiento de los dispositivos con los que cuentan de manera individualizada para deshacerse de sus aguas residuales. Esto sin duda se ve reflejado en una menor incidencia de enfermedades de origen hídrico y en un ahorro en los costos de tratamiento de dichas enfermedades.

En la Figura 9.2 se muestran gráficamente los beneficios sociales por eliminación de las molestias al evacuar las aguas residuales y por mayor consumo de agua potable.

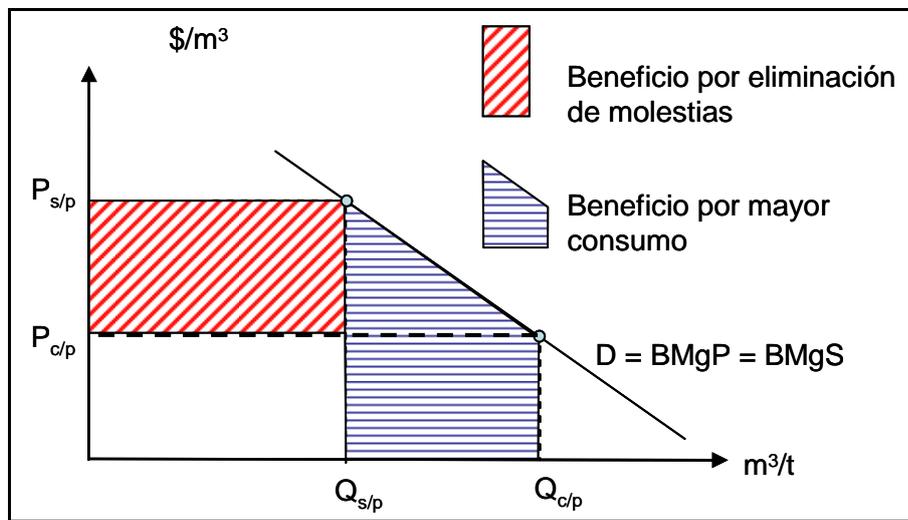


Figura 9.2. Beneficios por eliminar molestias y por mayor consumo de agua

Cuadro 9.20. Valoración del beneficio social

TASA SOCIAL DE DESCUENTO: 12%					
AÑO	BENEFICIOS				VALOR PRESENTE DE LOS BENEFICIOS SOCIALES
	BENEFICIO POR MAYOR CONSUMO	BENEFICIO POR TURISMO	VALOR DE RESCATE	TOTAL	
0				-	\$0
1	3,750,101	2,183,845		5,933,946	\$5,298,166
2	3,750,101	2,443,110		6,193,211	\$4,937,190
3	3,750,101	2,733,154		6,483,255	\$4,614,653
4	3,750,101	3,059,311		6,809,412	\$4,327,505
5	3,750,101	3,424,390		7,174,491	\$4,070,999
6	3,750,101	3,833,035		7,583,136	\$3,841,853
7	3,750,101	4,290,446		8,040,547	\$3,637,135
8	3,750,101	4,803,452		8,553,553	\$3,454,637
9	3,750,101	5,377,798		9,127,899	\$3,291,612
10	3,750,101	6,020,818		9,770,919	\$3,145,974
11	3,750,101	6,740,723		10,490,824	\$3,015,861
12	3,750,101	7,547,961		11,298,062	\$2,899,931
13	3,750,101	8,451,870		12,201,971	\$2,796,377
14	3,750,101	9,464,027		13,214,128	\$2,703,872
15	3,750,101	10,597,396	4,683,900.00	19,031,397	\$3,476,965
VALOR PRESENTE NETO					\$55,512,730

Beneficio Social para el año 1

$$3,750,101 + 2,183,845 = 5,933,946$$

Beneficio Social para el año 2

$$3,750,101 + 2,443,110 = 6,193,211$$

Valor presente del beneficio social para el año 1

$$\frac{5,993,946}{(1+0.12)} = 5,298,16$$

Valor presente del beneficio social para el año 2

$$\frac{5,993,946}{(1+0.12)^2} = 4,937,190$$

9.6. Valor presente neto social

Teniendo como costos atribuibles al proyecto los de:

- a) Inversión
- b) Operación y mantenimiento

Realizando el flujo de beneficios contra costos, al año 2017 (un horizonte de 15 años) y con una tasa social de descuento del 12%, se obtiene un Valor Presente Neto Social (VPNS) de:

Cuadro 9.21. Valor Presente Neto Social. Con una tasa social de descuento del 12%

AÑO	EVALUACIÓN SOCIAL		FLUJO NETO	VALOR PRESENTE DEL FLUJO NETO
	BENEFICIOS SOCIALES	COSTOS SOCIALES		
0		25,345,778	25,345,778	(\$25,345,778)
1	5,933,946	2,196,558	3,737,388	\$3,336,953
2	6,193,211	2,196,558	3,996,652	\$3,186,107
3	6,483,255	2,196,558	4,286,696	\$3,051,186
4	6,809,412	2,196,558	4,612,854	\$2,931,552
5	7,174,491	2,196,558	4,977,933	\$2,824,613
6	7,583,136	2,196,558	5,386,578	\$2,729,008
7	8,040,547	2,196,558	5,843,988	\$2,643,524
8	8,553,553	2,196,558	6,356,995	\$2,567,483
9	9,127,899	2,196,558	6,931,340	\$2,499,511
10	9,770,919	2,196,558	7,574,360	\$2,438,741
11	10,490,824	2,196,558	8,294,266	\$2,384,403
12	11,298,062	2,196,558	9,101,504	\$2,336,129
13	12,201,971	2,196,558	10,005,413	\$2,292,982
14	13,214,128	2,196,558	11,017,570	\$2,254,413
15	19,031,397	2,196,558	16,834,838	\$3,075,662
VALOR PRESENTE NETO SOCIAL				15,206,490
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)				19.81%

A continuación se explican los cálculos del obtenidos en el cuadro 9.21:

Flujo Neto

Flujo Neto= Beneficio Social – Costo Social

\$6, 193, 211-\$2, 196, 558= 3, 996, 652

\$5, 993, 946-\$2, 196, 558= 3, 737, 388

Valor Presente neto Social

Valor presente del flujo neto para el año 1, con una tasa social de descuento del 12%.

$$VP_1 = \frac{3,737,388}{(1+0.12)^1} = 3,336,953$$

Valor presente del flujo neto para el año 2, con una tasa social de descuento del 12%.

$$VP_2 = \frac{3,996,652}{(1+0.12)^2} = 3,186,107$$

Con estos resultados, se recomienda llevar a cabo el proyecto; cabe hacer mención que entre los planes del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de Carmen, existe el proyecto para llevar a cabo un estudio y proyecto que contemple la solución integral del problema para los próximos 20 años.

9.7. Análisis de sensibilidad

Modificaciones en los montos de inversión.- En el análisis de sensibilidad se han modificado los costos de inversión con un 10% y 20% tanto para incremento como para reducción, para conocer el impacto en el Valor Presente Neto Social (VPNS) así como la variación de la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Cuadro 9.22. Escenario 1. Variaciones en el monto de la inversión

TASA SOCIAL DE DESCUENTO: 12%					
AÑO	VARIACIÓN EN EL MONTO DE INVERSIÓN				
	-20%	-10%	ESCENARIO BASE	10%	20%
0	20,276,622	22,811,200	25,345,778	27,880,356	30,414,933
1	2,669,563	3,003,258	3,336,953	3,670,649	4,004,344
2	2,548,885	2,867,496	3,186,107	3,504,717	3,823,328
3	2,440,949	2,746,067	3,051,186	3,356,304	3,661,423
4	2,931,552	2,931,552	2,931,552	2,931,552	2,931,552
5	2,824,613	2,824,613	2,824,613	2,824,613	2,824,613
6	2,729,008	2,729,008	2,729,008	2,729,008	2,729,008
7	2,643,524	2,643,524	2,643,524	2,643,524	2,643,524
8	2,567,483	2,567,483	2,567,483	2,567,483	2,567,483
9	2,499,511	2,499,511	2,499,511	2,499,511	2,499,511
10	2,438,741	2,438,741	2,438,741	2,438,741	2,438,741
11	2,384,403	2,384,403	2,384,403	2,384,403	2,384,403
12	2,336,129	2,336,129	2,336,129	2,336,129	2,336,129
13	2,292,982	2,292,982	2,292,982	2,292,982	2,292,982
14	2,254,413	2,254,413	2,254,413	2,254,413	2,254,413
15	3,075,662	3,075,662	3,075,662	3,075,662	3,075,662
VPNS	18,360,797	16,783,644	15,206,490	13,629,337	12,052,184

Cuadro 9.23. Variación en el monto de inversión

	-20%	-10%	ESCENARIO BASE	10%	20%
0	-20,276,622	-22,811,200	-25,345,778	-27,880,356	-30,414,933
1	2,989,910	3,363,649	3,737,388	4,111,127	4,484,865
2	3,197,322	3,596,987	3,996,652	4,396,318	4,795,983
3	3,429,357	3,858,027	4,286,696	4,715,366	5,144,036
4	4,612,854	4,612,854	4,612,854	4,612,854	4,612,854
5	4,977,933	4,977,933	4,977,933	4,977,933	4,977,933
6	5,386,578	5,386,578	5,386,578	5,386,578	5,386,578
7	5,843,988	5,843,988	5,843,988	5,843,988	5,843,988
8	6,356,995	6,356,995	6,356,995	6,356,995	6,356,995
9	6,931,340	6,931,340	6,931,340	6,931,340	6,931,340
10	7,574,360	7,574,360	7,574,360	7,574,360	7,574,360
11	8,294,266	8,294,266	8,294,266	8,294,266	8,294,266
12	9,101,504	9,101,504	9,101,504	9,101,504	9,101,504
13	10,005,413	10,005,413	10,005,413	10,005,413	10,005,413
14	11,017,570	11,017,570	11,017,570	11,017,570	11,017,570
15	16,834,838	16,834,838	16,834,838	16,834,838	16,834,838
TIR	22.72%	21.16%	19.81%	18.63%	17.57%

Valor Presente Neto Social para el primer año
Escenario Base

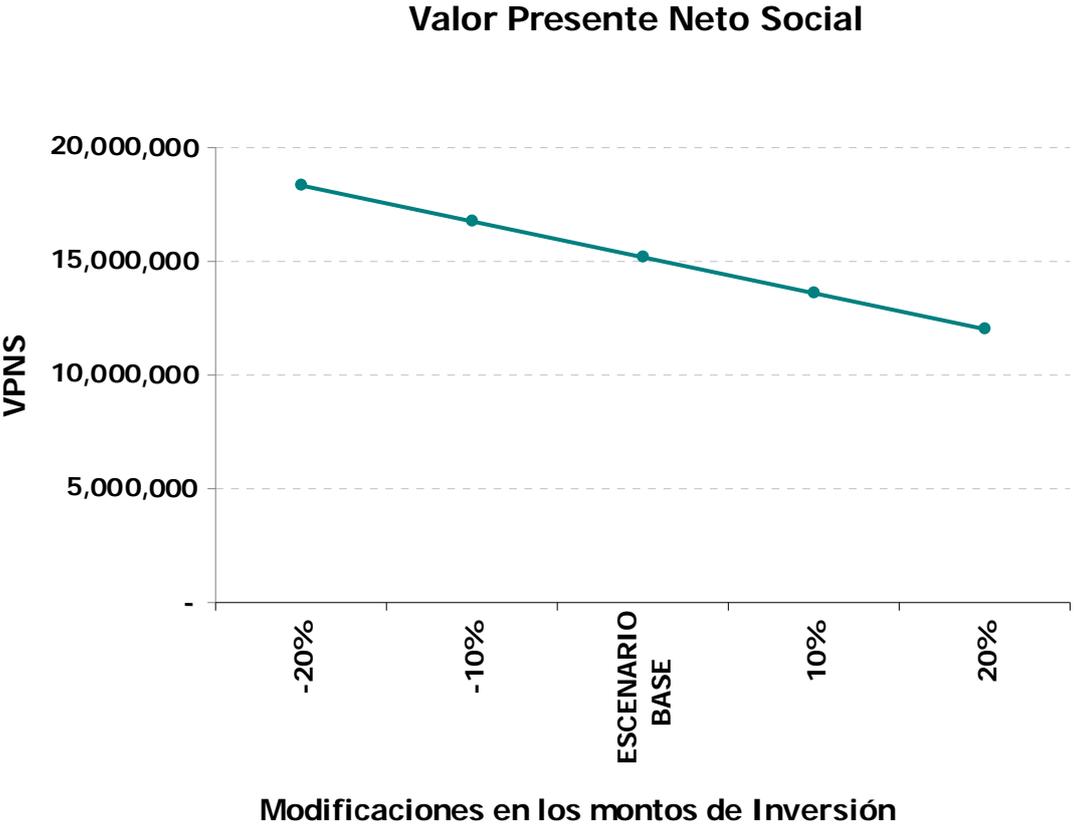
$$VPNS_1 = -\frac{25,345,778}{1.12} = -25,345,778$$

Para una tasa social de descuento del -10%

$$VPNS_1 = -\frac{22,811,200}{1.12} = -22,811,200$$

Cuadro 9.24. Resumen

VARIACIÓN EN EL MONTO DE INVERSIÓN INICIAL	VALOR PRESENTE NETO SOCIAL
-20%	18,360,797
-10%	16,783,644
ESCENARIO BASE	15,206,490
10%	13,629,337
20%	12,052,184



Grafica 9.1. Modificaciones en los montos de inversión

En la gráfica se observa que existe una relación inversamente proporcional entre el VPNS y los costos de inversión (sin modificar los costos de operación y mantenimiento), por lo que ante las reducciones de inversión el VPNS disminuye y la TIR aumenta y en caso contrario si la inversión se incrementa la TIR disminuye y el VPNS aumenta.

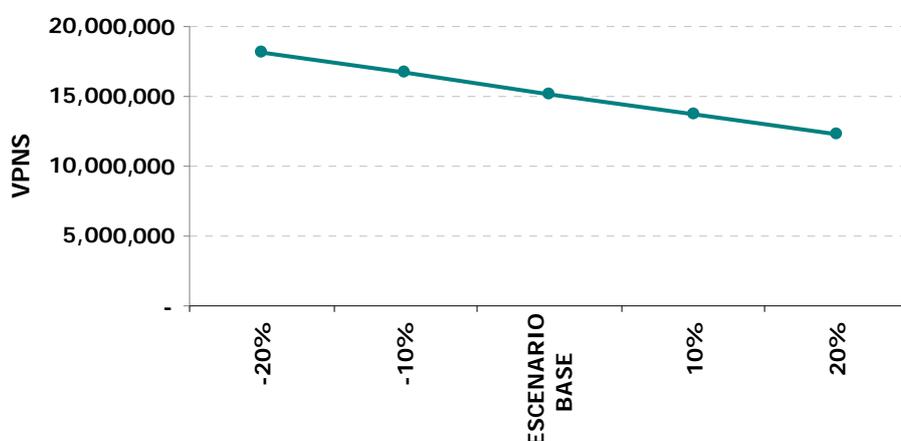
Cuadro 9.25. Escenario 2. Variaciones en el monto de operación y mantenimiento.

TASA SOCIAL DE DESCUENTO: 12%					
AÑO	VARIACIÓN EN EL MONTO DE INVERSIÓN				
	-20%	-10%	ESCENARIO BASE	10%	20%
0	-25,345,778	-25,345,778	- 25,345,778	-25,345,778	-25,345,778
1	3,729,196	3,533,075	3,336,953	3,140,832	2,944,711
2	3,536,323	3,361,215	3,186,107	3,010,998	2,835,890
3	3,363,879	3,207,532	3,051,186	2,894,839	2,738,492
4	3,210,742	3,071,147	2,931,552	2,791,957	2,652,361
5	3,073,890	2,949,251	2,824,613	2,699,974	2,575,336
6	2,951,577	2,840,293	2,729,008	2,617,724	2,506,439
7	2,842,246	2,742,885	2,643,524	2,544,162	2,444,801
8	2,744,914	2,656,199	2,567,483	2,478,768	2,390,053
9	2,657,931	2,578,721	2,499,511	2,420,301	2,341,091
10	2,580,188	2,509,465	2,438,741	2,368,018	2,297,295
11	2,510,695	2,447,549	2,384,403	2,321,257	2,258,112
12	2,448,890	2,392,510	2,336,129	2,279,749	2,223,369
13	2,393,661	2,343,322	2,292,982	2,242,643	2,192,304
14	2,344,305	2,299,359	2,254,413	2,209,467	2,164,521
15	3,155,923	3,115,792	3,075,662	3,035,532	2,995,401
VPNS	18,198,583	16,702,537	15,206,490	13,710,444	12,214,398

Cuadro 9.27. Resumen

VARIACIÓN EN EL COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	VALOR PRESENTE NETO SOCIAL
-20%	18,198,583
-10%	16,702,537
ESCENARIO BASE	15,206,490
10%	13,710,444
20%	12,214,398

Valor Presente Neto Social



Modificaciones en los Montos de Operación y Mantenimiento

Gráfica 9.2. Modificaciones en los Montos de Operación y Mantenimiento

Cuadro 9.28. Escenario 3. Modificaciones a la tasa social de descuento

AÑO	FLUJO NETO	TASA SOCIAL DE DESCUENTO					
		8%	10%	12%	14%	16%	19%
0	-25,345,778	-25,345,778	-25,345,778	-25,345,778	-25,345,778	-25,345,778	-25,345,778
1	3,737,388	3,460,544	3,397,625	3,336,953	3,278,410	3,221,886	3,140,662
2	3,996,652	3,426,485	3,303,018	3,186,107	3,075,294	2,970,164	2,822,295
3	4,286,696	3,402,918	3,220,658	3,051,186	2,893,398	2,746,305	2,543,793
4	4,612,854	3,390,585	3,150,641	2,931,552	2,731,180	2,547,638	2,300,286
5	4,977,933	3,387,897	3,090,905	2,824,613	2,585,382	2,370,059	2,086,000
6	5,386,578	3,394,458	3,040,583	2,729,008	2,454,053	2,210,879	1,896,842
7	5,843,988	3,409,911	2,998,890	2,643,524	2,335,476	2,067,776	1,729,341
8	6,356,995	3,434,486	2,965,585	2,567,483	2,228,502	1,939,045	1,580,797
9	6,931,340	3,467,396	2,939,565	2,499,511	2,131,442	1,822,617	1,448,420
10	7,574,360	3,508,394	2,920,244	2,438,741	2,043,137	1,716,983	1,330,076
11	8,294,266	3,557,268	2,907,090	2,384,403	1,962,567	1,620,840	1,223,944
12	9,101,504	3,614,332	2,900,020	2,336,129	1,889,100	1,533,265	1,128,625
13	10,005,413	3,678,970	2,898,212	2,292,982	1,821,679	1,453,052	1,042,616
14	11,017,570	3,751,053	2,901,271	2,254,413	1,759,616	1,379,348	964,780
15	16,834,838	5,307,043	4,030,126	3,075,662	2,358,502	1,816,934	1,238,810
VPNS		28,845,965	21,318,655	15,206,490	10,201,961	6,071,013	1,131,509

Cuadro 9.29. Resumen

TASA SOCIAL DE DESCUENTO	VALOR PRESENTE NETO SOCIAL
8%	28,845,965
10%	21,318,655
12%	15,206,490
14%	10,201,961
16%	6,071,013
19%	1,131,509

9.8. Conclusiones

La evaluación económica tiene el objetivo de medir la rentabilidad del proyecto con base en la comparación de los beneficios económicos y la inversión realizada en función del tiempo.

La evaluación económica es una balanza que mide los beneficios monetarios actualizados contra los capitales invertidos actualizados, a una tasa de descuento fija (es la tasa de interés que se utiliza para traer valores futuros de dinero a valores presentes o descontados). Descontar es la conversión de una suma futura a su valor presente. Como resultado se obtiene un índice que mide la rentabilidad del proyecto. Si los beneficios son mayores que el capital que se debe invertir, se entiende que el proyecto es rentable.

La evaluación financiera consiste en una revisión de los flujos de efectivo a lo largo de la vida útil del proyecto. No se asume un costo de capital para los flujos monetarios, sin que aparezcan las tasas efectivas y pasivas de financiamiento. La tasa activa es aquella con la que la empresa se provee de fondos ajenos, mientras que la pasiva es el premio que recibe por sus depósitos en una institución de crédito. Normalmente, la tasa activa siempre es más alta que la pasiva. La evaluación financiera toma en cuenta los flujos a tasas diferenciales.

La tasa interna de rendimiento (TIR) es uno de los parámetros de evaluación más utilizados. La TIR es la tasa de descuento que hace que los beneficios y los costos actualizados a una misma fecha, sean equivalentes. Para la TIR la relación beneficio/costo vale uno y el valor presente neto vale cero.

$$\text{TIR} \Leftrightarrow B=C$$

$$\text{TIR} \Leftrightarrow B/C=1 \text{ o } \text{VPN}=0$$

Basándonos en los resultados descritos anteriormente, se puede concluir que el proyecto es socialmente rentable, es decir, la población se beneficiará con la ejecución de la planta de tratamiento en el municipio de Chilpancingo de los Bravo, comprobándose que los costos sociales de inversión son menores a los beneficios sociales; siendo esta una inversión favorable.

CONCLUSIONES

A partir de la revisión bibliográfica, se recomienda una metodología de evaluación de proyectos de tratamiento de aguas residuales municipales que consta de las siguientes etapas:

- Identificar los problemas derivados de la contaminación del agua.
- Realizar un estudio técnico del cual se obtengan las necesidades de inversión, el importe de los costos de operación y mantenimiento esperados y la eficiencia con la que se espera operará la planta de tratamiento.
- Realizar un estudio de mercado del cual se obtenga la demanda de agua regenerada y la capacidad de pago de los posibles clientes, consumidores o usuarios.
- Llevar a cabo una evaluación económica con el objetivo de medir la rentabilidad del proyecto con base en la comparación de los beneficios económicos y la inversión realizada en función del tiempo.
- Realizar un análisis financiero con el fin de apreciar la capacidad del proyecto para afrontar los compromisos asumidos para su financiamiento y remunerar al capital aportado por la empresa o agencia ejecutora.

La metodología propuesta se aplicó a un caso de estudio en el municipio de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero.

La problemática incluye falta de agua y falta de saneamiento de las aguas residuales.

La información proporcionada muestra que las concentraciones en las descargas al río no cumplen la norma NOM-001-ECOL-1996, y que las concentraciones de contaminantes en el río no cumplen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua.

La producción acelerada de compuestos orgánicos debido a la eutrofización o a la descarga de tóxicos consumidores de oxígeno, analizados como DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y DQO (demanda química de oxígeno), a un cuerpo de agua que actúe como receptor, puede resultar en una falta de oxígeno en esta agua y ayudar a la formación de sulfuro de hidrógeno.

La presencia de fósforo en las aguas receptoras constituye un factor determinante en la eutrofización de lagos y corrientes.

Con el fin de que el agua tratada se pueda reutilizar para riego de productos agrícolas, recarga por inyección directa, uso recreativo sin contacto directo y acuacultura, se propone el diseño de una planta que llega hasta el tratamiento terciario.

Los pasos básicos para el tratamiento propuesto de las aguas residuales incluyen:

- Pretratamiento: remoción física de objetos grandes.
- Deposition primaria: sedimentación por gravedad de las partículas sólidas y contaminantes adheridos.

- Tratamiento secundario: digestión biológica usando lodos activados o filtros de goteo que fomentan el crecimiento de microorganismos.
- Tratamiento terciario: tratamiento químico (por ejemplo, precipitación, desinfección, etc). También puede utilizarse para realzar los pasos del tratamiento primario.

El proyecto resultó socialmente rentable, ya que los costos sociales de inversión resultaron menores que los beneficios sociales.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

Alba B.Vázquez González, Enrique César Valdez
Impacto Ambiental
Facultad de Ingeniería, UNAM 1994

Gilberto Sotelo Ávila
Hidráulica General
Editorial LIMUSA. 1995

Metcalf Leonard, Eddy Harrison
Tratamiento y depuración de las aguas residuales
Editorial Labor. 1981

Tebbutt
Fundamentos de control de calidad del agua
Editorial Interamericana. 1973

Coss Bu
Análisis y evaluación de proyectos de inversión
Editorial Limusa. 2005

Leyes y Reglamentos

Ley de Aguas Nacionales

Criterios

Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CECCA-001/89

Norma

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996
Establece los límites Máximos Permisibles de Contaminantes
En las Descargas Residuales en Agua y Bienes Nacionales
