

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL



EVALUACION, OPTIMIZACION Y MEJORAMIENTO
DEL SISTEMA OPERATIVO DE LAGUNAS DE
ESTABILIZACION DE CIUDAD DE DIOS-SAN JOSE EN
EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

INFORME DE INGENIERIA

Para optar el Título Profesional de
INGENIERO SANITARIO

Presentado por
EDGARD RUBEN MUÑOICO OSORIO

TOMO I

LIMA - PERU
1997

DEDICATORIA

A mis queridos Padres: Ruben y Blanca.

Para tí Padre, que con tu abnegación y sacrificio siempre soñaste verme profesional.

A mi Madre, por su esfuerzo y apoyo incondicional que ha sabido labrarme un mejor porvenir.

A mi esposa, Maribel y mis hijos: Alonso y Lenci.

Quienes constituyen la mayor motivación en mi desarrollo personal y profesional.

A mis hermanos James y Jorge, por su apoyo y estímulo constante en la consecución de mis aspiraciones.

MI AGRADECIMIENTO

Al Ing. FAUSTO RONCAL, profesor y amigo, por su valiosa colaboración y paciencia en el asesoramiento del presente trabajo.

A EPSEL S.A. y GWK-SANIPLAN por las facilidades de apoyo y colaboración para el desarrollo del presente.

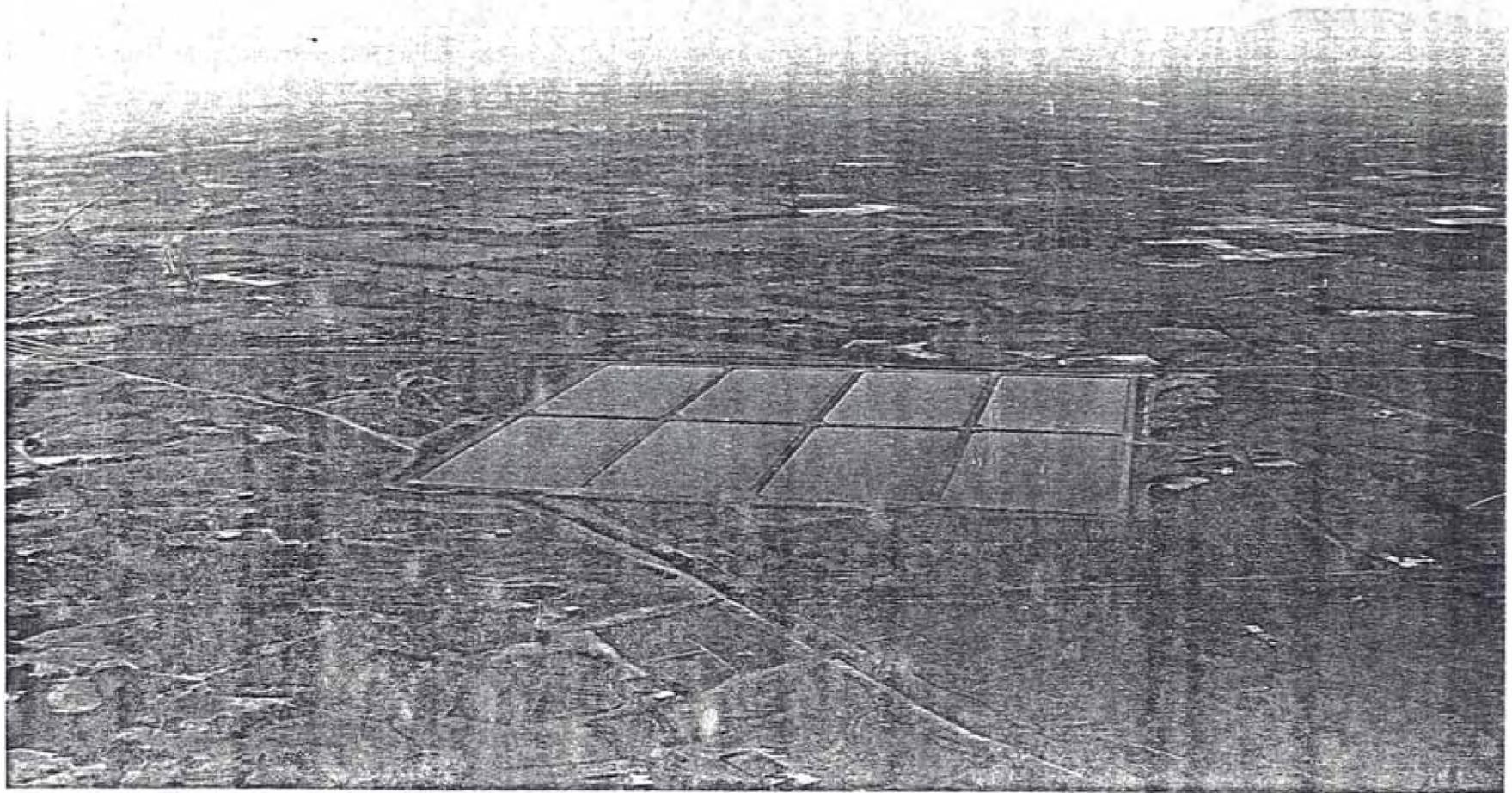
AGRADECIMIENTO POSTUMO

A la memoria del Ing. LUIS MALNATTI FANO, por sus enseñanzas y estímulo para hacer posible la preparación del presente Informe.

AGRADECIMIENTO

A mis amigos Ernesto, Carlos, Beatriz y Verónica, quienes brindaron su colaboración y apoyo en la elaboración del presente.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CHICLAYO



**SISTEMA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION
EN "CIUDAD DE DIOS - SAN JOSE EN EL DPTO. DE LAMBAYEQUE**

PROLOGO

El presente Informe de Ingeniería ha sido elaborado para obtener el título de Ingeniero Sanitario, el mismo que está basado en una experiencia real, efectuada desde Febrero de 1996 hasta mediados del año en curso, en la Ciudad de Chiclayo - Dpto. de Lambayeque.

Durante el año de 1995, paralelamente a la exitosa gestión de concertación del financiamiento externo y nacional por la ejecución del estudio definitivo para la ampliación y mejoramiento de los servicios de Agua Potable y Alcantarillado - Plan Maestro de Saneamiento de Chiclayo, la Empresa EPSEL S.A. logró desarrollar un Programa de inversiones destinado a seguir potenciando su Infraestructura Sanitaria; remarcando que dentro de lo más destacable de sus logros a 1995-1996, fue la Obra ejecutada del proyecto de Alcantarillado de Chiclayo, en que el Gobierno Central autorizó, mediante la correspondiente asignación presupuestal, la construcción del Emisor Norte-Norte con un Presupuesto de S/. 7'962,209, obra ejecutada por el "Consortio Hernández S.A., YAGUESA ASS.", así como del Sistema de Lagunas de Estabilización "Ciudad de Dios" (materia del presente Informe) para el tratamiento de las aguas residuales, a un Presupuesto de S/. 4'069,924 obra que llevó a cabo el "CONSORCIO LAGUNAS" conformado por las Empresas Constructoras "REYNA FEVACSA Contratistas Generales Asociados".

Esta última Obra está ubicada al Oeste de la ciudad de Chiclayo en la zona denominada "Pampa de Perros" (a la altura del pueblo joven "Ciudad de Dios") en la Jurisdicción del Distrito de San José y Provincia de Lambayeque, el mismo que comprende la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Chiclayo mediante un Sistema de 08 Lagunas de Estabilización, como componente importante del Plan Maestro de Alcantarillado, significa un relevante aporte en el mejoramiento y ampliación de este imprescindible servicio. Fue una Obra ejecutada en un plazo de 240 días calendarios en mérito a la Licitación Pública Nro. 02-95-PRES/VMI/PRONAP con recursos íntegramente asignados por el Gobierno Peruano como contrapartida nacional a la donación del Gobierno de la República Alemana, de 30'000,000 de marcos, y culminó al 100% el 04 de Enero de 1996, habiéndose terminado los trabajos dentro del plazo contractual establecido.

Es así que mi participación en la Evaluación del Sistema de Lagunas en mención fue en calidad de Profesional designado por la Empresa EPSEL S.A., (en la cual laboro desde Setiembre de 1994), asumiendo el Cargo de la Jefatura de Operación y Mantenimiento del Sistema de Lagunas en actividad, desde el 17 de Enero de 1996 hasta la fecha. La primera fase de la Evaluación estuvo orientada a la Puesta en Marcha de las Lagunas, cuyo inicio fue el 24 ENE 96.

Simultáneamente se desarrolló el proceso de capacitación y entrenamiento en cuanto al control de niveles en las Unidades de Tratamiento de acuerdo a su tirante máximo de diseño, medición de temperaturas, identificación de características organolépticas como índice de buen funcionamiento de las lagunas, etc. con la participación del Ing. LUTZ-ERICH SCHOLZ designado por el Consortio GWK CONSULT/SANIPLAN para llevar

a cabo el proceso de llenado de las lagunas, indicando además el haber contado con la participación de los expertos peruanos, entre ellos el Ing. JUAN MALNATTI FANO (Co-Jefe del Proyecto) y el Ing. RICARDO ROJAS (Ing. Sanitario Consultor por SANIPLAN).

El Sistema de Lagunas de Estabilización que alcanza un ESPEJO TOTAL SUPERFICIAL DE AGUA DE 24 HAS, ubicándose como el SISTEMA MAS GRANDE A NIVEL NACIONAL, está conformada por 02 Baterías Simétricas de 04 Lagunas cada una de ellas que operan en forma simultánea: constituido por 02 Lagunas Primarias Facultativas en paralelo seguido de 01 Laguna Secundaria de 1ra Maduración y luego de 01 Terciaria de 2da Maduración, diseñadas de tal forma de considerar un Caudal Afluyente máximo de 230 Lt/seg., señalando al mismo tiempo que el caudal promedio de llegada al Sistema a través del Emisor Norte-Norte fluctúa entre los 330 a 380 Lt/seg., obligando a derivar el excedente de caudal de desagüe crudo a un Dren contiguo (Dren 3000) que conduce al mar de Pimentel (ver Plano N° 11).

El Efluente total promedio del Sistema de Lagunas es de aprox. 200 lts/seg., y se descarga a 02 canales destinados al Riego de Cultivos de 03 sectores denominados "BALDERA", "EL COLECTOR" y "GALLITO" pertenecientes a la Comunidad Campesina de SAN JOSE abarcando un aproximado de 300 Has. de superficie, resultando un tanto insuficiente por la demanda que origina la gran extensión de área por irrigar determinados cultivos autorizados por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) de acuerdo al tipo y calidad del Efluente.

La labor encomendada por la Empresa en principio fue la de asegurar, con el Personal de Operadores designado a mi cargo, el fiel cumplimiento del MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO que en sus inicios fue de carácter preliminar (20FEB96), para recién contar con el Manual definitivo a fines de MARZO 96 de acuerdo a las evaluaciones realizadas durante las primeras semanas de registrar efluentes del Sistema.

De acuerdo al control ejercido durante la Operación del Sistema, se realizaron pruebas para captar todo el Afluyente a fin de comprobar la capacidad y eficiencia de tratamiento. Se concluyó que en el canal de distribución no existe una repartición uniforme del afluyente, de acuerdo a como fue diseñado las estructuras de ingreso a las Lagunas Primarias, ocasionando un desequilibrio del sistema por tomar características de unidades anaerobias en cuanto a color y olor.

Asimismo el desarrollo de numerosas pruebas como el de carácter hidráulico por definir el control de niveles de agua en cada Unidad al disponer de diferentes cotas de fondo de las lagunas, así como el de carácter biológico por conseguir el equilibrio de ambas baterías y afrontar decisiones de acciones a tomar por las variadas reacciones de las Lagunas en cuanto a cambios periódicos de color, afloración excesiva de natas con algas progresivamente de una unidad a otra, etc. fueron acciones que se llevaron a cabo en una 1ra. Evaluación en forma conjunta y paralela con los primeros análisis de la tomas de muestra en diferentes puntos básicamente en lo que se refiere a colimetría, oxígeno disuelto, PH, temperatura, conductividad, sólidos totales, etc.

Cabe anotar que durante mi participación en el proceso de adaptación del Sistema de Lagunas, específicamente en la parte de repartición de caudales, control, de lodos sobrenadantes, repartición equitativa de caudal Efluente al Sistema de Riego en terreno de los Campesinos, etc. encontré diversas dificultades solicitando por ello la Asistencia Técnica de especialistas del CEPIS (Ings. Guillermo León y Julio Moscoso). Una de ellas fue también el de llegar a hacer entender a la Comunidad Campesina que debido a las evaluaciones realizadas para conseguir la Optimización del Sistema, este repercutía en la disminución de caudal efluente derivando en reacciones de algunos campesinos en manipular nuestras estructuras alterando el normal pase de una Unidad a otra.

Por otro lado se realizó la coordinación importante en llevar a cabo la ejecución de la Obra "PROTECCION DE DIQUES Y TALUDES INTERNOS" de los lados expuestos al oleaje de las aguas en las 08 Unidades por efecto del viento predominante, con financiamiento de Recursos propios de la Empresa, a fin de asegurar la estabilidad de sus estructuras dañadas por impresionantes erosiones producto de vientos y oleaje. Para ello se evacuaron las aguas de toda una batería en forma alternada de modo de brindar las facilidades del ENROCADO hasta el fondo de base de la Lagunas, trabajo que tomó alrededor de 60 días calendarios.

Los resultados de Laboratorio permitieron elaborar los diagramas de frecuencia y variación de diferentes parámetros. Asimismo se procesan los datos que en forma diaria realiza el personal de operación como son temperatura, niveles de superficie, velocidad y tiempo para determinar los Caudales diarios promedio de Afluente y Efluente.

Al cabo de cumplirse el 1er año de Operación del Sistema de Lagunas en forma conjunta con el Ing. LUTZ-ERICH SCHIOLZ, se realizó una evaluación del desarrollo de operación así como una prueba de BATIMETRIA en todas las Unidades Primarias a fin de medir la altura de lodos formadas en las mencionadas Unidades, verificando altura de lodos nada significativos. Asimismo se empleó el Cloruro de Sodio como trazador para determinar el comportamiento del flujo.

En cuanto al grado de optimización referente a las alternativas de solución del Sistema de Lagunas, el cual presenta problemas de distribución del Afluente a las Unidades primarias, se propone la instalación de "Aletas de metal" (pantallas flexibles de metal) en las estructuras de repartición para permitir una graduación más fácil y efectiva de flujo.

En relación al mejoramiento del entorno del Sistema, se presenta un Proyecto de Forestación mediante "cortina de árboles" a fin de contrarrestar la fuerza eólica que origina oleajes en los espejos de aguas, además de disponer de un mejor medio para el desarrollo de labores cotidianos de mantenimiento, considerando además el de realizar un Cerco Vivo para delimitar las 40 Has. de terreno adjudicado.

Asimismo se propone la formación de un Vivero que permita la producción de Plantones y variadas especies con el objetivo de sembrar en el contorno de las lagunas para mejorar el entorno ecológico.

Evaluación, Optimización y Mejoramiento del Sistema Operativo de Lagunas de Estabilización de Ciudad de Dios-San José en el Dpto. de Lambayeque

Por otro lado se presenta un estudio de siembra de peces en la Unidades Terciarias por ser factible en primera instancia para efectos de aporte al mantenimiento de las mencionadas lagunas, pudiendo ser de las especies de “GAMBUSIA” y “TILAPIA”.

Finalmente, se presentan Evaluaciones Técnicas y Económicas de 02 alternativas presentadas como PROYECTO DE EJECUCION, los mismos que comprenden el conjunto de sistemas de Lagunas que contempla la captación del 100% de aguas residuales que vierte la Ciudad de Chiclayo, como parte del PLAN MAESTRO DE ALCANTARILLADO.

INFORME DE INGENIERIA

“EVALUACION, OPTIMIZACION Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA OPERATIVO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION DE CIUDAD DE DIOS-SAN JOSE, EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE”

INDICE

1.	OBJETIVOS Y METAS	1
1.1.	OBJETIVOS	1
1.2.	METAS	1
2.	ANTECEDENTES Y CARACTERÍSTICAS GENERALES	2
2.1.	ANTECEDENES BIBLIOGRAFICOS, EMISOR NORTE - NORTE Y LAGUNAS DE ESTABILIZACION	2
2.1.1	Crédito no Reembolsable de Alemania	2
2.1.2	Emisor Norte-Norte	2
2.1.3	Lagunas de Estabilización	3
2.2.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA	3
2.2.1	Ubicación	3
2.2.2	Definición Morfológica y Topografía	4
2.2.3	Climatología	4
2.2.4	Recursos Hídricos	5
2.2.5	Aspectos Económicos	5
2.3.	ESTUDIO POBLACIONAL	6
2.3.1	Evolución de la Población	6
2.3.2	Población Futura	6
2.3.3	Desarrollo Urbano	8
2.4.	CONSTRUCCION Y OPERACIÓN PROBATORIA DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION “CIUDAD DE DIOS” - CHICLAYO	10
2.4.1	Antecedentes y Resumen	10
2.4.2	Emisor Norte-Norte	11
2.4.3	Lagunas de Estabilización	15
2.4.4	Puesta en Marcha	23
2.5.	PUESTA EN OPERACIÓN	25
2.5.1	Primer Llenado	25
2.5.2	Arranque de la Operación	25
2.5.3	Operación Probatoria	25
3.	DETERMINACION DE DATOS PARA LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION “CIUDAD DE DIOS” (24 HAS. ESPEJO DE AGUAS RESIDUALES)	27
3.1.	SITUACION ACTUAL DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE CHICLAYO	27

3.2.	SISTEMA DE DISTRIBUCION DE EMISORES DE CHICLAYO	28
3.3.	CAUDAL DE CONTRIBUCION AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO	29
3.3.1	Aspecto Básicos de Agua Potable	29
3.3.2	Producción de Aguas Residuales	29
3.4.	ANALISIS DE AGUAS SERVIDAS DE CHICLAYO	32
3.4.1	Análisis Existentes de Aguas Residuales	33
3.4.2	Programa de Muestreo y Análisis	34
3.4.3	Carga Orgánica	35
4.	EVALUACION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y ASPECTO CONSTRUCTIVOS	37
4.1.	TRATAMIENTO DE LAS AGUAS SERVIDAS	37
4.1.1	Necesidad de Tratamiento	37
4.1.2	Pautas del Efluente	37
4.1.3	Características de las Aguas Servidas	38
4.1.4	Cuerpo Receptor del Efluente	39
4.2.	DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES	39
4.2.1	Sistema de Aducción	40
4.2.2	Ubicación de la Planta	40
4.3.	PROCESOS DE TRATAMIENTO	41
4.3.1	Tratamiento por Etapas	41
4.3.2	Factores de Influencia	44
4.4.	CAPACIDAD DE TRATAMIENTO	46
4.4.1	Carga Orgánica	46
4.4.2	Carga Bacteriológica	47
4.4.3	Reuso del Agua para fines Agrícolas	47
4.5.	MUESTREO	48
4.6.	ASPECTOS CONSTRUCTIVOS	49
4.6.1	Generalidades	49
4.6.2	Componentes	49
4.6.3	Sistema de Distribución	51
4.6.4	Lagunas.....	52
4.7.	CONTROL, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	53
4.7.1	Infraestructura	53
4.7.2	Acciones regulares	53
4.7.3	Control	54
4.7.4	Operación	55
4.7.5	Mantenimiento	57
4.7.6	Acciones singulares (casos eventuales)	59
5.	RESULTADOS DE LA EVALUACION POR METODOS EXPERIMENTALES, AL PRIMER AÑO DE OPERACIÓN	65
5.1.	RESUMEN	65
5.1.1	Antecedentes	65
5.1.2	Base de Información	65
5.1.3	Discusión del Diseño	66
5.1.4	Sugerencias y Recomendaciones	66

5.2.	ACTIVIDADES	67
5.2.1	Aforos, Batimetría, Ensayos por trazador	68
5.2.2	Análisis Microbiológicos	71
5.2.3	Parámetros Físico - Químicos	72
5.2.4	Observaciones	72
5.3.	RESULTADOS DE TRATAMIENTO	73
5.3.1	Eficiencia del Tratamiento	73
5.3.2	Uso del Efluente en la Agricultura	74
6.	PRESENTACION E INTERPRETACION DE LA INFORMACION RECOPIADA	75
6.1.	INFORMACION DE EPSEL S.A.	75
6.1.1	Datos Bacteriológicos y Físico-Químicos de las Lagunas	75
6.1.2	Datos Hidráulicos	76
6.1.3	Enrocamiento de las Unidades de Tratamiento (Lagunas)	77
6.2.	INFORME DE CEPIS	78
6.3.	INFORME DE LA UNIVERSIDAD DE PIURA	79
7.	DISCUSION DE LOS RESULTADOS EN RELACION A LOS PARAMETROS RECOMENDABLES	81
7.1.	CONCEPTOS BÁSICOS	81
7.1.1	Calidad de las Aguas Servidas	81
7.1.2	Propósito del Tratamiento de las Aguas Servidas	82
7.1.3	Procesos de Tratamiento	82
7.1.4	Lagunas de Estabilización	83
7.2.	VALIDACION DE LOS MODELOS DE FLUJO.....	85
7.2.1	Flujo Disperso	85
7.2.2	Modelo de Mezcla Completa	86
7.2.3	Flujo más probable	87
7.3.	CAPACIDAD DE TRATAMIENTO	90
7.3.1	Remoción de la DBO	90
7.3.2	Decaimiento de Bacterias	91
7.3.3	Remoción de Parásitos.....	93
8.	OPTIMIZACION Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA	95
8.1.	REPARTICION DEL AFLUENTE	95
8.2.	REMOCION DE NATAS	96
8.3.	ACCIONES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	96
8.3.1	Aforo del Afluente.....	96
8.3.2	Observación del Estado de las Lagunas.....	97
8.3.3	Procesamiento de Datos	97
8.3.4	Limpieza del By-pass	97
8.4.	PROYECTOS DE ARBORIZACION Y VIVERO FORESTAL.....	98
8.4.1	Arborización	98
8.4.2	Vivero Forestal.....	99

8.5.	ASPECTOS TECNICOS DE LA ACUICULTURA CON AGUAS RESIDUALES - PROYECTO DE INCURSION	100
8.5.1.	Aspectos Técnicos	100
8.5.2.	Alternativa de Incursión con fines de Mantenimiento	100
9.	CONCEPTOS GENERALES Y PRELIMINARES SOBRE LA EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL	102
9.1.	METODOLOGIA	102
9.2.	RIESGO ECOLOGICO DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION	104
9.2.1.	Cargas	104
9.2.2.	Avenías	105
9.2.3.	Lodos Residuales	105
9.2.4.	Estimación de Impactos Causados por los olores	106
10.	SISTEMAS FUTUROS EN PROCESO DE EJECUCION Y PROYECTADOS (LAGUNAS DE ESTABILIZACION DE: SAN JOSE, PIMENTEL Y CHACUPE), PARA EL TRATAMIENTO TOTAL DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CHICLAYO	107
10.1.	DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS	108
10.2.	COSTO PRESUPUESTAL DEL PROYECTO COMPLETO	110
10.3.	ALTERNATIVAS	110
10.4.	PROPUESTA TECNICA DE ALTERNATIVA EN EJECUCION	112
11.	CONCLUSIONES	113
12.	RECOMENDACIONES	114
	• ANEXOS	
	• VISTAS FOTOGRAFICAS	
	• BIBLIOGRAFIA	

RELACION DE CUADROS

Cuadro N° 2.1.	: Distribución Poblacional estimado en 1995
Cuadro N° 2.2.	: Población Proyectada al año 2012
Cuadro N° 2.2.1	: Proyección del Desarrollo Urbano al 2012
Cuadro N° 2.3	: Areas drenadas por el Emisor Norte-Norte
Cuadro N° 2.4	: Lagunas de estabilización, presupuestos adicionales
Cuadro N° 2.5	: Cotas de corona de los diques
Cuadro N° 2.6	: Ejes de los diques
Cuadro N° 2.7	: Lagunas de estabilización, parámetros: área, volumen y tiempo de retención
Cuadro N° 2.8	: Caudal del Emisor Norte - Norte
Cuadro N° 2.9	: Calidad de las aguas servidas
Cuadro N° 3.1	: Diámetro y Longitud Total de Colectores
Cuadro N° 3.2	: Número y Clase de Conexiones de Alcantarillado
Cuadro N° 3.3	: Cobertura del Servicio de Alcantarillado de EMAPAL
Cuadro N° 3.4	: Consumo Doméstico Actual y Producción de Desagüe
Cuadro N° 3.5	: Cantidad de Aguas Residuales (Año 1995)
Cuadro N° 3.6	: Carga Orgánica de Aguas Residuales (Año 1995)
Cuadro N° 4.1	: Límites de los parámetros indicadores
Cuadro N° 4.2	: Calidad de las aguas servidas
Cuadro N° 4.3	: Areas drenadas por el Emisor Norte-Norte
Cuadro N° 4.4	: Carga específica máxima admisible CS_m en función de la temperatura ambiental y del agua
Cuadro N° 4.5	: Muestreo para plantas de aguas servidas
Cuadro N° 4.6	: Análisis físico-químicos y microbiológicos
Cuadro N° 4.7	: Tirante y caudal del medidor Parshall
Cuadro N° 4.8	: Variación de nivel de agua para combatir la reproducción de insectos
Cuadro N° 5.1	: Acumulación de lodo en la entrada de las lagunas facultativas
Cuadro N° 5.2	: Velocidad y dirección primordial del viento en Chiclayo
Cuadro N° 5.3	: Coliformes totales [NMP/100 ml]
Cuadro N° 5.4	: Coliformes fecales [NMP/100 ml]
Cuadro N° 5.5	: Demanda bioquímica de oxígeno [mg/l]
Cuadro N° 6.1	: Frecuencia del análisis de la calidad del agua
Cuadro N° 6.2	: Registros de la operación de las lagunas
Cuadro N° 6.3	: Promedios mensuales de los caudales diarios 1996 - 1997
Cuadro N° 6.4	: Resultados de los análisis efectuados por la Universidad de Piura (19.08.1996)
Cuadro N° 7.1	: Calidad de las aguas servidas
Cuadro N° 7.2	: Coeficiente de la remoción de coliformes fecales

Cuadro N° 7.3	: Modelo de la mezcla parcial.
Cuadro N° 7.4	: Repartición desigual entre lagunas facultativas vecinas
Cuadro N° 7.5	: Calidad del efluente con variación del caudal y de la temperatura
Cuadro N° 7.6	: Remoción de la DBO en las Lagunas de “Ciudad de Dios”
Cuadro N° 7.7	: Grado del decaimiento de coliformes fecales
Cuadro N° 7.8	: Remoción de coliformes fecales en etapas vecinas
Cuadro N° 8.1	: Repartición del caudal por los divisores fijos
Cuadro N° 9.1	: Impactos ambientales de la laguna de estabilización
Cuadro N° 9.2	: Reglamento General de Evaluación
Cuadro N° 9.3	: Capacidad depuradora

1. OBJETIVOS Y METAS

1.1. OBJETIVOS

La presente evaluación tiene como objetivo general plantear las medidas correctivas y obras adicionales que contribuyan substancialmente al Mejoramiento y Optimización de las Lagunas de Estabilización de “Ciudad de Dios” en el distrito de San José de la Provincia de y Departamento de Lambayeque, haciendo del sistema en mención, una Planta mas eficiente en cuanto se refiere al tratamiento de las aguas residuales, que vierte la ciudad de Chiclayo, para su disposición final y utilización de los efluentes en la agricultura, en concordancia con las normas establecidas.

Para ello tenemos que indicar que, como objetivos específicos previamente está de por medio la Evaluación del estado actual de la Infraestructura Sanitaria en su conjunto, concreta y superficialmente en lo que se refiere a sistema de alcantarillado de Chiclayo y básicamente a las Unidades de Tratamiento de Aguas Residuales de la Planta existente de lagunas en referencia.

Así mismo como objetivo superior y consecuente, está centrado en contribuir el manejo adecuado de las aguas servidas que vierte la ciudad de Chiclayo, a través de un proceso eficaz para un máximo rendimiento del complejo de lagunas, mediante fórmulas, correlación de dimensiones, profundidad y número de unidades en función de la calidad y cantidad de la materia orgánica que aporta el desagüe, expresada como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y sólidos suspendidos, a fin de reusar estas aguas servidas en la agricultura de la Comunidad Campesina de San José, como un subproducto de aguas bioestabilizadas, sumamente ricas en nutrientes, sales minerales, etc., capaces de contribuir a la transformación de tierras infértiles en lugares feraces, considerando que en el aprovechamiento de aguas residuales y lodos, las medidas para proteger la salud reciben mayor atención en las áreas relacionadas con el tratamiento de aguas residuales y la restricción de cultivos seguido de los métodos de aplicación de los residuos y control de la exposición humana.

1.2. METAS

Establecer y conseguir el grado máximo de Eficiencia del Tratamiento que brinda el Sistema de lagunas de estabilización de “Ciudad de Dios”, con el consiguiente fin de volcar todas las experiencias asimiladas en los futuros Sistemas Principales Proyectados para EPSEL S.A. los mismos que a la fecha ya cuentan con el programa de ejecución de Obra, para captar el vertimiento total de los desagües de Chiclayo a fin de ser reutilizados; así como también en las Lagunas de Estabilización existente en el Departamento de Lambayeque y actualmente operativos para encontrar el equilibrio de interacciones que se desarrollan en el proceso de tratamiento de las aguas residuales.

2. ANTECEDENTES Y CARACTERISTICAS GENERALES

2.1 ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS, EMISOR NORTE-NORTE Y LAGUNAS DE ESTABILIZACION

2.1.1 Crédito No Reembolsable de Alemania

Dentro del marco efectivo de gestiones, EMAPAL (ahora EPSEL S.A.) también logró que el Gobierno de la República Federal de Alemania y el Gobierno Peruano suscribieran en Abril de 1994, el Convenio de Cooperación financiera y mediante R.S. Nro.152-94-EF, se hace factible el APOORTE FINANCIERO NO REEMBOLSABLE de 30 MILLONES DE MARCOS ALEMANES que otorgaba Alemania a través del Banco KFW para el Proyecto de Alcantarillado de Chiclayo, debiendo para el efecto el Gobierno del Perú efectuar la contribución del 30% mediante una contrapartida nacional.

Este planteamiento fue respaldado por el Gobierno Peruano que mediante Decreto Supremo Nro.01-95-EF de fecha 10 de Enero del mismo año, autorizó el aporte equivalente a 18'400,000.00 Nuevos Soles para la Construcción del Emisor Norte-Norte y las 08 Lagunas de Estabilización que, complementadas con las Obras a financiarse con la donación, habrán solucionado los inconvenientes de la Ciudad, mediante las siguientes Obras:

- Laboratorio
- Redes de Relleno (26 km.)
- Colector secundarios (05 km.)
- Colectores primarios (21.5 km.)
- Emisor General
- Colector Central
- Colector Pimentel
- Colector Evitamiento
- Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales:
 - Sistema Norte (San José)
 - Sistema Sur Oeste (Pimentel)
 - Sistema Sur (Chacupe - La Victoria)

2.1.2 Emisor Norte-Norte

Esta Obra, componente principal del Plan Maestro de Alcantarillado, significa un relevante aporte en el mejoramiento y ampliación de este importante servicio; ha sido construida con aportes del gobierno Peruano, permitiendo factibilizar el acceso al alcantarillado a 150 mil habitantes ubicados en la Zona Norte de Chiclayo y otros en proceso de desarrollo, incluyendo nuevas urbanizaciones.

El Colector tiene una longitud total de 8775.60 mts. Compuesto por tramos de Tubería de 32" en 1846.70 m.l., Tubería de 36" en 2,209.31 m.l. Tubería de 40" en 2,373.29 m.l. y un canal cerrado de 1940.20 m.l. , entre los principales.

La Obra fue construida en 300 días aproximadamente por el "CONSORCIO HERNANDEZ SA. YAGUESA ASOCIADO" en mérito a la Licitación Nro. 01-95-PRES/VMI/PRONAP cuyo contrato fue firmado el 03 de Abril de 1995.

Entre los 46 sectores beneficiados con esta Obra figuran: Urb. "Las Mercedes", 07 Sectores de la UPIS 1° de Mayo (Chilapito) Urrunaga 5to Sector, José Santos Chocano, Micaela Bastidas, Atusparias, María Parado de Bellido, Enrique López Albuja, Cesar Vallejo, Santa Ana, San Lorenzo, Luis E. Heysen, Las Palmeras, Ramiro Prialé, Luis A. Sánchez, Amp. Tupac Amaru, 04 de Noviembre, Jorge Basadre, Vista Alegre, Fany Abanto, Saúl Cantoral, Urrunaga, Urb. Latina, P.J. Barsallo, etc.

2.1.3 Lagunas de Estabilización

La obra construida por el "CONSORCIO LAGUNAS" conformado por las Empresas Constructoras FEVACSA Contratistas Generales y E. Reyna C. Contratistas Generales Asociados, fué ejecutada en un plazo de 240 días calendarios en mérito a la Licitación Pública Nro. 02-95-PRES/VMI/PRONAP, recursos íntegramente asignados por el Gobierno Peruano como contrapartida nacional a la donación del Gobierno de la República Alemana de 30 Millones de marcos para el proyecto de mejoramiento del Sistema de alcantarillado de Chiclayo.

Con la construcción y puesta en Operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales mediante Lagunas de Estabilización, se obtendrán importantes beneficios, pues de esta manera las aguas servidas tendrán una correcta disposición final a la vez que se obtendrán efluentes adecuados para ser utilizados en cultivos selectivos por los agricultores de la Comunidad Campesina de San José.

Con estas 08 primeras lagunas, que conforman 02 baterías de tratamiento primaria, secundario y terciario, se permite la irrigación de aproximadamente 300 Has. de terreno para dedicarlos al cultivo de plantas de tallo alto o forraje de acuerdo a las disposiciones del Ministerio de Salud.

2.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA

2.2.1 Ubicación

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se ubica en la Ciudad de Chiclayo, capital del Departamento de Lambayeque situada en la Costa Norte del Perú a una distancia de 770 Km de la ciudad capital con una latitud 06°46'05" Sur y longitud de 79°50'13" Oeste.

La ciudad de Chiclayo está constituida por tres distritos, los mismos que son el distrito de Chiclayo con 234,336 habitantes, el distrito La Victoria con 57,937 habitantes, y el distrito José Leonardo Ortiz con 118,195 habitantes, con una extensión de 227.49 km² y en una cota de 29 m.s.n.m.

Con la puesta en operación del Emisor Norte-Norte, el proyecto de Alcantarillado y tratamiento de las aguas servidas contempla la ampliación de las redes de desagüe de Asentamientos Humanos que actualmente no dispone de proyectos de alcantarillado, cuya financiación será por medio de la donación del Gobierno Alemán (presente obra) y por el Gobierno Peruano a través de FONAVI y EMAPAL (ahora APSEL S.A.).

2.2.2 Definición Morfológica y Topografía

La ciudad de Chiclayo constituye el polo de Desarrollo Comercial más importante del Norte del país que representa el 20% de la actividad de su población, existiendo en la actualidad 13,500 establecimientos comerciales de acuerdo a datos suministrados por el Municipio. La actividad de su población, existiendo en la actualidad 13,500 establecimientos comerciales de acuerdo a datos suministrados por el Municipio. La actividad industrial no ha mostrado un gran crecimiento en estos últimos años, existiendo unas 1300 empresas de las cuales un alto porcentaje (86%) se dedica a la producción de bienes de consumo (alimentos, bebidas, artículos de cuero, artesanía, muebles, productos plásticos, químicos y otros). La actividad agrícola es una de las más importantes fuentes de trabajo, siendo el arroz, la caña de azúcar y el algodón los principales cultivos del departamento, afianzados con la construcción de la Represa de Tinajones que regulariza las aguas para los periodos de estiaje que frecuentemente sufre la región por ausencia de lluvias.

El valle de Lambayeque donde se ha desarrollado la ciudad de Chiclayo es uno de los más importantes de la zona Norte por la gran extensión de Tierras agrícolas y eriazas que dispone, no contando con los recursos hídricos suficientes para ponerlas bajo cultivo, estando cifradas sus esperanzas en el ambicioso Proyecto Hidroenergético de Olmos, pero su desarrollo está limitado por falta de recursos económicos disponibles para su financiación.

La ciudad de Chiclayo tiene como cota topográfica promedio de 29 m.s.n.m. con una pendiente muy suave en dirección Oeste, que es del orden de 0.25 % como mínimo, con una serie de elevaciones y depresiones aisladas, como los cerros de la Cruz y Cerropón en el sector Oeste de la Ciudad, en la que existe una serie de terrenos eriazos que no pueden ser irrigados por falta de agua, a pesar de la gran cantidad de acequias y canales que la atraviesan.

2.2.3 Climatología

2.2.3.1 Temperatura, Evaporación y Viento

El clima de la región es variable, entre cálido y templado con temperaturas medias a la sombra variando entre 19.3° a 25.7°C. La humedad relativa es de 75%.

La evaporación diaria media varia de 5.2 mm como máximo en los meses de verano a 3.6 mm como mínimo en los mese de invierno.,

Una de las características principales de la ciudad de Chiclayo es la persistente presencia de corrientes de aire provenientes del Sur, que se inician prácticamente después de mediodía, cuya velocidad promedio anual es de 8.2 nudos por hora (4.2. m/s).

2.2.3.2 Precipitación e Infiltraciones

El departamento de Lambayeque se caracteriza por ausencia de lluvias en casi todos los años, en razón de la presencia de fuertes vientos que impiden la acumulación de nubes, aún aquellas que proceden del Anticiclón del Atlántico; la excepción ha sido los años 1971, 1983 y 1992 en que hubieron grandes precipitaciones, cuya causa principal fue la Corriente del Niño al aumentar la temperatura del agua de mar que pasa por el litoral.

La presencia de una napa freática en profundidades que varia de 2 a 5 mts. en distintos puntos de la ciudad, es debida principalmente a la infiltración de los campos de cultivo de arroz, que es uno de los principales cultivos del Valle del Chancay, que prácticamente envuelven el área urbana de la ciudad en sus cuatro puntos cardinales, incrementadas en mayor o menor grado por los distintos canales de riego que cruzan la ciudad de Este a Oeste, algunos canalizados y otros no, dentro de los cuales se pueden mencionar las acequias Cois, Pulen y Yortuque, que sirven además para arrastre de residuos sólidos (basura) que arrojan los pobladores y se estima un coeficiente de infiltración de 0.5 - 1.5 l/s/km como contribución a las redes de alcantarillado.

2.2.4 Recursos Hídricos

Dentro del valle de Lambayeque existen dos fuentes de agua para los usos de riego y consumo humano, constituidos por aguas superficiales del río Chancay - Lambayeque y la Leche que cruzan los Valles respectivos y sirven para riego de las áreas agrícolas disponibles y para consumo potable, como es el río Chancay.

La otra fuente es constituida por agua subterránea, que ha sido explotada en forma regular para uso agrícola por las Cooperativas Pátapo, Tután, Pucalá y Pomalca, no conociéndose su volumen de explotación.

Para uso potable se han perforado una serie de pozos en el sector Oeste de la Ciudad de Chiclayo, que abastecerá de agua a la población de Ciudad de Dios, San José y el Parque Industrial de Chiclayo, no existiendo a la fecha un estudio Hidrogeológico para determinar el volumen del acuífero que debe existir dentro del Valle bañado por las aguas del río Chancay.

2.2.5 Aspectos Economicos

De fines de la primera mitad de este siglo a 1994, las actividades industriales, los servicios y el comercio han crecido preponderantemente, pero con las características propias de un país sujeto al consumo de los productos terminados y con tecnología

avanzada, procedente de los países donde imperan los capitales transnacionales. Habían 1,056 establecimientos industriales, de los cuales 616 se encontraban en el Distrito de Chiclayo, 351 en el Distrito de José Leonardo Ortiz y 89 en el Distrito de La Victoria.

En el presente, Chiclayo tiene una preponderancia en las actividades comerciales e industriales con más de seis mil establecimientos comerciales y dos mil industriales de bienes de consumo, de intermedios y de producción. El departamento de Lambayeque es un centro agrícola con los principales cultivos: la caña de azúcar y el arroz.

2.3. ESTUDIO POBLACIONAL

2.3.1. Evolución de la Poblacion

2.3.1.1 Población Actual

Chiclayo, capital del Departamento de Lambayeque, constituye el centro más importante de las actividades económicas de su región, siendo un núcleo de población muy importante entre Lima y el extremo norte del país. El núcleo poblacional propiamente dicho, lo constituyen los distritos de Chiclayo, José Leonardo Ortiz y La Victoria. Otros centros poblados se sitúan en un radio de 10 km. del centro, es decir Lambayeque, San José, Pimentel, Santa Rosa y Puerto Eten que está a 15 km. Estos centros no entran en el ámbito del sistema de redes de alcantarillado de Chiclayo.

Según los resultados definitivos del Instituto Nacional de Estadística e Información (INEI) en Lima, la población de la ciudad de Chiclayo se elevó en 1993 a 419,600 habitantes. Con una tasa anual de crecimiento de 3.3% la población en 1995 se estima a 447,700 la que se puede apreciar en el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1.: Distribución Poblacional estimado en 1995

Distritos	Población (hab)	Area bruta (ha) Residual Ocupada	Densidad (hab-ha)
Chiclayo	255,600	1,210	211
José Leonardo Ortiz	128,900	515	250
La Victoria	63,200	375	169
Total Casco Urbano	447,700	2,100	213

Fuente: INEI - Resultados definitivos del censo 1993 e INADUR 1992 - Plan Director.

2.3.2 Poblacion Futura

2.3.2.1 Proyección de la Población al Año 2012

Las proyecciones del presente informe están basados en el Plan Director de Chiclayo elaborado en 1985 bajo la responsabilidad de la Municipalidad Provincial de Chiclayo.

La segunda fuente está representada por el estudio de factibilidad del año 1988. Como tercera fuente, se tuvo el informe del plan de inversión preliminar recientemente elaborado en el marco del proyecto de mejoramiento institucional y operativo de la Empresa EPSEL S.A.

En el presente caso se ha establecido como hipótesis de trabajo, que la tasa anual de crecimiento poblacional del casco urbano de Chiclayo será más alta que la del país (que es de 2.2%), pero no sobrepasará la que se dio para los últimos años (3.3%). Aplicar una tasa de crecimiento uniforme para todos los distritos de la Ciudad de Chiclayo parece oportuno, teniendo en cuenta la intención de las administraciones de desarrollo de distribuir este crecimiento entre los diferentes componentes del área urbana. Sin embargo, no parece conveniente de mantener una tasa constante hasta la fecha final de la proyección teniendo en cuenta la tendencia general actual de la ciudad, de la provincia y del país, en la cual de la tasa de crecimiento se viene atenuando.

Por lo expuesto, se considera adecuado de utilizar dentro del área del proyecto una tasa de crecimiento anual de 3.0% a partir de 1996 hasta el año 2000 (similar a la actual tasa de crecimiento urbano de Chiclayo), luego de 2.8% hasta el año 2005, de 2.6% hasta el año 2010 y de 2.4% hasta el año 2012. Se estima que esta última tasa de crecimiento se aproximaría al promedio nacional a largo plazo.

1993 - 1995	1996 - 2000	20001 - 2005	2006 - 2010	2011 - 2012
3.3%	3.0%	2.8%	2.6%	2.4%

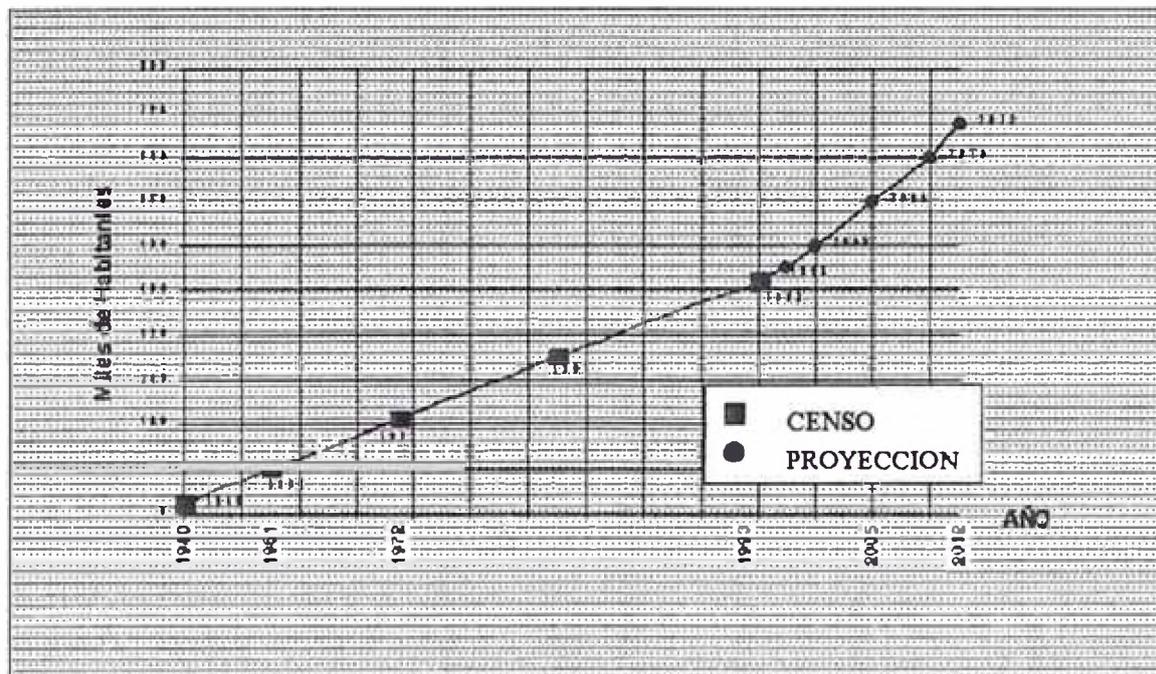
Tomando como base el ajuste de la información histórica del número de habitantes urbanos en la Ciudad de Chiclayo durante los últimos 33 años y las tasas de crecimiento anteriormente indicadas, se proyectan las poblaciones para el año 2012. En el Cuadro 2.2 y el Gráfico 2.1. se muestra esa evolución demográfica.

Cuadro 2.2.: Población Proyectada al año 2012

Año	Total	Chiclayo	La Victoria	José L. Ortíz
1993	419,600	239,900	60,300	119,400
1995	447,700	250,800	67,000	129,900
2012	710,400	406,200	102,100	202,100

Las tres fuentes de la proyección de la población alcanzan por tanto a resultados similares: Al comparar el año 2012, los estudios definitivos de SEDALAM (1988) han calculado con 673,200 habitantes, mientras que el estudio económico-financiero de EMAPAL (Octubre 1994) estimó a 705,600 habitantes y el Plan Maestro de 1995 proyectó a 649,000 habitantes, lo que conviene muy bien a la programación del desarrollo del casco urbano teniendo en cuenta un límite superior de densidades para cada distrito.

Gráfico 2.1. : Evolución Demográfica, Chiclayo.



2.3.3 Desarrollo Urbano

La situación actual y las proyecciones futuras del presente informe, substancialmente están basadas en el Plan Director de la ciudad de Chiclayo elaborado en 1986 bajo la responsabilidad de la Municipalidad de Chiclayo con un horizonte al año 2020. Tal como se discute en el párrafo 2.3.2.1-Población- se supone que las proyecciones del Plan serán válidos también hasta el año 2012.

2.3.3.1 Estructura Urbana

El área abarca el casco urbano de Chiclayo, es decir a los distritos de Chiclayo, José Leonardo Ortiz y La Victoria que lo conforman tal como se indica en el Plano N° 2 donde se muestra los límites políticos del área del proyecto.

El desarrollo urbano es de tipo horizontal y no vertical, razón por la cual las áreas que ocupan son agrícolas que no están cultivadas por falta de agua. Lo mismos pobladores para edificar sus viviendas utilizan la tierra vegetal para construir los adobes, destruyendo totalmente estos suelos agrícolas.

2.3.3.2 Planeamiento Urbano

Las áreas de uso del casco urbano fueron clasificadas por el Plan Director de Chiclayo en distintas zonas, que se presentan en la vista del Plano N° 3. Esta nomenclatura será mantenida en el marco del presente informe, como sigue a continuación:

- C: Chiclayo Central, con 9 sub-sectores
- N: Chiclayo Norte, con 4 sub-sectores
- S: Chiclayo Sur, con 5 sub-sectores
- O: Chiclayo Oeste, con 8 sub-sectores
- E: Chiclayo Este, con 3 sub-sectores

Cada una de las zonas se identifica y tipifica tanto por sus características propias como por sus niveles de densidad residencial específicos (hab/ha), para lo cual se tomó como base la población obtenida por los resultados definitivos del censo de población año 1993.

El Plan Director desarrollado por el Concejo Provincial de Chiclayo hasta el año 2020, para el corto, mediano y largo plazo, de acuerdo al incremento poblacional indicado el censo de 1993, establecía los requerimientos de vivienda y las áreas necesarias para su desarrollo en función de la densidad bruta para cada uno de estos plazos.

En el Plano N° 4, se indican las etapas de desarrollo propuesto para los tres plazos considerados y los incrementos de población para cada una de las áreas necesarias. Este desarrollo urbano servirá para planificar las redes de alcantarillado, dentro del Plan Maestro a proyectarse para la población del año 2012.

2.3.3.3 Pronóstico del Desarrollo Urbano

En el planeamiento urbano efectuado por el Plan Director se ha considerado la cobertura que alcanza tanto el distrito de Chiclayo como los distritos vecinos contiguos al proyecto de alcantarillado.

Bajo las consideraciones detalladas anteriormente, las densidades posibles de ser alcanzadas hasta el año 2012 en los diferentes sectores puede ser de 116 hab/ha para el centro de Chiclayo, 124 hab/ha para La Victoria y José Leonardo Ortiz en los actuales límites y alrededor de 82 hab/ha en los demás sectores. Hay que destacar que ellas no representan las densidades de saturación para cada distrito; la que puede ser estimada en 109 hab/ha para el caso urbano. El Plano N° 5 presenta las densidades en los distritos y sectores para el año 2012. El Cuadro 2.2.1 presenta las densidades proyectadas.

Cuadro 2.2.1 : Proyección del Desarrollo Urbano al 2012

Sector	Código	Población (hab)	Area (ha) * bruta	densidad (hab/ha) por área bruta
Chiclayo Central	C	275,590	2,347	116
Chiclayo Norte	N	129,210	1,060	122
Chiclayo Sur	S	150,930	1,196	126
Chiclayo Este	E	33,307	650	51
Chiclayo Oeste	O	124,358	1,274	98
Total área del proyecto		710,395	6,527	109

* Sin aeropuerto

2.4. CONSTRUCCION Y OPERACIÓN PROBATORIA DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION "CIUDAD DE DIOS" CHICLAYO

2.4.1. Antecedentes y Resumen

Las Lagunas de Estabilización y el Emisor Norte-Norte que el Presidente de la República del Perú, Ing. Alberto Fujimori F., acompañado por el Embajador de la República Federal de Alemania, Dr. Heribert Wockell, inauguró el día 22 de febrero de 1996, constituyen la contribución peruana al Proyecto Alcantarillado de Chiclayo, cofinanciado por Alemania.

El presente informa sobre la implementación de las obras financiadas por el Programa Nacional de Agua y Alcantarillado (PRONAP) como contribución nacional al proyecto Alcantarillado de Chiclayo; considerando a la referida fecha de inauguración como el inicio de arranque de la operación probatoria.

El Dueño de las obras fue el Programa Nacional de Agua y Alcantarillado (PRONAP) del Ministerio de la Presidencia que contrató a dos consorcios de contratistas, cada uno para la ejecución del Emisor Norte-Norte y las Lagunas de Estabilización.

Las obras fueron realizadas según el cronograma y monto contractual previsto y ampliado en base a los presupuestos adicionales sustentados; cabe señalar que ambas obras en su ejecución requerían ajustes a la realidad del replanteo en el terreno cuyos detalles se discutirá más adelante.

<u>Emisor</u>	Monto S/. (incl. IGV.)
Presupuesto Base	10'062,022.00
Presupuesto contratado	7'962,209.35
Monto final	8'179,422.67 (≈ US\$. 3'800,000.00)
Plazo contractual	240 días calendarios (05.12.1995)
Término de la obra	05.01.1996

Lagunas de estabilización

Presupuesto Base	5'097,022.75
Presupuesto contratado	4'069,924.21
Monto final	4'888,261.16 (≈ US\$. 2'270,000.00)
Plazo contractual	180 días calendarios (04.11.1995)
Término de la obra	04.01.1996

Reajustes de las obras

El cruce del emisor Norte-Norte con la Carretera Panamericana Norte estuvo sujeto a varias modificaciones efectuadas para compatibilizar la solución final con el Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Chiclayo.

El proyecto de la Lagunas de Estabilización había previsto cuatro módulos de lagunas facultativas y de maduración, para mejorar la calidad del efluente que se utiliza en el riego de cultivos de la Comunidad Campesina "San José". En base a un estudio de optimización, se cambió el esquema de flujo en dos baterías de tres etapas de tratamiento: cada una con dos facultativas en paralelo y dos de maduración en serie (ver Anexo 2.1).

Los resultados obtenidos para el efluente muestran el número más probable de coliformes fecales de 640/100 ml. y una concentración de la DBO₅ total de 14 mg/l lo que permite su uso en el riego de cualquier clase de cultivos.

2.4.2 Emisor Norte-Norte

2.4.2.1 Resumen de la obra

a) Objetivo y población servida

El Emisor Norte-Norte evacua las aguas servidas provenientes de la zona Norte de la ciudad de Chiclayo, formada por los Distritos José Leonardo Ortiz, Moshoqueque y Artesanos Independientes que abarcan las urbanizaciones y pueblos jóvenes indicadas en el Cuadro N° 2.3, alcanzando una superficie aproximada de 1,680 Has. Por su profundidad y pendientes, este emisor trabaja por gravedad y reemplaza a la estación de bombeo de Moshoqueque que tuvo una altura dinámica de 14 m.

Cuadro N° 2.3: Areas drenadas por el Emisor Norte-Norte

2.3.1 Urbanizaciones

Ciudad del Chofer	Urb. San Lorenzo	Urb. Miraflores
Augusto B. Leguía	Urb. Los Mochicas	Urb. Cruz de Chalpón
Urb. Del Ingeniero II	Urb. San Isidro	Urb. Remigio Silva
Urb. Francisco Bolognesi	Urb. Santa Ana	Urb. Policía Nacional

2.3.2 Pueblos Jóvenes

Luis A. Sánchez	Santa Rosa	Ricardo Palma
4 de Noviembre	Simón Bolívar	Vista Alegre
Tupac Amaru	Cruz de la Esperanza	Las Palmeras

Actualmente (1997) el Emisor Norte-Norte recolecta el desagüe producido por 170,800 habitantes, con una contribución por usuarios públicos, comerciales e industriales de un 30% de habitantes equivalentes, llegando así a un total de 222,000 habitantes. En el Proyecto Alcantarillado de Chiclayo se redistribuirán las áreas de drenaje que resultará en una reducción del número de habitantes servidos a partir del año 1998. En el horizonte del Proyecto (año 2012) se calcula un número de 154,739 habitantes más 50,135 habitantes equivalentes o sea un total de 204,874 hab. Equ. Servidas por el Emisor Norte-Norte.

b) Características de la obra

El Emisor Norte-Norte es parte de un sistema de transporte de las aguas servidas de las áreas arriba descritas, que consiste además de dicho emisor, el antiguo Emisor Norte y el canal de distribución a las lagunas de Ciudad de Dios.

El Emisor Norte-Norte empieza en la intersección de la Avda. Venezuela con Víctor Salas (ver Fotografía N° 1) sobre una cota de fondo de 20.224 msnm con el buzón 996 y diámetro de 800 mm (32"). En el buzón 1009 el diámetro aumenta a 900 mm (36") y a partir del buzón 1024 tiene 1,000 mm (40"). El emisor termina sobre un nivel de 14,735 msnm (buzón 1054) con una sección de 1.40 x 1.10 m y tiene una longitud total de 8,412.73 m con 49 buzones. El antiguo Emisor Norte se conecta al buzón 1041 (ver Plano N° 7).

La longitud total del sistema de aducción entre el buzón 996 y la caja de distribución F-1 es de 10,273.25 m.

2.4.2.2 Contrato

a) Contrato inicial

El Presupuesto de base de Diciembre de 1994 alcanzó el monto de 10'062,202.06 Nuevos Soles. Incluyendo el IGV. El consorcio ganador del concurso ofreció la obra por el presupuesto contratado de S/. 7'962,209.35 con un plazo contractual de 240 días calendarios.

PRONAP y el Consorcio Emisor firmaron el contrato con fecha del 03.04.1995; el adelanto del 20% del monto contractual se pagó el día 08.04.95 y la entrega del terreno se realizó el 10.04.95. Esta última fecha marca el inicio del plazo contractual de 240 días calendarios que vencían el 05.12.1995.

b) Monto final

La construcción del Emisor Norte-Norte terminó por un monto de S/. 8'179,422.67 incluido IGV. Este monto corresponde al 81.3% del presupuesto de base y al 102,7% del presupuesto contratado.

Tomando como referencia el tipo de cambio del dólar a S/. 2.15 que corresponde a la fecha del Presupuesto Base (Dic 94) asciende a la suma de US\$ 3'800,000.00.

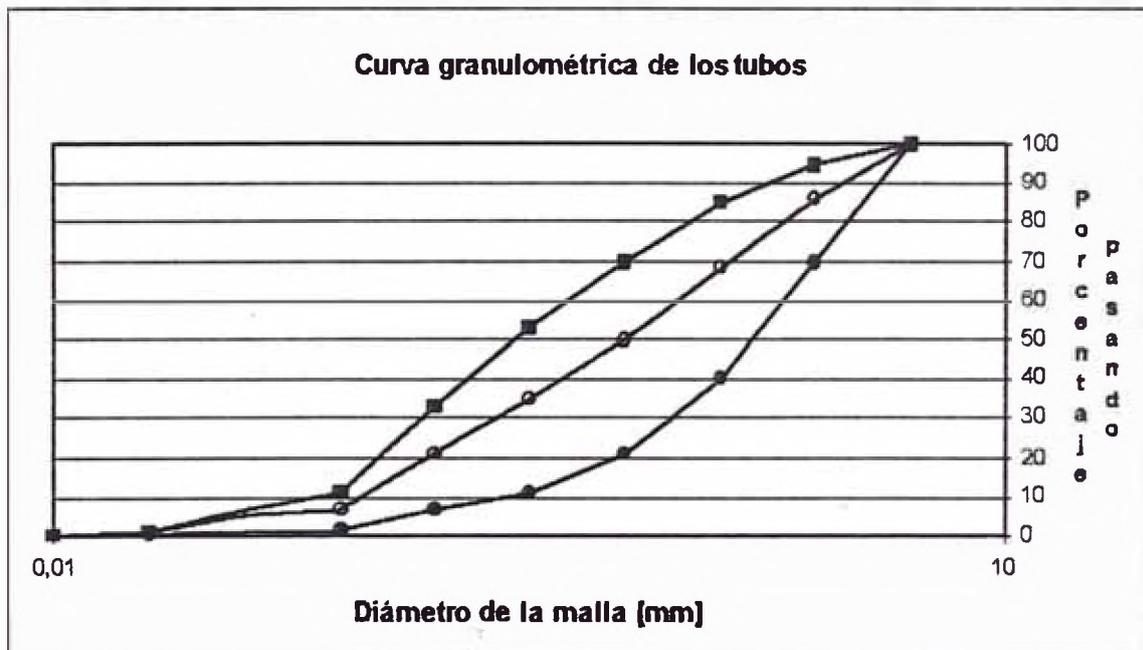
2.4.2.3 Ejecución

- Fabricación de tubería

Los tubos de concreto armado clase 21 N/mm² (210 kgf/cm²) de 2,00 m de largo fueron fabricadas en Chiclayo por las empresas PRECONAR (800 mm y 1000 mm) y CONCRETO PERU (900 mm).

- Agregados: Para el concreto se utilizó arena y piedra chancada con la curva granulométrica que muestra el Gráfico N° 2.2, junto con los límites superiores e inferiores según la norma alemana DIN 1045 para el rango de grava 0-8 mm.

Gráfico N° 2.2: Curva granulométrica



- Cemento: En conformidad con las Especificaciones Técnicas se utilizó cemento tipo 5 con alta resistencia al sulfato (Fotografía 2).
- Acero: Fierro de 6 mm de diámetro (Fotografía 3)
- Fabricación: Con espiga y camapana de unión con moldes metálicos por vibración externa (Fotografía 3)
- Juntas: Junta de neopreno.

a) Pruebas en fábrica

- Presión interior, tubo parado lleno de agua (Fotografía 4)
- Presión interior a $7E4 \text{ N/m}^2$ (10 p.s.i.) durante 10 minutos
- Resistencia a la prueba de tres hilos
- Resistencia a la compresión según normas INDECOPI (ex ITINTEC), con probetas cilíndricas $d=150 \text{ mm}$, $a=300 \text{ mm}$.

Los registros de las pruebas muestran ninguna falla de un tubo; en algunos tramos se comprobó la resistencia a la compresión por esclerómetro dentro del tubo colocado.

b) Proceso de Obra

- Excavación de zanjas

En vista a las buenas características del terreno, el contratista optó por la excavación de la zanja sin entibado, asumiendo los riesgos y costos de sobreexcavación y relleno.

- Colocación de tuberías

Se bajó los tubos con retroexcavadora y el alineamiento se realizó por indicación topográfico mediante una grúa.

- Construcción de buzones

Se empleó bases y techos prefabricados y encofrados metálicos para el palo ascendente. Comprobación del concreto a la resistencia de compresión según normas vigentes.

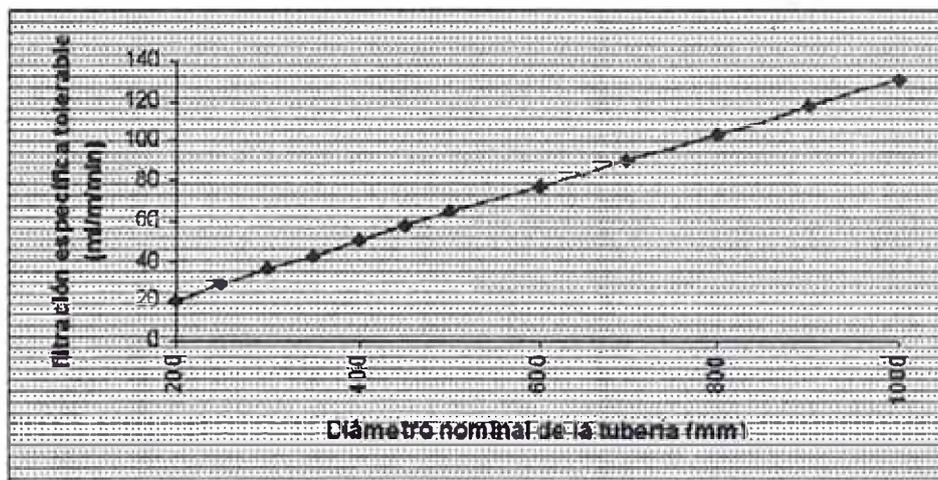
- Relleno y compactación de zanjas

Los tubos están colocados sobre una cama de arena y enrobados del mismo material hasta 0.30 m por encima del tubo. Este material se compactó con placa vibrante.

- Ensayos de estanqueidad

Se realizó los ensayos de estanqueidad con zanja abierta, aplicando las filtraciones máximas según el Gráfico N° 2.3. Por lo general las pruebas de estanqueidad daban resultados satisfactorios al primer ensayo, sin embargo, en algunos tramos trabajos de reajuste fueron necesarios.

Gráfico N° 2.3: Filtración tolerable



c) Cronograma

El plazo contractual de 240 calendarios empezó el día 10.04.1996 y venció el día 05.12.1995. Dos problemas imprevistos impidieron la culminación dentro del cronograma inicial:

1. La entrega del terreno en el cruce con la Carretera Panamericana por la Municipalidad de Chiclayo tuvo un retraso por la necesidad de cambiar el punto del cruce hacia un futuro ovalo en la intersección de la carretera con la Avenida Venezuela, ver Fotografías 10-12.
2. Remodelación de conexiones domiciliarias de agua y desagüe en el tramo de Moshoqueque, donde el antiguo colector conectaba con la estación de bombeo que se paralizó.

Durante la preparación de las bases de licitación, estas áreas estaban libres todavía. Sin embargo, los trabajos terminaron solamente un mes después y el día 05 de Enero de 1996, el Emisor Norte-Norte entró en operación.

2.4.3. LAGUNAS DE ESTABILIZACION

2.4.3.1 Resumen de la obra

a) Objetivo

Las aguas servidas descargadas por la población contienen materia orgánica e inorgánica que no permite su emisión directa al medio ambiente por los riesgos para la salud pública que presentan y los daños directos que causan. Por la multitud de sustancias contenidas en las aguas servidas, se utilizan parámetros indicativos, tal como el número más probable de bacteria coliformes fecales (NMP C.F.) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno de cinco días (DBO₅) para determinar la calidad de estas aguas. La presencia de

coliformes fecales es un indicador que el agua ya ha pasado por el cuerpo de un mamífero y por lo tanto pueden contener también bacterias patógenas. La DBO_5 es un indicador del impacto bioquímico al cuerpo receptor por extracción de oxígeno disuelto.

b) Características de las obras

Las obras comprenden la construcción de un canal de distribución con estructura de Pretratamiento y una Planta de Tratamiento de las aguas servidas de ocho lagunas de estabilización.

El canal de distribución tiene una pendiente que varía de 0.7 a 0.5 ‰ y una longitud de 1,903.75 m entre el buzón 1054 y la primera caja de distribución (F-1). Es un canal rectangular de 1.40 x 1.10 m, en ciertos tramos está techado. En el km 1+228 está instalada una caja de bifurcación que reparte el caudal entre las lagunas ubicadas al Sur de la Ciudad de Dios y aquellas proyectadas al Oeste de la misma (ver Fotografía 11). El By-pass, la caja de rejillas y el medidor Parshall están ubicados en el canal de distribución entre km 1+448 y 1+453 (ver Fotografía 12).

La planta de tratamiento de los desagües provenientes del Emisor Norte-Norte de la ciudad de Chiclayo consiste en un conjunto de ocho lagunas de estabilización agrupadas en dos baterías y está ubicada unos 9 km al Oeste de la ciudad en la zona denominada "Pampa de Perros" que pertenece a la Comunidad Campesina de San José, ver Fotografía 20A. El centro de la Planta tiene las coordenadas de 0619-100 km Este y 9250+070 km Norte con un nivel de agua en las lagunas entre 13.76 y 13.43 msnm según etapa del tratamiento (ver Plano 9).

Las aguas servidas frescas llegan a la planta de tratamiento por la red de colectores y el Emisor Norte-Norte. Por el régimen de flujo turbulento el agua puede absorber oxígeno del aire a través de la superficie de contacto. La longitud total del emisor es de 6,512 m de tuberías de concreto armado de 0.8 m a 1.0 m de diámetro y 4,255 m de canal (también de concreto armado) con un ancho de 1.4 m, la superficie de contacto con el aire ambiental es de 11,800 m². La velocidad promedio del afluente es de 6.3E-1 m/s y el tiempo de escurrimiento es de 4.2 h.

c) Montos

El Presupuesto de base con fecha de diciembre de 1994 alcanza la suma de S/. 5'097,022.75 (incl. IGV). El Presupuesto contratado con precios de Diciembre de 1994 alcanza la suma de S/. 4'069,924.21 (incl. IGV). El monto final del contrato alcanza la suma de S/. 4'888,261.16 (incl. IGV.)

2.4.3.2 Licitación y adjudicación

El día 01 de Marzo de 1995, el PRONAP recibió las ofertas de 20 postores para la preselección de empresas constructoras para las lagunas de estabilización. De la evaluación se seleccionaron 18 Contratistas o Asociaciones como calificados. Este

resultado fue publicado el día 10.03.1995 en el diario oficial "El Peruano". El 17.03.1995 se analizaron las ofertas económicas y PRONAP otorgó la Buena Pro al "Consortio Lagunas" formado por los contratistas FEVAC S.A. & E. Reyna Contratistas Generales.

2.4.3.3 Contrato

a) Contrato inicial

El Presupuesto Base a Diciembre de 1994 alcanzó el monto de S/. 5'097,022.75 Nuevos Soles, incluyendo gastos generales, utilidades y el IGV. El Consortio ganador del concurso ofreció la obra por el presupuesto contratado de S/. 4'069,924.21, con un plazo contractual de 180 días calendarios.

PRONAP y el Consortio Lagunas firmaron el contrato el día 25.04.1995; la entrega del terreno se realizó el 03.05.95 y el adelanto del 20% del monto contractual se pagó el día 08.05.95. Esta última fecha marca el inicio del plazo contractual de 180 días calendarios que terminaron el 04.11.1995.

b) Presupuesto Adicionales

Durante la ejecución de las obras, la Supervisión consideró necesario incluir los trabajos, indicados en el Cuadro N° 2.4, los que se justifica a continuación.

Presupuesto Adicional N° 1

El techado del canal abierto en las cercanías de la urbanización Ciudad de Dios mejora la seguridad y reduce la molestia de la población por malos olores. Las juntas de dilatación con cinta 'water-stop' son necesarias para evitar exfiltraciones de las aguas servidas.

Cuadro N° 2.4 : Lagunas de estabilización, presupuestos adicionales

PRESUPUESTO ADICIONAL N° 1	DESCRIPCION DE PARTIDAS	MONTO S/. (INCL. IGV.)
1	Techo y juntas de dilatación en canal abierto	236,536.17
2	Mayores metrados de excavación masiva	363,646.78
3	Mayores metrados en canales de distribución y recolección	218,154.00
-	Total variaciones	818,336.95
-	Presupuesto contratado	4'069,924.21
-	Monto final	4'888,261.16

Presupuesto Adicional N° 2

Los mayores metrados de excavación masiva tienen su origen en una previsión de esta partida de 361,735 m³; por el replanteo insuficiente de la obra, esta partida aumentó hasta 509,794 m³. Por su precio unitario de S/. 2.83/m³ este aumento un fuerte impacto a los costos de la obra (8.6 %). Para mitigar el aumento se rediseñó el esquema de flujo de las lagunas de dos a tres etapas. Esta modificación permitió reducir la profundidad de

las lagunas y economizar un monto de excavación hasta un total de 459,610 m³. LA justificación más detallada de la optimización sigue a continuación:

El Proyecto inicial de tratamiento de las aguas servidas provenientes de la ciudad de Chiclayo había previsto la construcción de siete módulos de lagunas de estabilización para servir en el año 1995 a una población de 164,300 habitantes. Según el Convenio Interinstitucional de EMAPAL y PRONAP y el Acuerdo Separado al Contrato Financiero entre EMAPAL y KfW se construyen en el año 1995 solamente cuatro de estos siete módulos. Sin embargo estos tendrán que absorber el afluente total de los Emisores Norte y Norte-Norte a partir de la puesta en operación el día 22.02.1996 hasta el funcionamiento de las demás lagunas de estabilización que se construirá a través del Proyecto de Alcantarillado de Chiclayo y que entrarán en funcionamiento a fines del año 1998.

Cuando la supervisión prevista por el Acuerdo Separado al Contrato Financiero entre EMAPAL y KfW asumió su responsabilidad el día 30.08.1995, surgieron tres aspectos importantes que recomendaban una revisión técnica del diseño de las lagunas, que en su fondo data del año 1988. Este diseño que no ha sido revisado durante la actualización del presupuesto de la obra en 1994 está caracterizado por lo siguiente:

La carga bioquímica de los cuatro módulos de lagunas de estabilización, tal como están proyectadas será de 6,620 kg DBO₅/día o sea 550 kg DBO₅/ha/día. Esta carga específica sobrepasa los límites que garantizan un funcionamiento de la planta en el régimen aerobio.

El número más probable de los coliformes fecales es de 36,000/100 ml. Este valor pasará las pautas establecidas por la Ley General de Aguas, Decreto Ley N° 17752. El Artículo 81 del Reglamento, publicado el día 17.03.1983 en el diario oficial "El Peruano", define seis clases de cursos de agua (clase I a VI) (ver Cuadro 4.1). La única clase que menciona aguas de riego es la clase III que se aplica a aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales. El límite del número más probable de coliformes totales menor de 5,000/100 ml, de coliformes fecales menor de 1,000/100 ml. y una DBO₅ de 15mg/lit.

Generoso borde libre de 1.00 m y replanteo insuficiente del diseño a las condiciones actuales de la topografía lo que origina un aumento considerable del volumen de excavación:

volumen de excavación según el presupuesto:	361,735 m ³
volumen de excavación para la alternativa contratada:	509,794 m ³ (+ 40.9%)
volumen de excavación de la alternativa optimizada:	419,893 m ³ (+ 16.1%)

Al iniciarse el diseño definitivo para el Proyecto de Alcantarillado de Chiclayo financiado por KfW - del cual las lagunas de estabilización en "Ciudad de Dios" forman parte - en Setiembre de 1995, el grupo de expertos ha establecido los criterios de diseño para tales obras. Evidentemente estos criterios están tomando en cuenta el estado actual del arte y por tanto pueden diferirse del los criterios empleados en 1988.

Las modificaciones necesarias para compatibilizar las lagunas en construcción con las futuras ampliaciones son pequeñas, pero con un efecto significativo a la calidad del agua tratada:

1. Cambiar el flujo de agua de cuatro módulos de lagunas en serie de Unidad Primaria seguida de una Secundaria, para formar dos etapas de maduración (2 Baterías cada una compuesta de 2 Primarias en paralelo seguido de 2 Unidades de Maduración en serie).
2. Reducir la profundidad de las lagunas de maduración para mejor aprovechamiento de la radiación solar, como un factor bactericida en la reducción máxima de microbios patógenos.

El día 29.09.1995 la Supervisión a cargo del Consorcio GKW CONSULT/SANIPLAN sometió la propuesta técnica-financiera al dueño de la obra y se acordó ejecutar la obra según el diseño optimizado.

Presupuesto Adicional N° 3

Las demás variaciones son el balance de mayores y menores metrados de varias partidas e incluyen la eliminación de una laguna rústica en la zona de la Laguna F-1 (Fotografía 9), remodelación de los pases con el objetivo de reducir la pérdida de carga entre las lagunas que hubiera incrementado la excavación masiva y otras obras adicionales.

c) Monto final

La construcción de las Lagunas de Estabilización terminó por un monto de S/. 4'888,261.16. Este monto corresponde al 95.9% del Presupuesto Base y al 120.1% del presupuesto contratado. Este aumento de más de 15% somete el contrato a la aprobación por la Contraloría de la República.

Tomando como referencia el tipo de cambio del dólar a S/. 2.15, que corresponde a la fecha de Presupuesto Base (Dic. '94), asciende a la suma de US\$ 2'270,000.00.

2.4.3.4 Ejecución

a) Diques

Suelos

Con pocas capas calichosas, el material de excavación estaba apropiado para el relleno de los diques, ver Fotografía 10. La compactación con rodillo se realizó en capas de 30cm a un 95% de la densidad Proctor modificado con densidades de 2.06 a 2.13 t/m³ y valores de 7.8% a 11.3% de la óptima humedad.

Cota y ancho de corona

El Presupuesto Base había previsto un ancho de 6.00 m. Por lo general se considera un ancho de 3.0 m para pequeñas lagunas y 4.0 m o 5.0 m para grandes lagunas que requieren la circulación de equipo pesado durante el mantenimiento, para facilitar lo cada laguna tiene una rampa de acceso.

Cuadro N° 2.5: Cotas de corona de los diques

Dique N° Ancho	del perfil	al perfil	cota corona	cota fondo) ¹
F 6.0 m	1+822.50 2+081.00	2+081.00 2+340.50	14.46 14.33	12.13 12.00
G 5.0 m	1+822.50 2+081.00	2+081.00 2+340.50	14.46 14.33	12.13 12.00
H 6.0 m	1+822.50 1+952.00 2+081.00 2+210.50	1+952.00 2+081.00 2+210.50 2+340.50	14.36 14.26 14.23 14.23	12.46 12.36 12.23 12.33
6 6.0 m	0+000.00 0+259.50	0+259.50 0+519.00	14.46 14.36	12.13 12.46
7 5.0 m	0+000.00 0+259.50	0+259.50 0+519.00	14.46 14.36	12.13 12.46
8 5.0 m	0+000.00 0+259.50	0+259.50 0+519.00	14.46 14.26	12.00 12.23
9 6.0 m	0+000.00 0+259.50	0+259.50 0+519.00	14.33 14.23	12.00) ² 12.33) ²
10 6.0 m	0+000.00 0+259.50	0+259.50 0+519.00	14.33 14.23	12.00) ² 12.33) ²

¹) o cota del terreno natural despues de remover la capa orgánica

²) o cota de la excavación

Ejes de los diques

La distancia entre los ejes es de 124.0 m + ancho de la corona en el ancho y 254.0 m + ancho de la corona del dique en el largo, lo que se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 2.6: Ejes de los diques

Ejes	F	G	H	6	7	8	9	10
Distancia	0+000.00	0+259.50	0+519.00	1+822.50	1+952.00	2+081.00	2+210.50	2+340.50

(Ver Plano N° 8)

b) Lagunas (Unidades Simétricas)

Diseño

Las esquinas de las lagunas son redondeadas, entre 10 m de radio en el fondo y 15 m en la coronación. Las Fotografías 20A y 20B muestran vistas aéreas del conjunto de las 8

lagunas agrupadas en dos baterías, el Anexo 2.1 indica el esquema de flujo a través de las mismas.

Área neta

Considerando el bordo libre de 0.60 m. a 0.70 m. y el talud de 1:2, el área neta de las lagunas es de $121.6 \times 251.6 = 3.06$ ha o $121.2 \times 251.2 = 3.04$ ha respectivamente, a nivel de corona.

Profundidad

El diseño óptimo considera 1.60 m de profundidad para las lagunas facultativas y 1.20 para la maduración. Debido al hecho que gran parte de la Batería B ya registraba excavación, estas zonas quedaron con la profundidad a la fecha de las modificaciones. El Cuadro N° 2.7 muestra las principales medidas de las lagunas

Cuadro N° 2.7: Lagunas de estabilización, parámetros: área, volumen y tiempo de retención

Batería	Laguna N°	Nivel msnm	Ancho) ¹ [m]	Largo) ¹ [m]	A.fondo [m ²]	Tirante) ² [m]	Superf.) ³ [m ²]	Volumen [m ³]	Rt) ⁴ [d]
A	F - 1	13,76	114.7	244.7	28,067	1.63	30,450	47,670	11.7
	F - 2	13,76	114.7	244.7	28,067	1.63	30,450	47,670	11.7
	M - 1	13,66	116.4	246.2	28,658	1.20	30,420	35,440	4.5
	M - 2	13,56	116.6	246.4	28,730	1.20	30,500	35,530	4.5
Total							121,820	166,310	20.7
B	F - 3	13,63	112.3	242.6	27,250	2,15	30,380	61,930	11.7
	F - 4	13,63	112.1	242.1	27,130	2,28	30,450	65,000	11.7
	M - 3	13,43	114.5	244.3	27,890	1,57	30,260	45,690	4.4
	M - 4	13,53	114.3	244.1	27,960	1,63	30,270	47,390	4.4
Total							121,360	220,010	20.5

¹ ancho y largo al fondo de la laguna, talud 1.2

² tirante máxima al nivel de diseño del agua (las diferencias entre la batería A y B tienen su raíz en las modificaciones por la optimización durante la construcción)

³ superficie y volumen ejecutado

⁴ tiempo de retención Rt calculado en base al caudal promedio anual de 19,500 [m³/d], una tasa de evaporación de 4.5 [mm/d] y una infiltración de 5.5. [mm/d] -> {300 m³/d por laguna} se reparte el afluente según el volumen de las dos baterías:

A: $Q_A = Q \cdot 166310 / 386320$;

$Q_A = 19500 \cdot 0.43 = 8400$ [m³/d]

equivalente a : 98 lps.

en donde:

- Q ideal para F1: 49 lps

- Q ideal para F2: 49 lps

B: $Q_B = Q \cdot 220010 / 386320$

$Q_B = 19500 \cdot 0.57 = 11100$ [m³/d]

equivalente a : 128 lps.

en donde:

- Q ideal para F3: 62 lps.

- Q ideal para F4: 66 lps.

Baterías

Las 8 lagunas están agrupadas en dos baterías (A y B) de 4 lagunas cada una: dos lagunas facultativas (F) en paralelo y dos de maduración (M) en serie. La batería 'A' tiene una superficie total de 12.18 ha y un volumen de 166,000 m³; la 'B' tiene 12.14 ha de área y 220,000 m³ de volumen. Con el objetivo de armonizar el tiempo de retención de ambas baterías y aprovechar al máximo del volumen disponible en cada una, se reparte el

caudal de entrada según los volúmenes respectivos y en los porcentajes siguientes, ver Cuadro N° 5.5.

Batería A: 43%

Batería B: 57%

c) Canal de distribución

El canal de distribución tiene dos tramos:

1. El primer tramo tiene la función de un canal de aducción y empieza al final del Emisor Norte-Norte. Es de concreto armado con 1.60 m de ancho x 1.10 m de altura y 0.25 m de ochavo (cuña esquinera con pendiente). En este tramo está ubicado también la bifurcación (Fotografía 11) para repartir el caudal destinado a las lagunas de Ciudad de Dios y las lagunas proyectadas en San José.
2. El segundo tramo empieza después del by-pass/caja de rejillas/medidor, ver Fotografía 12. Es un canal de concreto armado de 1,10 m de profundidad con un ochavo de 0,25 m. El ancho del canal empieza con 1.25 m y reduce a 0.90 m después del desvío a la laguna F-3.

d) Caja de distribución

En las cajas de distribución (ver Fotografía 13) se desvia el caudal para cada laguna facultativa y se reparte a los tres tubos de entrada, ver Fotografía 14. La repartición del caudal destinado a cada laguna facultativa se hace por tres dispositivos a través de tuberías de 10" y 12" de Asbesto-Cemento.

1. Los repartidores verticales de concreto armado separa el caudal afluente según el área libre (ver Fotografía 24)
2. Para el aumentar el caudal de entrada a la laguna se colocan pantallas de concreto en las ranuras de la pasarela aguas abajo del repartidor, reduciendo así el caudal que sigue su curso a las siguientes Lagunas.
3. Para disminuir el caudal de entrada a la laguna se cuelga una o dos ataguías en las ranuras de la caja de distribución.

e) Tubería de entrada

De cada caja de distribución salen tres tuberías de asbesto cemento que entran a la laguna a una distancia de 24 m de la orilla en los cuartos del ancho, ver Fotografía 14 durante el llenado. Al nivel de diseño la clave de los tubos queda a 0.20 m cubierto de agua. Se puede cerrar los tubos individualmente por pantallas de concreto.

La repartición del caudal a los tres tubos de entrada se puede controlarla por ataguías, cabe señalar que la selección de los diámetros garantiza una distribución igual cuando la laguna está a su nivel de diseño.

f) Conducción interna

El esquema de flujo (Anexo 2.1 y Fotografía 17) muestra el paso del agua a través de cada batería. Los pases entre las diferentes lagunas tienen cada vez una pantalla sumergida que impide el arrastre de materia flotante y además protege el colchón de algas superficiales. El Anexo 2.2 y las Fotografías 15 y 18 muestran un pase típico. La pantalla tiene una altura total de 0.55 m, de la cual 0.35 m están sumergidas. La sección libre entre la pantalla y el fondo de la laguna tiene una altura de 0.85 m como mínimo y una extensión horizontal de 3,6 m; con un caudal de 180 l/s, la velocidad máxima de ingreso es 0.05 m/s.

Cada pase tiene pantallas de concreto armado de 0.20 m y 0.10 m de altura y 1.00 m de largo para controlar y variar el nivel de la laguna. Además está previsto un orificio de 0.60 m de ancho hasta el fondo del pase para evacuar el agua en caso de la limpieza. Durante la operación este orificio está cerrado por tablonces de concreto armado, ver Fotografía 18.

g) Canal de recolección

El canal de recolección lleva el agua residual tratada al punto de entrega ubicado a 10 m del eje del dique exterior. El canal tiene 1.05 m de ancho y 1.10 m de altura, con un ochavo de 0.25 m. A partir del punto de entrega la Junta de Regantes se encarga de la construcción y del mantenimiento de los canales de llevar el agua hacia el sistema de acequias que existen en la zona “Pampa de Perros” de la comunidad campesina de San José (ver Fotografía 19).

2.4.4 Puesta en Marcha

2.4.4.1 Afluente

a) Aforos del caudal

El caudal actual máximo promedio está en el orden de 333 l/s o sea 28,800 m³/d (Consortio GKW Consult-Saniplan, Informe Inicial, Oct. 1995 y mediciones durante el mes de Marzo de 1996), con un máximo horario de 420 l/s. El Cuadro N° 2.8 muestra un resumen de los aforos realizados hasta Marzo 96 con todo el caudal del Emisor Norte-Norte entrando a las lagunas, más detalles ver Anexo 2.3.

Cuadro N° 2.8: Caudal del Emisor Norte - Norte

Fecha	Caudal [m ³ /d]	Fecha	Caudal [m ³ /d]
14.02.96	25,600	12.03.96	23,800
15.02.96	23,300	13.03.96	23,000
16.02.96	23,500	14.03.96	23,000
17.02.96	23,400	15.03.96	25,600
19.02.96	22,900	16.03.96	29,100
20.02.96	22,200	18.03.96	28,400
11.03.96	23,400	19.03.96	28,100

b) Calidad del desagüe

La Empresa de agua comprobó la calidad de las aguas servidas provenientes de la ciudad de Chiclayo en varios puntos. El Cuadro N° 2.9 resume los valores para el Emisor Norte con fecha de 1994, que luego se unió con el Emisor Norte-Norte. Se nota que la calidad de las aguas servidas no varía con el tiempo. Cabe señalar que tanto el número más probable de coliformes fecales como la Demanda Bioquímica de Oxígeno están dentro del rango normal para estos parámetros¹.

Cuadro N° 2.9: Calidad de las aguas servidas

Muestras	Número más probable de coliformes fecales [NMP/100 ml]	Demanda bioquímica de oxígeno [mg DBO ₅ /l]
23.06.1994 (N° 1)	4.3E06	200
23.06.1994 (N° 2)	5.3E06	238
06.10.1995	-	238
16.01.1996	-	230
13.03.1996	5.2E06	-
Promedio	4.9E06	226

2.4.4.2 Estado Meta

Cabe señalar que la Ley General de Aguas y su Reglamento mencionan solamente el riego de cultivos de consumo crudo por los cuales se requiere un NMP de los coliformes fecales menor de 1,000/100 ml.

Actualmente para efectos de definición de clases de aguas para el riego se viene considerando la siguiente clasificación A, B, C dentro de los límites siguientes en NMP/100 ml: A < 1,000; B < 100,000 y C: 1'000,000, usando como referencia las distancias recomendadas sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en agricultura por un grupo de científicos de la OMS en Nov. de 1987 (ver Anexo 2.4.0).

- Clase A corresponde a cultivos de consumo crudo (p.ej. vegetales, pan llevar);
- Clase B contiene cultivos de tallo alto y productos de aprovechamiento humano con cáscara o cocido y requiere un control del riego antes de la cosecha;
- Clase C pertenece a cultivos que requieren un procesamiento que desinfecta los productos con seguridad o cultivos que no son destinados al consumo humano (p.j. algodón o caña de azúcar) y también requiere un control del riego antes de entrar al campo.

¹ Metcalf & Eddy: Wastewater Engineering, 3ª edición, pág. 110 indican valores entre 1E04/ml y E05/ml, lo que equivale a 1E06 a 1E07/ml; en la pág. 109 indican valores para la DBO₅ entre 110 y 400 mg/l con una concentración promedio de 220 mg/l

2.5. PUESTA EN OPERACION

2.5.1 Primer llenado

El Anexo A-2.4.1 muestra una relación de los datos obtenidos durante la puesta en marcha de las lagunas. Los datos registrados incluyen a la temperatura.

El registro diario de la temperatura del agua de las diferentes lagunas y del aire hace posible determinar la eficiencia del proceso de tratamiento y completar la teoría del cálculo por medio de modelos matemáticos (ver capítulo 4.4.1). Tal cálculo se muestra en el Anexo A-2.5 donde se ha determinado la carga bioquímica [kg DBO₅/día] diaria, tomando la concentración de la DBO₅ de 240 mg/l.

Una vez terminado la construcción, fueron llenadas las lagunas facultativas con las aguas servidas. El primer llenado alcanzó un nivel aproximado de 40 cm. Después del desarrollo de algas, que en todas las lagunas facultativas empezó al quinto día y por visualización llegó a su pleno desarrollo al séptimo día, a partir del 26.01.96 se llenó las lagunas facultativas con un caudal de 50 a 60 l/s, ver Fotografías 14 y 16. Al llegar al nivel de los vertederos en los pases, el agua empezó a ingresar también en la primera etapa de las lagunas de maduración y de allí a la segunda etapa. El proceso de llenado terminó los días 21.03. (M-2) y 22.03. (M-3); registrando en consecuencia un promedio de 54 días como tiempo total de llenado del sistema de lagunas en su conjunto incluyendo los periodos de receso para efectos del desarrollo de algas.

2.5.2 Arranque de la Operación

Una vez que el nivel del agua llegó al máximo de diseño, desde el 22.03.96, empezó la operación de las lagunas en todo su conjunto con un caudal de salida ya tratado para la entrega a la agricultura en la zona "Pampa de Perros" de la Comunidad Campesina de San José.

2.5.3 Operación Probatoria

El periodo de operación probatoria de las lagunas de estabilización empezó prácticamente con el llenado de la primera laguna facultativa (F-4) 29.02.1996 y su primera fase terminó el día 23.03.1996. Se aprovechó de este periodo para el entrenamiento del suscrito que asumiría la responsabilidad por EMAPAL (ahora EPSEL S.A) a cargo de la compañía consultora (ver Fotografía 20). Las principales actividades de la operación son:

1. Control diario del caudal afluente y efluente, niveles y temperatura de agua en las 8 lagunas.
2. Ajuste del caudal de entrada a las 4 lagunas facultativas para determinar su capacidad de tratamiento y sostenibilidad de la operación y mantenimiento de la Planta.
3. Eliminación de natas.
4. Toma de muestras para análisis microbiológicos y bioquímicos.

5. Mantenimiento de las obras
6. Verificación del Manual de Operación y Mantenimiento.

El punto 2 descrito líneas arriba, la verificación de la capacidad de tratamiento tiene una importancia especial por el hecho que el caudal actual del Emisor Norte-Norte de 28,800 m³/d es mayor que la capacidad de diseño, 19,500 m³/d. Está previsto tratar el excedente en las lagunas proyectadas en San José, sin embargo queda el problema de qué hacer con este caudal hasta que las futuras lagunas entren en operación?, que será a fines del año 1998.

Por el momento EPSEL S.A. tiene dos alternativas:

1. Tratar los desagües del Emisor Norte-Norte en conformidad al caudal de diseño de la Planta, cuya eficiencia está comprobada por los resultados biológicos y bioquímicos - ver capítulo 12.1, y derivar el caudal excedente en promedio de 100 lt/s al Dren 3000 sin tratamiento.
 2. Tratar todo el caudal del Emisor Norte-Norte, aún con un efluente de menor calidad y evitar así la emisión de aguas servidas sin tratamiento.
- Actualmente se viene adoptando la 1^{ra} alternativa, derivando al caudal excedente por la estructura by-pass, ubicada antes del sistema de rejillas, hacia el Dren 3000 que conduce al mar en Pimentel.
 - Al respecto, entre el 15.03 al 07.04.96, se realizó una evaluación de capacidad de tratamiento para captar todo el afluente que llega en un promedio máximo de 400 lt/s (ver Anexo 2.3.2), por el canal de distribución, para comprobar su comportamiento con alta carga de la DBO₅; por el cual llegaron a reaccionar las Unidades Primarias Facultativas al tornarse completamente anaerobias por las características organolépticas de cambio de color, de verde a grisáceo, así como el de desprender malos olores repercutiendo asimismo en las Unidades de Maduración, por el exceso de sobrecarga e influencia de reducción del periodo de retención, corroborándose la captación del caudal de diseño en el orden de 230 lps.

Ante tal situación y en coordinación con la empresa EPSEL S.A. se adoptó por la primera alternativa, la misma que actualmente se viene conservando por cuanto el mencionado excedente será captado además de la descarga del Emisor Sur para el tratamiento respectivo, al sistema de lagunas de San José actualmente en ejecución.

3. DETERMINACION DE DATOS PARA LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE CIUDAD DE DIOS (24 HAS. ESPEJO DE AGUAS RESIDUALES)

3.1. SITUACION ACTUAL DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE CHICLAYO

Concepción y Estado General

La red de alcantarillado de Chiclayo que recibe las aguas servidas producidas por la población, es drenada a un conjunto de redes de relleno repartidas y trazadas en todas las calles y avenidas, con diámetros de 6" para la zona céntrica y antigua de la Ciudad que tiene más de 50 años de servicio y con tuberías de 8" de diámetro en todas las Urbanizaciones y Asentamientos Humanos que se han desarrollado en las últimas décadas.

Estas tuberías de relleno, descargan a su vez en los colectores denominados primarios y secundarios, con diámetros que varían de 10" a 48", trazados en las principales avenidas y calles, constituyendo un mallado, que al juntarse en los puntos más bajos de la ciudad dan origen a los dos principales Emisores denominados Norte y Sur respectivamente.

Con la terminación del emisor Norte-Norte, la ciudad de Chiclayo dispone de tres grandes Emisores, que cubren el Sector Norte, al Sector Central y parte del Sector Sur, y de paso se eliminó la Cámara de Bombeo ubicado en Moshoqueque, permitiendo que el colector de 20" que recibían los desagües de esta cámara, no estén sobrecargados, haciendo que el Colector Norte disminuya el tirante de desagües en un 40%.

Al poner en operación el Emisor Norte-Norte, las condiciones hidráulicas de los Colectores secundarios y primarios mejoraron substancialmente y podrán recibir nuevos aportes de aguas servidas mediante los colectores secundarios proyectados que están dentro del programa de construcción.

El Emisor Norte formado por tuberías de concreto reforzado con diámetros de 40" a 42", tiene una longitud de 6,487 m hasta su empalme con el Emisor Sur, constituyendo el emisor General que tiene como disposición las aguas marinas entre el Puerto de Pimentel y la Caleta San José con un diámetro de 34" y una longitud de 5.8 km, permanentemente vacío por el aprovechamiento del desagüe en riego agrícola sin ningún tratamiento, por parte de agricultores que viven en su cercanía, y con el consiguiente deterioro por hundimiento y perforaciones efectuadas.

El Emisor Sur está constituido por tuberías de concreto reforzado con diámetros de 48", 56" y 52" con una longitud total de 8,252 mt. hasta su empalme con el Emisor Norte.

En su trayecto el Emisor Sur recibe la descarga de cuatro colectores denominados Sur-Oeste de 36". Parque Industrial de 18" y los colectores domésticos de la Urb. La Plata y La Pradera de 12" de diámetro.

Los diámetros y longitudes de los colectores de relleno, primarios y secundarios que conforman la red de alcantarillado total de Chiclayo se indica en el Cuadro 3.1 y Plano 1.

Cuadro 3.1 : Diámetro y Longitud Total de Colectores

Diámetro	Longitud (m)
6"	12,346
8"	194,546
10"	17,579
12"	8,394
14"	2,786
16"	5,566
18"	5,898
20"	1,146
21"	3,044
22"	1,465
24"	3,148
28"	5,982
34"	1,214
36"	1,280
40"	860
42"	1,941
48"	964
Total	268,159

3.2. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE EMISORES DE CHICLAYO

Las redes del alcantarillado formada por las tuberías de relleno, secundarias y primarias, se unen en determinado punto de la ciudad, para dar origen a los emisores, constituidos por tuberías de concreto reforzado, de grandes diámetros para evacuar el caudal de diseño (actual y futuro), con las pendientes y velocidades propias para esta clase de tubos y con buzones de determinada profundidad y separación entre ellos, que ya no reciben ninguna contribución y que por razones hidráulicas funcionan a $\frac{3}{4}$ de su capacidad, a diferencia de los otros colectores que trabajan a $\frac{1}{2}$ capacidad en lo que al gasto se refiere (l/s, o m³/s).

La ciudad de Chiclayo de acuerdo a su topografía y pendiente dispone de dos emisores cuyos trazos son de Este - Oeste, denominados Norte y Sur respectivamente, y que analizamos a continuación. A ello ahora se suma el nuevo Emisor Norte-Norte.

Después de las investigaciones preliminares efectuadas en los Emisores Sur y Norte, donde se detectó un ataque muy fuerte en las estructuras de concretos por efecto del gas sulfhídrico, especialmente en el Emisor Sur, donde todos los buzones presentan una corrosión biogénica, con formación de cristales de azufre en las paredes y tapas, se procedió a verificar si este ataque se había efectuado en las tuberías de grandes diámetros que constituyen el Emisor Sur.

Se procedió a efectuar excavaciones sobre la clave de la tuberías en puntos ubicados aguas arriba y aguas abajo del buzón donde descargan los desagües industriales del Parque Industrial, que presenta una DBO superior a 900 mg/lit, causante de la producción de Hidrógeno Sulfurado (SH₂) y de la corrosión del concreto. Se efectuaron cinco perforaciones en la tuberías de concreto para constatar su estado estructural. Apreciándose que las condiciones del concreto eran excelentes, sin tener ninguna alteración el espesor del diámetro en su parte superior, debido principalmente a que siempre trabajan a tubo lleno, y la formación de los gases salen al exterior por los buzones que son los puntos más elevados hidráulicamente hablando.

La existencia de tapas de concreto que impiden la “respiración” del desagüe, contribuyen al ataque a las paredes de dichos buzones, por la gran concentración de gases sulfurosos, por lo tanto se requiere formular un programa de reparación de buzones (revestimiento de mezcla cemento arena) y el cambio de las tapas de concreto por tapas standard de fiero fundido provisto de bisagras y cadena para evitar su extracción y dolo.

3.3. CAUDAL DE CONTRIBUCIÓN AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO

3.3.1 Aspectos Básicos de Agua Potable

El abastecimiento de agua potable es proporcionado por la Planta de Tratamiento de EPSEL S.A. ubicada en la zona Norte de la ciudad, mediante equipos de bombeo, que impulsa el agua tratada a los reservorios de cabecera (4) con un volumen de almacenamiento de 16,300 m³. La producción de la planta es de 21 millones de m³/año equivalente a 670 l/s que sumado con los aproximadamente 160 l/s de producción de agua subterránea a nivel de pozos, la producción total de abastecimiento de agua potable a la ciudad de Chiclayo bordea los 830 l/s.

Mediante las respectivas redes de distribución que en total suma unos 330 kilómetros, el agua se distribuye a la población a través de 52,075 conexiones domiciliarias que representa un 60.4 % de la población abastecida.

3.3.2 Producción de Aguas Residuales

3.3.2.1 Numero y clase de conexiones

Según información proporcionada por EMAPAL, a Setiembre de 1995 Chiclayo contaba con un total de 43,965 conexiones de alcantarillado y de acuerdo al catastro correspondiente, las conexiones son domiciliarias, comerciales, industriales, estatales y sociales, cuyo número se indica en el Cuadro 3.2.

Casi el 90 % de las conexiones son de clase domiciliarias y aproximadamente 60 % del total de las conexiones se encontraban en el distrito de Chiclayo mismo y el saldo en los distritos vecinos pertenecientes al área del proyecto. Cabe mencionar que el 87% de los habitantes, que tienen una conexión de agua potable poseen también una de desagüe.

Cuadro 3.2: Número y Clase de Conexiones de Alcantarillado

Tipo de Conexión	Conexiones N°	%
Domiciliarias	44,701	85.9
Comerciales	6,305	12.1
Industriales	183	0.4
Estatales	163	0.3
Sociales	698	1.3
Total	52,050	100.0

3.3.2.2 Cobertura del servicio

Considerando la población calculada a 1995 de 447,700 habitantes, y con el número de habitantes por vivienda obtenidos en los estudios anteriores, y de acuerdo al número de conexiones domiciliarias de alcantarillado indicado en el cuadro anterior, el porcentaje de población abastecida es de 52 %.

En el cuadro del **Anexo 3.0**, se indica los números de las conexiones domésticas y el porcentaje de coberturas de alcantarillado para la población futura del año 2012, que llegará a un 81 %, para los cinco sectores en que se ha dividido la población urbana de Chiclayo. En el **Cuadro 3.3** se muestran los niveles de cobertura en el año 1995 por sector.

Cuadro 3.3: Cobertura del Servicio de Alcantarillado de EMAPAL

Distritos	Población 1995		Cobertura	Hab/conex
	Total	Servida		
Chiclayo	256,000	133,100	52%	6.0
J. L. Ortiz	127,400	66,300	52%	6.0
La Victoria	64,300	33,400	52%	6.0
Total	447,700	232,800	52%	6.0

3.3.2.3 Caudales y cargas evacuadas

El volumen total de aguas residuales se ha calculado a partir del consumo de agua potable teniendo en cuenta una cierta contribución de la cantidad de agua suministrada con fines domésticos, generalmente alrededor de 80%. En lo que corresponde a descargas de origen comercial e industrial, se ha considerado una contribución entre el 80% y 90% según el tipo de servicio. La producción de las aguas servidas domiciliarias es dependiente de la categoría de los usuarios. El Cuadro 3.4 presenta los diferentes tipos del consumo doméstico.

Cuadro 3.4: Consumo Doméstico Actual y Producción de Desagüe

Depósito	Agua Potable		Desagüe
	lt/hab/d	lt/conx/d	
Beber	2	12	6
Cocinar	6	25	20
Aseo personal	6	30	30
Limpieza de domicilio		10-20	4
Otros usos	1	6	0
CONSUMO BASICO	15	80	60
Aseo personal, ducha	20-50	210	210
Inodoro	10-15	80	80
Lavar ropa		150	90
Limpieza de casa		50	10
CONSUMO GENERAL	100	570	450
Lavar / baño	25	150	150
Limpieza de casa		50	30
Jardin: (2.5 lt/m ²)		480	50
Otros usos (auto)		150	120
CONSUMO ALTO	250	1400	800

Del Cuadro 3.3 con la repartición del consumo doméstico de agua, se puede aprovechar un factor de desagüe de $450/570 = 0.78$.

El factor para las conexiones comerciales y públicas se asume a 0.85, mientras que el factor de la industria alcance a 0.90 según las experiencias.

Considerando las apreciaciones anteriores se han obtenido los caudales medios para el año 1995, tal como se muestran en el Cuadro 3.5. El volumen de la infiltraciones eventuales no está incluido.

Cuadro 3.5: Cantidad de Aguas Residuales (Año 1995)

Categoria	Consumo Agua Potable m ³ /d	Factor desagüe	Caudal	
			m ³ /d	l/s
Domiciliaria	23,260*	0.78	18,140	210
Comercial	9,620	0.85	8,180	95
Industrial (incl. Pozos)	3,360	0.90	3,020	35
Total	36,240	—	29,340	340

* = 100 lt/hab/d x 232,600 habitantes

El aporte actual a partir de la infiltración está estimado a 39,570 m³/d (458 l/s), o sea 0.22 lt/s/ha, sobre 2,104 ha. La cantidad de infiltración que corresponde a 135% de las

aguas residuales crudas. La enumeración final de los caudales con un esquema de área de influencia se presenta en el Plano N° 6.

Los aforos realizados en ambos emisores los días 5 y 6 de Octubre 95 desde las 2.37 p.m. hasta las 12.25 a.m., además que demuestren un volumen permanente de desague (tirante máximo 0.91, mínimo 0.5 m) ccon gasto de 426 l/s y 277 l/s para el Emisor Norte; y para emisor Sur con diámetro de 56" (1.30m), un tirante máximo de 1.18 m y un mínimo de 0.84 m, arrojó un gasto máximo de 535 l/s y un gasto mínimo de 407 l/s.

Una comparación del agua potable y los desagües está presentado en el Anexo 3.1. El consumo de agua potable suministrado por la planta de tratamiento es de 670 l/s, más el consumo de agua provenientes de cinco pozos tubulares profundos, del orden de 164 l/s, se tiene que el consumo total de agua de la población, es de 834 l/s. Las pérdidas en el sistema están estimada en 45% y el volumen de desagües con 338 l/s (81%) descarga en el sistema de alcantarillado).

Según las mediciones de caudal en los Emisores Sur y Norte (véase Anexo 3.2) la infiltración en el Emisor Norte se ha estimado en 164 l/s y para el Emisor Sur en 294 l/s. Considerando una longitud de colectores de 276.6 km, la tasa de infiltración en el Emisor Norte es de 1.0 l/s/km de tubería y para el Emisor Sur de 2.7 l/s/k de tubería, que difiere de los valores asignados en estudios anteriores que indican 1.0 l/s/k de tubería. Los emisores han sido atacados internamente por el hidrógeno sulfurado, que permiten un ingreso muy fuerte de la napa acuifera de la zona por la que atraviesan dichos Emisores, que en mayoría son terrenos de cultivo de arroz, que origina una percolación muy alta, que es controlada por la calidad arcillosa de sus suelos.

Otra estimación de la infiltración esta presentado en el Anexo 3.3 según muestras de las cargas orgánicas en los emisores. La estimación confirma las cifras de la infiltración mencionadas anteriormente.

3.4. ANALISIS DE LAS AGUAS SERVIDAS DE CHICLAYO

Lo que se buscará es la determinación del aporte per cápita de materia orgánica, y la presencia de sustancias químicas que puedan afectar la tratabilidad del agua residual, afectar la productividad agrícola, u ocasionar la destrucción del sistema de alcantarillado.

Las determinaciones han sido previstas en cada uno de los puntos de muestreo desde donde finalizarán los emisores Norte y Sur, aguas arriba el empalme al inicio del nuevo canal de distribución siguiendo el nuevo emisor Norte-Norte, y en las industrias más importantes de Chiclayo. Las determinaciones físico - químicas efectuadas son:

- Demanda bioquímica de oxígeno de 5 días, y demanda química de oxígeno.
- Nitrógeno amoniacal, Nitrógeno Kjeldhal y Nitratos
- Fósforo total
- Razón de adsorción de sodio (SAR)
- Cadmio, Plomo, Arsénico, Cromo total
- Sulfato

- Coliformes fecales
- Potasio
- Conductividad
- Concentración del ion hidronio (valor pH)
- Temperatura
- Oxígeno disuelto

Además, se analizó la conductividad de las aguas subterráneas en una franja del emisor Norte-Norte, y de las aguas crudas en la cámara de bombeo de Moshoqueque. Los cuidados a tenerse en cuenta durante el muestreo son:

- Limpieza completa de los tramos correspondientes
- Refrigeración a fin de mantener las condiciones de la muestra
- Minimización de la exposición a la contaminación
- Análisis de la muestra de agua tan pronto como sea posible.

3.4.1 Análisis Existentes de Aguas Residuales

De acuerdo con la propuesta, el Consultor realizó los análisis existentes que son extraídos de la siguientes fuentes:

- Estudio de factibilidad para la ampliación y mejoramiento de los sistemas de Agua y Alcantarillado de Chiclayo (SENAPA, 1985)
- Diagnóstico del sistema de producción y utilización de aguas servidas tratadas (Ing. Carmen Meza Camacho).

En estos dos estudios se han determinado la calidad de aguas residuales en un punto de cada uno de los dos emisores principales del sistema de alcantarillado de Chiclayo, el Emisor Norte y el Emisor Sur. Los resultados de estos análisis se presentan en el Anexo 3.4.

Con respecto a la calidas de las aguas residuales se puede constatar que, a parte de la salinidad relativamente alta (conductividad de aprox. 1,000 a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) los resultados de estos análisis muestran características típicas se aguas residuales predominando las aguas residuales domésticas. Se puede resumir los valores promedios de los resultados de análisis como sigue:

- pH	6.5 - 7.5
- O ₂ disuelto	0.3 - 1.0 mg/l
- DBO ₅	200 - 250 mg/l
- N _{tot}	30 - 35 mg/l
- P _{tot}	1.5 - 2.0 mg/l
- Colif. Fecales	4 x 6 10 ⁶ NMP/100 ml

3.4.2 Programa de muestreo y Análisis

Para determinar los caudales promedio de desagüe de la ciudad de Chiclayo se han realizado aforos en un lapso de 24 horas del día. Para estimar los caudales probables a pesar del mal estado del sistema se realizaron algunas mediciones para calcular la velocidad promedio en los emisores.

El análisis físico-químico y biológico de las aguas servidas conducidas por los dos emisores en funcionamiento es una de las investigaciones fundamentales a ejecutar, por cuanto la eficiencia de los sistemas de tratamiento de los desagües tiene como base principal el conocimiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), del contenido bacteriano y algunos parámetros químicos que puedan afectar dichos procesos biológicos de tratamiento.

Durante el aforo se realizaron los análisis físico-químico in situ para determinar la calidad de las aguas servidas. Durante un día cada 2 horas las muestras eran recogidas y en el laboratorio se realizaron las determinaciones de:

- los nutrientes
- indicadores de contaminación bioquímica
- colifecales
- y análisis microbiológicos.

Los desagües industriales fueron seleccionados en los puntos de muestreo de los desagües más representativos.

- Parque Industrial
- Hospital IPSS
- Camal Municipal
Fabrica Nestlé - Perú
- Buzón 309 (descarga de aguas industriales)

Además se realizaron medidas de conductividad eléctrica del agua de origen freático (zona colector Norte-Norte) y doméstico (Cámara de bombeo de Moshoqueque).

Los resultados se indican en los informes de ensayos, que se adjuntan en el Anexo 3.5.

De acuerdo a estos resultados, los desagües que circulan por los Emisores Norte y Sur tienen como característica principal el “estado séptico” debido al bajo tenor de oxígeno disuelto, por el tiempo excesivo de recorrido de su fuente de origen por las pésimas condiciones hidráulicas en que se encuentra, apreciando que en los buzones de los colectores de relleno y en los primarios y secundarios hay una gran detención del flujo de los desagües, con material sedimentado y altura del líquido que casi llega a la tapa de estos buzones.

En los que se refiere a la DBO₅, el Emisor Sur que recibe dos tipos de desagües industriales con una cifra muy alta, el caso del Camal Municipal, con 2660 mg/lit y el de

la fábrica Perulac con 854 mg/lit, que está afectando a las estructuras de concreto de los buzones y tuberías por la producción de gas sulfídrico (H_2S) y la formación de azufre por su cristalización, han destruido todo el revestimiento de la mezcla de cemento-arena de las paredes, loza de los buzones y las tapas que en mayoría son de concreto armado, dejando los fierros de esta estructura a la vista, una de las principales causas es la falta de ventilación por este tipo de tapa (la DBO resultante en el muestreo) mejora notablemente.

La DBO resultante en el muestreo mejora notablemente, en efecto, la DBO en los puntos de muestreo escogidos en el trayecto de los emisores, especialmente en el Emisor Sur, baja ostensiblemente, e incluso es menor que la DBO del desagüe doméstico del Emisor Norte, debido fundamentalmente a la gran infiltración que recibe en su recorrido por la profundidad de su trazo, que provoca una gran dilución, aumentando su caudal al doble del Emisor Norte, a pesar que el área de drenaje de este Emisor es las dos terceras partes del área drenada de los distritos de Chiclayo.

3.4.3 Carga Orgánica

Basándose en los muestreos mencionados y la experiencia de otras ciudades de un ambiente similar, una carga específica actual por habitante de 35 g/d parece realístico. Con las cargas preestablecidas de las industrias, del comercio y las entidades estatales, la carga actual debería ser del orden de 16,100 kg/d, como se puede apreciar en el Cuadro 3.6.

Cuadro 3.6: Carga Orgánica de Aguas Residuales (Año 1995)

Categoría	Carga Específica	Población Servida habitantes Equivalentes por el Caudal	Carga diaria
	grs/hab/día	Nº	Kg/d
Doméstico/Estatal	31	232,800	7,180
Comercial	39	104,620	4,080
Industrias	125	38,780	4,840
Total	43	376,200	16,100

Referente a la carga orgánica de las aguas servidas, se deduce que las causas que originan dichas cargas, son los desagües domésticos que en términos de DBO_5 es de 250 mg/lit como valor máximo, y ciertos desagües industriales como son los de la Fabrica Perulac cuyo valor en DBO es de 854 mg/lit, y la sangre proveniente del Camal Municipal cuyo DBO en el punto de muestreo de dicho establecimiento indicó 2660 mg/lit, cifra muy baja, considerando que la sangre es el elemento orgánico más degradable que existe, cuyo máximo valor es de 15,000 mg/lit. (ver Anexos 3.5.2 y 3.5.3).

La presencia de variación a valores altos de DBO en el Emisor Sur ha producido una fuerte descomposición de la materia orgánica en los colectores por incremento de las bacterias sulforeductoras que producen hidrógeno sulfurado en abundancia y formándose el azufre en apariencia granulada, que se encuentra en todos lo buzones a partir del

B-309, después de la descarga del colector industrial a la altura de la Garita en la carretera hacia Pimentel.

Este problema del ataque del concreto fue expuesto en el Congreso de Ingeniería Sanitaria realizado en Chiclayo en Setiembre de 1993, cuyo autor fue el Ing. Rudy Noriega Pisani, documento que permite dar soluciones a este problema, que de no considerarse las medidas preventivas podría colapsar el Emisor Sur si dicho ataque continúa en forma permanente, agravándose aún más por falta de ventilación en los buzones, al colocarse tapas de concreto que impiden la salida del gas sulfuroso.

4. EVALUACION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

4.1. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS SERVIDAS

4.1.1 Necesidad de Tratamiento

Las aguas servidas descargadas por la población, de acuerdo al tipo de desagües (véase el Cuadro 3.2) contienen materia orgánica e inorgánica que no permite su emisión directa al medio ambiente por los riesgos para la salud pública que presentan y los daños directos que causan. Por la multitud de sustancias contenidas en las aguas servidas, se utilizan parámetros indicativos, tal como el número más probable de bacterias coliformes fecales (NMP C.F.) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno de cinco días (DBO₅) para determinar la calidad de estas aguas.

4.1.2 Pautas del Efluente

Con el objetivo de minimizar el riesgo sanitario y el posible impacto ambiental en el entorno del sistema de lagunas, la Ley General de Aguas (Decreto Ley N° 17752) en Artículo 81° del Reglamento de los Títulos I, II y III, Capítulo IV define seis clases de cuerpos de agua con respecto a su uso y los valores límites respectivos. La única clase que menciona aguas para riego es la clase III que se aplica a aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales. El límite del número más probable de coliformes totales es de 5,000/100 ml y de coliformes fecales igual a 1,000/100 ml; este último valor está en conformidad con las recomendaciones de la Organización Mundial para la Salud (OMS)². El Cuadro N° 4.1 muestra las pautas del cuerpo receptor y también del efluente que se descargue en ello para ambos parámetros.

Cuadro N° 4.1: Límites de los parámetros indicadores

Clase	Uso Tipo de abastecimiento / tratamiento	Número más probable de coliformes fecales [NMP/100 ml]	Demanda bioquímica de oxígeno [mg DBO ₅ /l]
I	Abastecimiento doméstico con simple desinfección	0	5
II	abastecimiento doméstico con tratamiento aprobado por el Ministerio de Salud	4,000	5
III	Riego de vegetales de consumo crudo	1,000	15
IV	Zonas recreativas	1,000	10
V	Zonas de pesca de mariscos bivalos	200	10
VI	Preservación de fauna acuática y pesca	4,000	10

² OMS-WHO-EMRO: Wastewater Stabilization Ponds, Alejandria, 1987

Las Empresas de Agua y Alcantarillado tienen la obligación de descargar los desagües en un estado físico-químico-bacteriológico que cumpla con las pautas establecidas por Ley.

4.1.3 Características de las Aguas Servidas

4.1.3.1 Calidad actual

La Empresa de agua comprobó la calidad de las aguas servidas provenientes de la ciudad de Chiclayo en varios puntos. El Cuadro N° 4.2 muestra los valores para el Emisor Norte que se reunirá con el Emisor Norte-Norte para desembocar en las lagunas de estabilización materia del presente Informe. Cabe señalar que tanto el número más probable de coliformes fecales como la Demanda Bioquímica de Oxígeno están por debajo del límite permisible recomendado para estos parámetros³

Cuadro N° 4.2: Calidad de las aguas servidas

Muestras	Número más probable de coliformes fecales [NMP/100 ml]	Demanda bioquímica de oxígeno [mg DBO ₅ /l]
23.06.1994 (N° 1)	4.3E06	200
23.06.1994 (N° 2)	5.3E06	238
06.10.1995	-	238
16.01.1996	-	230
14./15.03.1996	5.2E06	251
18.03.1996	7.8E06	-
19.08.1996	-	294
17.01.1997	1.6E06	-
06.02.1997	2.2E06	-
Promedio)*	6.8E06	242

)* población servida: 164,300 habitantes más 32% habitantes equivalentes

4.1.3.2 Caudal y calidad proyectada

El afluente a las lagunas está compuesto de aguas servidas de origen doméstico, público, comercial e industrial y de aguas de infiltración:

- Caudal promedio de aguas servidas por el Emisor Norte-Norte: 13,892 m³/día
- Aguas foráneas por infiltración: 5,645 m³/día
- Caudal total promedio diario al año 2012: 19,537 m³/día
- Factor de máximo anual: 1.3

³ Metcalf & Eddy: Wastewater Engineering, 3^{ra} edición, pag. 110 indican valores NMP entre 1E04/ml y 1E05/ml, lo que equivale a NMP = 1E06 a 1E07/100 ml; en la pag. 109 indican valores para la DBO₅ entre 110 y 400 mg/l con una concentración promedio de 220 mg/l, lo que significa que las aguas servidas del Emisor Norte-Norte son dentro del rango normal.

- Caudal máximo diario: 23,705 m³/día

Los caudales de vertimiento a partir de las lagunas se calcula en base a estos caudales, variándoles según la temperatura y teniendo en cuenta las pérdidas por evaporación e infiltración en las lagunas. De tal manera los caudales de vertimiento son los siguientes:

- mínimo diario: 14,300 m³/día
- promedio diario: 17,000 m³/día
- máximo diario: 21,000 m³/día

Las lagunas de Estabilización están dimensionadas para el horizonte del Proyecto que es el año 2012. El caudal de diseño es de 19,500 [m³/día] con una carga bioquímica total de 7,400 [kg DBO₅/día] como valores promedios. Durante el año el caudal y la calidad del afluente variarán por los hábitos de los usuarios. Cabe señalar que el operador tiene que medir y registrar el caudal diariamente y regular la bifurcación para llegar al conjunto de lagunas “Ciudad de Dios” solamente la carga bioquímica controlado como se indica en la fórmula (2) del Cap. 4.4.1, y el caudal que puede ser tratado allí

4.1.4 Cuerpo Receptor del Efluente

Por su ubicación en un medio ambiente desértico falta un cuerpo de agua que pueda recibir el efluente de la planta de tratamiento. Al mismo tiempo el efluente de las lagunas constituyen una fuente de agua permanente para la agricultura en una zona eriaza, donde la disponibilidad de agua es el factor límite para la producción agrícola y por lo tanto se ha previsto entregar las aguas servidas tratadas a la agricultura.

A parte del aspecto de saneamiento ambiental, el tratamiento de los desagües de la ciudad de Chiclayo por las lagunas de estabilización permitirá el uso del efluente en la agricultura y terminará con la práctica actual de los agricultores que utilizan las aguas servidas en forma cruda para cualquier cultivo, mejorando notablemente con ello la protección de la salud de la población y la preservación del medio ambiente.

Este reuso de las aguas servidas y tratadas por la agricultura impone una alta responsabilidad al personal encargado para operación y vigilancia de la eficiencia del proceso de tratamiento.

4.2. DESCRIPCION DE LAS INSTALACIONES

Las lagunas de estabilización forman parte del sistema de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Chiclayo que esta manejado por la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque EPSEL S.A. El desagüe proviene de los usuarios del agua potable a través de sus conexiones domiciliarias e infiltraciones del agua subterránea hacia los colectores. Las lagunas de estabilización tienen el objetivo de tratar el desagüe

por oxidación biológica a tal grado que no causan una contaminación del medio ambiente que lo recibe.

4.2.1. Sistema de Aducción

Consiste en el Emisor Norte-Norte y el Canal de Distribución. El emisor transporta el desagüe de los colectores que evacuan la zona Norte de Chiclayo formado por los Distritos José Leonardo Ortiz, Moshoqueque y Artesanos Independientes y abarca las urbanizaciones y pueblos jóvenes indicados en el Cuadro N° 4.3:

Cuadro N° 4.3: Areas drenadas por el Emisor Norte-Norte

4.3.1. Urbanizaciones

Ciudad del Chofer	Urb. San Lorenzo	Urb. Miraflores
Augusto B. Leguía	Urb. Los Mochicas	Urb. Cruz de Chalpon
Urb. Del Ingeniero II	Urb. San Isidro	Urb. Remigio Silva
Urb. Francisco Bolognesi	Urb. Santa Ana	Urb. Policia Nacional

4.3.2. Pueblos Jóvenes

Luis A. Sánchez	Santa Rosa	Ricardo Palma
4 de Noviembre	Simón Bolívar	Vista Alegre
Tupac Amaru	Cruz de la Esperanza	Las Palmeras

El Emisor Norte-Norte empieza en la intersección de la Avda. Venezuela con Víctor Salas sobre una cota de fondo de 20.224 msnm (buzón 996) y un diámetro de 800 mm y termina sobre un nivel de 14,735 msnm (buzón 1054) con una sección de 1.40 x 1.10 m y tiene una longitud total de 8,412.73 m (ver Plano N° 9).

El canal de distribución tiene una longitud de 1,903.75 m entre el buzón 1054 y la primera caja de distribución (F-1). Es un canal rectangular de 1.40 x 1.10 m, en ciertos tramos está techado. El by-pass, la caja de rejillas y el medidor Parshall están ubicados en el canal de distribución entre 1,448.20 m y 1543.20 m. La longitud total del sistema de aducción entre el buzón 996 y la caja de distribución F-1 es de 10,705.23 m.

4.2.2 Ubicación de la Planta

La planta de tratamiento de los desagües provenientes del Emisor Norte-Norte de la ciudad de Chiclayo consiste en un conjunto de ocho lagunas de estabilización agrupadas en dos baterías y está ubicado unos 9 km al Oeste de la ciudad en la zona denominada Pampa de Perros que pertenece a la Comunidad Campesina de San José. El centro de la planta tiene las coordenadas de 0619+100 km Este y 9250+070 km Norte con un nivel de agua en las lagunas entre 13.76 y 13.43 msnm según etapa del tratamiento.

Las aguas servidas frescas llegan a la planta de tratamiento por la red de colectores y el Emisor Norte-Norte. Por el régimen de flujo turbulento el agua puede absorber oxígeno del aire a través de la superficie de contacto. La longitud total del emisor es de 6,512 m de tuberías de 0.8 m a 1.0 m de diámetro y 4,255 m de canal con un ancho de 1.4 m, la superficie de contacto con el aire ambiental es de 11,800 m². La velocidad promedio es de 6.3E-1 m/s y el tiempo de escurrimiento es de 4.2 h, incluyendo el tiempo de recolección las aguas servidas en la red secundaria (1.8 h) llegan 6 horas después de la producción al medidor Parshall. Este desfase tiene trascendencia para la interpretación de los aforos.

4.3. PROCESOS DE TRATAMIENTO

4.3.1 Tratamiento por Etapas

La Planta de Tratamiento de las aguas servidas de la zona Norte de la ciudad de Chiclayo prevé cinco etapas: una cámara de rejillas y dos baterías de cuatro lagunas cada una. Cada batería tiene dos lagunas facultativas en paralelo y dos lagunas de maduración en serie; el esquema de flujo en el Anexo A-2.1 indica las características primordiales del conjunto de lagunas. El tratamiento comprende tres grupos: tratamiento mecánico, por gravedad y biológico, este último comprende cuatro diferentes etapas que se desarrollan en las lagunas de estabilización: anaerobio, aerobio y dos etapas de maduración. De tal manera el tratamiento comprende ocho diferentes procesos de los cuales se presentan a continuación las principales características:⁴

- Separación mecánica preliminar (1) para eliminar el material grueso, este material se acumula en las rejillas. De allí es extraído manualmente y depositado en un cubo de basura con tapa y luego enterrado en el relleno sanitario en el banco de escombros.
- Separación por gravedad: en las lagunas facultativas se precipitan los sedimentos (2) y flotan grasas y otra materia con densidad inferior a 1 kg/l (3) que luego forman parte de las natas.
- Lagunas facultativas con una sección anaerobia (4) donde existe un fuerte déficit de oxígeno y otra sección aerobia (5) con presencia de oxígeno disuelto.
- Además del tratamiento del afluente en las lagunas también el lodo queda estabilizado (6), se evacúan cada tres años, el lodo sirve para la enmienda del suelo y como fertilizante.
- Dos lagunas de maduración en serie (7) y (8), la última etapa presenta la única salida del líquido tratado de la planta hacia el sistema de riego de los terrenos de cultivo de la comunidad campesina de San José.

4.3.1.1 Tratamiento mecánico

En el canal de distribución, antes de la entrada a las lagunas, está ubicada la caja de rejillas, donde se eliminan los desechos gruesos y flotantes. El operador retira el material

⁴ La distinción entre lagunas primarias, secundarias y terciarias no caracteriza el proceso bioquímico que se desarrolla en la etapa respectiva y por tanto no se aplica.

manualmente por rastrillos y lo pone en cubos de basura para su recolección y disposición final en el relleno sanitario acondicionado en el banco de escombros.

4.3.1.2 Tratamiento por gravedad

El primer tratamiento que se efectúa en las lagunas facultativas es la separación por la fuerza de gravedad que hace precipitar los sedimentos y flotar la materia de densidad menor del agua. La formación de cierta nata de aceites probablemente ayuda en el control de insecto: por la fuerza del viento tanto el aceite como las crisálidas y ninfas de insectos se acumulan en los rincones a sotavento de las lagunas facultativas y la presencia de aceite afecta gravemente la salida de los insectos, además la remoción diaria de la nata acumulada ayuda en controlar el desarrollo de insectos.

4.3.1.3 Tratamiento biológico

La estabilización de la materia orgánica de los desagües significa la oxidación de la materia biodegradable por la digestión de las sustancias nutritivas que están contenidas en las aguas servidas y la absorción de oxígeno a través de procesos microbilógicos. El contenido promedio de nutrientes por m³ de agua residual es: nitrógeno : 80 g, fósforo: 20 g y potasio: 60 g (como antecedente ver Anexo 3.5.1). Al diferir las sustancias nutritivas los microbios se multiplican hasta consumir todos los nutrientes. Al final oxidan su propia sustancia celular y mueren, reduciendo así el número de bacterias⁵. Ambos procesos se desarrollan en el mismo medio y están gobernados por los mismos factores - temperatura y tiempo - y en forma logarítmica, pero se tiene que aplicar diferentes modelos matemáticos para su cálculo respectivo.

La disminución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno es sobre todo una función de los factores tiempo de retención y temperatura. Por motivos de seguridad de la operación, el conocimiento de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y de la temperatura del agua en las lagunas es de suma importancia.

a) Tratamiento anaerobio

En realidad en las lagunas facultativas están desarrollándose dos procesos bioquímicos distintos: anaerobio y aerobio. El diseño de las lagunas facultativas no delimita físicamente las zonas anaerobias y aerobias, sino deja el límite entre ambos regímenes a desarrollarse libremente según la carga y temperatura actual, aprovechando así del régimen de flujo laminar a través de las lagunas.

En la zona de entrada, donde están las pozas de descarga, se acumulará el lodo que está digerido por microbios anaerobios. La sección anaerobia está caracterizada por una carga biológica alta de 160 g DBO₅/m³/d⁶ que origina la ausencia de oxígeno disuelto y una fuerte reducción de la carga biológica por procesos de fermentación de grasas, proteínas y carbohidratos, desnitrificación y desulfuración; además los huevos de helmintos y otros

⁵ Bohmke, Frezenius et. Al.: Manual de disposición de aguas residuales, CEPIS, Lima, 1991

⁶ La OMS recomienda cargas biológicas de 125 a 400 g DBO₅/m³/d para lagunas anaerobias.

parásitos están incorporados en este lodo y estabilizados en conjunto por los mismos procesos anaerobios⁷

El tiempo de retención óptimo en la zona anaerobia que se produce, es de un día, lo que corresponde a un trayecto de 25 m. La profundidad de la sección anaerobia es de 2.5 m. Las emisiones del tratamiento anaerobio consisten en tres agregados:

- líquido con un alto contenido de sustancia orgánica digerida, pero también sustancia ya mineralizada.
- sólidos minerales (arena) y orgánicos (lodo: 40 lt por habitante por año)
- gases, sobre todo anhídrido carbónico, metano y vapor

En el estado operativo facultativo, la presencia de algas en la superficie es decisiva para oxidar los gases. Sobrepasando la carga bioquímica admisible, el oxígeno producido por las algas no es suficiente para mantener el estado aerobio y la laguna se vuelve anaerobia.

El flujo de materias a partir la zona anaerobia comprende agua, materia en solución, en suspensión, sólidos y gases: De la zona de entrada, el líquido (agua y materia en solución y suspensión) continua hacia la sección aerobia por el flujo disperso. Los gases se difunden en el aire. El lodo se deposita y es extraído mecánicamente cada tres años. Durante este tiempo la laguna facultativa o toda la batería respectiva está parada para dejar el lodo secarse hasta que permita su extracción por excavadora (más detalles ver capítulo 4.7.5.4, Mantenimiento a mediano plazo). Las demás baterías de lagunas, incluidas las nuevas que entrarán en operación a partir de 1999, están dimensionadas para absorber el caudal adicional de una batería. El lodo seco constituye un abono valioso para la agricultura.

b) Tratamiento aerobio

Por la absorción de oxígeno a través de la superficie⁸ y la fotosíntesis de las algas⁹ que se desarrollan en la sección aerobia, se reduce el déficit de oxígeno en el cuerpo de agua al alejarse de la zona de entrada y el proceso de digestión microbiológica se convierte en un régimen aerobio. En esta sección las bacterias aerobias y las algas convierten los carbohidratos y otras sustancias nutritivas en CO₂, H₂O, NH₃, NO₃⁻ y SO₄⁻⁻, es decir en sustancias inorgánicas y estables.

Se recomienda que el tiempo de retención en la sección aerobia sea por lo menos 5 días con una profundidad de 1.5 hasta 2.0 m¹⁰. Tal como están diseñadas las lagunas de maduración tienen una profundidad de 1.6 m y el tiempo de retención teórico es de 9.8

⁷ Los resultados de la Misión de Seguimiento (1997) están considerados en el presente Informe.

⁸ O'Connor y Eckenfelder estudiaron la adsorción de oxígeno a través de la superficie de una laguna en función del déficit de oxígeno y encontraron un valor de 34 g O₂/m²/d a los 20°C

⁹ Bolnke, fresenius et. al.: Manual de Disposición de Aguas Residuales

¹⁰ OMS-WHO (EMRO: Wastewater Stabilization Ponds) recomienda este rango, sin embargo se debe tener en cuenta que el aporte de oxígeno está limitado por la superficie y por tanto a mayor profundidad el proceso vuelve al régimen anaerobio

días. Las emisiones del tratamiento aerobio contienen materia orgánica sobre todo en forma de bacteria y algas, sustancia inorgánica disuelta y gases como anhídrido carbónico y vapor.

c) Tratamiento de maduración

El objetivo principal del tratamiento de maduración es la reducción de microbios patógenos. Los factores bactericidas son sobre todo falta de nutrientes, la radiación solar ultravioleta (onda corta) y la extinción natural. Para que sea efectiva la radiación solar la profundidad no será mayor de 1.2 m; el tiempo de retención mínimo es de 3 días para que se desarrollen los procesos bioquímicos idóneos de esta etapa. Por motivos de una efectiva reducción del número de coliformes fecales en el efluente se ha previsto dos etapas de maduración (maduración y acabado) con tiempo de retención de 4.6 días cada una.

4.3.2 Factores de Influencia

Las lagunas de estabilización aplican un proceso biológico que consiste en la oxidación de los nutrientes contenidos en las aguas servidas por microbios y algas y está caracterizado por los siguientes factores principales:

- Calidad de las aguas servidas
- Tiempo de retención en las diferentes etapas de tratamiento
- Radiación solar
- Temperatura del agua

Además de estos factores primordiales juegan un papel otros fenómenos meteorológicos, tal como el viento y la precipitación. En Chiclayo las precipitaciones regulares son mínimas (12 mm/año) y no afectan a las lagunas, sin embargo durante los cambios del clima relacionados el fenómeno de 'El Niño' pueden ocurrir lluvias tormentosas y presentarse casos de emergencia, ver capítulo 4.7.6.2., Acciones de emergencia.

A continuación se discutirán los diferentes parámetros y su influencia respectiva al tratamiento de las aguas servidas y las posibles intervenciones del operador. El hecho de que estos parámetros no pueden ser manipulados requiere su medición para conocer las condiciones en las cuales se desarrollan los procesos bioquímicos de tratamiento en las lagunas y evitar posibles problemas en el futuro que pueden tener su raíz en alteraciones del desagüe.

4.3.2.1 Calidad del agua cruda afluente

La calidad del desagüe depende de los usuarios conectados a la red de alcantarillado y se puede describirla por un conjunto de diferentes parámetros físico-químico-microbiológicos. Uno de los valores más significativos que describen la calidad del agua servida es su Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Por lo general se indica la DBO que se presenta durante los primeros 5 días del proceso y la DBO₅ indica el contenido de

sustancias biodegradables dentro de 5 días. La DBO_5 y muchos otros parámetros, tal como sustancias tóxicas son difíciles para determinarlas y por lo tanto se contenta de hacer estos análisis en periodos más largos, tal como recomienda el Cuadro N° 4.5. Diariamente se registra tales parámetros que se puede medir con facilidad y a bajo costo:

- olor (del afluente y de cada laguna)
- color (sobre todo del efluente de cada laguna)
- temperatura del agua y del aire

El registro de la temperatura y la percepción simultánea del olor y color del agua de entrada y salida de las diferentes lagunas sirven como base para la operación de las lagunas. Cabe señalar que el olfato de un no-fumador es tan sensible que puede notar pequeñas variaciones del olor de las diferentes lagunas antes que se pueda analizar la calidad del agua y por tanto el olfato y la experiencia del operador son elementos decisivos para la operación óptima del conjunto de lagunas y la detección de alteraciones de la calidad del desagüe, por ejemplo originadas por emisión de aguas contaminadas por parte de la industria.

4.3.2.2 Tiempo de retención

Se nota que de los cuatro factores que influyen el tratamiento biológico en las lagunas de estabilización se puede controlar solamente el tiempo de retención que es el cociente del volumen de las lagunas entre el caudal de entrada:

tiempo de retención [días] / \approx vol. de las lagunas (m^3)/caudal ($m^3/día$)

El Cuadro N° 5.5 muestra el volumen neto de las ocho lagunas. El control del tiempo de retención se realiza vertiendo el caudal excedente por el by-pass o, en un próximo futuro, desviándole hacia las demás lagunas proyectadas al Oeste de la Ciudad de Dios.

4.3.2.3 Radiación solar

La radiación solar tiene tres componentes que afectan el tratamiento del agua: la insolación general origina la fotosíntesis de las algas verdes que producen el oxígeno, la radiación de onda larga aporta energía que aumenta la temperatura del agua en las lagunas, mientras que la radiación de onda corta reduce las bacteria en la capa superior del agua en las lagunas de maduración. La remoción de basura flotante de las lagunas facilita la penetración de la radiación solar.

La reducción de la radiación solar durante la época nublada reduce el aporte energético y la tasa de mortalidad de los microbios. Ambos efectos el descenso de la temperatura del agua y la reducida producción de oxígeno requieren de una reducción del caudal a ser tratado en las lagunas

4.3.2.4 Temperatura del agua

La temperatura del agua es el parámetro más decisivo para el tratamiento de las aguas servidas por la sensibilidad de los procesos biológicos a la temperatura en forma exponencial. Considerando que los procesos bioquímicos se desarrollan en el medio acuático, el conocimiento de la temperatura del agua es de suma importancia.

El registro diario de la temperatura del agua de las diferentes lagunas hace posible determinar la eficiencia del proceso de tratamiento y completar la teoría del cálculo por medio de modelos matemáticos.

4.4. CAPACIDAD DE TRATAMIENTO

4.4.1 Carga Orgánica

El caudal de entrada a las lagunas está limitado por su capacidad de tratamiento y es una función de la superficie y de la temperatura. Las lagunas tienen una superficie activa de 24 [ha] (hectáreas), repartiéndose en 12 ha de lagunas facultativas y 12 ha de lagunas de maduración y acabado. Por su superficie tiene la capacidad de tratar una cierta carga orgánica que depende de la temperatura ambiental. El PRONAP recomienda como carga específica máxima CS_m [kg DBO₅/ha/día] un valor determinado por la fórmula (1) que toma como temperatura de referencia la temperatura del aire (promedio mensual [°C]). Varios autores recomiendan relacionar la carga máxima admisible a la temperatura del agua de las lagunas; la fórmula (2) se aplica para determinar la carga específica máxima admisible en base a la temperatura del agua de las lagunas:

$$(1) \quad CS_m = 401 * 1.099^{t_{aire}-20^{\circ}C} \quad [kg \text{ DBO}_5/ha/d]$$

$$(2) \quad CS_m = 357 * 1.085^{t_{agua}-20^{\circ}C} \quad [kg \text{ DBO}_5/ha/d]$$

El volumen de aguas servidas a ser tratado depende del contenido de carga orgánica y del caudal del afluente. La carga admisible del conjunto de lagunas de "Ciudad de Dios"-San José depende del área efectiva de las lagunas facultativas, que como ya se describió tienen una superficie total de 12.0 [ha] y de la temperatura del mes respectivo. Aplicando la fórmula (1) y los registros de la temperatura ambiental en Chiclayo se determina la carga específica máxima admisible en relación a la temperatura de agua, (ver en el Cuadro N° 4.4.). Con el objetivo de mantener en condiciones operativas las lagunas facultativas aún con ciertas variaciones de la carga bioquímica, se reduce los valores así calculados por un factor de seguridad de 1.2. Con la carga bioquímica determinada por análisis se puede determinar el caudal afluente máximo. Los últimos valores disponibles se muestra en el Cuadro N° 4.2.

Conocida la temperatura promedio de las lagunas facultativas y suponiendo un valor promedio de la concentración de la DBO₅ de 260 g/m³ se puede calcular el caudal

máximo admisible (Q_{max}) de las lagunas mediante la formula (3), tomando los valores admisibles C_{sm} que se indican en el Cuadro N° 4.4 (ver también capítulo 4.7.4.1):

$$(3) \quad Q_{max} = C_{sm} * 12 / 0.26 [m^3/d]$$

Cuadro N° 4.4.: Carga específica máxima admisible C_{sm} en función de la temperatura ambiental y del agua

t	C_{sm} agua	C_{sm} aire									
[°C]	[kg DBO ₅ /ha/d]	[kg DBO ₅ /ha/d]	[°C]	[kg DBO ₅ /ha/d]	[kg DBO ₅ /ha/d]	[°C]	[kg DBO ₅ /ha/d]	[kg DBO ₅ /ha/d]	[°C]	[kg DBO ₅ /ha/d]	[kg DBO ₅ /ha/d]
17,5	291	317	20,0	357	401	22,5	438	508	25,0	537	643
18,0	303	332	20,5	372	420	23,0	456	532	25,5	559	-
18,5	316	348	21,0	387	441	23,5	475	558	26,0	582	-
19,0	329	365	21,5	403	462	24,0	495	585	26,5	607	-
19,5	343	383	22,0	420	484	24,5	515	613	27,0	632	-

4.4.2 Carga Bacteriológica

El reuso de las aguas servidas y tratadas en la agricultura depende sobre todo del contenido de bacterias patógenas. Siendo muy costoso la determinación de una multitud de diferentes bacterias, se toma como indicador la bacteria “Escherichia Coli” que está presente en el tracto humano digestivo y de los mamíferos. La presencia de esta bacteria en una agua es indicador que esta ya ha pasado por un mamífero y por lo tanto puede también llevar bacteria patógenas para el ser humano. A parte de la Escherichia Coli existen también otras bacteria coliformes fecales denominados ahora como bacterias termotolerantes, que se desarrollan en las mismas culturas del análisis microbiológico y se indica como resultado del análisis el número más probable de coliformes fecales en un volumen de 100 ml (100 mililitros = 1/10 de un litro) [NMP C.F./100ml].

La caída del número de bacterias depende de la temperatura del agua, del tiempo de retención y además del número de etapas del tratamiento. Cada transición de un medio ambiente (laguna con un cierto nivel de sustancias nutritivas) a otro significa un decaimiento del número de bacterias. La repartición del tratamiento en varias etapas aprovecha la alta tasa inicial del catabolismo. En vez de extender el tiempo de retención en una laguna, se reparte el volumen total en varias etapas con un tiempo óptimo de retención. De esta manera se puede mejorar la eliminación de microbios en forma significativa. Una laguna con 20 días de retención puede disminuir el NMP a 2.4% del número inicial. Repartiendo el mismo tiempo de 20 días en dos etapas de cada vez 10 días se llega a un valor final de 0.12% y con tres etapas de 10,5 y 5 días - el caso concreto de las lagunas de estabilización de Ciudad de Dios en Chiclayo- se reduce el NMP a 0.011%.

4.4.3 Reuso del Agua para fines Agrícolas

Por la ubicación del conjunto de lagunas de estabilización en el desierto no existe un cuerpo de agua que pueda funcionar como receptor de las aguas servidas tratadas. En

realidad es la agricultura la que absorberá estos efluentes. La zona Pampa de Perros pertenece a la Comunidad Campesina de San José y por el Convenio de Cesión de los terrenos esta comunidad se aseguró del derecho de obtener las aguas después del tratamiento para la irrigación de parte de sus terrenos con una extensión total de más de 7,068.43 hectáreas. Los Convenios celebrados los días 04.05.1993 y 04.10.1994 confirman el uso de las aguas residuales tratadas para uso exclusivamente agropecuario en la Comunidad, respetando la legislación sanitaria vigente, ver Aprobación Sanitaria del 12.01.1996 (ver Anexo A-2.7).

El caudal promedio de 17,000 m³/d corresponde a 197 l/s y permitirá el regadío de 250 a 300 has. de los sectores “Gallito”, “El Colector” y “Baldera”, de la Comunidad Campesina San José (ver Plano N° 13), teniendo en cuenta el nivel tecnológico de los agricultores. Los beneficiarios potenciales deben solicitar de acuerdo a Ley la autorización sanitaria para el uso de las aguas servidas tratadas en agricultura.

4.5. MUESTREO

PRONAP-SUNASS proponen el muestreo indicado en el Cuadro N° 4.5 para Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas con una capacidad mayor de 1,200 m³/d, lo que corresponde a las lagunas en Ciudad de Dios y el Cuadro N° 4.6 indica los parámetros a determinarse en las tres categorías:

Cuadro N° 4.5 : Muestreo para plantas de aguas servidas

N° de muestras	Aguas servidas (en la entrada)	Aguas tratadas (en la salida)
Calidad general	24	24
Componentes tóxicos	4	4
Microbiología	-	24

Cuadro N° 4.6 : Análisis físico-químicos y microbiológicos

Calidad general	Componentes tóxicos	Microbiología
Temperatura		
Olor		
Oxígeno disuelto		
Ph		
Demanda bioquímica de oxígeno	Arsénico	Coliformes totales
Demanda química de oxígeno	Cadmio	Coliformes fecales
Sólidos suspendidos totales	Cobre	Huevos de nemátodos
Fosfatos	Cromo	
Nitratos	Mercurio	
Nitrógeno amoniacal	Plomo	
Potasio	Selenio	
Sulfatos		

El lugar más idóneo para la toma de las muestras es en el canal de recolección (salida). Con el objetivo de estudiar en forma detallada la eficiencia del proceso, se tiene que analizar muestras en cada etapa, tomando en cuenta el esquema de flujo, ver Anexo A-2.1.

Cabe señalar que la lietarura profesional a veces recomienda la medición de más parámetros y a intervalos más cortos. Sin embargo y considerando los costos de tales análisis la Empresa debe limitarse a los análisis que prescribe la Ley y su obligación de vigilar la calidad del efluente que ella entrega a la agricultura. En tal sentido a fin de cumplir con las Normas establecidas, EPSEL S.A. debe considerar los egresos por análisis de aguas servidas dentro de su presupuesto de gastos operativos del año.

4.6. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

4.6.1 Generalidades

Las lagunas están conformadas por diques en tierra compactada. Las obras de arte para la medición y el control del flujo de agua son de concreto armado. Las lagunas y las estructuras de entrada, pases y salidas, están diseñadas para evitar cortocircuitos y volúmenes muertos, ya que estos tienden a reducir el tiempo real de retención y por lo tanto afectan a la eficiencia de las lagunas y pueden ocasionar malos olores.

4.6.2 Componentes

4.6.2.1 Bifurcación

Después del cruce del Emisor Norte-Norte con el Dren 3000 por la canoa ubicada en el km 1+208.04, está instalada una caja de bifurcación (km 1+227.99) que reparte su caudal entre las lagunas de estabilización ubicadas al Sur de la Ciudad de Dios y aquellas ubicadas al Oeste de la misma (ver Fotografía 11) (ver Planos N° 8 y N° 10).

4.6.2.2 By-pass

Esta obra tiene el objetivo de desviar el caudal del Emisor Norte-Norte hacia el Dren 3000 en casos de emergencia y está ubicada en el km 1+448.20. Hasta que las nuevas lagunas “San José” al Oeste de la Ciudad de Dios no estén funcionando, se tiene que desviar el excedente de Emisor Norte-Norte que no puede ser tratado en las lagunas , hacia el Dren 3000. Esto ocurre sobre todo durante la época fría por la reducción de la carga bioquímica admisible y en el caso de un deterioro de la calidad del desague por emisión de aguas contaminadas por la industria (ver Plano N° 11).

El by-pass está cerrado por pantallas de concreto armado que conforman un vertedero. Retirando o colocando uno o dos pantallas se puede controlar el desvío hacia el Dren 3000 de tal manera que el caudal admisible para las lagunas siga en el canal de distribución. No estaba previsto poner una compuerta móvil porque después de entrar en funcionamiento las lagunas proyectadas al Oeste de la Ciudad de Dios, se utilizará el by-pass solamente en casos de emergencia.

En el by-pass existe una poza que sirve como grada para el desvío de las aguas servidas cuando se saca las pantallas hacia el Dren 3000. Se tiene la práctica de limpiar dicha poza por los sedimentos que se acumulan en el fondo. La referida limpieza no es necesaria ni recomendable por cuanto a las en las Unidades Primarias Facultativas, que disponen de un sobrefondo, han sido diseñadas para almacenar estos sedimentos y lodos por un período considerable para proceder luego a su evacuación por efectos de mantenimiento a mediano plazo (ver Cap. 4.7.5.4)

4.6.2.3 Caja de rejas

La primera etapa es el tratamiento mecánico por las cribas o rejas que consisten en un marco de acero de 2,200 x 1,450 mm con platinas de 40 x 10 mm, separadas 40 mm. Un puente facilita la extracción manual de los desechos mediante un rastrillo. Los desechos son depositados en barriles tapados, para luego depositarlos en especies de micro-rellenos sanitarios acondicionados entre el banco de escombros aledaños a la zona (ver Fotografía 21 y 22).

4.6.2.4 Medidor Parshall

Es un dispositivo para la medición del caudal que trabaja por el cambio de flujo subcrítico al supercrítico que permite la medición simple y precisa mediante correlación hidráulica. La lectura del tirante H en [m] se convierte en el caudal correspondiente Q en [m³/s] mediante la fórmula (4)¹¹:

$$(4) \quad Q [\text{m}^3/\text{s}] = 2.2 * C * A * H^{1.5}$$

$$(5) \quad C = 0.9425 + 0.1715 * H$$

El medidor Parshall tiene una apertura de garganta de ancho A = 0.74 m. El Cuadro N° 4.7 indica los resultados de la conversión de la medición del tirante H en [cm] a los caudales respectivos Q en [l/s] (litros por segundo) y el Anexo A-4.1 muestra los resultados en forma de un gráfico para este medidor.

Al respecto cabe señalar que estos valores han sido verificados in situ al llevar a cabo la sumatoria del cálculo de caudal de ingreso a cada Laguna Facultativa por el método de sección-velocidad.

J.M. de Azevedo N. y G. Acosta A: Manual de Hidráulica, Harla, México 1976

Cuadro N° 4.7 Tirante y caudal del medidor Parshall

Tirante	Caudal								
H [cm]	Q [l/s]								
6	23	14	82	22	165	30	266	38	384
7	29	15	92	23	176	31	280	39	400
8	35	16	101	24	188	32	294	40	416
9	42	17	111	25	201	33	308	41	433
10	49	18	121	26	213	34	323	42	450
11	57	19	131	27	226	35	338	43	467
12	65	20	142	28	239	36	353	44	484
13	74	21	153	29	252	37	369	45	501

4.6.3 Sistema de Distribución

Consiste en un canal de distribución para las cuatro lagunas facultativas, cada una con repartidor, una caja de repartición y tres tubos de entrada por laguna.

El canal de distribución tiene una sección rectangular de concreto armado de sección variable decreciente, con un ancho de 1.25 m a partir del medidor Parshall hasta la caja de repartición para la laguna F-2, luego sigue con 0.90 m de ancho, sobre todo su largo tiene un ochavo de 0.25 m. Para cada laguna existe un repartidor de concreto armado que desvia el caudal destinado a la laguna respectiva y una caja de distribución que reparte el caudal en tres tubos de asbesto-cemento que descargan el agua en la laguna respectiva (ver Fotografía 23).

Los repartidores separan del caudal afluente en el canal de distribución la parte destinada a la laguna respectiva. Para el aumentar el caudal de entrada a la laguna se coloca pantallas en las ranuras de la pasarela aguas abajo del repartidor, reduciendo así el caudal que continúa hacia las demás lagunas. Para disminuir el caudal de entrada a la laguna se cuelga una o dos ataguías en las ranuras de la caja de distribución.

Las cajas de repartición tienen ranuras para colocar compuertas de concreto armado tipo tarjeta con la finalidad de controlar el caudal hasta cerrarlo completamente durante los trabajos de mantenimiento y también controlar el caudal individual de los tubos de entrada (ver Fotografía 24) (ver Plano N° 12).

Los tres tubos de entrada salen de la caja de repartición. Por la selección de los diámetros - 250 mm en el centro y 300 mm en los laterales - la pérdida de carga en los tres tramos es igual y no se requiere un ajuste siempre y cuando el nivel del agua en las lagunas esté a su nivel de diseño.

La distribución del caudal entre las cuatro lagunas debe ser en concordancia a su capacidad depuradora. Los repartidores de concreto armado realizan una primera aproximación de la distribución entre la lagunas. Para afinar esta repartición sirven las ataguías que se cuelga en las ranuras de la caja de distribución, ver también capítulo 4.7.4.1., operación diaria.

La repartición de los caudales entre las cuatro lagunas depende también de nivel del agua en cada una de ellas y se llegará solamente con varios meses de experiencia a un manejo óptimo de la repartición. Además los desechos que pueden acumularse en los repartidores influyen en la distribución, por lo tanto se tiene que limpiar los repartidores cada semana y cada vez que se nota una acumulación de desechos, como parte del programa rutinario de mantenimiento

4.6.4 Lagunas

Las esquinas de las lagunas son redondeadas (entre 10 m de radio en el fondo y 15 m en la coronación del dique) a fin de minimizar la acumulación de natas. El ancho de la corona de los diques es de 5 a 6 m según el caso para permitir la circulación de los vehículos de servicio, p.ej. evacuación de lodos y natas.

Un punto que tiene importancia para el reuso del agua residual en la agricultura es la infiltración en las lagunas. Se ha observado que las infiltraciones son mínimas en el rango de 1.3 a 3.4 mm/d a pesar de un fondo de material arenoso. Esta previsto que después de unos tres meses el fondo de las lagunas se impermeabilizará por el lodo depositado. También las lagunas de maduración donde falta el lodo sellador, se sellarán con el tiempo por si mismo.

4.6.4.1 Entrada

El ingreso a las lagunas facultativas está constituido por tres tuberías cuya descarga estará a 15 cm por debajo de la superficie y aproximadamente a 30 m de distancia del dique. Para proteger el fondo de la erosión por la descarga del agua durante el llenado se ha colocado una plataforma de piedras (ver Fotografía 14).

4.6.4.2 Salida

La estabilidad del nivel del agua en cada una de las lagunas facultativas y de maduración, se asegura con pantallas de concreto ajustables que están instalados en la salida de cada laguna. De manera similar para los pases entre las lagunas facultativas y de maduración que son de concreto armado con vertederos ajustables. Antes de la salida de cada laguna está instalado una pantalla sumergida para la retención de natas (ver Fotografía 25).

4.6.4.3 Canal de recolección

El canal de recolección tiene un ancho de 1.05 m con un ochavo de 0.25 m y lleva el agua servida y tratada al punto de entrega, ubicado a 10 m del eje del dique exterior. A partir del punto de entrega, la Junta de Regantes se encarga de la construcción y del mantenimiento de los canales que llevan el agua hacia el sistema de acequias que existe en la zona "Pampa de Perros" (ver Fotografía 26).

4.7. CONTROL, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

4.7.1 Infraestructura

Para facilitar el trabajo del personal operativo, se han realizado la construcción o previsión de las siguientes instalaciones:

- Local de operación para el personal (Caseta de Guardianía)
- Abastecimiento de agua por camión cisterna (Provisionalmente hasta disponer de redes de agua potable por la zona).
- Instalaciones sanitarias (en el interior del local de operación).
- Herramientas para la operación y el mantenimiento preventivo
- Vestidos de protección (botas y guantes de goma)
- Botiquín de primer auxilio, incluido desinfectantes y salvavidas.

Con la finalidad de facilitar el control de natas y la toma de muestras se cuenta con un pequeño bote de madera que se conserva protegido contra la intemperie para evitar la formación de grietas.

4.7.2 Acciones Regulares

De forma general se puede decir que el sistema de lagunas aún siendo de técnica sencilla, necesita de un control y reajuste continuo de los vertederos que regulan el caudal de ingreso tanto a las lagunas facultativas como a las de maduración, de otro modo bajará el rendimiento y el tratamiento no cumplirá con su finalidad.

A continuación se distinguen tres categorías de acciones y cuatro periodos de retorno:

- Control, operación y mantenimiento categorías
- Diario, semanal, mensual y mediano plazo periodos de retorno

El Anexo A-4.2 muestra el resumen de las acciones de control, operación y mantenimiento, además los formularios necesarios para el registro de la información. El objetivo primordial del control es medir y observar la cantidad y calidad de afluentes y efluentes y el comportamiento de la Planta de Tratamiento bajo los diferentes estados operativos y climáticos.

El control además dá la base para la operación normal y luego permite, acumular la experiencia para la optimización del conjunto de lagunas y el monitoreo de la eficiencia del tratamiento. El monitoreo de la eficacia del tratamiento tiene suma importancia, debido al reuso de las aguas servidas y tratadas en la agricultura.

Cabe señalar que la experiencia de los operadores es un capital muy valioso para el control, la operación y el mantenimiento de las lagunas y por lo tanto se debe mantener a este personal.

4.7.3 Control

4.7.3.1 Control Diario

Mediciones

Caudal de entrada en el medidor Parshall y el registro diario de la temperatura del agua en los puntos siguientes:

- entrada en punto del canal de aducción, p.ej. aguas arriba de la rejas
- en la salida de cada laguna

La medición del tirante en la estructura Parshall se efectuará cada hora. Se toma nota de los resultados de la mediciones en el formulario Anexo A-4.3 para su registro y futura evaluación. Cabe señalar que el caudal aforado entre las 7:00 y 17:00 horas corresponde a la producción de las aguas servidas en Chiclayo aproximadamente 6 horas antes, se estima que durante dicho lapso se produce solamente el 42% del volumen diario.

Una vez por día se controla la repartición a las lagunas y el caudal efluente mediante aforos por flotador, en el Anexo A - 4.4 se muestra el formulario respectivo.

Las temperaturas registradas se apunta en el formulario Anexo A-4.5.

Inspección ocular y por olfato (subjetiva)

Los operadores efectúan dos vueltas por día inspeccionando las lagunas, diques, vertederos y tomando nota de sus observaciones según la hoja de observaciones de lagunas de estabilización, ver Anexo A-4.6 y 4.7. La clasificación de las observaciones tiene su base en recomendaciones del CEPIS¹². Para conservar la homogeneidad de la información es vital limitarse a las clases predeterminadas y no introducir nuevos criterios, por lo tanto el operador debe tratar de acomodar sus observaciones en la clase más idónea aún no sea exacta según sus propios criterios.

En cuanto al control del buen funcionamiento de las instalaciones se deben destacar los siguientes puntos:

- Lagunas facultativas, régimen anaerobio. Indicador de este régimen es la coloración marrón del agua y la ausencia de algas verdes. La presencia de pequeñas burbujas a la superficie muestra que la digestión anaerobia del lodo está en proceso. El olor que tiene es el componente típico por la digestión anaerobia pero no es una molestia para la población de la Ciudad de Dios, ubicada a 700 m de las viviendas más cercanas.
- Lagunas facultativas, régimen aerobio: Indicadores de un buen funcionamiento son la presencia de algas verdes en el efluente de la laguna - coloración verde a verde lechoso - y el olor en la salida tiene semejanza a pastos verdes.

¹² Fuente desconocida, tratándose de una comunicación por el Sr. Ing. Ricardo Rojas a quien el autor agradece por su apoyo en este asunto

- Lagunas de maduración: Son indicadores de un buen funcionamiento que el efluente tenga una coloración verde y que no exista crecimiento de plantas acuáticas. El excesivo crecimiento de algas es debido al fosfato que proviene de los detergentes que no son biodegradables.

Indicadores de problemas pueden ser malos olores, la variación de la coloración del agua hacia beige, marrón, amarillo o rosado y la presencia de insectos. Las probables causas y posibles soluciones están discutidas en el capítulo 4.7.6.2, Acciones de emergencia.

4.7.3.2 Control bisemanal

El número de las mediciones prescritas por PRONAP-SUNASS de la calidad del desagüe y de la eficiencia son 24 por año, ver **Cuadro N° 7.5**. Este número de ensayos resulta en un lapso de 15 días entre los muestreos. Es recomendable efectuar el muestreo los días 01 y 16 de cada mes, asegurando así que se toma las muestras a diferentes días de la semana. De esta manera, durante un año se obtendrá tres valores para la carga bioquímica de cada día de la semana. Esta información ayudará a los operadores acumular la experiencia del comportamiento de las lagunas bajo diferentes cargas y la eficiencia depuradora respectiva.

4.7.3.3 Control a Mediano Plazo

Cuatro veces al año se deberá determinar el contenido de componentes tóxicos según **Cuadro N° 4.6**. Este control tiene varios objetivos: conocer la presencia de sustancias tóxicas, luego identificar la procedencia de estas sustancias y terminar su emisión a la red de alcantarillado.

Considerando que es recomendable efectuar la toma de muestras en varios puntos de la laguna y que para este acción se requiere un bote, se puede aprovechar esta oportunidad para la medición del pH en las lagunas para detectar cortocircuitos. En el mismo tiempo es oportuna la medición del nivel del lodo en la parte de la entrada, para proyectar la fecha de su extracción, ver 4.7.5.4.

4.7.4 Operación

4.7.4.1 Operación diaria

La temperatura t [°C] y los datos de la concentración de la DBO₅ [mg/l] sirven como base para determinar el caudal Q admisible de entrada a las lagunas aplicando las fórmulas (2) y (6), ver también: capítulo 4.4.1:

$$(2) C_{sm} = 357 * 1.085^{t_{agua}-20^{\circ}C} \text{ [kg DBO}_5\text{/ha/d]}$$

$$(6) Q [m^3/d] = CSm/DBO_5 * 12 [ha] \quad Q[l/s] = Q[m^3/d]/24 / 3.6$$

El cálculo del caudal admisible es la base para ajustar el flujo hacia las lagunas por la bifurcación o actualmente poniendo o sacando pantallas en el by-pass. Con varias semanas de experiencia se conocerá el número de pantallas a colocar y se puede limitarse al control del caudal.

Repartición del caudal

Para armonizar el tiempo de retención de ambas baterías y aprovechar al máximo el volumen disponible en cada una, se reparte el caudal de entrada según los volúmenes respectivos y en los porcentajes siguientes, ver capítulo 4.3.2.2 y Cuadro N° 2.7:

Batería A: 43%

Batería B: 57%

La repartición del caudal afluente a las cuatro lagunas facultativas requiere un control diario por medición del caudal en cada tramo del canal de distribución (por el método de sección-velocidad), restando el caudal de ingreso a cada laguna. Durante la puesta en marcha se comprobó el método más efectivo para el ajuste en las cajas de repartición (ver capítulo 4.6.3). La repartición del caudal destinado a cada laguna facultativa se hace por tres dispositivos:

1. Los repartidores verticales de concreto armado separan el caudal afluente según el área libre.
2. Para aumentar el caudal de entrada a la laguna se colocan pantallas en las ranuras de la pasarela aguas abajo del repartidor, reduciendo así el caudal que continúa hacia las demás lagunas.
3. Para disminuir el caudal de entrada a la laguna se cuelga una o dos ataguías en las ranuras de la caja de distribución.

4.7.4.2 Operación semanal

Con el objetivo de disminuir la proliferación de insectos, se varía cada semana el nivel del agua en las lagunas de 0.1 m, colocando o sacando una pantalla en los vertederos en la salida de la laguna respectiva según el plan operativo del Cuadro N° 4.8.

Cuadro N° 4.8: Variación de nivel de agua para combatir la reproducción de insectos

Día	F - 1	F - 2	M - 1	M - 2	F - 3	F - 4	M - 3	M - 4
Lunes	+0.1 m							
Martes		+0.1 m						
Miércoles			+0.1 m		+0.1 m			
Jueves				+0.1 m		+0.1 m		
Viernes							+0.1 m	
Sábado								+0.1 m
Domingo								
Lunes	-0.1 m							
Martes		-0.1 m						
Miércoles			-0.1 m		-0.1 m			
Jueves				-0.1 m		-0.1 m		
Viernes							-0.1 m	
Sábado								-0.1 m
Domingo								

4.7.4.3 Operación Mensual y a Mediano Plazo

Las acciones dependen de los problemas que pueden presentarse y están descritas en el capítulo 4.7.3.1: Control diario y además en el capítulo 4.7.6.2(b): Acciones de emergencia.

4.7.5 **Mantenimiento**

4.7.5.1 Mantenimiento Diario

En las rejillas van acumulándose los desechos flotantes en el desagüe e impidiendo el flujo hacia las lagunas de tratamiento. Por lo tanto mantener limpias las rejillas es una tarea primordial de los operadores. Por el aporte irregular de estos desechos no se puede fijar un turno para la limpieza; pero como regla general se puede establecer que se tiene que limpiar las rejillas siempre y cuando el desnivel aguas arriba y debajo de las platinas de las rejillas sea mayor de 5 cm.

Si la inspección ocular muestra la necesidad de limpiar vertederos obstruidos por materia flotante, hay que realizar la limpieza de inmediato.

Remoción de la nata y de basura flotante acumulados en los rincones al sotavento de las lagunas facultativas mediante la cuchara colador (ver Fotografía 27 y 28).

4.7.5.2 Mantenimiento Semanal

Limpieza de rutina de los partidores, de las cajas en el canal de distribución y de los vertederos en los pases (ver Fotografía 29).

Remover de hierbas y plantas que crecen dentro del agua, cortar las plantas que crecen sobre los taludes de los diques (ver Fotografía 30).

Seria buena práctica establecer un esquema de limpieza para cada día de la semana hábil, para asegurar que la carga del trabajo sea igual durante la semana.

En caso de que EPSEL S.A. decida sembrar árboles en los alrededores de las lagunas, se tiene que regar los plantones por lo menos una vez por semana.

4.7.5.3 Mantenimiento Mensual

Fuera de los trabajos diarios y semanales es la limpieza del conjunto de lagunas - agua, incluso la rotura de natas, diques y sus alrededores - de materia flotante y basura traída por el viento.

4.7.5.4 Mantenimiento a Mediano Plazo

Cada tres años o cuando el colchón remanente de agua sobre el lodo es de 1.0 m, se tiene que extraer el lodo de las pozas de descarga. El proyecto prevé el secado del lodo en las lagunas mismas y su remoción por equipo mecánico. La época más oportuna es naturalmente el verano, sin embargo se tiene que respetar también las necesidades de los agricultores. El volumen de lodo es aproximadamente de 8,000 m³ por año de operación. El lodo digerido es un abono para la agricultura y no tiene microbios nocivos. Considerando un periodo de remoción de lodos a cada 3 años, la primera programación se estaría efectuando después que entre en funcionamiento las nuevas lagunas de San José.

Se hace la extracción del lodo por baterías en los pasos siguientes:

1. Avisar con anticipación a los agricultores que se va reducir el caudal disponible y establecer junto con ellos el plan de extracción de los lodos que sirven de abono.
2. Parar el afluente a la batería a ser vaciada poniendo dos pantallas en las cajas de distribución. En el caso que sigue chorreando el agua, se llena el espacio entre las dos pantallas con tierra para terminar el flujo.
3. Se levantan las pantallas en los pases entre las lagunas poco a poco asegurando así que el flujo de salida se mantiene relativamente constante hasta evacuar la batería por gravedad.
4. Observar el comportamiento del flujo en el canal de recolección para evitar un traspase del agua de una batería a la otra.
5. Cuando no hay más evacuación de agua por gravedad empieza el tiempo de secado por evaporación e infiltración. Se puede reducir este periodo por bombeo del agua remanente hacia las lagunas adyacentes.
6. Se puede acelerar el secado por zanjas de drenaje, bombeando el agua de infiltración hacia fuera o extrayendo el lodo seco por capas y exponiendo así cada vez una nueva capa de lodo al aire.

7. Extracción del lodo seco o semi-seco por cargador frontal y volquete. Cada laguna tiene una rampa de acceso.
8. Después de la extracción del lodo se reponen las pantallas en los pases y se abre las cajas de distribución llenando de nuevo las lagunas.
9. Es recomendable seguir el mismo procedimiento como durante la puesta en marcha para iniciar de nuevo el régimen microbiológico en las diferentes lagunas de la batería.

4.7.6 Acciones Singulares (casos eventuales)

4.7.6.1 Puesta en Marcha

El informe del arranque de las lagunas presenta un resumen de las experiencias hechas durante este periodo y da indicaciones sobre acciones específicas que pueden ser necesarios durante acciones de emergencia.

4.7.6.2 Acciones de Emergencia

Estas acciones incluyen tres categorías:

1. Manejar alteraciones del proceso de tratamiento
2. Combatir emisiones indeseables de la planta, p.ej.: malos olores, efluente de baja calidad, insectos.
3. Controlar averías, tal como: obstrucciones en los conductos de agua, erosión de los diques por olas, viento, lluvias, sismos o vandalismo.

a) Alteraciones del proceso de tratamiento

Las alteraciones primordiales afectan la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y el decaimiento de bacterias.

Las lagunas de la primera etapa son las facultativas, es decir, pueden trabajar en el régimen aerobio o anaerobio, dependiendo de su carga bioquímica en relación a la temperatura del agua. Una disminución de la temperatura del agua y/o una reducción de la radiación solar durante época nubosa, pueden causar que el proceso de tratamiento en las lagunas facultativas cambie del régimen aerobio hacia el anaerobio.

Una baja de la temperatura afectará también y en forma exponencial el decaimiento de las bacterias en el efluente. La Empresa de agua tiene que vigilar la calidad del efluente en cuanto al número más probable de coliformes fecales, que son el indicador para la aptitud del agua con fines de riego de cultivos.

b) Indicadores de problemas

- Lagunas facultativas, régimen anaerobio: Malos olores, ellos son indicador general de varios tipos de problemas. Causas probables y posibles soluciones:

Cambio del tiempo:

Una disminución de la temperatura o períodos nublados reducen la capacidad de tratamiento de las lagunas y originan su sobrecarga actual. Eso puede resultar en un cambio súbito del régimen aerobio hacia anaerobio. Cabe señalar que las bacterias tienen como primera etapa lagunas facultativas que trabajan tanto en régimen aerobio como anaerobio y por lo tanto un cambio del régimen es la reacción natural frente a cambios en el entorno, y no significa un problema por sí mismo. Sin embargo, tal cambio del tiempo requiere de una adaptación del caudal a las nuevas condiciones, caso contrario no se puede mantener la calidad del efluente.

Sobrecarga:

Corregir la redistribución del caudal en la bifurcación, desviando el excedente hacia las lagunas de San José.

Afluente tóxico:

Identificar las sustancias tóxicas y las fuentes de contaminación y eliminarlas, hasta por investigación fiscal.

Acumulación de lodo:

Cuando los sedimentos en la entrada reducen el colchón de agua a menos de 1,0 m los gases de la digestión anaerobia salen directamente al aire y además pueden generar el crecimiento de plantas. En este caso se tiene que proceder a la extracción del lodo, ver capítulo 4.7.5.4.

Natas:

(1) La acumulación de materia flotante es un criadero de mosquitos y además reduce la penetración de la energía solar.

(2) El lodo se levanta del fondo por los gases

En ambos casos se tiene que romper las natas, utilizando el chorro de agua de una bomba portátil. Una vez rota la nata, generalmente se hunde, los remanentes flotantes se recoge por rastrillos y se lleva al relleno sanitario.

- Lagunas facultativas y de maduración; causas probables y posibles soluciones:

Presencia de criaderos:

Sitios protegidos para que se pueden reproducir los insectos, tal como natas y vegetación en el agua. La variación semanal de nivel del agua en ± 0.10 m., según el Cuadro N° 4.8, destruye los huevos y crisálidas (pupas) de los insectos.

Falta de control biológico:

El pez gambusia controla las larvas de insectos; está previsto un estudio en conjunto con la Región Nor Oriental del Maraón, Dirección Regional de Pesquería sobre la siembra de peces en las lagunas.

- Lagunas de maduración: Malos olores; causas probables y posibles soluciones:

Sobrecarga excesiva:

Por la sobrecarga de las lagunas facultativas en régimen anaerobio su efluente está sobrecargando la primera etapa de la maduración y desaparecen las algas. Es un síntoma de una grave clara sobrecarga o intoxicación. Se tiene que reducir el caudal afluente a esta batería - si fuera necesario pararla - hasta que se recupere completamente con la presencia de algas verdes en las lagunas facultativas.

c) Control de averías

El diseño apropiado de las lagunas, la selección de los materiales de construcción adecuados y la alta calidad de la ejecución de las obras no las hacen proclives a averías, sin embargo siempre queda una mínima posibilidad de algunos eventos imprevisibles o fuera de control. A continuación sigue un análisis de la Planta de Tratamiento como sistema bajo el aspecto de averías, su origen y posibles consecuencias:

- Causas naturales:

Sismos:

Los efectos de un sismo pueden afectar las construcciones de concreto y las tuberías de asbesto-cemento y causar daños en los diques. Se puede excluir daños a la población en las zonas habitadas durante la implementación del Proyecto, en 1996.

Viento:

Al producirse un fuerte oleaje con erosión en los diques, se tiene que bajar el nivel del agua en la laguna afectada para evitar un desborde del agua y reparar el daño lo más antes posible. Se debe asegurar de compactar el relleno a la misma densidad Proctor del 95% como mínimo o se hace el relleno con enrocado (tamaño de las piedras $> 2 \text{ dm}^3$).

Lluvias:

Durante los cambios del clima relacionados al fenómeno de "El Niño" pueden ocurrir lluvias tormentosas. El balance hídrico de las lagunas muestra que precipitaciones hasta 100 mm/24 h no afectan el tratamiento del agua servida en forma significativa por la reducción del tiempo de retención. Un problema que puede presentarse es la falta de

capacidad de absorción del agua tratada en los campos agrícolas. En este caso se tiene que desviar el efluente tratado hacia el Dren 3000.

Los diques no son fácilmente afectados por las precipitaciones, sin embargo puede causar daños la circulación de vehículos sobre las coronas mojadas y además resbaladizas por el contenido de arcilla.

- Causas antropógenas:

Caudal afluente:

El conjunto de las 8 lagunas está diseñado por cierto caudal de aguas servidas a ser tratadas, pasando por las diferentes etapas durante el tiempo de retención que corresponde a cada una de ellas y a la temperatura del agua. Al sobrepasar este caudal o al bajar la temperatura, se reduce la capacidad depuradora de la planta. Eso puede causar una falla del sistema por sobrecarga. Las medidas para restituir el buen funcionamiento están descritas en el capítulo anterior 4.7.6.2. (b).

Calidad del afluente:

El tratamiento de las aguas servidas en las lagunas de estabilización es netamente biológico. Este proceso es adecuado para las aguas servidas que llegan por el Emisor Norte-Norte. Los microorganismos pueden ser afectados por alteraciones de la calidad del afluente, sobre todo por sustancias tóxicas. Posibles fuentes de tal contaminación son la industria y la agricultura, p.ej. Insecticidas, pesticidas, herbicidas o bactericidas granjas de pollos o cerdos - por medio de uso excesivo de antibióticos que pueden entrar en las lagunas por descuido y matar a los microorganismos. Tal evento se hace notar por el mal olor de las lagunas. En este caso, se tiene que cerrar la entrada y desviar el agua cruda hacia el Dren 3000, hasta que pase esta contaminación. Por constituir una grave infracción, se tiene que investigar la fuente de tal contaminación y proceder a los pasos que prevén las leyes ambientales.

Deshechos:

Las aguas servidas traen cualquier clase de deshechos sólidos. Para favorecer su eliminación está instalada la cámara de rejillas. Por la distancia de las barras de 40 mm está asegurado que no pasa materia que luego pueda obstruir las cajas de distribución o las tuberías de aducción. En el caso poco probable que entren deshechos gruesos después de la caja de rejillas, aquellos pueden causar obstrucciones a lo largo del camino del flujo. Este evento se hace notar por un incremento del nivel del agua que puede llegar hasta el desborde del canal de distribución. Para la limpieza es necesario cerrar por completo el afluente e investigar el lugar exacto de la obstrucción antes de proceder a su eliminación.

Sedimentos:

Algunos sedimentos, tal como arena pueden precipitarse en el canal de distribución. La experiencia va a mostrar si será necesario eliminar estos depósitos o si se establecerá un equilibrio entre la altura de estos sedimentos y la velocidad del afluente.

Materia en suspensión y solución, valor pH:

A parte de la intoxicación de los microorganismos una alteración del valor pH puede afectar a las lagunas. El rango del tratamiento biológico posible es de 5.0 a 9.5, favorable es el rango de 6.5 a 9.0, óptimo es el rango de 6.5 a 8.0.

Aceites y detergentes pueden obstaculizar la absorción de oxígeno y crear condiciones anaerobias. Metales y sus sales pueden ser tóxicos e inhibir el desarrollo de los microorganismos en las lagunas de estabilización.

En cualquier caso de intoxicación, se debe limitar el ingreso a las lagunas facultativas y cerrar los vertederos en la salida hacia las lagunas de maduración para evitar la propagación de tales sustancias a los campos agrícolas.

Caudal efluente:

Durante la puesta en marcha del sistema se han producido derrumbes en los canales que llevan el efluente de las lagunas hacia los sectores de riego. En el diseño de sus canales, los agricultores deben tener en cuenta que el agua limpia tiene mayor fuerza de erosión porque trae menos sedimentos que el agua cruda y le faltan estas sustancias que ayudan a sellar las paredes de los canales.

La práctica de algunos agricultores de construir barrajes en los canales principales para desviar el agua hacia sus chacras puede causar un remanso en el canal de recolección; sin embargo, por la topografía de los alrededores de las lagunas, es poco probable que tal remanso origine problemas en las mismas.

Calidad del efluente:

En el caso poco probable que sustancias tóxicas lleguen hasta la segunda etapa de maduración, se tiene que desviar el efluente hasta el Dren 3000 hasta que se normalice la calidad del agua que se entrega a la agricultura.

Vandalismo:

Lamentablemente siempre hay gente que por motivos de robarse algo o simplemente por gusto destruye instalaciones públicas. En el pasado el sistema de disposición de las aguas servidas de Chiclayo ha sido destruido por agricultores que quisieron robarse el agua cruda con fines de riego. Lo mismo puede ocurrir también a lo largo del nuevo Emisor Norte-Norte y el canal de aducción. La Empresa por su propio interés mantiene un servicio de guardiana del sistema.

Accidentes:

Es un hecho que por las limitaciones de fondos, el canal de aducción está abierto en largos tramos, en el caso que un niño caiga a dentro, tiene poca probabilidad de salir por sus propios esfuerzos. Con el objetivo de minimizar este riesgo, el canal está techado en la cercanía del centro urbano de la Ciudad de Dios; sin embargo se tiene que advertir a la población que está prohibido acercarse al canal de aducción.

Un cierto riesgo de accidentes existe también en las lagunas. Aún está prohibido el ingreso a estas instalaciones, es difícil controlar el acceso. Por su profundidad solamente las lagunas facultativas representan un cierto riesgo para alguien que no sabe nadar. Es recomendable la instalación de carteles para advertir a la población de no traspasar la propiedad de la Empresa.

5. RESULTADOS DE LA EVALUACION POR METODOS EXPERIMENTALES AL PRIMER AÑO DE OPERACION

5.1. RESUMEN

5.1.1 Antecedentes

El presente capítulo concierne a las actividades desarrolladas por el Proyecto de Alcantarillado de la Ciudad de Chiclayo durante la Misión de Seguimiento, para la operación de la Lagunas de Estabilización en Ciudad de Dios.

La misión de seguimiento efectuada por el suscrito en forma conjunta con el Consorcio GKW CONSULT/SANIPLAN representado por el Ing. Lutz Erich Scholz, se desarrolló entre el 03 y el 15 de febrero de 1997 a través de las siguientes actividades, en estrecha coordinación con la Gerencia Operacional de EPSEL S.A. y apoyado eficazmente por su personal a cargo:

1. Inspección detallada de la Planta de Tratamiento, del estado de las lagunas y de los procedimientos de operación y mantenimiento.
2. Aforos del caudal de agua servida, su repartición entre las diferentes entradas a las lagunas facultativas y del caudal del efluente tratado.
3. Dirección de la toma de muestras microbiológicas y de las mediciones fisico-químicas realizadas por el personal del Departamento de Control de Calidad.
4. Batimetría en la entrada de las cuatro lagunas facultativas para verificar la acumulación de lodos.
5. Verificación de la repartición del flujo a través de la laguna facultativa F-4.
6. Medición de la distribución de la temperatura del agua en lagunas selectas.
7. Diseño de una herramienta para la remoción de la nata y supervisión de su fabricación en el taller de la Entidad.
8. Entrenamiento de los operadores y del personal encargado con la operación y el control de calidad.
9. Validación del manual de Operación.

5.1.2 Base de Información

Los análisis bacteriológicos y mediciones de parámetros fisico-químicos fueron ejecutados por Personal del Laboratorio del Departamento Control de Calidad de EPSEL S.A., salvo los pocos ensayos ejecutados por otras instituciones, lo que se indica en su lugar respectivo. Los datos de los caudales fueron registrados por el personal del Departamento de Producción, encargado de la operación de las lagunas. Bajo la dirección del Consultor dicho personal realizó la batimetría de la zona de entrada a las lagunas facultativas para averiguar la acumulación de lodos y el ensayo de propagación de una cantidad de sal (NaCl) para investigar el tiempo real de retención del agua en la laguna.

5.1.3 Discusión del Diseño

En el Perú existen pocas lagunas de estabilización con tres etapas de tratamiento y por lo tanto es natural que varios profesionales cuestionen la eficacia de tal sistema, sobre todo cuando durante el primer año de operación casi nunca se logró a obtener la calidad del efluente pronosticado de 1000 coliformes fecales por 100 ml. variando este parámetro entre 520 y 22.000 NMP/100 ml.

La investigación de las razones para tal desvío forma parte esencial del presente informe. Cabe señalar que el diseño está en conformidad a los criterios para tales lagunas y que los supuestos de base del diseño están cumplidos en la operación. Se puede atribuir el desvío a las siguientes razones:

- Condiciones del flujo a través de las lagunas: se pretendía basar el pronóstico en el flujo disperso. Sin embargo el fuerte viento en la Pampa de Perros provoca en las lagunas un remolino que tiene un efecto decisivo sobre el tratamiento de las aguas. El ensayo de propagación de un frente de sal a través de la laguna F-4 realizado a una profundidad de 60 cm mostró claramente que una parte significativa del agua de ingreso ya llegó a la obra de salida de dicha laguna dentro de un tiempo de 5 horas y comprobó la existencia de un remolino.
- Sobrecarga temporal de las lagunas por varios motivos; entre ellos destacan:
 1. Sobrecarga momentánea provocada por una tentativa recomendada por el Consultor para estudiar el comportamiento de la lagunas tratando el caudal total de agua cruda, aún a menor grado de depuración, para evitar la emisión sin ningún tratamiento.
 2. Reducción de la temperatura del agua sin corrección del caudal de ingreso.
 3. Operación de emergencia durante las obras del enrocamiento de las lagunas.
- Una distribución desigual del caudal afluente a las cuatro lagunas facultativas y las dos baterías, con el resultado que el efluente maduro de una laguna esté afectado por el mal resultado de una laguna sobrecargada de la otra batería.

Lo que interesa sobre todo en el contexto del diseño y de los resultados poco satisfactorios obtenidos durante el primer año, es saber si se puede esperar mejores resultados en el futuro y cuales son las medidas necesarias para lograrlos.

5.1.4 Sugerencias y Recomendaciones

Para optimizar la operación de las lagunas de estabilización y obtener un efluente de mejor homogeneidad y calidad el Consultor recomienda las medidas siguientes que se justifica en forma más detallada en el capítulo 8.

1. Mejoramiento de la repartición del caudal a las lagunas facultativas mediante bifurcaciones móviles.

2. Siembra de una faja de árboles en el Sur de las lagunas para romper la fuerza del viento.
3. Incluir el análisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el control de la calidad del efluente.
4. Procesamiento de los datos registrados para tener una base de referencia para la optimización de la operación.
5. Compra de literatura profesional y capacitación para los departamentos encargados con la operación y el control de calidad.
6. Entrega de una copia del Manual de operación a los operadores de las lagunas y seguimiento de sus recomendaciones.

5.2. ACTIVIDADES

El presente capítulo concierne a las actividades desarrolladas por el proyecto de Alcantarillado de la Ciudad de Chiclayo en República del Perú durante la Misión de Seguimiento y Apoyo a la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque EPSEL S.A., para la operación de las Lagunas de Estabilización de “Ciudad de Dios”, después del primer año de funcionamiento.

Según el Contrato de Consultoría firmado el 25 de Agosto de 1995 con el Consorcio GKW CONSULT/SANIPLAN, los servicios de los consultores incluyen además la verificación, valorización, supervisión y la puesta en marcha de las obras del Emisor Norte-Norte y de las lagunas de Estabilización.

Estas lagunas como parte de la contrapartida nacional al proyecto de Alcantarillado de la Ciudad de Chiclayo, convenido entre la República Federal de Alemania y la República del Perú, fueron financiadas como proyecto especial a través del Programa Nacional de Agua Potable, bajo la Licitación Pública Nacional N° 02-95/PRES/VMI/PRONAP.

Dichas lagunas fueron puestas en marcha a partir del 26.01.1996 y llegaron a pleno funcionamiento el día 23.03.1996.¹³

La misión de seguimiento a la operación y al mantenimiento de la Lagunas de estabilización de EPSEL S.A. en “Ciudad de Dios” en la zona Pampa de Perros, se llevó a cabo el 03 y 15 de febrero de 1997. Dicha prestación fue a cargo del Ing. Scholz que ya en el pasado asistió a la supervisión y puesta en marcha de esta fase del proyecto.

En los Términos de referencia para la misión a corto plazo se destaca la validación del Manual de Operación ante las experiencias de EPSEL S.A. durante un año de operación. Otros objetivos esperados incluyen el perfeccionamiento de los operadores, la formulación de recomendaciones para la futura operación y sugerencias para el mejoramiento de las instalaciones y de los procedimientos. Durante la misión de seguimiento se presentó la necesidad de realizar otras investigaciones adicionales tales como: la batimetría del lodo acumulado y la medición de la velocidad del agua dentro de

¹³ Consorcio GKW CONSULT/SANIPLAN: Lagunas de estabilización Pampa de Perros, Chiclayo, Marzo 1996

las lagunas. Los resultados de estas mediciones originan una evaluación crítica del modelo de flujo para el diseño de tales lagunas en las condiciones climáticas de la zona Pampa de Perros.

5.2.1 Aforos, Batimetría, Ensayos por Trazador

En los Anexos A-5.1 y A-5.2 se muestra una relación de los aforos y mediciones realizadas durante el primer año de operación de las lagunas y otras que se hicieron en ocasiones anteriores que tienen cierta trascendencia para el presente informe.

5.2.1.1 Aforos del caudal afluente, de repartición y del efluente

La evaluación del rendimiento de la planta, por ejemplo la remoción de bacterias, requiere como base la historia de los caudales tratados durante el lapso anterior que corresponde al tiempo de retención. Para obtener esta información el Consultor tenía que procesar los datos formados por los datos tomados por los operadores de la planta. En el Anexo A-5.1 se muestran los caudales diarios calculados en base a dicha información que se agrega al presente Informe.

5.2.1.2 Batimetría en la zona de entrada a las lagunas facultativas

En cumplimiento de la recomendación del Manual de Operación, se realizó el día 08.02.1997 la medición de la profundidad restante entre la capa de lodos y el nivel del agua, con el objetivo de estimar la acumulación de sedimentos en las lagunas facultativas. Para tal efecto se fabricó en el taller mecánico de EPSEL S.A. una sonda de 3,5 m de largo que consiste en un mango (tubo galvanizado de 3/4") con una placa de 0,30 m de diámetro. El mango está graduado en tramos de 0,20 m cada uno.

Con ayuda de un bote, se mide la profundidad del fondo a partir del nivel del agua según una malla de 10 m por 10 m, ver plano en el Anexo A-5.2 y Fotografía 31. Para la identificación del punto de medición, están señalados tramos de 10 m sobre dos diques opuestos y sobre una soga que está tendida entre dos vehículos ubicados sobre los diques respectivos. Se desplaza el bote a lo largo de la soga de un punto al otro para medir un perfil transversal. Una vez terminado, los vehículos avanzan de 10 m hasta el próximo eje.

Los resultados de la batimetría se muestran en el Anexo A-5.2, junto a un plan de la ubicación de los sondeos en la F4 como ejemplo. En cuanto al nivel del lodo, se puede decir que el crecimiento ha sido poco durante el primer año de operación. Se había esperado un volumen de unos 6.000 m³, concentrado en las pozas, es decir sobre un área de 4 x 20 m x 100 m = 8.000 m² llegando a una altura máxima alrededor de 0,80 m.

En realidad, la comparación del nivel del lodo acumulado con el nivel inicial, es decir con el fondo de la excavación, no es concluyente por el número de valores negativos. En los planes de ubicación de los sondeos se puede apreciar que están ubicadas en los márgenes de las pozas. El viento desplazó a veces el bote por varios metros, dejando así

la posibilidad que una u otra medición caiga en el talud, dando resultados equivocados. Sin embargo, quitando estos valores, se puede apreciar que la sedimentación es poca, lo que se resume en el Cuadro N° 5.1

Una explicación para la poca acumulación de lodo en la parte de la entrada puede ser una mayor velocidad que distribuye los sedimentos en un radio más amplio en la laguna, lo que se discutirá en el próximo capítulo.

Cuadro N° 5.1: Acumulación de lodo en la entrada de las lagunas facultativas

Laguna	Volumen De lodo [m3]
F-1	440
F-2	320
F-3	660
F-4	590
Total	2010

Cabe señalar que los resultados obtenidos confirmen la recomendación del Manual de Operación de repetir dicha batimetría cada año.

5.2.1.3 Medición de la velocidad en la laguna F-4 (Ensayo por trazador)

Durante la discusión con el personal encargado de la operación, mantenimiento y supervisión de la lagunas de EPSEL S.A. El día 10.02.1997, surgió la pregunta como efectuar un ensayo por trazador para verificar el flujo a través de las lagunas. La necesidad de comprobar el flujo se había constatado durante la evaluación preliminar de la batimetría de la capa de lodos. Por la falta de los implementos necesarios para tal prueba, el Consultor propuso introducir una cantidad suficiente de sal común a la entrada de una laguna y medir la evolución de la subida de la conductividad eléctrica del agua de dicha laguna. Después de un ensayo preliminar en el laboratorio de EPSEL S.A., el día 11.02.1997 se procedió a dicho ensayo que comprendió las siguientes etapas:

1. Ensayo de campo

- Preparación de una solución de 40 kg de sal comercial, Fotografía 32.
- Medición de la conductividad eléctrica (C.E.) de base en la F4, C.E. = 1,32 mS/cm.
- A las 12:00 horas del día 11 de Febrero se agregó dicha solución en la cámara de repartición de la laguna F4, simultáneamente se aforó el caudal de entrada ($Q_{F4} = 36$ l/s).
- Entre las 16:00 y 18:10 del mismo día se procedió a la medición de la C.E. a 60 cm de profundidad siguiendo una malla de 10 m x 10 m, ver Fotografía 33. El procedimiento del desplazamiento del bote ha sido el mismo como ya se aplicó durante la batimetría. Los datos se indican en el Anexo A-5.3.1 junto con el mapa de las líneas de igual conductividad eléctrica en A-5.3.2.
- Medición de la C.E. en la obra de salida de la laguna F4 a las 18:10.

2. La interpretación de los resultados obtenidos a continuación:

- En base al modelo de flujo disperso, se había esperado una propagación del frente de la sal más o menos en concordancia con el tiempo de retención. Este supuesto llega a una velocidad de 22 m/día, lo que hubiera explicado un avance de la sal, es decir del aumento de la C.E., por unos 5 a 10 m como máximo dentro de las 4 a 6 horas entre la inyección de la sal y la medición.
 - La llegada del frente de la sal hasta la salida en el tiempo mencionado significa una velocidad del orden de 50 m/h. La difusión de la sal no justifica tal velocidad de 50 veces más elevada que la que corresponde al flujo disperso.
 - Se ha graficado la distribución de la C.E. como mapa de curvas con igual C.E., ver Anexo A-5.3.2, donde se indica también el máximo valor encontrado en cada perfil transversal.
 - La distribución de la C.E. se explica por un remolino en el sentido positivo (contra el reloj) que se puede observar desde la orilla de las lagunas. Obviamente el remolino es la resultante del movimiento longitudinal del agua a través de las lagunas y la fuerza lateral del viento Sur. La superposición de ambas fuerzas resulta en un movimiento espiral que va a la superficie en la dirección del viento y vuelve por el fondo de las lagunas.
3. La presencia de dicho remolino tiene varias consecuencias tanto para el supuesto teórico del modelo de flujo a través de las lagunas como a la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, de las bacterias y de los parásitos.

- El agua cruda llega en 4 horas a la zona de salida donde una parte pasa a la próxima etapa mientras que la mayoría sigue e remolino en la misma laguna.
- En el presente contexto cabe recordar la definición del tiempo (T) de retención como promedio del volumen (V) del reservorio [m³] entre el caudal Q [m³/tiempo], osea $T = V/Q$. El tiempo de retención no dice que un cuerpo de agua definido permanezca durante dicho tiempo en el reservorio, sino indica un promedio, que se acerca más de la realidad cuando el flujo del agua en la laguna tiene una distribución normal.

Los modelos de flujo mezclado o disperso consideran un egreso parcial del agua durante el tiempo de retención; solamente el flujo del tipo pistón (plugflow) asume que no haya mezcla y que un cuerpo de agua definido, llamado pistón, salga exactamente al final de su tiempo de retención.

- Hasta cierto grado se puede comprobar las consideraciones sobre el tipo de flujo comparando las predicciones por ambos modelos con los resultados observados. Los registros de la operación y los análisis bacteriológicos hasta cierto nivel permiten tal comparación, aunque la falta de registros completos dificultan la reconstrucción exacta de la historia de cada laguna en cuanto al caudal de ingreso, la temperatura del agua y el decaimiento bacteriano. En el Anexo A-5.8, se ha tratado de llenar estas lagunas por cálculos estadísticos. La validación de los modelos de flujo se discutirá con más información en el capítulo 7.2.

- Otros indicadores adicionales para la fuerza del remolino son la ausencia de lodos acumulados en la entrada y la presencia de parásitos en el efluente de las lagunas, ver capítulos 5.2.1.2 y 5.2.2.
4. La formación de un remolino en las lagunas de estabilización no ha sido discutido en la literatura profesional que se consulta generalmente para tales diseños, ver lista al final del informe. Por el momento el suscrito puede ofrecer solamente la explicación que los vientos en la zona Pampa de Perros con un promedio anual de 4,0 m/s (1990), variando menos de 10° de la dirección predominante de 187° constituyen un caso excepcional para el entorno condicionante de lagunas de estabilización. El Cuadro N° 5.2 muestra la velocidad del viento y su dirección como promedios mensuales del año 1990, del cual se disponía de datos tomados en el aeropuerto de Chiclayo.

Cuadro N° 5.2: Velocidad y dirección primordial del viento en Chiclayo

Mes 1990	Velocidad [m/s]	Dirección [°]	Mes 1990	Velocidad [m/s]	Dirección [°]
Ene	4,2	180	Jul	3,4	193
Feb	3,6	180	Ago	3,4	190
Mar	3,8	192	Sep	4,1	180
Abr	4,5	193	Oct	4,6	180
May	3,5	180	Nov	4,4	188
Jun	4,2	191	Dic	3,9	193

5.2.2 Análisis Microbiológicos

El Departamento de Control de Calidad realizó una serie de análisis microbiológicos con el objetivo de monitorear a eficiencia de la depuración de las aguas servidas. Se muestra los resultados microbiológicos junto con los datos obtenidos durante la puesta en marcha en el Anexo A-5.4.

En el Anexo A-5.5 se presentan los datos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Los pocos datos disponibles de la DBO afectan en cierto grado la interpretación de la eficacia del tratamiento. Sin embargo, con el funcionamiento del nuevo laboratorio, EPSEL S.A. tendrá en el próximo futuro la seguridad de monitorear también este parámetro que es de suma importancia para evaluar el impacto ambiental al cuerpo receptor de las aguas servidas y tratadas.

En el Anexo A-5.6, se muestra un estudio limnológico y parasitológico cualitativo realizado por el Departamento de Control de Calidad de EPSEL. Sobre todo el análisis parasitológico está muy valioso en el contexto de validar el flujo a través de las lagunas. La presencia de parásitos en el efluente de la Planta de Tratamiento es un indicador más para la presencia de velocidades muy superiores a lo que corresponde el flujo disperso.

5.2.3 Parámetros Físico-Químicos

Estos datos comprenden la temperatura del agua cruda y en las diferentes lagunas, el contenido de oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica y el valor del pH; todos estos datos indicados en el Anexo A-5.7, han sido tomados por el laboratorio del Departamento de Control de Calidad de EPSEL S.A.

Dichos datos permiten hasta cierto grado reconstruir la historia de cada laguna durante el tiempo de retención antes de un análisis microbiológico y por lo tanto validar el proceso de depuración en cada laguna así como su rendimiento en cuanto al decaimiento de las bacterias.

5.2.4 Observaciones

1. Instalaciones

Obviamente el estado físico de las obras es de interés primordial. En términos generales salta a la vista el buen estado general en cuanto al mantenimiento y la limpieza, lo que se puede apreciar en las Fotografías 23 al 37. La protección de los taludes por enrocamiento ha sido una medida necesaria para garantizar la estabilidad de las lagunas ante los ataques del oleaje durante los fuertes vientos que ocurrieron en los meses de Abril a Junio de 1996.

2. Procedimientos

Están establecidos los registros de mediciones de los niveles del medidor Parshall, los aforos por flotador en el canal de distribución y de recolección, con el objetivo de optimizar el rendimiento.

La operación en cuanto a la limpieza diaria está bien organizada y el aspecto del conjunto de lagunas es nítido. La disposición final de la basura recogida en la cámara de rejillas y de las natas, para enterrarlas en un relleno sanitario en el banco de escombros, es una solución apta del punto de vista ecológico.

3. Rendimiento

Sobre todo, interesa la verificación del estado operativo de las lagunas por inspección ocular y por olfato. En este sentido dentro del corto lapso de la presencia del Consultor, se notó una mejora significativa en cuanto a estos dos criterios; lo que está comprobado por los análisis bacteriológicos realizados por el Departamento de Control de Calidad de la Empresa. Cabe señalar que al final de la misión de seguimiento, el día 15 de Febrero de 1997, el estado operativo y la calidad y cantidad del efluente fueron a los niveles pronosticados.

5.3. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO

5.3.1 Eficiencia del Tratamiento

Los análisis microbiológicos realizados durante el arranque de la lagunas confirman la eficiencia del tratamiento. Los Cuadros N° 5.3 y 5.4 muestran los resultados obtenidos hasta la fecha indicada después del primer año de operación en Marzo de 1997. Se nota una variación importante tanto del NMP del desague crudo como de las diferentes lagunas y del efluente.

Cuadro N° 5.3: Coliformes totales [NMP/100 ml]

Fecha	Afluente	F-1	F-2	M-1	M-2	F-3	F-4	M-3	M-4	Efluente
21.02.96		2.3E5				8E5				3.4E3
26.02.96						2E4	2E4			5.0E3
29.02.96						5E3	9E4		2E3	2.3E3
08.03.96		8E3	4E3	9E2						
13.03.96				1.6E4	1.4E3					5.0E3
14.03.96	5.0E6	5.0E5	3.0E5							
18.03.96	9.5E6	1.8E6	3.6E5							
19.03.96				6.9E5	3.1E4			3.1E4		3.1E4
31.07.96	3.6E6					3.6E5	1.2E5	6.4E4	1.8E5	5.2E4
19.08.96	6.4E6					1.2E5	7.8E4	3.1E4	6.4E4	6.9E3
20.11.96	2.0E6	2.0E3	1.1E5	8.0E4	2.0E3	4.0E3	8.0E5	2.0E3	8.0E3	7.0E3
17.01.97	1.7E7			8.0E4					1.7E4	6.4E4

El límite de coliformes totales para la clase III es de 5,000/100 ml.

Cuadro N° 5.4: Coliformes fecales [NMP/100 ml]

Fecha	Afluente	F-1	F-2	M-1	M-2	F-3	F-4	M-3	M-4	Efluente
13.03.96				1.8E4	6.4E2					5.2E2
14.03.96	5.2E6	1.4E5	1.2E5							
18.03.96	7.8E6	1.8E5	2.4E5							
19.03.96				6.9E5	3.1E4			3.1E4		
Ko		0.50	0.53	0.54	1.18					
31.07.96	1.8E6					2.4E5	3.6E5	1.4E4	1.2E5	2.2E4
19.08.96	6.4E5					1.2E5	7.8E4	3.1E4	6.4E4	6.9E3
20.11.96	2.0E6	2.0E3	1.1E5	8.0E4	2.0E3	4.0E3	8.0E5	2.0E3	8.0E3	7.0E3
17.01.97	1.6E6			2.3E4					8.0E3	4.0E3
06.02.97	2.2E6	1.4E5	1.3E5	1.4E4	2.0E3	1.7E5	2.4E5	2.0E3	1.4E4	-

El límite de coliformes fecales para la clase III es de 1000/100 ml

El conocimiento del decaimiento de coliformes fecales a través de las diferentes lagunas, los tiempos de retención y temperatura del agua respectivos permite el cálculo del coeficiente de decaimiento K_o hasta la fecha del llenado total del conjunto de Lagunas (19.03.96). Los resultados en el Cuadro N° 5.4 indican un bajo coeficiente de decaimiento en las lagunas facultativas comparado con la literatura¹⁴. Este fenómeno puede ser

¹⁴ F. Yáñez C.: Lagunas de estabilización (1993) menciona valores K_o [1/d] entre 0.64 y 0.94 para coliformes fecales y temperaturas de agua de 20°C.

debido a la elevada carga bioquímica y/o a una estratificación del agua por la elevada temperatura de la capa superficial que reduce el tiempo de retención efectiva.

Cuadro N° 5.5: Demanda bioquímica de oxígeno [mg/l]

Fecha	DBO	Afluente	F - 1	F - 2	M - 1	M - 2	Efluente
15.03.96	total	251	47	33	30	14	14
	soluble	98	13	13	9	8	8

El límite de la demanda bioquímica total para la clase III es de 15 mg/l.

La conductividad eléctrica que es un indicador de la salinidad total del agua es de 1,280 μ S/cm y el pH de 7.9 confirman también la aptitud de las aguas servidas y tratadas en la agricultura.

5.3.2 Uso del Efluente en la Agricultura

Un objetivo de suma importancia de la obra es el reuso de las aguas servidas y tratadas en la agricultura. Por su ubicación en el desierto, el agua de riego es el factor límite para la producción agrícola en esta zona. Se estima que el caudal total efluente de 200 l/s permite el riego de 250-300 has. de terreno cultivado. Por su calidad en conformidad con la clase III, ver Cuadros 5.3 a 5.5, el agua permite el riego de cada clase de cultivos.

El riesgo ambiental del reuso de las aguas servidas y tratadas en la agricultura es mínimo cuando se utilizan las aguas residuales para la irrigación de zonas agrícolas, siempre y cuando se tomen en cuenta los siguientes aspectos:

1. Las medidas de protección higiénica tienen que garantizar la seguridad de los campesinos y consumidores.
2. Los potenciales usuarios de las aguas servidas tratadas deben asegurarse de la autorización por el Ministerio de Salud que se solicita cada dos años.
3. La situación y cantidad de sustancias nocivas tiene que ser controlada para mantener la fertilidad de los suelos, sobre todo en lo que concierne a sustancias de difícil descomposición y metales pesados.

Con fecha del 27.03.1996 el Ministerio de Salud, a través de la Dirección General de Salud Ambiental, con RD N° 134-96/DIGESA/SA aprobó el uso de las aguas tratadas en las lagunas ubicadas en la zona "Pampa de Perros" según el expediente técnico que sostiene la Solicitud de Aprobación Sanitaria (ver Anexo A-5.9 y 5.10).

6. PRESENTACION E INTERPRETACION DE LA INFORMACION RECOPIADA

6.1. Información de EPSEL S.A.

La empresa de saneamiento EPSEL S.A. a través de su Departamento de Control de Calidad está vigilando el proceso de depuración de las lagunas de estabilización en “Ciudad de Dios” mediante varias mediciones y análisis. Entre ellos destacan los que están precritos por Ley como el número más probable de los coliformes fecales y otros como el caudal y la temperatura de agua en las lagunas, que son importantes para controlar el proceso de tratamiento.

6.1.1 Datos Bacteriológicos y Físico-Químicos de las Lagunas

El Cuadro N° 6.1 muestra una relación de los datos disponibles; estos no representan una serie completa, lo que dificulta su interpretación. Sobre todo interesan los análisis de las bacterias coliformes fecales, indicando el resultado del tratamiento. Los demás parámetros son importantes para monitorear el proceso de tratamiento a través de las diferentes etapas y bajo distintas condiciones climáticas.

Existe una sola serie del día 20 de Nov. 1996 que cubre simultáneamente todas las etapas desde la llegada del agua servida cruda hasta el efluente.

Cuadro N° 6.1: Frecuencia del análisis de la calidad del agua

Tipo del análisis	Frecuencia	Periodo	Número de muestras
Coliformes totales	15 días	21.02.96-03.02.97	87) ¹
Coliformes fecales	15 días	13.03.96-06.02.97	92) ²
Temperatura del agua	Diariamente	10.06.96-09.02.97	Suficiente) ²
Valor Ph	15 días	01.07.96-06.02.97	74) ¹
Oxígeno disuelto	4 por año	17.01.97-06.02.97	22
Conductividad eléctrica	4 por año	17.01.97-06.02.97	22
Alcalinidad	4 por año	01.07.96-06.02.97	72

)¹ el número previsto de análisis para el periodo del 13.03.96 al 06.02.97 alcanza 230

)² existen fallos por falta de medición confiable que dificultan la evaluación

6.1.2 Datos Hidráulicos

Los registros de la operación de las lagunas cubren la siguiente información que se registra todos los días hábiles en los lapsos indicados en el Cuadro N° 6.2:

Cuadro N° 6.2: Registros de la operación de las lagunas

Tipo de registro	Frecuencia	Periodo
Nivel Parshall, caudal de ingreso	07:00-17:00	180.03.96-10.02.97, días hábiles
Repartición a la lagunas, por flotador	medio día	09.05.96-10.02.97, días hábiles
Caudal del efluente, aforo por flotador	tres veces	09.05.96-10.02.97, días hábiles

Para los fines del presente informe, se ha procesado las mediciones de campo, ver Anexos A-5.7 El Cuadro N° 6.3 muestra los caudales diarios más probables para los meses donde se dispone de datos.

Cuadro N° 6.3: Promedios mensuales de los caudales diarios 1996 - 1997

Mes	ingreso [m3/d]	F-1 [m3/d]	F-2 [m3/d]	F-3 [m3/d]	F-4 [m3/d]	EGRESO [m3/d]	ingr-egr [m3/d]
May. 96	18.438	3.916	3.370	4.631	4.427	15.667	2.771
Jun. 96	12.273	2.323	3.531	3.133	2.831	10.595	1.678
Jul. 96	11.014	0	0	4.239	4.407	13.167	0
Ago. 96	10.701	0	0	7.329	3.153	6.344	0
Set. 96	15.044	5.626	6.296	0	0	7.549	0
Oct. 96	8.083	2.763	4.124	0	0	7.783	0
Nov. 96	16.054	2.981	4.559	2.517	1.928	11.985	4.068
Dic. 96	14.745	3.120	4.596	3.704	3.280	11.587	3.157
Ene. 97	15.960	2.663	3.810	3.971	3.785	13.520	2.440
Feb. 97	17.514	2.587	4.712	4.853	4.180	13.550	3.964

Feb. 97: solamente datos del 01 al 09.02.97

a) Caudales de ingreso

El caudal de ingreso a las lagunas se afora en el medidor Parshall después del by-pass y la cámara de rejillas. Regularmente se efectúa los aforos cada hora entre las 07:00 y las 17:00 hrs. Por el desfase de 6 horas entre la producción del agua residual en la ciudad de Chiclayo y su llegada a las lagunas el lapso de los aforos corresponde a la producción entre la 01:00 de la madrugada hasta las 11:00 antes de medio día, es decir un período de baja producción.

La variación horaria del caudal no es bien conocida. Asumiendo la distribución típica del consumo de agua potable para grandes ciudades según el Gráfico 6.1, un desfase de 6 horas por el recorrido del agua y una infiltración de 30%, se nota que entre las 07:00 y 17:00 horas llegarán solamente el 41,9% del caudal total diario.

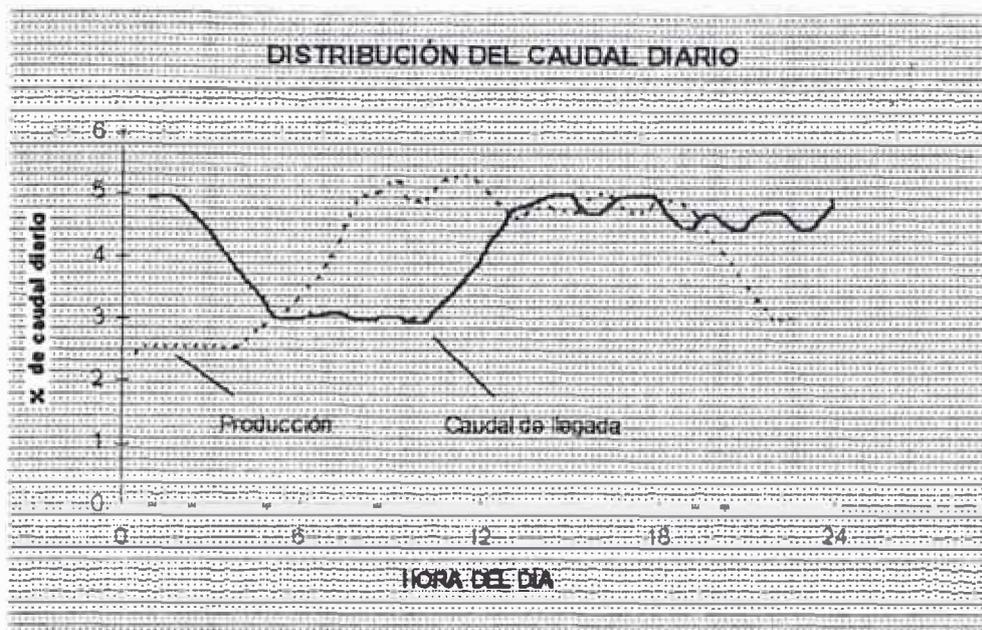


Gráfico 6.1: Caudal horario

b) Caudales de egreso y pérdidas

Se afora el caudal en el canal de distribución por flotador tres veces al día. Los resultados son confiables al nivel que corresponde a dicho método.

Se nota una diferencia entre los caudales de ingresos y salida que se interpreta como pérdida por infiltración y evaporación. Considerando la superficie total de las lagunas de 243.180 m², la pérdida diaria varía entre 6,9 mm y 16,7 mm, lo que está en concordancia con los valores medidos durante la puesta en marcha en Febrero 1996 entre 7 mm/d y 19 mm/d¹⁵.

6.1.3 Enrocamiento de las Unidades de Tratamiento (Lagunas)

Los fuertes vientos en los meses a partir de Abril 1996 causaron un importante oleaje originando erosiones en los diques en el lado sotavento. Con el objetivo de prevenir daños a los diques, EPSEL S.A. tuvo que proteger por enrocamiento los taludes atacados, tal como se señala en el esquema del Anexo N° 6.1.

La experiencia muestra que esta medida ha sido la más apropiada en cuanto al costo y el plazo de ejecución. De tal manera fueron paralizadas la batería A del 09 de Julio al 02 de Septiembre y la batería B del 03 de Septiembre al 29 de Octubre de 1996. Ver Fotografías 38 al 43.

El vaciado y llenado de las baterías dificulta la interpretación de los datos de ingreso y egreso durante este lapso de tiempo.

¹⁵ Capítulo 6: Puesta en Operación, según relación de datos en Anexo A-6.1

6.2. INFORME DE CEPIS

Entre el 13 y 16 de Mayo de 1996 los especialistas del CEPIS Ings. Guillermo León y Julio Moscoso, efectuaron una inspección ocular de las lagunas de estabilización en la Pampa de Perros, incluso mediciones físico-químicos del agua. El CEPIS se refiere a las lagunas en cuestión como "el sistema de Ciudad de Dios"¹⁶

En su Informe Técnico¹⁷ aprecian también el diseño de las lagunas (en lo concerniente a la evaluación de la unidad de pre-tratamiento, canales de distribución y lagunas del sistema de Ciudad de Dios), donde dice el párrafo:

"La operación de las baterías con dos lagunas primarias en paralelo y dos de maduración (secundaria y terciaria) no implica necesariamente una mayor eficiencia que si trabajaran 4 baterías con lagunas en serie primarias y secundarias, ya que el período total de retención es similar. La remoción de patógenos depende más del tiempo de retención que del número de lagunas en serie. Además, cuando se tenga que efectuar la limpieza de lodos se tendrá que paarlizar el 50% de la Planta".

Este párrafo hace entender una deficiencia en el diseño de dichas lagunas en dos sentidos:

- Ineficacia de un proceso de tres etapas:

Cuando la remoción de bacterias es un objetivo principal del tratamiento por lagunas de estabilización, la literatura profesional recomienda lagunas de varias etapas, lo que confirma los resultados obtenidos por las evaluaciones de las lagunas de estabilización de San Juan, reportados recientemente por CEPIS¹⁸, ver también el capítulo 7.3.2 del presente informe, donde se demuestra la contribución de cada una de las tres etapas a la depuración total.

- En el caso de limpieza, paralización de 50% de la planta en vez de 25% solamente:

El lodo está depositado a la entrada de la laguna facultativa (primaria), donde de acuerdo al diseño, se ha realizado pozas de 0.60 m hasta 0.70 m de profundidad adicional para facilitar la sedimentación y acumulación del lodo. La limpieza de lagunas de estabilización se efectúa por lo general sólo en la laguna primaria, ya que en las lagunas subsiguientes de la misma batería, la formación de lodo es mínima. En cuanto al procedimiento para la limpieza de dichas lagunas, ya por razones prácticas se la efectuará laguna por laguna, paralizando así una sola laguna primaria de la batería correspondiente, mientras que las demás siguen trabajando. De tal manera la batería

¹⁶ Tal como lo hace el Departamento Control de Calidad de EPSEL S.A.

¹⁷ Ing. Julio Moscoso e Ing. Guillermo León: Evaluación de las lagunas de estabilización de Ciudad de Dios, CEPIS, 1996

¹⁸ Ing. Guillermo León S. E Ing. Julio Moscoso c: Curso de tratamiento y uso de aguas residuales, CEPIS, Lima, 1996, pág. 60-63

afectada trabajará con una capacidad reducida del 50% y la planta total, sin embargo seguirá con el 75% de su capacidad.

Otro aspecto que vale mencionar en este contexto es el hecho que las lagunas en “Ciudad de Dios” forman parte de un conjunto de lagunas donde la segunda parte se ubicará en San José. La bifurcación para derivar los caudales destinadas al segundo complejo de lagunas ya está integrada en el canal de aducción, Emisor Norte-Norte. Las nuevas lagunas de San José podrán absorber el excedente temporal durante la limpieza de las lagunas de “Ciudad de Dios”.

6.3. INFORME DE LA UNIVERSIDAD DE PIURA

El día 19.08.1996, técnicos del Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Piura efectuaron una misión de inspección y toma de muestras a las lagunas de “Ciudad de Dios” con dos objetivos principales:

- Evaluación de las lagunas de estabilización

Durante dicha evaluación, estaba paralizada la batería A por trabajos de enrocado de los taludes, trabajando la batería B con la mitad del caudal de diseño. Se tomó muestras del agua cruda, del efluente de las lagunas facultativas F-3 y F-4 y maduración M-3 y M-4, para determinar la DBO total/soluble, el NMP de coliformes fecales y el valor pH. El Cuadro N° 6.4 muestra los resultados obtenidos.¹⁹

Cuadro N° 6.4: Resultados de los análisis efectuados por la Universidad de Piura (19.08.1996)

Toma de Muestra	DBO total [mg/l]	DBO soluble [mg/l]	Ph	Coliformes fec. [NMP/100 ml]
Agua cruda	294		7.2	9.3E7
salida F-3		25	7.0	4.3E6
salida F-4		25	7.6	9.3E5
salida M-4		22	7.9	2.3E5
salida M-3		18	7.7	9.3E4

La Universidad de Piura considera los resultados obtenidos como normales en cuanto a la remoción de la DBO y el valor pH. En cuanto al número de coliformes fecales, manifiesta la escasez de la remoción y hace hincapié en el reuso del agua servida y tratada en la agricultura que requiere un número de dichas bacterias de menos de 1000/100 ml.

Cabe señalar que los números más probables de coliformes fecales encontrados por el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Piura son los más altos

¹⁹ Universidad de Piura, Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria. Laboratorio de Ingeniería Sanitaria, Ing. Ana María Chávez de Allain: Informe de Ensayo No. AR-126-96 sobre resultados de las muestras N° Lab.: 597, 598, 599, 600 y 601

reportados hasta la fecha, ver Anexo A-5.3. Tomando en cuenta el NMP en el agua cruda de $9.7E7$ (más de 10 veces más alta que lo normal), el grado de remoción hasta la salida ($9.3E4$) es de $1E-3$ y corresponde a las expectativas de la operación de emergencia durante la reparación de la batería A.

- Evaluación de los taludes

El material de relleno de los diques viene de la misma excavación de las lagunas. Por motivos de costo una sustitución por material selecto de canteras no era posible durante la construcción ni necesaria en vista del comportamiento de los taludes durante un año de operación. La ligera transformación por sales y sodio intercambiable afecta solamente a la capa superficial y no llega a mayores profundidades. Sin embargo, se tiene que monitorear este proceso y eventualmente proteger la superficie por una capa de grava para reducir la evaporación.

7. DISCUSION DE LOS RESULTADOS EN RELACION A LOS PARAMETROS RECOMENDABLES

7.1 CONCEPTOS BÁSICOS

7.1.1 Calidad de las Aguas Servidas

El diseño de las lagunas de Ciudad de Dios se fundamentó en los análisis de las aguas servidas disponibles a la época que se muestra en el Cuadro 7.1. Cabe señalar que dichas características se encuentran dentro del rango normal para aguas servidas de origen doméstico y que han sido verificados en análisis durante la puesta en marcha.

Cuadro N° 7.1: Calidad de las aguas servidas

Fecha	Coliformes fecales [NMP/100 ml]	Demanda bioquímica De oxígeno [mg DBO ₅ /l]
23.06.1994 (N° 1)	4.8E06	200
23.06.1994 (N° 2)	5.3E06	238
06.10.1995	-	238
Promedio	4.8E06	225
16.01.1996	-	230
14.03.1996	5.2E06	-
15.03.1996	-	251
18.03.1996	7.8E06	-
19.08.1996	(9.3E07)	294
Promedio operación	5.9E07)*	258

)* sin considerar el resultado de la Universidad de Piura que representa el valor más alto reportado quedando una potencia por encima de los demás valores del NMP de coliformes

Aguas residuales industriales

No se tiene un listado de industrias conectados al Emisor Norte-Norte y según las investigaciones realizadas durante el proyecto de Alcantarillado de Chiclayo no se había identificado fuentes de una polución extrema. Por lo tanto se asume que la gran mayoría de las aguas residuales son de origen doméstico. Sin embargo, por el dinamismo económico de la ciudad de Chiclayo, pueden establecerse industrias que significan una fuente de alta polución.

Entre tales industrias destacan: industria alimenticia (lechería, cervecera, envasadora), mataderos (camales) y curtiembres. Dichos efluentes por lo general son biodegradables, aun a veces requieren un pretratamiento antes de su emisión al alcantarillado, sobre todo para neutralizar el efluente a un valor pH alrededor de 7. Otras industrias pueden emitir efluentes tóxicos que fuera del peligro público también impiden el tratamiento adecuado. Una fuente de polución de carácter especial, son criaderos de animales donde se aplican

antibióticos en grandes cantidades para combatir epidemias. Los antibióticos tienen efectos graves sobre las bacterias en las plantas de tratamiento.

7.1.2 Propósito del Tratamiento de Aguas Servidas

Las aguas servidas descargadas por la población contienen materias orgánicas e inorgánica que no permiten su emisión directa al medio ambiente por los riesgos para la salud pública que presentan y los daños directos que causan. Por la multitud de sustancias contenidas en las aguas servidas, se utilizan parámetros indicativos, tal como el número más probable de bacterias coliformes fecales (NMP CF) y la demanda bioquímica de oxígeno dentro de cinco días (DBO₅) para determinar la calidad de dichas aguas. La presencia de coliformes fecales es un indicador que el agua ya ha pasado por el cuerpo de un mamífero y por lo tanto puede contener también bacterias patógenas. La DBO₅ es un indicador del impacto bioquímico al cuerpo de agua receptor por extracción de oxígeno disuelto.

7.1.3 Procesos de Tratamiento

Existen varias alternativas para el tratamiento de aguas servidas, de las cuales algunas son idóneas para aguas servidas municipales, mientras otras son más aptas para desagües de industrias con características bien específicas. Las aguas servidas municipales son una mezcla de aguas que emanan de las viviendas, de comercios y pequeña industria e instalaciones públicas.

Entre los procesos de tratamiento destacan tres tipos que se distinguen por su requerimiento espacial, costo de inversión y costo de operación aunque tengan la misma capacidad de depuración.

1. Plantas compactas con lodos activados o biofiltros: poca área, alto costo de inversión y de operación, sobre todo en energía eléctrica
2. Zanjas de oxidación, lagunas aireadas: mediana extensión, regular costo de inversión, alto costo de energía eléctrica.
3. Lagunas de estabilización: gran extensión, bajo costo de inversión, ningún costo de energía.

Además de su bajo costo de inversión, las lagunas de estabilización sobresalen por su calidad del efluente, tanto en la DBO como en el NMP de bacterias y parásitos. Considerando las características de las aguas servidas a tratar, las condiciones topográficas y las limitaciones financieras de la empresa de saneamiento, las lagunas de estabilización en "Ciudad de Dios" constituyen la mejor alternativa.

7.1.4 Lagunas de Estabilización²⁰

En las lagunas de estabilización las aguas servidas están depuradas por un conjunto de procesos físicos, (bio-)químicos y biológicos. En las lagunas ubicadas en la Pampa de Perros dichos procesos se desarrollan en forma espontánea después de 6 a 7 días del primer llenado.

Para los procesos de autodepuración de las aguas servidas en las lagunas de estabilización, la relación del oxígeno (disuelto en el agua, absorbido directamente del aire o introducido por fotosíntesis de las algas verdes) es el factor decisivo. Los residuos orgánicos del desague en su mayoría son productos de la reducción de materia vegetal y animal (proteínas), es decir productos de la digestión. Además contienen grasas, detergentes, basura, sales, sedimentos minerales y otras sustancias tales como metales, fenoles y tóxicos. Sobre todo los residuos orgánicos no son estables, sino se descomponen rápido, desarrollando malos olores. El oxígeno tiene la tendencia de transformar estas sustancias en combinaciones estables. Como intermediarios actúan bacterias; durante la presencia de oxígeno son bacterias aerobias y cuando está consumido el oxígeno libre, estas bacterias están reemplazadas por otras anaerobias que pueden aprovechar del oxígeno unido, p.ej. en nitratos, sulfatos u otras combinaciones.

El metabolismo de las bacterias continúa mientras que les lleguen nutrientes. La actividad vital de las bacterias consiste en la adsorción de los nutrientes y del oxígeno a través de la membrana que le constituye y de la digestión, es decir de la oxidación de los nutrientes por medio de enzimas. Los productos de la digestión son ácidos del oxígeno, tales como anhídrido carbónico, nitritos o ácido sulfúrico. Dado que el agua servida siempre contiene suficientes cantidades de sustancias alcalinas, estas últimas reaccionan con los ácidos, formando sales solubles como carbonatos, nitratos o sulfatos.

7.1.4.1 Procesos anaerobios

El agua servida cruda llega a la Planta de Tratamiento después de varias horas de recorrido por las alcantarillas. Por la naturaleza de las aguas servidas, su contenido de oxígeno disuelto es mínimo y la demanda de oxígeno es alta. Por lo tanto, al entrar en la laguna, continúa la extracción de oxígeno de la masa de agua receptor. Por la ausencia del oxígeno se desarrollan procesos bioquímicos típicos a este régimen, sobre todo fermentación, produciendo gases como CO_2 , CH_4 , H_2S y H_2O .

En la zona de entrada, donde están ubicadas las pozas de descarga, se debería acumularse el lodo para ser digerido por procesos anaerobios:

La sección anaerobia está caracterizada por una carga biológica alta de $160 \text{ g DBO}_5/\text{m}^3/\text{d}^{21}$ que origina la ausencia de oxígeno disuelto y una fuerte reducción de la carga biológica por procesos de fermentación de grasas, proteínas y carbohidratos, desnitrificación y desulfuración; además, los huevos de helmintos y otros parásitos están incorporados en

²⁰ extracto de K. Imhoff: Taschenbuch der Stadtentwässerung, München, 1976, pág 70 ff, traducido por el Ing. Lutz E. Scholz

²¹ La OMS recomienda cargas biológicas de 125 a $400 \text{ g DBO}_5/\text{m}^3/\text{d}$ para lagunas anaeróbicas

este lodo y estabilizados en conjunto por los mismos procesos anaerobios. El tiempo de retención óptimo en la sección anaerobia es de un día, lo que corresponde a un trayecto teórico de 35 m. La profundidad de la sección anaerobia es de un día, lo que corresponde a un trayecto teórico de 35 m. La profundidad de la sección anaerobia es de 2.5 m. Las emisiones del tratamiento anaerobio consisten en tres agregados:

1. líquido con un alto contenido de sustancia orgánica digerida, pero también sustancia ya mineralizada.
2. sólidos minerales (arena) y orgánicos (lodo : 40 l por habitante por año).
3. gases, sobre todo anhídrido carbónico, metano, sulfuro de hidrógeno y vapor, entre los cuales el sulfuro de hidrógeno H_2S es responsable del mal olor a huevos podridos del proceso anaerobio.

En las lagunas de “Ciudad de Dios” por el efecto del remolino los procesos anaerobios no están limitados a la zona de entrada, sino está repartido con el lodo en toda la laguna facultativa.

7.1.4.2 Procesos aerobios

Por la absorción de oxígeno a través de la superficie)²² y la fotosíntesis de las algas)²³ que se desarrollan en la sección aerobia, se reduce el déficit de oxígeno en el cuerpo de agua al alejarse de la zona de entrada y el proceso de digestión microbiológica se convierte en un régimen aerobio. En esta sección las bacterias aerobias y algas convierten los carbohidratos y otros nutrientes en sustancias inorgánicas y estables, tales como: CO_2 , H_2O , NH_3 , NO_3^- y SO_4^{--} .

A causa de la repartición del lodo por el remolino sobre la totalidad de cada una de las lagunas facultativas, el proceso aerobio domina. Se recomienda que el tiempo de retención en la sección aerobia sea por lo menos 5 días con una profundidad de 1.5 hasta 2.0 m)²⁴. Tal como están diseñadas, las lagunas facultativas tienen una profundidad de 1.6 m y el tiempo de retención es de 9.8 días. Las emisiones del tratamiento aerobio contienen materia orgánica sobre todo en forma de bacterias y algas, sustancia inorgánica disuelta y gases como anhídrido carbónico y vapor.

7.1.4.3 Procesos de maduración

Están caracterizados por la presencia de algas verdes. Ellas, a través de la fotosíntesis, producen oxígeno que es necesario para la remoción de la DBO y simultáneamente para el decaimiento de las bacterias. Sin embargo hay que tener en cuenta que por falta de luz solar, el fenómeno de fotosíntesis por las algas verdes se paraliza y se convierte en el fenómeno contrario. Durante la noche y días nublados, las algas verdes consumen de oxígeno. Este fenómeno se nota claramente a comparar el contenido de oxígeno disuelto en las lagunas medido por la mañana y por la tarde.

²² O'Connor y Eckenfelder estudiaron la adsorción de oxígeno a través de la superficie de una laguna en función del déficit de oxígeno y encontraron un valor de $34 \text{ g } O_2/m^2/d$ a los $20^\circ C$

²³ Böhnke, Fresenius et al: Manual de Disposición de Aguas Residuales, loc. Cit.

²⁴ OMS-WHO (EMRO: Wastewater Stabilization Ponds) recomienda este rango, sin embargo debe tener en cuenta que el aporte de oxígeno está limitado por la superficie y por tanto a mayor profundidad el proceso vuelve al régimen anaerobico.

Este comportamiento de las algas verdes puede explicar que durante la época fría y nublada de Mayo hasta Diciembre, a veces salen algas podridas en las lagunas de maduración.

7.2. VALIDACION DE LOS MODELOS DE FLUJO

En el cálculo de la remoción de la DBO o el decaimiento bacteriano, se contemplan tres modelos de flujo: flujo tipo pistón, mezcla completa y flujo disperso.

1. El flujo tipo pistón tiene su base en la hidráulica del régimen laminar. Según el número de Reynold²⁵, teóricamente las lagunas de “Ciudad de Dios” tienen esta característica con $Re = 490$. El modelo del flujo tipo pistón asume que no haya intercambio de inones entre volúmenes de agua vecinos. Obviamente este caso donde se lo realice causará el más rápido decaimiento de bacterias en forma exponencial, con tasa constante.
2. El flujo de mezcla completa se basa en la hidráulica del régimen turbulento, es decir para números de Reynolds $Re > 580$.
3. El flujo disperso está entre los dos extremos anteriores. En realidad la magnitud del número de Reynold cerca de su valor crítico de 580 muestra que hidráulicamente las lagunas están en un estado de desequilibrio entre laminar y turbulento. Adicionalmente, por efectos térmicos, diferencias de la densidad del agua por la sedimentación o concentración de sales y nutrientes e hilos de corriente turbulento, existe un intercambio aún restringido entre los cuerpos de agua vecinos que hace llegar a las bacterias más nutrientes que en el flujo pistón.

7.2.1 Flujo Disperso

El modelo hidráulico más recomendado²⁶ para la predicción del decaimiento de coliformes fecales en lagunas de estabilización se basa en el flujo disperso. Este modelo ha sido estudiado por varios autores²⁷ y aplicado en el Proyecto de Agricultura de San Juan de Miraflores en Lima, Perú. También la predicción de la eficiencia de las lagunas ubicadas en la Pampa de Perros se basa en dicho concepto. Se puede describir el decaimiento de las bacterias de una etapa a la próxima por el conjunto de fórmulas matemáticas que constituyen el modelo de flujo disperso²⁸:

$$(1) \quad N_R/N_E = 4 * a * e^{(d/2)} / ((1+a)^2 * e^{(a/2/d)} - (1-a)^2 * e^{(-a/2/d)})$$

$$(2) \quad a = (1 + 4 * d * k_t * R_T)^{1/2}$$

²⁵ $Re = v * R / \nu$; $\nu = 240 \text{ m}^2/\text{s}$; $R = \text{tirante} = 1,6 \text{ m}$; $\nu = 9 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ para 25°C ; $Re = 490 < 580$

²⁶ PRONAP, ING Fernando Chuy: Plantas de tratamiento de aguas servidas, Julio 1995, pág. 40

²⁷ F. Yáñez C.: Lagunas de estabilización, Cuenca, 1993; ver también Metcalf & Eddy, loc. Cit.

²⁸ Metcalf & Eddy: Wastewater Engineering, loc. lit., pág 644 u otra literatura

$$(3) \quad K_t = k_0 * b^{(t-20^{\circ}\text{C})}$$

donde:

- N_E : N.M.P. de coliformes en la entrada
- N_R : N.M.P. de coliformes en la salida después de R_T días de Retención
- d : relación entre ancho y largo de la laguna (aproximación)
- R_T : tiempo de retención [días]
- K_0 : coeficiente de decaimiento a la temperatura normal de 20°C depende del tipo de bacteria
- b : base de la influencia del desvío de la temperatura normal depende del tipo de bacteria

La literatura profesional²⁹ recomienda un valor de $K_0 = 0,84$ y el coeficiente $b = 1,07$, teniendo en cuenta la temperatura promedio del agua relativa a la temperatura normal de 20° C. Recientes resultados de remoción de coliformes fecales obtenidos en varias etapas de lagunas han sido publicado por CEPIS³⁰ y se las muestra en el Cuadro 7.2.

Cuadro N° 7.2: Coeficiente de la remoción de coliformes fecales

Etapas del tratamiento	K_0	b
Lagunas primarias	0.477	1.18
Lagunas secundarias	0.904	1.04
Lagunas terciarias	0.811	1.09

Los resultados obtenidos también en las lagunas de San Juan confirman que la remoción de las bacterias depende sobre todo de la temperatura del agua y del régimen de la laguna, es decir facultativo (primario), maduración (secundario) o acabado (terciario).

7.2.2 Modelo de Mezcla Completa

El flujo de mezcla completa es un caso especial del flujo disperso para un valor $d=\infty$ y la fórmula de la remoción de bacterias se simplifica según (4)

$$(4) \quad N_R/N_E = 1 / (k_t * R_T + 1)$$

El concepto de la mezcla completa significa que por la turbulencia a las bacterias siempre les llegan nutrientes y como consecuencia el decaimiento bacteriano es lento y además con una tasa decreciente según el tiempo de retención.

La evacuación de la propagación de la frente de sal, tal como se había medido por la tarde del día 11.02.1997 en la lagunas F-4, ver capítulo 8.2.1.3. muestra que dicha laguna tenía un régimen turbulento con una velocidad superficial alrededor de 50 m/h, o que da un número de Reynolds $Re = 25.000 > 580$

A reducida tasa de decaimiento que se había constatado en varias mediciones en el conjunto de las lagunas de “Ciudad de Dios”, puede tener una experiencia en una mayor

²⁹ OMS-WHO, EMRO: Wastewater Stabilization Ponds, Alejandria, 1987, pág. 103

³⁰ CEPIS; Curso de tratamiento y uso de agua residuales, Lima, 1996

mezcla de las aguas por efectos del viento. Obviamente tal movimiento mezcla la masa de agua y abastece los microorganismos con más nutrientes.

7.2.3 Flujo más probable

Los procesos de tratamiento de las aguas servidas en lagunas de estabilización son procesos completamente naturales, que se desarrollan sobre todo en función de la temperatura del agua, del tiempo de retención y del aporte de nutrientes. Los dos últimos puntos están íntimamente relacionados al flujo predominante en la laguna y por lo tanto la validación del modelo de flujo es de suma importancia para decidir sobre las medidas más idóneas para mejorar el efluente.

Los resultados obtenidos por análisis microbiológicos no coinciden ni con las predicciones en base al modelo de flujo disperso, ni de mezcla completa. Teniendo en cuenta las investigaciones realizadas durante la Misión de Seguimiento, materia del presente informe, se puede atribuir los desvios constatados a tres causas primordiales.

1. Tratamiento parcial por el remolino en las lagunas, que es la resultante del movimiento longitudinal del agua a través de las lagunas hacia el oeste y la fuerza lateral del viento Sur.
2. Repartición desigual entre las lagunas facultativas.
3. Sobrecarga temporal.

A continuación se discutirá las consecuencias que tienen estos tres puntos sobre la calidad del efluente y las posibilidades que existen para mejorar la calidad del efluente.

1. Remolino:

Obviamente, los efectos del remolino son preponderantes; uno de ellos es el hecho que parte del caudal de ingreso sale después de varias horas a la próxima laguna y allá encuentra el mismo fenómeno del remolino que de nuevo hace pasar una parte casi de inmediato hacia la tercera etapa donde ocurre lo mismo.

Cuando tratamos de captar este proceso en cifras para estimar las consecuencias a la eficiencia de las lagunas, podemos basarnos en el hecho que no se puede violar el balance de la continuidad de las masas de ingreso y egreso. Por lo tanto se puede construir un modelo matemático que dejar pasar cierta cantidad de agua en un corto tiempo y mantiene el resto dentro de la laguna y llamemos este tipo de flujo la "mezcla parcial".

Comparemos en el Cuadro N° 7.3 los cuatro casos de flujo siguientes; la mezcla completa, el flujo disperso teórico y dos tipos de mezcla parcial por remolino, uno que se basa en el modelo de la mezcla completa y el otro en el modelo del flujo disperso. Para facilitar el cálculo, se sale del supuesto de que un 10% del caudal de ingreso pasa durante un día a la próxima etapa. De tal manera el efluente está compuesto cada vez 1/10 de agua tratada durante 1, 2, 3, ..., 10 días, bajo el modelo de mezcla completa o flujo disperso respectivamente, tal como se ha calculado en el cuadro siguiente:

Cuadro N° 7.3: Modelo de la mezcla parcial

Tiempo de Retención [d]	Mezcla Completa N/No	Flujo disperso d=0.5		Mezcla parcial 1/10	
		a	N/No	M. completa	Fl. disperso
1	5,05E-01	1,72	4,53E-01	5,05E-02	4,53E-02
2	3,38E-01	2,22	2,53E-01	3,38E-02	2,53E-02
3	2,54E-01	2,62	1,58E-01	2,54E-02	1,58E-02
4	2,03E-01	2,98	1,05E-01	2,03E-02	1,05E-02
5	1,69E-01	3,29	7,26E-02	1,69E-02	7,26E-03
6	1,45E-01	3,57	5,21E-02	1,45E-02	5,21E-03
7	1,27E-01	3,84	3,83E-02	1,27E-02	3,83E-03
8	1,13E-01	4,09	2,88E-02	1,13E-02	2,88E-03
9	1,02E-01	4,32	2,21E-02	1,02E-02	2,21E-03
10	9,25E-02	4,54	1,71E-02	9,25E-03	1,71E-03
Suma de 10 días				2,05E-01	1,20E-01

Al comparar los efectos de la mezcla parcial con los modelos de flujo generalmente aplicados, se constata que la calidad del efluente en la mezcla parcial es muy inferior a los demás modelos; para más adelante ver Anexo A-5.8 donde se compara los resultados de un recorrido dentro de 24h, 12h y 5 horas. El decaimiento bacteriano durante 10 días llega a los siguientes factores N/No cuando se varía las proporciones de la siguiente manera:

Proporción de mezcla parcial:	1/10	1/20	1/50
Recorrido de la laguna en horas:	24	12	5
Mezcla parcial con flujo disperso:	0,12	0,14	0,15
Mezcla parcial con mezcla completa:	0,20	0,22	0,23

Se compara el decaimiento bacteriano durante 10 días determinado por mezcla parcial con los modelos comunes:

Flujo disperso:	0,02
Mezcla completa:	0,09

Los cálculos teóricos muestran que los efectos de la mezcla parcial explica una subida del NMP de las bacterias hasta 10 veces y más comparado con las predicciones del modelo del flujo disperso.

En términos reales de NMP en el efluente de las lagunas de “Ciudad de Dios”, dicho valor sube de 500/100 ml hasta 7000/100 ml bajo las mismas condiciones climáticas y operativas. En el Anexo A-5.4 se indican los resultados de los análisis microbiológicos; 8 entre 11 valores del efluente tienen un NMP/100 ml entre 3.000 y 7.000.

2. Repartición

Las consecuencias de la repartición desigual entre dos lagunas facultativas vecinas de la misma batería para la caída final del efluente, son menos graves que los efectos del remolino, sin embargo, dicha repartición también juega su papel cuando se trata de explicar el rendimiento desigual de las lagunas.

En el Cuadro N° 7.4 se está comparand por cálculo el decaimiento bacteriano aplicando el modelo de la mezcla completa (Anexo A-5.8.1) para diferentes niveles de repartición entre dos lagunas facultativas vecinas:

Cuadro N° 7.4: Repartición desigual entre lagunas facultativas vecinas

Caudal 1 [%]	Caudal 2 [%]	Tiempo 1 [d]	Tiempo 2 [d]	N/No 1	N/No 2	Mezcla 1 y 2
50	50	10	10	0,075	0,075	0,075
45	55	11	9,1	0,068	0,082	0,076
40	60	12,5	8,3	0,061	0,089	0,078
35	65	14,3	7,7	0,054	0,096	0,081
30	70	16,7	7,1	0,047	0,100	0,084

La repartición desigual entre dos lagunas vecinas en 35% y 65% respectivamente resulta en un aumento del NMP de $0,081/0,075 = 1,08$ o sea 8%. El cálculo mediante el modelo de la mezcla parcial es más complicado y se ha ejecutado en el Anexo A-5.8.3 para la repartición de 35% y 65% entre dos lagunas. El efluente de dicha repartición tendrá un decaimiento total de:

$N/No = 0.35 * 0,177 + 0.65*0,262 = 0,232$, comparado con un valor de 0,222 para la repartición igual o sea un incremento de 5% del NMP de microbios, sin embargo a un nivel casi tres veces superior ($0,232 / 0,081 = 2,9$).

3. Sobrecarga temporal

La sobrecarga de las lagunas durante cierto lapso tiene efectos duraderos por el tiempo extendido de recuperación. Con el objetivo de estimar el lapso de recuperación se sale del supuesto que a largo plazo no se puede exceder el tiempo de retención que corresponde a cierta calidad del efluente.

En base a dicho supuesto se puede estimar el efecto de mantener el caudal de ingreso cuando varía la temperatura del agua. Aplicando el modelo de mezcla completa (Anexo A - 5.8.1) se calcula la calidad del efluente de las lagunas facultativas F-1 y F-2 con un volumen total de 95.000 m³. Al tiempo de retención de 10 días en la etapa facultativa

corresponde un caudal de ingreso de 9.500 m³/d y con una temperatura del agua de 25°C se tendrá un efluente final de NMP 8.300/100 ml.

Cuando la temperatura del agua baja a 20°C y se mantiene el caudal de ingreso el NMP del efluente subirá a 20.000/100 ml. Suponiendo que se detecte este valor durante el análisis quincenal y se reduce el caudal de ingreso a 6.800 m³/d, se puede obtener de nuevo un NMP de 8.300/100 ml por el tiempo de retención de 14 días en la etapa facultativa y 2 x 7 días en las dos etapas de maduración. Sin embargo, el efluente mejorado saldrá solamente 28-20=8 días después de haber corregido el caudal de ingreso. El Cuadro N° 7.5 da un resumen del NMP en las tres etapas bajo las condiciones arriba mencionadas:

Cuadro N° 7.5: Calidad del efluente con variación del caudal y de la temperatura

Temperatura del agua [°C]	Caudal [m ³ /d]	R _T [d]	NMP F-1/F-2	R _T [d]	NMP M-1	R _T [d]	NMP M-2
25	9.500	10	3.9E5	5	5,7E4	5	8,3E3
20	9.500	10	3.9E5	5	1,0E5	5	2,0E4
20	6.800	14	3.9E5	7	5,7E4	7	8,3E3

7.3 CAPACIDAD DE TRATAMIENTO

7.3.1 Remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

Los pocos datos disponibles sobre a DBO, se les muestra en el Anexo A-5.5. El Cuadro N° 7.6 siguiente indica una relación de la remoción de la DBO por etapa:

Cuadro N° 7.6: Remoción de la DBO en las Lagunas de “Ciudad de Dios”

15.03.96	F-1;2/AC	M-1/F-1;2	M-2/M-1	EF/AC	T °C agua
DBO total	0,16	0,75	0,47	0,056	25,9
DBO soluble	0,13	0,69	0,89	0,082	25,9
19.08.96	F-3;4/AC	M-4/F-3;4	M-3/M-4		
DBO total	-	-	-	-	20,8
DBO soluble	-	0,73	0,82	-	20,8

Los análisis bioquímicos del día 19.08.96 cubren la DBO total para el agua cruda y la DBO soluble para el efluente de las etapas de la batería B, por no ser congruentes los análisis, la comparación es difícil, sin embargo, suponiendo que la relación DBO soluble/DBO total sea constante, se puede asumir que la DBO soluble del agua cruda el día 19.08.1996 fue igual a 115 mg/l y relación EF/AC sería 0,16.

Con el tiempo promedio de retención de 20 días se puede determinar el coeficiente de remoción de la DBO en función de la temperatura:

$$K_t = K_o / 1,085^{(35^\circ\text{C} - t_{\text{agua}})}$$

tomando el modelo de la mezcla completa: $S/S_o = 1/(K_t * R_T + 1)$

$$15.03.96: t_{\text{agua}} = 25,9^\circ\text{C}, R_T = 20\text{d} \quad \Rightarrow \quad S/S_o = 0,082; \quad K_t = 0,56; \quad K_o = 1,18$$

$$19.08.96: t_{\text{agua}} = 20,8^\circ\text{C}, R_T = 20\text{d} \quad \Rightarrow \quad S/S_o = 0,16; \quad K_t = 0,26; \quad K_o = 0,83$$

El valor $k_o = 1,18$ del día 15.03.96 coincide bien con el valor recomendado en la literatura de 1,2 y por lo tanto se le tomará en cuenta para la predicción de la capacidad de remoción de la DBO en base al modelo de la mezcla completa. Sin embargo cabe señalar que el valor más bajo encontrado en Agosto de 1996 puede ser explicado por una mezcla parcial. Los pocos datos disponibles no permiten todavía decidir sobre el modelo más idóneo para la predicción de la remoción de la DBO, aún ya se puede excluir el modo de flujo disperso que da una remoción mayor de $S/S_o = 0,0025$ para las condiciones del día 15.03.96 y $S/S_o = 0,0075$ para el 19.08.96 y no coincide con los resultados obtenidos

7.3.2 Decaimiento de bacterias

Los datos disponibles sobre la remoción de coliformes totales y fecales se les muestra en el Anexo A-5.4 como número más probable en 100 ml. Los análisis respectivos han sido realizados por el Departamento de Control de Calidad de EPSEL S.A., con excepción de un muestreo por la Universidad de Piura, el segundo del día 19.08.1996. Por ser muy similar en comportamiento de los coliformes totales y fecales en relación a los análisis subsiguientes, se limita a la discusión de los coliformes fecales.

El Cuadro N° 7.7 muestra una relación del NMP de coliformes fecales en el agua cruda (AC) y el efluente tratada (EF) por las lagunas. Se nota que al inicio de funcionar las lagunas, el grado del decaimiento bacteriano expresado en la proporción EF/AC era bueno: el efluente tenía 0,01% del NMP del agua cruda. En Julio 1996 subió a valores de 1% a 3% y de allá está recuperándose poco a poco y a la fecha tiene un valor de 0,09%.

Cuadro N° 7.7: Grado del decaimiento de coliformes fecales

Fecha	NMP CF Agua cruda	NMP CF Efluente	EF/AC	Temp. Agua Promedio °C
13.03.1996	5,3E6	0,5E3	0,1E-3	25,8
02.07.1996	0,2E6	6,4E3	32E-3	20,1
16.07.1996	3,6E6	3,1E3	0,9E-3	17,9
31.07.1996	1,8E6	22,E3	12,E-3	19,9
19.08.1996	0,6E6	6,9E3	11,E-3	20,7
19.08.1996) ¹	97E6	93E3	1,0E-3	-
20.11.1996	2,0E6	7,0E3	3,5E-3	22,7
14.12.1996	1,7E6	4,0E3	2,4E-3	22,0
17.12.1996	2,0E6	7,0E3	3,5E-3	20,5
02.01.1997	5,0E6	7,0E3	1,4E-3	21,7
17.01.1997	16E6	4,0E3	0,25E-3	25,9
03.02.1997	1,8E6	2,0E3	1,11E-3	25,7
06.02.1997	2,2E6	2,0E3	0,91E-3	25,7

¹ Universidad de Piura

En un análisis más detallado se trata de verificar la contribución de cada una de las lagunas a la depuración. Para este propósito se dispone solamente de tres series completas del número de coliformes fecales en todas las salidas de las lagunas individuales. Sin embargo hay número mayor de ensayos donde se conoce dicho dato de lagunas vecinas en serie. El Cuadro N° 7.8 muestra la remoción de los coliformes fecales por las diferentes lagunas en proporción del número de salida/número de entrada de estepas vecinas en base a los datos del Anexo A-5.4.

Para la evaluación de la eficacia de cada laguna se ha eliminado los valores que son obviamente equivocados por ser por encima de 1; un aumento del NMP durante la retención en una laguna no puede ocurrir, salvo que haya una fuente de contaminación dentro de la laguna misma.

Aun que se trata de procesos de análisis estandarizados que se ejecuta con todo esmero, desvios de los resultados de la teoría son posibles y tienen sus explicaciones en el muestreo de una muy pequeña cantidad de agua (1 litro) que representa el volumen de la laguna (50.000 m³), en la sensibilidad del proceso de incubación y en el análisis mismo³¹. Además y con razón se llama el resultado el "número más probable".

³¹ "Multiple-Tube fermentation Technique" tiene su base en la dilución hasta la extinción. Se prepara una serie de soluciones cada vez diluyendo 1 ml en 9 ml de solución lactosa con 5 pruebas en cada etapa de dilución. Después de la incubación durante 3 horas a 35±0.5°C y después 21 horas a 44.4±0.2°C se cuenta el número de tubos con reacción positiva entre los 5 tubos de la etapa respectiva.

Cuadro N° 7.8: Remoción de coliformes fecales en etapas vecinas

Fecha	Batería A				Batería B				EF/M-2	EF/M-3
	F-1/AC	F-2/AC	M-1/F	M-2/M-1	F-3/AC	F-4/AC	M-4/F	M-3/M-4		
14.03.96	0.027	0.023	0.14	0.036					0.81	
18.03.96	0.023	0.031	(3.35)	0.045						
01.07.96	0.026	0.020	0.48	0.32	0.016	0.026	(1.2)	(2.3)	9.1	0.67
16.07.96					0.01	0.01	0.96	(1.3)		0.46
31.07.96					0.13	0.20	0.57	0.12		1.57
19.08.96					0.188	0.122	0.29	0.48		0.22
19.08.96					0.046	0.01	0.4			
28.08.96					0.002	0.002	0.5			
17.09.96	(1.23)	0.27	0.061	(1.21)						
20.11.96	0.001	0.055	(2.04)	0.025	0.002	0.4	(1.00)	0.25	(3.5)	(3.5)
04.12.96						0.065				
02.01.97						0.028				
06.02.97	0.064	0.059	0.10	0.14	0.077	0.11	0.041	0.14	0.4	0.4
Suma	0.14	0.458	0.788	0.611	0.474	0.888	1.898	1.864	1.213	1.76
Confiante	5	6	4	6	8	10	6	4	2	4
Promedio	0.028	0.076	0.197	0.102	0.059	0.089	0.32	0.47	0.61	0.44

En términos generales se puede constatar que la batería A ha sido más eficaz que la batería B. La contribución de las etapas de maduración en la "A" es cada vez un ciclo logarítmico. Este muestra claramente que el dictamen de CEPIS sobre el proceso de tres etapas, ver capítulo 6.2 no es válido en dicha forma y que la tercera etapa contribuye en igual proporción al rendimiento total de la batería. La imagen que presenta la batería B en todo sus aspectos es similar, sin embargo con menor rendimiento. Como promedio, el decaimiento de las etapas en las dos baterías se presenta como sigue:

1.	A-facultativa	:	0.046	B-facultativa	:	0.072
2.	A-maduración 1:		0.2	B-maduración 1:		0.32
3.	A-maduración 2:		0.1	B-maduración 2:		0.47
	Total batería A		0.9E3-3	Total batería B		11.E-3

Posibles explicaciones para el comportamiento diferente de las dos baterías son sus diferentes dimensiones u otros efectos todavía no descubiertos.

Teniendo en cuenta estas características, se ve con más claridad la necesidad de repetir dichos análisis con regularidad y someter los resultados a una evaluación estadística que luego da una imagen más confiable de la eficacia de las diferentes lagunas.

7.3.3 Remoción de Parásitos

La OMS recomienda un periodo de retención de 10 días para la remoción de huevos de helmintos y quistes de protozoos. En las lagunas de San Juan de Miraflores se ha constatado un periodo de 8 a 15 días en las lagunas primarias para la remoción de huevos de helmintos; de las Indias se reporta un periodo de retención de 6 días para un sistema de tres etapas³².

³² CEPIS: Curso de tratamiento y uso de agua residuales, pág. 53

El análisis parasitológico cualitativo realizado por el Departamento de Control de Calidad de EPSEL S.A. muestra que en el efluente de las lagunas de “Ciudad de Dios” que sale después de 20 días de la tercera etapa aparecieron los siguientes parásitos:

Ascaris lumbricoides, *Strongyloides stercoralis*, *Entamoeba histolítica* y *Balantidium coli*.

Se explica la presencia de estos parásitos por velocidades de flujo mayores a las que corresponden al tiempo de retención, provocadas por el remolino originado por los fuertes vientos que existen por las tardes (ver capítulo 5.2.1.3).

8. OPTIMIZACION Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA

8.1 Repartición del Afluente

Ya durante la puesta en marcha de las lagunas en la “Ciudad de Dios” se presentaron dificultades en la repartición del caudal afluente por el canal de distribución a las cuatro lagunas facultativas. El diseño de base había previsto sistema de repartición mediante ataguías de concreto armado, colgadas en alturas predeterminadas por agujeros. Hidráulicamente, estas ataguías trabajan como vertederos sumergidos.

Considerando que dicho tipo de vertedero es muy sensible a ligeros cambios del nivel del agua de afluente, la supervisión cambió parte del sistema de repartición por divisores fijos de concreto, manteniendo las ataguías sumergidas para el control del caudal individual de cada laguna. La división horizontal es menos sensible a la variación del caudal; sin embargo, la forma asimétrica del divisor y el ochavo de 0,25 m influyen la proporción de la repartición cuando varía el nivel del agua, ver Cuadro N° 8.1. Cabe señalar que los resultados del cálculo no consideran el efecto de la punta asimétrica, la magnitud de dicho efecto siendo diferente para cada divisor y caudal.

Cuadro N° 8.1: Repartición del caudal por los divisores fijos

Repartidores	F-1	F-2	F-3
Ancho canal	1,24	1,26	0,90
Ancho del pase	0,84	0,76	0,40
Ancho del desvío	0,30	0,40	0,40
Nivel del agua [m]		0,35	
Sección pase[m ²]	0,263	0,235	0,109
Sección desvío[m ²]	0,074	0,109	0,109
$Q_{afluente}/Q_{sección}$ calculado	22%	32%	50%
Repartición aforada	14%-21%	31%-36%	52%-56%
Repartición requerida	25%	33%	50%

Los aforos diarios muestran que la repartición del caudal afluente varía en un amplio rango lo que puede provocar la sobrecarga de una laguna con todos sus efectos negativos para la batería afectada y la calidad del efluente.

Durante la puesta en marcha se había calibrado el caudal destinado a cada laguna para varios caudales totales. Sin embargo, la **experiencia durante un año de operación muestra** que la repartición entre las lagunas facultativas y sobre todo entre las lagunas F-1 y F-2 no se mantiene en igual proporción. Consecuentemente persisten problemas con la repartición del caudal a las lagunas con efectos negativos sobre la eficiencia del conjunto de las dos baterías por diferencia en la carga orgánica y el tiempo de retención de las lagunas facultativas.

En vista de la dificultades constatadas y debido a la importancia de una repartición exacta (dentro de un rango de 5% relativos), aun con variación del caudal durante el día,

se plantea la sugerencia de la fabricación e instalación de aletas de bifurcación, tal como se muestran en el Anexo 8.1 en las estructuras como en la vista de la Fotografía 34.

El dispositivo descrito a continuación está expuesto al agua cruda que contiene composiciones corrosivas. Por lo tanto el material más idóneo para la fabricación de sus elementos es el acero inoxidable. Los principales elementos son la aleta para el desvío del caudal, la sujeción al divisor de concreto con la bisagra de la aleta, la varilla y los pernos para el ajuste.

La aleta está conformada por una placa de acero inoxidable de 400 mm x 1020 m con un espesor de 6 mm, sostenida por una bisagra a un perfil de anclaje. Para facilitar la instalación de dicho elemento, el anclaje consiste en un perfil L de acero galvanizado de 100 mm x 100 mm x 500 mm, fijado al divisor de concreto por dos tarrugos con pernos galvanizados de 12 mm de diámetro. En el lado expuesto a la corriente del agua tiene los bujes fijos de la bisagra; la aleta lleva los bujes móviles. Los bujes pueden ser de tubo galvanizado de 1/2" con un eje de diámetro apropiado. Una placa de acero galvanizado de 100 mm x 600 mm x 10 mm está soldada en posición perpendicular al perfil de anclaje, transversando el canal de desvío al nivel de la cabeza del muro.

El control de la posición se hace por pernos en la cresta de la aleta y de la placa que travesa el canal de desvío mediante una varilla de acero de 30 mm x 650 mm x 10 mm. La distancia de los pernos es de 50 mm (ejes) y también la varilla tiene agujeros a 50 mm de distancia. Por la combinación de pernos y agujeros se puede realizar aperturas de la aleta entre -6% hasta + 6% del valor neutro y de esta manera corregir la repartición del caudal de entrada a cada laguna.

8.2. Remoción de Natas

La remoción de una nata de sustancias orgánicas que contiene entre otras grasas y aceites, es normal en lagunas anaerobias y facultativas. Su control es una de las tareas de la operación de dichas lagunas. Con el motivo de facilitar dicho trabajo se planteó la recomendación de la fabricación de coladores (30 x 40 cm) con un mango de 2,5 m en forma de una pala, tal como se muestra en el Anexo 8.2. Los ensayos del manejo y de la eficiencia de esta "cuchara" por el Consultor y los operadores el día 08.02.1997 dieron buenos resultados (ver Fotografía 25), y por lo tanto se recomienda su reproducción en un número suficiente.

8.3. ACCIONES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

8.3.1 Aforo del Efluente

La variación horaria del caudal afluente durante el día es muy pronunciada. El aforo del efluente es más confiable porque el gran almacenamiento de las lagunas amortigua estas variaciones con el resultado que el caudal efluente es más uniforme y por lo tanto es más apropiado para medir el volumen de agua tratada por día.

Cabe señalar que los aforos reportados hasta la fecha se limitan a la medición de la unidad del segundo. Los cronómetros electrónicos utilizados permiten la medición de un decimo de segundo. La indicación de las fracciones aumenta la confiabilidad de las mediciones. La variación de la lectura entre mediciones repetitivas es normal y tiene su origen en la turbulencia del agua.

8.3.2 Observación del Estado de las Lagunas

El color y olor de las lagunas son un indicador de su estado biológico. Variaciones de dicho estado por cambios de la calidad y cantidad de aguas servidas, llegada de sustancias tóxicas o cambios de temperatura se manifiestan lo más antes en el color y olor de las lagunas y por lo tanto el monitoreo de estos parámetros es de suma importancia. Con relación a este aspecto según la información recopilada de Anexos A-4.3, refleja un estado bastante aceptable de operación.

La medición de la temperatura del agua se hizo en forma muy esporádica y con poca confiabilidad, aunque el Manual de Operación incluya como Anexo A-4.3.3 el formulario destinado a la recopilación de dicha información. El Consultor ha instruido por práctica a los operadores encargados en la medición de temperaturas, niveles y tiempos.

8.3.3 Procesamiento de Datos

Los formularios propuestos en el Manual de Operación permiten el registro de los datos en forma ordenada y por semana. De esta manera, el operador y la supervisión pueden tener ya a la vista cierta información sobre tendencias o desvíos del estado normal.

El simple registro de datos sobre hojas individuales sin embargo no constituye un instrumento de información para a Operación y el Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de las Aguas Servidas. El paso lógico para el monitoreo y la evaluación de la información recolectada es un procesamiento adecuado en forma de listas o gráficos para comparar los resultados obtenidos con las pautas. Considerando la facilidad que ofrecen los medios de computo, se recomienda utilizar una hoja electrónica diseñada a los fines de monitoreo de la Gerencia y de los Departamentos de Operación y Control de calidad.

8.3.4 Limpieza del By-pass

El by-pass antes de la cámara de rejas tiene una caja de 1,5 m x 2.0 m de largo y 1.0 m de profundidad. Esta caja sirve como grada para el desvío hacia el Dren 3000 de las aguas servidas cuando se sacan las pantallas. Se tiene la práctica de limpiar dicha poza por los sedimentos que se acumulan allí. Según la opinión del Consultor esta práctica no es necesaria ni recomendable por la emisión de sedimentos no tratados al medio ambiente.

Un argumento para defender la limpieza es la acumulación de sedimentos en dicho lugar. Cabe señalar que la poza no sirve de desarenador; en proyectos de lagunas de oxidación

por razones económicas no se proveen desarenadores. La sobreexcavación de un volumen que acumula los sedimentos para extraerlos durante la limpieza de turno de tres a cinco años es mucho menos costosa que la construcción de desarenadores y sus instalaciones para el lavado y la desinfección de los sedimentos.

8.4. PROYECTO DE ARBORIZACION Y VIVERO FORESTAL

La ubicación del Sistema de Lagunas de Estabilización dista aproximadamente unos 700 mts. de la población más cercana como es el P.J. "Ciudad de Dios", en ese sentido no hay inconveniente alguno para evitar una eventual difusión de malos olores provenientes de las Lagunas, ya que además de ello siendo las Unidades Primarias Facultativas y conservando el control de mantenimiento, se asegura evitar el mencionado problema a la Población.

El inconveniente está en la llegada del desagüe crudo a canal abierto, el cual dista aproximadamente a 200 mts. de las viviendas más cercanas, desprendiendo desde ese punto el olor característico del desagüe; por lo que desde ese sector se ha considerado la forestación a través de una cortina de árboles a fin de aislar el sistema del área poblacional, mientras que para el alrededor de las Unidades de Tratamiento se proyecta una doble cortina de árboles con el objetivo principal de contrarrestar la fuerza eólica y así evitar la erosión de los taludes expuestos a la acción de oleajes, al mismo tiempo de mejorar el ornato del lugar.

8.4.1. Arborización

Con el criterio de conseguir una franja perimétrica el cual debe ser utilizada para crear un área forestal que eleve las capas de viento desde el área de tratamiento hacia su curso direccional, detallamos a continuación el Proyecto:

ALREDEDOR DE LAS LAGUNAS

Ante ello, teniendo en cuenta que las dimensiones de largo y ancho de Arborización en el contorno del conjunto de Unidades de Tratamiento registra las medidas de 540 m. por 520 m. (ver Plano N° 14) y la dirección del viento varia de NE a NO (ubicándonos en la Caseta de Guardianía), entonces es recomendable la siembra de Plantones en doble cortina con especies de Eucaliptos o Casuarinas (distante a cada 2 mt. una de la otra) y de Molle (distante a cada 3 mt. una de la otra), sólo en los lados externos adyacentes al Canal de Distribución (y a una distancia promedio de 2 m.) así como el lado que parte de la Caseta de Guardianía (a 1 mt. distante del talud externo), como se puede observar en el detalle del Plano N° sobre Ubicación de Plantones.

DELIMITACION SUPERFICIAL

Con los objetivos principales de aislar el sistema en su conjunto del Area Urbana, así como el de mejorar el entorno ecológico del lugar se ha considerado una apreciable extensión de área perimetral mediante una cortina de árboles como Cerco vivo de Molles distante una de otra a cada 3 mts. para cubrir y encerrar prácticamente el terreno

adjudicado como es de 40 Has. Considerando además la superficie que ocupa el Banco de Escombros, observándose con mayor claridad en el Plano N° 15.

REQUERIMIENTO DE PLANTONES

Según el Plano de dimensiones

- El perímetro para ubicar a las especies más grandes (Eucaliptos, Casuarinas o Pinos) alcanza una longitud de 1995 mts. que ubicándolas a cada 2 mts. , el requerimiento será de un promedio de 1000 plantones.
- Asimismo, el perímetro para delimitar el Sistema a través de un complemento de especies plantones menores como el Molle tanto para conformar la doble cortina como para cerrar el Sistema en general, alcanza una longitud de 2140 mts., que ubicándolas a cada 3 mts. el requerimiento mínimo será de 720 plantones.

DISPOSICION DE TIERRA FERTIL

Con fines de asegurar un buen crecimiento de los Plantones mediante un riego semanal como mínimo con el efluente de las lagunas, y teniendo en cuenta que el terreno a ser ocupado por la franja perimetral cuenta con espesores superficiales de material salitroso, se considera conveniente el uso de tierra fértil; y si se determina que por cada plantón se requiere un volumen de tierra fértil en calicatas de 0.8 x 0.8 x 0.8 mts. equivalente a 0.512 m³/plantón, se calcula que el volumen mínimo a necesitar será de 880 m³.

8.4.2. Viveros Forestales

Un componente importante para el uso de aguas residuales es la implementación de Viveros Forestales, ya que diversas especies ornamentales, que sin ser un objetivo de una Entidad como EPSEL S.A., pueden ser producto del uso del Efluente con el extremo hasta de conseguir un beneficio a través de Convenios Inter-Institucionales que permita subvencionar los gastos de mantenimiento de la Planta.

Al respecto, el área forestal periférico de la Planta de Tratamiento puede suministrar la semilla requerida por el vivero. Dependiendo de las especies, éstas son procesadas hasta lograr su germinación en las "casas forestales", especialmente acondicionadas para dicho propósito. Luego, cada pequeño plantón se transplanta por separado en una bolsa plástica que contiene una mezcla de tierra fértil vegetal, arena y fertilizantes, en donde se mantiene durante un período de 2 a 6 meses bajo condiciones de invernadero o por lo menos bajo un techado rústico para protegerlo de la radicación solar directa. Al terminar esta etapa, los plantones están aptos para ser comercializados a precios que fluctúan entre \$ 1,00 a \$ 5,00 por unidad, de acuerdo a la especie y el tamaño.

El maltrato y robo de plantones utilizados para la forestación de jardines exteriores y áreas verdes públicas, ha generado una creciente demanda de árboles jóvenes en la ciudad. Este nuevo producto exige una etapa adicional de cultivo. Por ello, los plantones del vivero se transplantan a un área agrícola, en donde se colocan en líneas separadas por surcos a una distancia de 0.6 a 0.8 m y a razón de dos a tres unidades por m² según la especie. Este campo forestal se acondiciona con surcos para permitir el riego por gravedad con los efluentes de las lagunas de estabilización. Las especies forestales se manejan durante un periodo de dos a tres años hasta alcanzar los dos metros, talla

considerada aparente para su venta. Dependiendo de la especie y el tamaño alcanzado, los precios fluctúan a precios mucho mayores por unidad. Durante el periodo de crecimiento de estos árboles es posible intercalar algún cultivo agrícola de poca altura, como camote, papa y frijoles, entre otros. Dicha actividad se conoce como agroforestación y permite obtener ingresos adicionales, además de asegurar un flujo de caja durante el periodo previo a la comercialización de los árboles jóvenes.³³

8.5. ASPECTOS TECNICOS DE LA ACUICULTURA CON AGUAS RESIDUALES - PROYECTO DE INCURSION

8.5.1. Aspectos Técnicos

Los sistemas integrados de Plantas de tratamiento de aguas servidas y acuicultura son relativamente recientes y su desarrollo es promovido a nivel mundial por el Banco Mundial, especialmente en países en desarrollo como el Perú, ya que presentan alternativas de bajo costo para el tratamiento de las aguas servidas y la producción de alimentos. En la reunión de expertos en la materia, efectuada en DIC88 en Calcuta-India, se formularon entre algunas de las conclusiones respecto a esta tecnología lo siguiente:

- a. Aún cuando las lagunas de estabilización suelen diseñarse para tratar cargas orgánicas de 200 a 300 kg de DBO/ha/día, la acuicultura opera con niveles del orden de 10 a 20 kg de DBO/ha/día para garantizar un adecuado equilibrio entre la productividad, la demanda de oxígeno y el crecimiento de los peces. Esta diferencia de magnitud en el nivel de carga orgánica manejada por los sistemas de tratamiento de agua y acuicultura se logra mediante prácticas adecuadas de operación a fin de no perjudicar el alcance de los objetivos de ninguna de estas actividades.
- b. En general, se utilizan tres tipos de sistemas integrados:
 - un solo estanque de peces que recibe aguas servidas crudas directamente (por ejemplo, Calcuta);
 - estanques de crianza precedidos por algún tratamiento primario (por ejemplo, Hungría); y
 - estanques de crianza donde se vierten aguas residuales tratadas a las que se le ha eliminado agentes patógenos presentes en el crudo (por ejemplo en San Juan - Lima).

8.5.2. Alternativa de Incurcion con Fines de Mantenimiento

El sistema de Tratamiento de aguas residuales mediante Lagunas de Estabilización puede resultar ser eficiente para obtener una adecuada calidad sanitaria en el agua usada para la acuicultura como se dio en el Proyecto realizado en el Complejo de Lagunas de San Juan en Lima - (MAY87 a MAY90) con experiencias de evaluación de la calidad de agua aceptable desde Unidades Terciarias para el cultivo de Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), Carpa común (*Cyprinus carpio*) y Camarón gigante de Malasia (*Macrobrachium rosenbergii*) con objetivos de producción comercial.

³³ Moscoso J.; León G; Curso de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales, OPS/CEPIS/PUB/96.20.

Pero en principio la incursión del Sistema de Lagunas de "Ciudad de Dios" en la Acuicultura tiene el objetivo de cultivar peces como un medio de aporte al mantenimiento de las Unidades terciarias para el control de proliferación de mosquitos o insectos acuáticos y terrestres, rotíferos y crustáceos presentes en las lagunas, a través de especies como el pez GAMBUSIA (*Gambusia affinis*)³⁴, quienes resisten temperaturas hasta 35° C, bajo niveles de oxígeno Disuelto y altas salinidades.

Asimismo como un medio de control de maleza y natas vegetales, a través de la especie TILAPIA³⁵ (*Tilapia mossambica* y *Tilapia rendalli*), por cuanto son especies que resisten temperaturas mayores de 15°C, bajas concentraciones de Oxígeno Disuelto y fluctuaciones de PH.

Si bien es cierto que la biomasa de algas producida en las Lagunas constituye una excelente fuente alimenticia, pero su extracción y procesamiento aún resultan muy costosos, por tanto la alternativa del cultivo de peces en Unidades con efluentes tratados es una interesante opción para aprovechar la producción de algas. La Tilapia del Nilo es una especie apropiada para cultivarse en aguas tratadas, ya que tiene gran capacidad de filtrar el fitoplancton.

Aún cuando la Tilapia es una especie muy resistente, con alguna frecuencia se presentan casos de mortandad debido a la falta de oxígeno en el agua del estanque, ya que una proliferación excesiva del plancton puede provocar un descenso de oxígeno disuelto durante la noche, hasta llegar a niveles cero, que a veces se prolongan más de 8 horas continuas³⁶.

En resumen es necesario efectuar un manejo adecuado de las Lagunas de Estabilización de tal forma que permita obtener un efluente ideal para la acuicultura, en términos de calidad sanitaria, fertilidad y adaptación, dependiendo de los fines a buscar, como es el último caso para contribuir al mantenimiento del Sistema de Ciudad de Dios.

³⁴ Acuicultura de las Américas, 1980

³⁵ Meschkat, 1979

³⁶ Moscoso, J.; León, G.; Gil, E., 1991. Reuso en acuicultura de las aguas residuales tratadas en las Lagunas de Estabilización de San Juan, Sección II: Tratamiento de las Aguas Residuales y aspectos sanitarios. Lima: CEPIS.

9. CONCEPTOS GENERALES Y PRELIMINARES SOBRE LA EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL

Aspectos previos

El estudio del impacto ambiental 'ex-ante' forma parte de la Solicitud de Aprobación Sanitaria que la compañía consultora elaboró en Noviembre de 1995, es decir durante la construcción de las lagunas de estabilización en la "Ciudad de Dios". A la fecha del arranque de operación (Marzo 1996), los primeros resultados obtenidos durante la operación probatoria permiten una evaluación preliminar del impacto 'ex-post' de las lagunas.

Definición del estado meta

Con el objetivo de preservación toda perturbación del estado inicial de la naturaleza debe ser evitada y por ser inevitable por lo menos ser minimizada. Felizmente son raros los proyectos que se desarrollan en un medio ambiente original. Más frecuente son proyectos en un ambiente ya alterado por actividades antropógenas. En tales circunstancias el proyectista debe orientarse a restablecer lo más cercano posible una simbiosis entre la naturaleza y el hombre.

De especial valor son aquellos proyectos que tienen como objetivo el saneamiento ambiental donde el hombre trata de mitigar los impactos negativos de sus actividades anteriores. La lagunas de estabilización de "Ciudad de Dios" de Chiclayo pertenecen a este último grupo.

9.1. METODOLOGÍA

En la práctica existen varios métodos de evaluación. Uno de ellos es el análisis de riesgo ecológico que al mismo tiempo presenta el método más común. El formalismo de este método requiere la evaluación de los impactos que todas las posibles emisiones puedan tener sobre los potenciales ecológicos:

clima / aire; agua; suelo; especies / biótopos; uso humano.

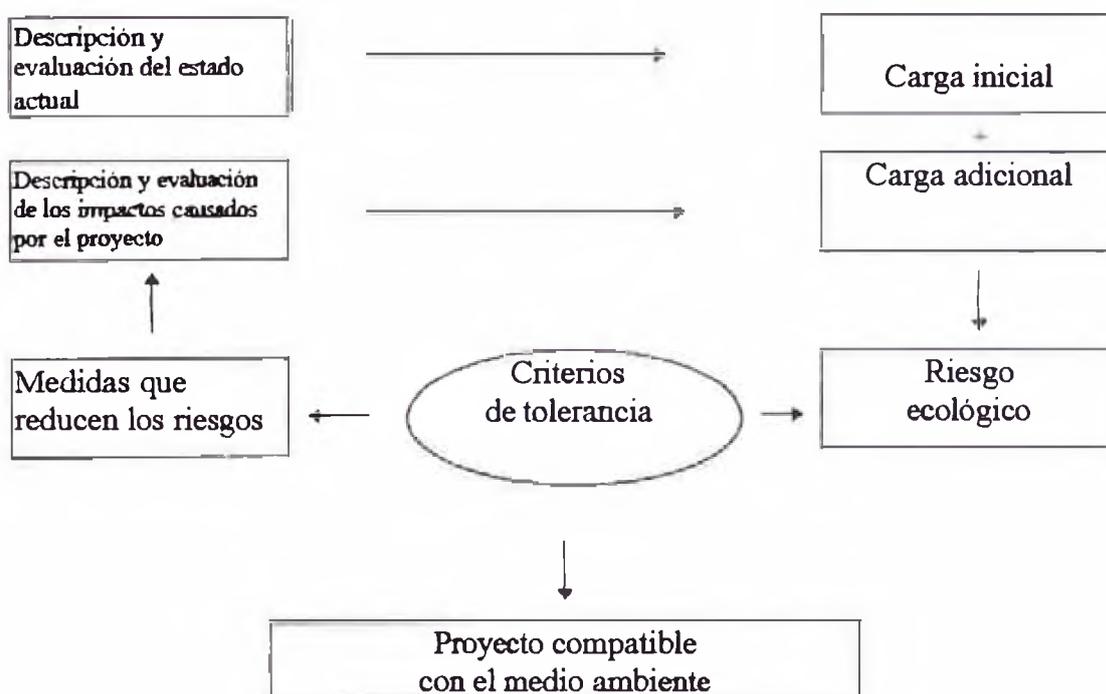
Por regla general el proceso del análisis de impacto ambiental (AIA) está condicionado por una legislación nacional de protección del medio ambiente o reglamentación específica. El Cuadro N° 9.1 da un resumen de los impactos ambientales de las lagunas de estabilización experimentados durante la operación probatoria.

Cuadro N° 9.1: Impactos ambientales de la laguna de estabilización

Consecuencias / impactos	Experiencia durante la operación probatoria
Descarga de aguas residuales en aguas superficiales	Reducción de 70% al 100% de las aguas servidas que se emite sin tratamiento biológico
Averías en el servicio	Ninguna
Evacuación de lodos de depuración	No aplica todavía
Emisiones de olores	Fuera del perímetro de las lagunas no perceptible
Impactos sobre flora y fauna	Enriquecimiento de las especies de flora y fauna representados en y alrededor de las lagunas
Impactos sobre los suelos	Falta la forestación de los bancos de escombros
Impactos sobre el balance hídrico	Disponibilidad de agua limpia en un ambiente desértico

El análisis de riesgo ecológico se basa en una combinación del estado actual de la naturaleza y del paisaje con un pronóstico de las consecuencias que se producirán por el proyecto. El riesgo ecológico se define por la diferencia entre los estados antes y después del proyecto. Basándose en este concepto se puede desarrollar medidas que contribuyan a reducir los riesgos. El gráfico siguiente muestra el esquema de tal análisis de riesgo ecológico.

Gráfico N° 9.1: Esquema del análisis de riesgo ecológico



Este método permite clasificar la misma medida como una medida crítica si es que es realizada en una región con altas contaminaciones o también como una medida factible si es que es realizada en una región con poca contaminación. El Reglamento de Evaluación se presenta tal y como está detallado en el Cuadro N° 9.2.

Cuadro N° 9.2: Reglamento General de Evaluación

CARGA TOTAL causa...	CARGA ADICIONAL es...	CARGA TOTAL es
peligro o impacto considerable; valores límites y valores básicos no son observados	perceptible y mensurable - carga no razonable	ALTA
impactos, pero los valores límites y valores básicos son observados	perceptible y mensurable - carga razonable	MEDIA
ningún impacto, ya que la carga no sobrepasa la carga marginal existente	no perceptible ni mensurable - carga razonable	REDUCIDA

9.2. RIESGO ECOLÓGICOS DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

9.2.1 Cargas

Las cargas producidas por las aguas residuales tienen la mayor importancia en este concepto. La planta de tratamiento emite un caudal promedio diario de 17,000 m³/d y abarca una superficie de 30 ha. Según los criterios establecidos en el **Cuadro N° 9.2** la carga total es MEDIA. Cabe destacar que la carga ambiental anterior según los mismos criterios es ALTA, y por tanto las lagunas de estabilización en el mismo lugar significa un alivio del medio ambiente en esta zona y una mejora de la salud pública.

Capacidad

La capacidad depuradora de las medidas en remoción de contaminación alcanza y sobrepasa la eficiente proyectada:

Cuadro N° 9.3: Capacidad depuradora

Parámetro	Grado de eficiencia
DBO5	94.4%
Colif. Fecales	99.99%

En cuanto a la situación bacteriológica se puede constatar que en el efluente de las lagunas de estabilización, los valores NMP de coliformes fecales quedan claramente por debajo del límite de 1.000 NMP/100 ml, ver **Cuadro N° 5.4**. El grado de eficiencia de la eliminación de bacteria se obtiene sobre todo a través del tratamiento por tres etapas con tiempos de retención óptimos de cada etapa. La retención total es de 20 días. Se puede asumir una eliminación suficiente de los huevos helmintos ya que los 11 días estipulados para este proceso)³⁷ se sobrepasan por casi el doble.

³⁷ Mara & Cairncross: Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture: Methods for Public Health Protection; WHO/UNEP Publication

9.2.2 Averías

Cuando más sofisticada sea la técnica de una Planta de Tratamiento, más grande es el peligro de que ocurran averías. La susceptibilidad técnica de las lagunas de estabilización es más bien reducida:

1. El equipamiento mecánico de la planta no tiene parte móviles.
2. La planta consiste en dos baterías independientes. En caso de que una de las dos vías se averíe la capacidad de tratamiento se reduce debido a tiempos de retención reducidos, sin embargo se puede excluir con seguridad total que la capacidad depuradora falle por completo.

El riesgo que se puede producir por averías en el servicio es bastante reducido. Las medidas que reducen los posibles riesgos son sobre todo las medidas de protección de la actividad biológica en las lagunas de estabilización. Este peligro tiene su origen sobre todo en las aguas residuales tóxicas, por lo cual éstas deben de ser reducidas de forma eficaz en el lugar donde son generadas.

9.2.3 Lodos Residuales

La evacuación final de los lodos residuales es el único factor que no depende de la ubicación. Por regla general los lodos son transportados a una cierta distancia del sitio en el que son producidos y por lo tanto no causan impactos en el sitio de su producción. En las lagunas de estabilización de la ciudad de Chiclayo el problema de los lodos residuales sólo se presentarán cada tres años. Para facilitar la evacuación de los lodos el funcionamiento de la planta es limitado a una sola vía. Durante este período se desvía el excedente a las nuevas lagunas que están previstos en el Proyecto de Alcantarillado de Chiclayo.

La cantidad de lodos residuales que se produce en las lagunas cada 3 años asciende a 13,500m³. Al cabo de estos tres años los lodos han sido lo suficientemente digeridos y no causan ningún problema higiénico. Para la evacuación final de los lodos residuales se han discutido dos alternativas:

(1) Utilización en la agricultura

El ciclo al cual los lodos son introducidos en esta alternativa corresponde al principio de la persistencia ecológica. Las sustancias nutritivas que se encuentran en los lodos residuales hacen innecesaria la aplicación de abonos e incrementan la fertilidad de los suelos. Para esta opción hay que considerar las medidas de reducción de riesgos, las que en primer plano exigen la eliminación de gérmenes patógenos y sustancias nocivas de difícil descomposición.

(2) Evacuación final en un vertedero

La evacuación final de los lodos residuales es una solución que se requiere en el caso de una alta concentración de sustancias nocivas. En este caso no se puede cumplir con el principio de la persistencia ecológica.

Ambas opciones comprenden un riesgo ecológico limitado, siendo que se deberá dar preferencia a la utilización de los lodos en la agricultura.

9.2.4 Estimación de Impactos causados por malos olores

Las lagunas facultativas en régimen anero bio emiten malos olores, no obstante que la magnitud depende en forma sensible de la operación (control del flujo y natas) y del mantenimiento. Estos olores están causados por sobre todo por metano y gas sulfhídrico. El grado de molestia depende de la distancia, de la velocidad de viento y de obstáculos que se encuentran entre la fuente y viviendas. Además se tiene que considerar el nivel general de molestia por olores.

La operación probatoria ha mostrado que no se siente un olor de las lagunas aún las facultativas de la batería B está trabajando en régimen anaerobia. En el caso de las lagunas de “Ciudad de Dios” al Sur de la urbanización del mismo nombre se clasifica el nivel de molestia por malos olores como REDUCIDO.

10. SISTEMAS FUTUROS EN PROCESO DE EJECUCION Y PROYECTADOS (LAGUNAS DE ESTABILIZACION DE: SAN JOSE, PIMENTEL Y CHACUPE), PARA EL TRATAMIENTO TOTAL DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CHICLAYO.

ALCANCES GENERALES

La Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque (EPSEL S.A.) es la ejecutora del Programa de Obras de Saneamiento de la ciudad de Chiclayo con fondos de la Cooperación Financiera oficial otorgada por la República Federal de Alemania a través del Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW).

Conscientes de la necesidad de reducir la contaminación por las aguas servidas de los cultivos bajo riego de la fauna y flora y de las playas, así como de la necesidad de ampliar el área urbana conectada al sistema de alcantarillado a fin de contribuir a una disminución de los riesgos para la salud de los habitantes de la ciudad de Chiclayo así como de los agricultores y habitantes de San José y de la zona costera contigua, el 19 de Diciembre de 1994 se firmó entre la República del Perú y la República Federal de Alemania representada por KfW, el Contrato de Aporte Financiero y de Ejecución del Proyecto "Sistema de Alcantarillado de Chiclayo" de DM 30 millones (marcos alemanes).

El 18 Abril 95, se firmó el Acuerdo Separado al Contrato de Aporte Financiero y de Ejecución del proyecto, que define los detalles y las modalidades de su ejecución. Dicho acuerdo fija igualmente como sigue, el monto final del proyecto y de la contrapartida nacional del Perú:

Monto a financiar por el aporte alemán	:	DM	30'000,000.00
Monto de la contrapartida peruana	:	DM	12'855,000.00
<hr/>			
Monto total del proyecto	:	DM	42'855,000.00
(equivalente en dólares aprox. de	:	US \$	26'785,000.00

Según el Contrato de Consultoría firmado el 29 Ago 95 el Consorcio GWK CONSULT/SANIPLAN, se encarga de la elaboración de los diseños detallados, formulación de los documentos de Licitación y de la Supervisión de las obras. El contrato de Consultoría está financiado en parte con recursos del Aporte Financiero del KfW a EPSEL S.A. y en parte con financiamiento del Gobierno Peruano.

Los Servicios de los Consultores incluyen la verificación, valorización, supervisión y la puesta en marcha de las obras en ejecución (Emisor Norte-Norte y 08 Lagunas de Estabilización-Ciudad de Dios) finalizados en FEB 96, que constituyen el aporte nacional al Proyecto con el financiamiento del Gobierno Peruano a través del Programa Nacional de Agua Potable y Alcantarillado del Perú (PRONAP).

En cumplimiento a una programación establecida, con fecha 05MAY96, mediante Carta Nro.163-96/DP, GKW-SANIPLAN presentó a EPSEL SA, los Diseños Definitivos de Lagunas de “San José”, “Pimentel” y “Chacupe” incluyendo además “Redes de Alcantarillado de Chiclayo”, para su aprobación.

La Aprobación de los Diseños Definitivos presentados a EMAPAL (ahora EPSEL S.A.) corresponden estrictamente a los aprobados, mediante Acta suscrita el 30.04.96 (véase Anexo 10.1).

10.1 DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS

Básicamente el criterio de diseño para los tres sistemas a describir, ha sido enfocado desde el punto de vista del uso de las aguas residuales tratadas en la agricultura, y de acuerdo a la calidad del efluente ha sido decidido en base al tipo de cultivos a regar, basándose en la reglamentación sanitaria vigente.

Lagunas de San José

La planta de tratamiento de aguas residuales ha sido concebida como una unidad compacta con 12 Lagunas (6 Anaerobias y 6 Facultativas) orientadas de Este a Oeste. El conjunto de Lagunas conforman 6 baterías, compuestas a su vez por una laguna anaerobia y una facultativa. El área total de lagunas diseñadas es de 48.00 Has.

Cada Laguna Anaerobia consta de 2 ingresos y una salida, mientras que cada Laguna Facultativa dispone de un solo ingreso y dos salidas, así como sus respectivas rampas de acceso para la limpieza periódica.

La planta cuenta además de un patio de operaciones conformado por el edificio de control, camino de acceso y guardiana de ingreso (ver Planos de Lagunas San José N° 16).

Las lagunas de San José, cuentan con una capacidad de tratamiento de 76,856 m³/día equivalente a 890 lt/seg., y su efluente previsto hasta el año 2005 corresponde a la categoría “B” de las aguas servidas de utilización agrícola establecidas en la Ley General de Aguas.

En caso se requiera aguas residuales de categoría “B” a partir del año 2005, se propone la desinfección mediante aplicaciones de radiaciones ultravioleta.

Debido a la presencia fuertes vientos esta planta cuenta con dispositivos de protección de los diques contra la erosión que pueda producir el oleaje.

Lagunas de Pimentel

La planta de Pimentel contará con 4 lagunas del tipo facultativas y 2 lagunas de maduración. Las lagunas facultativas contarán con dos ingresos y una salida, mientras

que las de maduración solamente tendrán una estructura de ingreso y salida por laguna. El área total de las lagunas es de 10.00 Has.

Además la planta de tratamiento contará con un patio de operaciones en donde se proyectará el edificio de control, caminos de acceso y la vigilancia (ver Planos Lagunas de Pimentel N° 17).

Estas lagunas cuentan con una capacidad de tratamiento de 7,349 m³/día equivalente a 85 lt/seg., y su efluente corresponde a la categoría "C" de la clasificación establecida en la Ley General de Aguas para la utilización de aguas servidas en la agricultura.

Las aguas residuales tratadas podrán ser aprovechados en las labores agrícolas siempre que se cumpla con producir los cultivos indicados en el presente documento, al efecto, los agricultores deberán construir sus propias estaciones de bombeo fuera del área de las lagunas para extraer el agua necesaria en sus labores agrícolas. En los casos en que no pueda ser aprovechado en las labores agrícolas, los excedentes podrán ser descargados al mar a través del Dren 3000 que pasa próxima al área de tratamiento.

Lagunas Chacupe

La planta de Chacupe contará con dos baterías conformadas de la siguiente manera: 4 lagunas del tipo facultativas (2 primarias y 2 secundarias) y una laguna de maduración. Las lagunas facultativas contarán con dos ingresos y una salida, mientras que las de maduración solamente tendrán una estructura de ingreso y salida por laguna. El área diseñada es de 18 Has.

Además la planta de tratamiento contará con un patio de operaciones en donde se proyectará el edificio de control, caminos de acceso, y la vigilancia. (ver Planos Lagunas Chacupe N° 18).

Esta planta tiene una capacidad de tratamiento de 11,252 m³/día equivalente a 130 lt/seg., y su efluente corresponde a la categoría "A", que era necesario en vista de la presencia de los cultivos de esta clase que se efectúan en esta zona. La alta calidad de efluente requiere propuestas más costosas para su ejecución.

La presencia de fuertes vientos ha llevado a considerar el diseño de losa de mampostería de 1 m. de alto, como protección contra el oleaje.

Las aguas residuales tratadas podrán ser aprovechados en las labores agrícolas siempre que se cumpla con producir los cultivos indicados en el presente informe, al efecto, los agricultores deberán construir sus propias estaciones de bombeo fuera del área de las lagunas para extraer el agua necesaria en sus labores agrícolas. En los casos en que no pueda ser aprovechado en las labores agrícolas, los excedentes podrán ser descargados al mar a través del Dren 4000 que pasa próxima al área de tratamiento.

La zona de ejecución de las lagunas Chacupe, fue reubicada en el mes de abril 96, las condiciones difíciles para la construcción como son los grandes volúmenes de excavación y el alto nivel freático hicieron aumentar sustantivamente los costos.

10.2. COSTO PRESUPUESTAL DEL PROYECTO COMPLETO.

A continuación procedemos con el resumen de la totalidad de los diseños efectuados:

- Laboratorio Central para Control de Agua Potable y Residual.
- Equipamiento del Laboratorio Central.
- Emisores, colectores primarios, secundarios y de relleno en una longitud de 89,942.63 m.
- Plantas de tratamiento de desagües de San José, Pimentel y Chacupe con una capacidad total de tratamiento de 95,457 m³/día equivalente a 1105 lt/seg.

El conjunto de estos trabajos supera físicamente a las metas previstas en el Presupuesto Ajustado del Proyecto Integral de (Acta suscrita el 30.04.96 - Anexo 10.1) y su requerimiento económico ha sufrido un considerable incremento debido a la incorporación de nuevos colectores secundarios ha solicitud de EMAPAL (ahora EPSEL S.A.), para paliar las deficiencias sanitarias en zonas muy deprimidas de Chiclayo, así también tenemos que la reubicación de las lagunas de Chacupe y los resultados de los estudios complementarios efectuados en las canteras seleccionadas para la obtención del material impermeable de diques y fondos de lagunas, arrojan como resultado la necesidad de estabilizar dichos materiales, por su configuración salino-sódicas, con los consiguientes mayores costos que representa. (ver Plano N° 19 - Esquema General Ubicación de los Proyectos).

10.3. ALTERNATIVAS

En base al Presupuesto de Aporte por el Gobierno de Alemania y contrapartida de nuestro Gobierno, como monto financiero disponible, se presentaron 02 alternativas.

ALTERNATIVA "A"

La presente propuesta ha tomado en consideración los alcances previstos en el cuadro de costos que forma parte del Acuerdo Separado suscrito entre EMAPAL (ahora EPSEL S.A.) y el KfW, los diseños complementarios incluidos en las reprogramaciones aprobadas, así como, el Presupuesto Ajustado del Proyecto Integral que forma parte del Acta suscrita el 30.04.96 con representantes de EMAPAL y la misión KfW.

Durante la ejecución del proyecto se presenta una acción fundamental que corresponde a la incorporación de los diseños de infraestructura básica de los siguientes sistemas:

Sistema Chacupe: Compuesto por el Colector Evitamiento, Emisor Monsefú y Lagunas Chacupe.

Presupuesto para el Proyecto completo
PROPUESTA DEL METRADO AJUSTADO DEL PROYECTO INTEGRAL
 PROYECTO DE AMPLIACION DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE CHICLAYO
 PRESUPUESTO TOTAL

OBRAS	METRADO	COSTO DIRECTO (INVOS. SOLES)	COSTO DIRECTO (U.S. \$)	COSTO DIRECTO (DM)
LOTE 1: "LABORATORIO CENTRAL"				
LOTE 1 A: "CONSTRUCCION OBRAS CIVILES"		180.461,69	70.769,29	109.692,40
LOTE 1 B: "EQUIPAMIENTO"		391.445,26	153.588,34	237.857,92
TOTAL DEL PRESUPUESTO DEL LOTE 1		571.907,95	224.357,63	347.550,32
LOTE 2 A: "REDES DE ALCANTARILLADO"				
EMISORES Y COLECTORES PRIMARIOS				
EMISORES				
GENERAL	1106,47	937.760,96	367.749,40	570.011,56
BY-PASS	119,53	25.466,85	9.267,00	15.479,85
PIMENTEL	853,43	487.963,01	191.358,04	296.604,97
MONSEFU	6635,45	2.288.985,01	897.641,18	1.391.343,83
	8714,88	3.740.175,83	1.466.736,62	2.273.440,21
COLECTORES PRIMARIOS				
EVITAMIENTO	5422,71	1.270.940,35	498.407,88	772.532,37
PIMENTEL	4934,8	691.776,75	271.235,00	420.491,75
SAN ANDRES	2236,6	420.752,48	165.090,97	255.751,51
SAN LUCAS NORTE	650	100.430,03	39.384,33	61.045,70
SAN LUCAS SUR	510,08	83.734,57	32.637,09	50.897,48
NINO HEROE	396,27	68.503,99	26.264,31	41.639,68
SAN LORENZO	595,93	90.888,34	35.642,49	55.245,85
LEGUIA	1542,03	248.775,35	96.774,88	150.001,07
PRO CERES	2479,81	485.641,43	190.447,62	295.193,81
ALAN BEAR	575,32	71.696,57	28.116,30	43.580,27
PANAMA NORTE	901,98	122.752,57	48.139,26	74.614,31
PANAMA SUR	604,56	70.870,34	27.792,29	43.078,05
CENTRAL BOLOGNESI	1166,25	477.753,57	187.354,34	290.399,23
PROLONGACION CENTRAL BOLOGNESI	4325,31	1.440.144,55	564.762,57	875.381,93
	26.341,55	6.642.661,49	2.212.800,43	3.429.863,06
COLECTORES SECUNDARIOS				
NICARAGUA	180,00	28.206,05	11.061,20	17.144,85
PARAGUAY ESTE	270,00	51.043,53	20.017,07	31.026,46
EL OBRERO	516,15	74.188,40	29.093,49	45.094,91
JORGE CHAVEZ	734,70	135.588,10	53.163,26	82.404,14
ELIAS AGUIRRE Y LINEA DE IMPULSION	450,58	41.883,74	16.425,00	25.458,74
CHOFER I	1.459,00	228.743,14	89.703,19	139.039,95
CHOFER II	1.529,00	257.763,58	101.093,76	156.679,82
SAN MATEO	202,10	44.893,10	17.605,14	27.287,96
LA VICTORIA	575,00	92.139,33	36.133,07	56.006,26
	5.916,63	954.448,97	374.285,88	580.143,09
COLECTORES DE RELLENO				
NUEVO SAN LORENZO	5.060,73	424.425,41	166.441,34	257.984,07
VARIOS A.A.H.H. (S)	3.282,06	258.159,56	101.239,04	156.920,52
LUIS S., ROSA C., SANTO T. Y 4 DE NOVIEMBRE	5.320,00	367.365,86	144.065,04	223.300,82
UPIS CASABLANCA	3.858,00	333.605,75	133.178,73	200.427,02
JORGE CHAVEZ	2.710,50	285.010,99	111.769,02	173.241,97
EL CHOFER	8.116,50	649.562,70	254.729,47	394.833,23
JOSE LOPEZ ALBUJAR	1.253,50	124.899,79	48.980,31	75.919,48
LA VICTORIA	3.694,70	332.809,97	130.513,71	202.296,26
LAS PALMERAS	1.097,50	72.668,07	28.487,28	44.170,79
FRANCISCO Y BUENOS AIRES	2.214,30	207.933,80	81.542,67	126.391,13
ZAMORA CHINO	1.370,10	142.083,96	55.719,36	86.364,60
CERROPON	2.765,80	231.098,41	90.629,83	140.471,58
ABANTO CALLE	5.826,00	488.496,19	191.567,13	296.929,06
	46.669,69	3.924.100,46	1.538.682,93	2.386.297,53
TOTAL DEL PRESUPUESTO DEL LOTE 2 A	87.542,75	14.261.386,75	5.692.692,66	8.668.673,89
LOTE 2 B: "SUMINISTRO DE TUBERIAS"				
SUMINISTRO DE TUBERIAS DE CONCRETO FABRICADAS CON CEMENTO TIPO V (+3%) CARGUIO, TRANSPORTE Y DESCARGA EN LOS CENTROS DE ACOPIO DE TUBERIAS (+3%)	85.084,00	4.708.600,58	1.846.548,03	2.862.090,55
	85.084,00	365.783,57	143.044,54	222.339,03
TOTAL DEL PRESUPUESTO DEL LOTE 2 B	85.084,00	5.074.384,15	1.989.592,57	3.084.429,58

Evaluación, Optimización y Mejoramiento del Sistema Operativo de Lagunas de Estabilización de Ciudad de Dios-San José en el Dpto. de Lambayeque

LOTE 2 C: REHABILITACION DE COLECTORES				
CAMBIO DE COLECTORES		192.000,00	75.294,12	116.705,88
ADQUISICION DE EQUIPOS DE LIMPIEZA		720.000,00	282.352,94	437.647,06
TOTAL DEL PRESUPUESTO LOTE 2C		912.000,00	357.647,06	554.352,94

TOTAL DEL PRESUPUESTO LOTE 2		20.247.770,90	7.939.894,49	12.307.876,41
-------------------------------------	--	----------------------	---------------------	----------------------

LOTE 3: CONSTRUCCION DE LAS LAGUNAS SAN JOSE Y PIMENTEL				
LAGUNAS SAN JOSE (LAGUNAS EDIF. CONTROL, VIGILANCIA)		15.339.117,88	6.015.340,35	9.323.777,53
LAGUNAS PIMENTEL (LAGUNAS EDIF. CONTROL)		3.176.557,37	1.245.708,77	1.930.848,60
LAGUNAS CHACUPE (LAGUNAS EDIF. CONTROL)		10.381.963,23	4.071.358,13	6.310.605,10
TOTAL DEL PRESUPUESTO LOTE 3		28.897.638,48	11.332.407,25	17.565.231,23

LOTE 4: CONSTRUCCION DE POZO TUBULAR PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA LAVADO				
CONSTRUCCION Y EQUIPAMIENTO DE POZO TUBULAR		280.500,00	110.000,00	170.500,00
TOTAL DEL PRESUPUESTO LOTE 4		280.500,00	110.000,00	170.500,00

TOTAL DE LOTE 1, LOTE 2, LOTE 3 Y LOTE 4		49.097.797,33	19.606.379,35	30.390.817,98
---	--	----------------------	----------------------	----------------------

GASTOS GENERALES Y UTILIDAD (20%)		9.769.559,38	3.836.232,76	5.933.326,62
IMPREVISTOS (5%)		2.454.889,87	990.348,97	1.464.540,90
TOTAL DE OBRAS SIN IGV		12.224.449,25	4.826.581,73	7.397.867,52

IGV 18% (CREDITO FISCAL, EMAPALI)		11.028.814,50	4.324.240,98	6.704.573,52
OBRAS INCLUIDO IGV		12.224.449,25	4.826.581,73	7.397.867,52
INGENIERIA		4.212.848,42	1.652.097,47	2.560.750,95

TOTAL DEL PROYECTO SIN IGV		23.453.263,75	8.803.410,18	14.652.441,04
TOTAL DEL PROYECTO INCLUIDO IGV		34.482.118,25	13.179.998,43	21.302.119,56

50/10/1996	400 PM	10US\$ = D.M	1,55
		10US\$ = S/.	2,55
			0,6996

Nota: El Lote 1B, Lote 2B, y la adquisición de equipos de limpieza del lote 2C no se les está afectando por el 20% de GGU y UTIL.

Donacion Alemana para el Proyecto			30.000.000,00
Remanente	16.118.090,29	6.330.219,72	9.797.270,57
	S/.	S	D.M

Presupuesto para el Proyecto completo

PROPUESTA DEL METRADO AJUSTADO DEL PROYECTO INTEGRAL

PROYECTO DE AMPLIACION DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE CHICLAYO

ALTERNATIVA "A"

OBRAS	METRADO	COSTO DIRECTO (MVS. SOLES)	COSTO DIRECTO (U.S. \$)	COSTO DIRECTO (DM)
LOTE 1 : "LABORATORIO CENTRAL"				
LOTE 1 A : "CONSTRUCCION OBRAS CIVILES"		180.461,69	70.769,29	109.692,40
LOTE 1 B : "EQUIPAMIENTO"		391.446,26	153.508,34	237.937,92
TOTAL DEL PRESUPUESTO DE LOTE 1		571.907,95	224.277,63	347.630,32
LOTE 2 A : "REDES DE ALCANTARILLADO"				
EMISORES Y COLECTORES PRIMARIOS				
EMISORES				
GENERAL	1106,47	937.760,96	367.749,40	570.011,56
BY-PASS	119,53	25.466,85	9.987,00	15.479,85
PIMENTEL	853,43	487.963,01	191.358,04	296.604,97
MONSEFU	6635,45	2.288.985,01	897.641,18	1.391.343,83
	8714,88	3.740.175,83	1.466.735,62	2.273.440,21
COLECTORES PRIMARIOS				
EVITAMIENTO	2422,89	696.167,07	273.006,69	423.160,38
PIMENTEL	2534,76	376.008,82	147.454,44	228.554,33
SAN ANDRES	2236,6	420.752,48	165.000,97	255.751,51
SAN LUCAS NORTE	650	100.430,03	39.384,33	61.045,70
SAN LUCAS SUR	510,08	83.734,57	32.837,09	50.897,48
NIÑO HEROE	396,27	68.503,99	26.864,31	41.639,68
SAN LORENZO	595,93	90.888,34	35.642,49	55.245,85
LEGUIA	1542,03	246.775,96	96.774,88	150.001,07
PROCERES	2479,81	485.641,43	190.447,62	295.193,81
ALAN BEAR	575,32	71.696,57	28.116,30	43.580,27
PANAMA NORTE	901,98	122.752,57	48.138,26	74.614,31
PANAMA SUR	604,56	70.870,34	27.792,29	43.078,05
CENTRAL BOLOGNESI	1166,25	477.753,57	187.354,34	290.399,23
PROLONGACION CENTRAL BOLOGNESI	4325,31	1.440.144,55	564.762,57	875.381,98
	20.941,79	4.752.120,28	1.863.576,58	2.888.543,70
COLECTORES SECUNDARIOS				
NICARAGUA	180,00	28.206,05	11.061,20	17.144,85
PARAGUAY ESTE	270,00	51.043,53	20.017,07	31.026,46
EL OBRERO	516,15	74.188,40	29.093,49	45.094,91
JORGE CHAVEZ	734,70	135.568,10	53.163,96	82.404,14
ELIAS AGUIRRE Y LINEA DE IMPULSION	450,58	41.883,74	16.425,00	25.458,74
CHOFER I	-	-	-	-
CHOFER II	-	-	-	-
SAN MATEO	202,10	44.893,10	17.605,14	27.287,96
LA VICTORIA	-	-	-	-
	2.353,53	375.782,92	147.365,86	228.417,06
COLECTORES DE RELLENO				
NUEVO SAN LORENZO	-	-	-	-
VARIOS A.A. H.H. (6)	3.282,06	258.159,56	101.239,04	156.920,52
LUIS S., ROSA C., SANTO T. Y 4 DE NOVIEMBRE	-	-	-	-
UPIS CASABLANCA	-	-	-	-
JORGE CHAVEZ	2.710,50	285.010,99	111.769,02	173.241,97
EL CHOFER	-	-	-	-
JOSE LOPEZ ALBUJAR	1.253,50	124.899,79	48.980,31	75.919,48
LA VICTORIA	-	-	-	-
LAS PALMERAS	-	-	-	-
FRANCISCO Y BUENOS AIRES	2.214,30	207.933,80	81.542,67	126.391,13
ZAMORA CHINO	1.370,10	142.063,96	55.711,36	86.352,60
CERROPON	-	-	-	-
ABANTO CALLE	5.826,00	488.496,19	191.567,13	296.929,06
	16.656,46	1.506.584,29	598.809,53	915.754,76
TOTAL DEL PRESUPUESTO DEL LOTE 2 A	48.666,66	10.374.643,32	4.068.487,59	6.306.155,73

Evaluación, Optimización y Mejoramiento del Sistema Operativo de Lagunas de Estabilización de Ciudad de Dios-San José en el Dpto. de Lambayeque

LOTE 2B : "SUMINISTRO DE TUBERIAS"				
SUMINISTRO DE TUBERIAS DE CONCRETO FABRICADAS CON CEMENTO TIPO V (+ 3%) CARGUIO, TRANSPORTE Y DESCARGA EN LOS CENTROS DE ACOPIO DE TUBERIAS (+3%)	45.561,00	3.797.928,03	1.489.383,54	2.308.544,49
	45.561,00	264.300,88	103.647,40	160.653,48
TOTAL DEL PRESUPUESTO DEL LOTE 2 B	45.561,00	4.062.228,91	1.593.030,94	2.469.197,97

LOTE 2 C : "REHABILITACION DE COLECTORES"				
CAMBIO DE COLECTORES		192.000,00	75.294,12	116.705,88
ADQUISICION DE EQUIPOS DE LIMPIEZA		720.000,00	282.352,94	437.647,06
TOTAL DEL PRESUPUESTO LOTE 2C		912.000,00	357.647,06	554.352,94

TOTAL DEL PRESUPUESTO LOTE 2		15.348.872,23	6.019.165,50	9.329.706,64
-------------------------------------	--	----------------------	---------------------	---------------------

LOTE 3: "CONSTRUCCION DE LAS LAGUNAS SAN JOSE Y PIMENTEL"				
LAGUNAS SAN JOSE (LAGUNAS EDIF. CONTROL, VIGILANCIA)		13.013.887,88	5.103.495,44	7.910.402,44
LAGUNAS PIMENTEL (LAGUNAS EDIF. CONTROL)		6.208.723,12	2.434.793,39	3.773.929,74
LAGUNAS CHACUPE (LAGUNAS EDIF. CONTROL)		1.845.718,04	723.811,00	1.121.907,04
TOTAL DEL PRESUPUESTO LOTE 3		21.068.329,04	8.262.089,82	12.806.239,22

LOTE 4 : "CONSTRUCCION DE POZO TUBULAR PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA LAVADO"				
CONSTRUCCION Y EQUIPAMIENTO DE POZO TUBULAR		280.500,00	110.000,00	170.500,00
TOTAL DEL PRESUPUESTO LOTE 4		280.500,00	110.000,00	170.500,00

TOTAL DE LOTE 1, LOTE 2, LOTE 3 Y LOTE 4		37.269.609,22	14.615.533,03	22.654.076,19
---	--	----------------------	----------------------	----------------------

GASTOS GENERALES Y UTILIDAD (20%)	6.416.186,81	2.517.328,16	3.901.859,65
IMPREVISTOS (5%)	1.863.480,46	730.776,65	1.132.703,81
TOTAL DE OBRAS SIN IGV	45.552.276,49	17.883.837,84	27.888.638,65

IGV 18% (CREDITO FISCAL, EMAPAL)	8.199.409,77	3.215.454,81	4.983.954,96
OBRAS INCLUIDO IGV	53.751.686,26	21.079.092,65	32.672.593,61
INGENIERIA	4.212.848,42	1.652.097,42	2.566.751,00

TOTAL DEL PROYECTO SIN IGV	49.765.124,91	19.515.735,26	30.249.389,65
TOTAL DEL PROYECTO INCLUIDO IGV	57.964.534,68	22.731.190,07	35.233.344,61

30/11/1996	4 00 P.M.	1055 = OM	1,55
		1055 = Sf.	2,55
			Oct-98

Nota: El Lote 1B, Lote 2B, y la adquisición de equipos de limpieza del lote 2C no se les está afectando por el 20% de GGU y UTIL.

Donación Alemana para el Proyecto	30.000.000,00
--	----------------------

Remanente	-410.280,20	-188.090,55	-248.389,65
	Sf.	!	U.M.

Sistema Pimentel: Compuesto por el Colector Pimentel, Emisor Pimentel y Lagunas Pimentel.

La elaboración de los diseños en mención, tiene como base el desarrollo de la ciudad de Chiclayo, previsto en el Plan Director con proyecciones hasta el año 2020; teniendo en consideración lo anotado en los párrafos anteriores, esta propuesta considera necesaria la construcción de unidades básicas de los sistemas Sur (futuro) y Sistema Suroeste, con la finalidad de contribuir con la implementación de los servicios fundamentales, para el crecimiento ordenado de la ciudad a pesar del alto costo que representa (ver Plano N° 20).

ALTERNATIVA "B"

Esta alternativa consiste en lo siguiente:

Ejecutar la totalidad de los diseños desarrollados para el sistema Norte-Sur con excepción de un tramo del Colector Central (5.400 m) correspondientes al Sector Pomalca. Postergado para ejecución futura.

Ejecutar en su integridad el Sistema Pimentel, es decir el colector y Emisor Pimentel y 2 baterías de lagunas de estabilización.

Postergar la ejecución del Sistema Chacupe (ver Plano N° 21).

COMENTARIO Y RESUMEN

Durante el proceso de formulación del Proyecto Integral se realizaron estimaciones preliminares de los costos, dando como resultado que la cantidad de los recursos disponibles podían cubrir la totalidad de las obras a ejecutarse no sólo en la parte Norte (de conformidad al Acuerdo Separado y los términos de referencia), sino que permitirían también la ejecución de las obras en los Sistemas Chacupe y Pimentel.

Después de una detallada revisión de los costos durante el periodo de elaboración de los documentos de Licitación y el presupuesto se ha concluido la falta de importantes recursos económicos. El aumento de costos se ha producido por los siguientes aspectos:

- a) Reubicación de la Lagunas de Chacupe con un mayor costo de las obras por el incremento del movimiento de tierras.
- b) Estabilización del material impermeable para la construcción de las Lagunas por sus características Salino-Sódicas.
- c) Inclusión de obras adicionales reconocidas como prioritarias por ejemplo redes de relleno en la parte Norte.

No obstante la inclusión de la planificación de los sistemas Pimentel y Chacupe, que previamente no estaban incluidos en el Contrato con el Consultor, permitieron reconocer en detalle la totalidad del alcantarillado de Chiclayo, cuyos detalles forman parte del Proyecto .

Presupuesto para el Proyecto completo

PROPUESTA DEL METRADO AJUSTADO DEL PROYECTO INTEGRAL

PROYECTO DE AMPLIACION DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE CHICLAYO

ALTERNATIVA "B"

OBRAS	METRADO	COSTO DIRECTO (NVS. SOLES)	COSTO DIRECTO (U.S. \$)	COSTO DIRECTO (DM)
LOTE 1 : "LABORATORIO CENTRAL"				
LOTE 1 A : "CONSTRUCCION OBRAS CIVILES"		180.461,69	70.769,29	109.692,40
LOTE 1 B : "EQUIPAMIENTO"		391.446,26	153.508,34	237.937,92
TOTAL DEL PRESUPUESTO DE LOTE 1		571.907,95	224.277,63	347.630,32
LOTE 2 A : "REDES DE ALCANTARILLADO"				
EMISORES Y COLECTORES PRIMARIOS				
EMISORES				
GENERAL	1106,47	937.760,96	367.749,40	570.011,56
BY-PASS	119,53	25.466,85	9.987,00	15.479,85
PIMENTEL	853,43	487.963,01	191.358,04	296.604,97
	2079,43	1.451.190,82	569.094,44	882.096,38
COLECTORES PRIMARIOS				
PIMENTEL	4934,8	691.776,75	271.285,00	420.491,75
SAN ANDRES	2236,6	420.752,48	165.000,97	255.751,51
SAN LUCAS NORTE	650	100.430,03	39.384,33	61.045,70
SAN LUCAS SUR	510,08	83.734,57	32.837,09	50.897,48
NIÑO HEROE	396,27	68.503,99	26.864,31	41.639,68
SAN LORENZO	596,93	90.888,34	35.642,49	55.245,85
LEGUIA	1542,03	246.775,95	96.774,88	150.001,07
PRO CERES	2479,81	485.641,43	190.447,62	295.193,81
ALAN BEAR	575,32	71.696,57	28.116,30	43.580,27
PANAMA NORTE	901,98	122.752,57	48.138,26	74.614,31
PANAMA SUR	604,56	70.870,34	27.792,29	43.078,05
CENTRAL BOLOGNESI	1166,25	477.753,57	187.354,34	290.399,23
PROLONGACION CENTRAL BOLOGNESI	4325,31	1.440.144,55	564.762,57	875.381,98
	20.918,94	4.371.721,14	1.714.400,45	2.657.320,69
COLECTORES SECUNDARIOS				
NICARAGUA	180,00	28.206,05	11.061,20	17.144,85
PARAGUAY ESTE	270,00	51.043,53	20.017,07	31.026,46
EL OBRERO	516,15	74.188,40	29.093,49	45.094,91
JORGE CHAVEZ	734,70	135.588,10	53.163,96	82.404,14
ELIAS AGUIRRE Y LINEA DE IMPULSION	450,58	41.883,74	16.425,00	25.458,74
CHOFER I	1.459,00	228.743,14	89.703,19	139.039,95
CHOFER II	1.529,00	257.763,58	101.083,76	156.679,82
SAN MATEO	202,10	44.893,10	17.605,14	27.287,96
LA VICTORIA	575,00	92.139,33	36.133,07	56.006,26
	5.916,53	954.448,97	374.285,88	580.143,09
COLECTORES DE RELLENO				
NUEVO SAN LORENZO	5.060,73	424.425,41	166.441,34	257.984,07
VARIOS A.A. H.H. (6)	3.282,06	258.159,56	101.239,04	156.920,52
LUIS S., ROSA C., SANTO T. Y 4 DE NOVIEMBRE	5.320,00	367.365,96	144.065,04	223.300,82
UPIS CASABLANCA	3.858,00	339.605,75	133.178,73	206.427,02
JORGE CHAVEZ	2.710,50	285.010,99	111.769,02	173.241,97
EL CHOFER	8.116,50	649.562,70	254.730,47	394.832,23
JOSE LOPEZ ALBUJAR	1.253,50	124.889,79	48.980,31	75.919,48
LA VICTORIA	3.694,70	332.809,97	130.513,71	202.296,26
LAS PALMERAS	1.097,50	72.668,07	28.497,28	44.170,79
FRANCISCO Y BUENOS AIRES	2.214,30	207.933,80	81.542,67	126.391,13
ZAMORA CHINO	1.370,10	142.063,96	55.711,36	86.352,60
CERROPON	2.765,90	231.098,41	90.626,83	140.471,58
ABANTO CALLE	5.826,00	488.496,19	191.567,13	296.929,06
	46.560,69	3.924.100,46	1.538.862,93	2.385.237,53
TOTAL DEL PRESUPUESTO DEL LOTE 2 A	75.484,58	10.701.481,39	4.198.643,70	6.504.797,69

Evaluación, Optimización y Mejoramiento del Sistema Operativo de Lagunas de Estabilización de Ciudad de Dios-San José en el Dpto. de Lambayeque

LOTE 2B : "SUMINISTRO DE TUBERIAS"				
SUMINISTRO DE TUBERIAS DE CONCRETO FABRICADAS CON CEMENTO TIPO V (+ 3%) CARGUIO, TRANSPORTE Y DESCARGA EN LOS CENTROS DE ACOPIO DE TUBERIAS (+3%)	74.974,00	2.820.443,42	1.108.056,24	1.714.387,19
	74.974,00	254.242,47	99.702,93	154.539,54
TOTAL DEL PRESUPUESTO DEL LOTE 2 B	74.974,00	3.074.685,89	1.205.759,17	1.868.926,72

LOTE 2 C : "REHABILITACION DE COLECTORES"				
CAMBIO DE COLECTORES ADQUISICION DE EQUIPOS DE LIMPIEZA		192.000,00	75.294,12	116.705,88
		720.000,00	282.352,94	437.647,06
TOTAL DEL PRESUPUESTO LOTE 2C		912.000,00	357.647,06	554.352,94

TOTAL DEL PRESUPUESTO LOTE 2		14.688.147,28	5.760.049,93	8.928.077,35
-------------------------------------	--	----------------------	---------------------	---------------------

LOTE 3 : "CONSTRUCCION DE LAS LAGUNAS SAN JOSE Y PIMENTEL"				
LAGUNAS SAN JOSE (LAGUNAS EDIF. CONTROL, VIGILANCIA)		15.339.117,88	5.938.466,11	9.204.622,48
LAGUNAS PIMENTEL (LAGUNAS EDIF. CONTROL)		3.176.557,37	1.245.708,77	1.930.848,60
TOTAL DEL PRESUPUESTO LOTE 3		18.515.675,25	7.184.174,88	11.135.471,08

LOTE 4 : "CONSTRUCCION DE POZO TUBULAR PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA LAVADO"				
CONSTRUCCION Y EQUIPAMIENTO DE POZO TUBULAR		280.500,00	110.000,00	170.500,00
TOTAL DEL PRESUPUESTO LOTE 4		280.500,00	110.000,00	170.500,00

TOTAL DE LOTE 1, LOTE 2, LOTE 3 Y LOTE 4		33.860.181,19	13.278.502,43	20.581.878,78
---	--	----------------------	----------------------	----------------------

(GASTOS GENERALES Y UTILIDAD (20%))	5.934.809,81	2.327.376,40	4.539.275,30
IMPREVISTOS (5%)	1.693.009,06	663.925,12	29.757.471,41
TOTAL DE OBRAS SIN IG	41.488.000,00	16.269.803,94	2.560.751,00

IGV 18% (CREDITO FISCAL, EMAPAL)	7.467.840,01	2.928.564,71	4.539.275,30
OBRAS INCLUIDO IGV	48.955.840,07	19.198.368,65	29.757.471,41
INGENIERIA	4.212.848,42	1.652.097,42	2.560.751,00

TOTAL DEL PROYECTO SIN IG	45.700.348,48	17.921.901,36	27.778.947,11
TOTAL DEL PROYECTO INCLUIDO IGV	53.168.688,49	20.850.466,07	32.318.222,41

30/11/1996	4 00 PM	1 US\$ = DM	1,55
		1 US\$ = SJ.	2,55
			Oct-96

Nota: El Lote 1B, Lote 2B, y la adquisición de equipos de limpieza del lote 2C no se les está afectando por el 20% de GGU y UTIL.

Donación Alemana para el Proyecto	30.000.000,00
--	----------------------

Remanencia	3.851.988,23	1.432.937,35	2.221.052,89
	SJ.	\$	D.M.:

Presentadas las alternativas, procedemos a resumirlas como sigue:

ALTERNATIVA "A" : Ha considerado que para un crecimiento ordenado de la Ciudad es necesario la implementación de los servicios básicos, por lo tanto contempla la ejecución de unidades básicas en todos los tres sistemas de alcantarillado que componen el Proyecto. Consiguientemente se construyen todos los grandes colectores y emisores y un porcentaje considerable de las tres estaciones de tratamiento. Esto garantiza una más alta cobertura de servicio que la alternativa "B", aunque disminuye con el crecimiento de la ciudad. Al mismo tiempo las inversiones adicionales para terminar los trabajos abarcarían en todas las zonas de crecimiento.

ALTERNATIVA "B" : Considera cubrir en un 100% las obras consideradas para el Sistema General Norte-Sur y Pimentel, incluyendo una inversión adicional de 9-10 millones de DM, en obras adicionales que son: Colectores de relleno Adicionales en la parte Norte y todas las instalaciones del Sistema Pimentel.

En consecuencia quedarían pendiente todas las inversiones para el Sistema Chacupe

Resumiendo lo anteriormente descrito, se considera que ambas alternativas son prácticamente comparables y tienen sus ventajas y desventajas.

10.4 PROPUESTA TECNICA DE ALTERNATIVA EN EJECUCION

Del Esquema General de los Proyectos diseñados, la propuesta de Alternativa que actualmente se viene considerando y estando en proceso de ejecución es la que contempla el siguiente, (ver Plano N° 22) :

SISTEMA GENERAL NORTE - SUR	80 %	de Lagunas San José
SISTEMA PIMENTEL	50 %	de Lagunas Pimentel
SISTEMA CHACUPE	0 %	de Lagunas Chacupe

DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES DEL PROYECTO

A/ Por el Aporte Financiero Alemán:

	Diseños realizados (horizonte 2012)	Obras previstas para realizarse en la fase actual	Monto de las obras en N. Soles incl. el I.G.V.	Fecha de Firma del Contrato	Plazo de ejecución de las obras
A. Redes de relleno					
1.- Sistema general Norte-Sur	52.04 Km.	52.04 Km.	5.23 km. Ya realizados por EPSEL S.A.		
2.- Sistema Pimentel	0.45 km	0.45 km			
3.- Sistema Chacupe					
SUB TOTAL OBRAS:	52.49 km.	52.49 km.	S/. 7'304,150.00	Jul-97	15 meses
B. Colectores principales					
1.- Sistema general Norte-Sur	15.99 km.	15.99 km			
2.- Sistema Pimentel	4.93 km.	2.55 km.			
3.- Sistema Chacupe	5.42 km.				
SUB TOTAL OBRAS	6.34 km	18.54 km.	s/. 6'531,000.00	Jul-97	15 meses
C. Emisores					
1.- Sistema general Norte-Sur	1.23 km	1.23 km.	1.11 km. Canales rectangulares y 0.12 km. tubos		
2.- Sistema Pimentel	0.85 km.	0.85 km.			
3.- Sistema Chacupe	6.63 km				
SUB TOTAL OBRAS:	8.71 km	2.08 km.	S/. 2'400,300.00	Jul-97	15 meses
TOTAL SUMINISTROS TUBOS:	-	67.12 km.	S/.3'246730.00	28.05.97	MESES
TOTAL COLECTORES:	87.54 km.	73.11 km.	S/. 19'582,180.00		
D. Lagunas de tratamiento					
1.- Sistema general Norte-Sur Capacidad de tratamiento:	42.8 ha 76,850 m3/día	35.7 6 lagunas anaerobicas + 6 lagunas facultativas	S/. 19'730,990.00		
2.- Sistema Pimentel Capacidad de tratamiento:	10.2 ha 7,350 m3/día	5.1 ha 4 lagunas facultativas + 2 lagunas de maduración	S/. 3'030,260.00		
3.- Sistema Chacupe Capacidad de tratamiento:	19.7 11,250 m3/día	- 4 lagunas facultativas (2 prm. + 2 secc) + 1 lagunas de maduración	-		
TOTAL LAGUNAS:	72.7 ha	53.0 ha	S/.. 22'761,250.00	ulio 97	13.5 meses
E. LABORATORIO					
1.- Construcción laboratorio	Edificación de 161 m2 para exámenes microbiológico y físico-químicos		S/. 251,684.91	18.11.96	8.02.97
3.- Equipo de laboratorio			US \$ 197,450.86	021.06.1997	4 meses

B/ Por la Contrapartida Peruana:

	Diseños realizados (horizonte 2012)	Obras previstas para realizarse en la fase actual	Monto de las obras en N. Soles incl. el I.G.V.	Fecha de Firma del Contrato	Plazo de ejecución de las obras
C. Emisores					
Emisor Norte-Norte	8.78 km.	8.78 km.	1.94 Km. canales rectangulares y 6.84 km. Tubos		
TOTAL COLECTORES:	8.78 km.	8.78 km.	S/. 9'190926.04	03.04.95	29.12.95
D. Lagunas de tratamiento					
Sistema Pampa de Perros	24.0 ha	24.0 ha	S/ 4'570,231.04		
Capacidad de tratamiento	19.500 m3/día	4 lag. Facultativas primarias + 2 lag. Secundarias + 2 lag de maduración			
TOTAL LAGUNAS	24.0 ha		S/ 4'570,231.04	25.04.95	8.12.95

11. CONCLUSIONES

Al cabo de la evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Ciudad de Dios” durante y al término del primer año de operación, las conclusiones a las que se llegan son las siguientes:

- Se comprueba que la capacidad de tratamiento de la Planta al cual fue diseñado, se ajusta al caudal afluente establecido en el orden de los 230 lps, equivalente a un promedio del 65% del caudal total que llega a la Planta, lo que genera derivar el excedente crudo a descargar en el contiguo Dren 3000.
- Está comprobado que en el canal de distribución, las estructuras de repartición de caudales a las Unidades Primarias - Facultativas, no cumple el objetivo de diseño, aún disponiendo de pantallas de concreto diseñadas para la reducción o incremento de captación del afluente.
- Según los resultados de la batimetría, la comparación del nivel del lodo acumulado con el nivel inicial, es decir, con el fondo de la excavación, no es concluyente por el número de valores negativos determinando que la sedimentación de lodos no es de consideración, por causa probable de una mayor velocidad de flujo que distribuye los sedimentos en un radio más amplio en la laguna.
- Según los estudios de carácter limnológico y análisis parasitológico, es muy valiosa la información en el contexto de validar el flujo a través de las lagunas. La presencia de parásitos en el efluente de la Planta de Tratamiento, es un indicador más de la presencia de velocidades muy superiores a la que corresponde al flujo disperso.
- El efluente del sistema en su conjunto, es insuficiente para el uso en riego de cultivos de la Comunidad Campesina San José, siendo necesario la complementación inmediata de los nuevos sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- Se registran contados análisis de DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno) durante la evaluación del proyecto así como durante el desarrollo de operación en el afluente.
- De acuerdo al ensayo de campo para la medición de la velocidad de flujo a través de la conductividad eléctrica, concluye que un menor porcentaje del agua residual cruda llega en 4 horas a la zona de salida mientras que el mayor porcentaje se mantiene en una especie de “remolino” en la misma laguna, determinando que no cumple el promedio de acercarse al cálculo del periodo de retención (10 días) si el flujo del agua en la laguna tuviera una distribución normal. Posibles factores atribuibles: la velocidad de los vientos de la zona, constituyen un caso excepcional para el entorno condicionante de las lagunas de estabilización; asimismo la ausencia de lodos acumulados en la entrada.

12. RECOMENDACIONES

- Optimizar el proceso de distribución de caudales de ingreso a las Unidades Primarias mediante bifurcaciones móviles, de tal forma de permitir una graduación más fácil y efectiva de flujo.
- Incrementar los análisis de la DBO_5 , por cuanto los pocos datos disponibles afectan en cierto grado la interpretación de la eficacia del tratamiento.
Con el funcionamiento de nuevo laboratorio equipado, EPSEL S.A. tendrá en el próximo futuro que, asegurar el monitoreo de este parámetro que es de suma importancia para evaluar el impacto ambiental al cuerpo receptor de las aguas residuales tratadas.
- EPSEL S.A. , en cumplimiento al Reglamento de Desagües Industriales, debe efectuar las acciones correctivas cuando algunas de dichas descargas superen los límites permisibles de los parámetros más importantes que puedan afectar las características físico-químicas y biológicas de las aguas servidas y que pueden alterar los procesos de tratamiento a las que son sometidas.
- La forestación del contorno de la Planta a través de una cortina de árboles, que permita aislar el Sistema del área poblacional, al mismo tiempo de contrarrestar la fuerza del viento y mejorar el entorno ecológico.
- Un componente importante para el uso de aguas residuales es la implementación de viveros forestales, ya que diversas especies ornamentales, que sin ser un objetivo de una Entidad como EPSEL S.A. , pueden ser producto del uso del efluente.
- En la actualidad siendo el sistema más grande a nivel nacional, EPSEL S.A. debe efectuar un manejo adecuado de las lagunas de estabilización de tal forma que permita obtener un efluente ideal tanto para la agricultura como para la acuicultura, en términos de calidad sanitaria, fertilidad y adaptación para el último caso, dependiendo de los fines a buscar como es el de contribuir a la limpieza de las Unidades; al mismo tiempo de asegurar el mantenimiento respectivo de toda la infraestructura y así disponer de un sistema modelo en nuestro medio.

ANEXOS

BIBLIOGRAFIA

1. Metcalf & Eddy : Wastewater Engineering.
2. OMS-WHO-EMRO: Wastewater Stabilization Ponds. Alejandría 1987.
3. Bohnke, Fresenius et. Al.: Manual de Disposición de aguas residuales, CEPIS, Lima 1991.
4. GKW-CONSULT-SANIPLAN: Servicios de Consultoría para el Proyecto de Alcantarillado.
5. PRONAP, Ing. Fernando Chuy: Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas, Julio 1995.
6. J.M. de Azevedo N. y G. Acosta A.: Manual de Hidráulica, Harla, México 1976.
7. Consorcio GKW-CONSULT-SANIPLAN: Lagunas de Estabilización Ciudad de Dios (Pampa de Perros), Chiclayo, Marzo 1996.
8. F. Yañez C.: Lagunas de Estabilización 1993.
9. Guillermo León S. - J. Moscoso C.: Curso de Tratamiento y uso de Aguas Residuales, CEPIS, Lima 1996.
10. CEPIS; Curso de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales, Lima, 1996.
11. Moscoso, J; León, G.; Gil, E., 1991 Reuso en Acuicultura de Las Aguas Residuales Tratadas en las Lagunas de Estabilización de San Juan - Lima, Sección II : Tratamiento de las Aguas Residuales y Aspectos Sanitarios.
12. Mara & Cairncross: Gudelines for the safe use of wastewater and Ecreta in Agricultura and Aguaculture: Methods for Public Health Proteccion; WHO/UNEP Publication.
13. CEPIS-OPS-OMS: Lagunas de Estabilización: Diseño, Construcción, Operación, Evaluación y Mantenimiento, Julio 1996.
14. G. MASKEW F., Charles G.: Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales; 1988.
15. OMS-OPS: Directrices Sanitaris sobre el uso de Aguas Residuales en Agricultura y Acuicultura, 1989.
16. Consorcio GKW-CONSULT-SANIPLAN: Diseños Definitivos Sistema de Lagunas de Estabilización de San José, Pimentel, Chacupe y Estudios Complementarios, 1997.