

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**



**EVALUACIÓN, MEJORAMIENTO Y OPTIMIZACIÓN  
HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE  
ESTABILIZACIÓN DE SAN JOSÉ APLICANDO MODELOS CFD –  
LAMBAYEQUE, 2017**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

**AUTOR**

**ARTURO VALENTIN VALDEZ CASTAÑEDA**

**ASESOR**

**Ing. ANÍBAL TEODORO DÍAZ ORREGO**

**Chiclayo, 2019**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a Dios por brindarme las circunstancias para llegar hasta este hito inolvidable en mi vida.

A mis padres, por haber sido y seguir siendo una guía y apoyo incondicionales en todo este largo trayecto y, sobre todo, por ser el aliciente para trascender íntegramente en la vida.

A mis hermanos, por ayudarme a conservar la cordura y amenizar los momentos más difíciles en el trayecto de mi vida.

A toda mi familia por ser un entorno positivo y por enseñarme el gran valor de la unión pese a la distancia.

A mi personita especial por ser mi mano derecha e incentivar me en esforzarme hasta el último para el logro de esta etapa.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres, hermanos y mi familia por haber sido imprescindibles para el desarrollo de este trabajo.

A mi Asesor el Ing. Aníbal Teodoro Díaz Orrego, quien me incentivó a investigar respecto al tema y por brindarme su apoyo técnico, administrativo y moral para lograr el objetivo.

Un especial agradecimiento al Ing. Esteban Sánchez Cordero y al Ing. Sebastián Cedillo Galarza de la Universidad de Cuenca – Ecuador, quienes me orientaron en el tema del Modelamiento CFD.

Asimismo, agradecer al Dr. Ing. Francisco Arteaga Núñez, Ing. Humberto Olorte Villarreal y al Ing. Gilberto Chávez Santa Cruz, por sus significativos aportes sin los cuales no hubiese sido posible el culmen de esta etapa.

## RESUMEN

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales de tipo Lagunas de Estabilización son ampliamente usados alrededor del mundo debido a su bajo costo en operación y mantenimiento, además del casi nulo requerimiento energético. En Latinoamérica, es la tecnología de tratamiento más usada, con 866 unidades de tratamiento de las 2242 existentes (Morgan-Sagatsume, 2012). En Perú, forma parte del 75% del total de las PTAR (SUNASS y Cooperación Alemana, 2015). Esta investigación se basó en la utilización de herramientas modernas para auditar el comportamiento hidráulico y, en efecto, la eficiencia de sistemas de lagunas de estabilización. La herramienta utilizada es la modelación CFD (Dinámica de Fluidos Computacional, en español), la cual, según numerosos autores, es bastante fiable para predecir fenómenos hidráulicos, incluyendo los de las lagunas de estabilización. Se estudió el sistema de lagunas de San José, representativo en la región Lambayeque, Perú. De tal sistema se tomó uno de los cinco circuitos existentes (una laguna anaeróbica y una facultativa) y se realizaron trabajos topográficos, aforos hidráulicos, construcción de la geometría de las lagunas para poder realizar la modelación CFD. Los resultados se validaron con ensayos de trazadores en lagunas a escala piloto, cuyo factor de escala fue de 1:50. La validación resultó bastante aceptable, y los mejoramientos planteados demostraron contundencia, aumentando el tiempo de retención real del sistema. La ejecución del proyecto demostró ser muy rentable al ampliar la variedad de cultivos regados con agua residual tratada de mejor calidad. Se recomienda intensificar los estudios y auditorías de este tipo de sistemas mediante modelaciones CFD y que las autoridades lo consideren en la Legislación.

**PALABRAS CLAVE:** Modelación CFD, Poder computacional, Condiciones iniciales, Condiciones de frontera, Rugosidad, Patrón de Flujo, Modelos a escala piloto, Tiempo de Retención, Deflectores, Ensayos de trazadores.

## ABSTRACT

Wastewater treatment systems of type Waste Stabilization Ponds are widely used around the world due to their low cost in operation and maintenance, in addition to the almost zero energy requirement. In Latin America, it is the most used treatment technology, with 866 treatment units out of the 2242 existing (Morgan-Sagatsume, 2012). In Peru, it forms part of 75% of the total of the WWTPs (SUNASS and German Cooperation, 2015). This research was based on the use of modern tools to audit the hydraulic behavior and, in effect, the efficiency of stabilization lagoon systems. The tool used is CFD (Computational Fluid Dynamics) modeling, which, according to numerous authors, is quite reliable for predicting hydraulic phenomena, including those of stabilization ponds. The lagoon system of San José, representative in the Lambayeque region, Peru, was studied. From this system, one of the five existing circuits was taken (an anaerobic lagoon and a facultative lagoon) and topographic work was carried out, hydraulic gauging, construction of the geometry of the lagoons in order to carry out the CFD modeling. The results were validated with pilot scale models studies, whose scale factor was 1:50. The validation was quite acceptable, and the proposed improvements showed strength, increasing the actual retention time of the system. The execution of the project proved to be very profitable by expanding the variety of crops irrigated with treated wastewater of better quality. It is recommended to intensify studies and assessments about that kind of systems through CFD modeling and authorities consider it in the Legislation.

**KEYWORDS:** CFD modeling, Computing power, Initial conditions, Boundary conditions, Roughness, Flow pattern, Pilot scale models, Retention time, Baffles, Tracer essays.

# ÍNDICE

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**RESUMEN**

**ABSTRACT**

**ÍNDICE**

**ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

I. INTRODUCCIÓN.....	8
II. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. ANTECEDENTES.....	11
2.2. BASES TEÓRICO – CIENTÍFICAS.....	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	41
3.2. ESTUDIOS Y RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO.....	41
3.3. MODELACIÓN CFD DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	45
3.4. MODELO HIDRÁULICO A ESCALA PILOTO.....	56
3.5. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE PANTALLAS DEFLECTORAS EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	79
IV. RESULTADOS.....	90
4.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	90
4.2. AFORO DE ENTRADA EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	92
4.3. POSTPROCESO – MODELOS CFD.....	94
4.4. ENSAYOS DE TRAZADORES EN LAGUNAS A ESCALA PILOTO.....	99
4.5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE ENSAYOS DE TRAZADORES CON MODELACIÓN CFD.....	112
4.6. ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL TRATADA MEDIANTE IMPLEMENTACIÓN DE DEFLECTORES EN LAS LAGUNAS DE SAN JOSÉ.....	118
4.7. ANÁLISIS ECONÓMICO – IMPLEMENTACIÓN DE PANTALLAS DEFLECTORAS EN SISTEMA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE CHICLAYO.....	120
V. DISCUSIÓN.....	125
5.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	125
5.2. AFORO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	125
5.3. MODELACIÓN CFD DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	125
5.4. MODELOS A ESCALA PILOTO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	127
5.5. ENSAYOS DE TRAZADORES.....	128
5.6. CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL TRATADA CON EL MEJORAMIENTO.....	129
5.7. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	129
5.8. PRONUNCIAMIENTO DE EPSEL S.A.....	129
5.9. RECOMENDACIONES DE MODELACIÓN CFD EN PROYECTOS DE LAGUNAJE.....	130
VI. CONCLUSIONES.....	131
VII. RECOMENDACIONES.....	133
VIII. REFERENCIAS.....	134
<b>ANEXOS.....</b>	<b>139</b>
ANEXO N° 01. DOCUMENTOS.....	139
ANEXO N° 02. TRABAJOS DE GABINETE.....	145
ANEXO N° 03. GRÁFICOS.....	160
ANEXO N° 04. REPORTE FOTOGRÁFICO.....	161

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. PROCESOS DE TRATAMIENTO EN UNA LAGUNA .....	20
ILUSTRACIÓN 2. IDEALIZACIÓN FLUJO PISTÓN .....	25
ILUSTRACIÓN 3. IDEALIZACIÓN TANQUE AGITADO .....	25
ILUSTRACIÓN 4. IDEALIZACIÓN TANQUES EN SERIE .....	25
ILUSTRACIÓN 5. IDEALIZACIÓN FLUJO DISPERSO .....	26
ILUSTRACIÓN 6. CORTOCIRCUITOS Y ZONAS MUERTAS .....	30
ILUSTRACIÓN 7. CURVA DE DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS DE RESIDENCIA (RTD).....	32
ILUSTRACIÓN 8. PROCEDIMIENTO PARA ENSAYOS DE TRAZADORES .....	33
ILUSTRACIÓN 9. LEVANTAMIENTO CON ESTACIÓN TOTAL.....	42
ILUSTRACIÓN 10. AFORO EN CANAL DE ENTRADA - LAGUNA ANAERÓBICA .....	44
ILUSTRACIÓN 11. GEOMETRÍA – LAGUNAS ANAERÓBICAS .....	47
ILUSTRACIÓN 12. CALIDAD DE MALLA – LAGUNA ANAERÓBICA ORIGINAL .....	48
ILUSTRACIÓN 13. CALIDAD DE MALLA – LAGUNA ANAERÓBICA CON DEFLECTORES .....	49
ILUSTRACIÓN 14. CALIDAD DE MALLA – LAGUNA FACULTATIVA ORIGINAL.....	49
ILUSTRACIÓN 15. CALIDAD DE MALLA – LAGUNA FACULTATIVA CON DEFLECTORES .....	50
ILUSTRACIÓN 16. MÍNIMO JACOBIANO EN TODAS LAS MODELACIONES CFD.....	50
ILUSTRACIÓN 17. CONDICIÓN DE ENTRADA – LAGUNAS ANAERÓBICAS .....	51
ILUSTRACIÓN 18. CONDICIÓN DE SALIDA – LAGUNAS ANAERÓBICAS .....	52
ILUSTRACIÓN 19. CONDICIÓN DE ENTRADA – LAGUNAS FACULTATIVAS.....	52
ILUSTRACIÓN 20. CONDICIÓN DE SALIDA – LAGUNA FACULTATIVA .....	53
ILUSTRACIÓN 21. CONDICIONES INICIALES – LAGUNAS ANAERÓBICAS.....	53
ILUSTRACIÓN 22. CONDICIONES INICIALES – LAGUNAS FACULTATIVAS .....	54
ILUSTRACIÓN 23. CONDICIONES DE RUGOSIDAD - USO DE SUELO – LAGUNAS ANAERÓBICAS.....	54
ILUSTRACIÓN 24. CONDICIONES DE RUGOSIDAD - USO DE SUELO – LAGUNAS FACULTATIVAS .....	55
ILUSTRACIÓN 25. VISTA AÉREA - LAGUNAS DE SAN JOSÉ.....	57
ILUSTRACIÓN 26. ESQUEMA DE LAGUNA ANAERÓBICA ORIGINAL A ESCALA PILOTO .....	58
ILUSTRACIÓN 27. ESQUEMA DE LAGUNA ANAERÓBICA A ESCALA PILOTO CON DEFLECTORES .....	59
ILUSTRACIÓN 28. ESQUEMA DE LAGUNA FACULTATIVA ORIGINAL A ESCALA PILOTO .....	60
ILUSTRACIÓN 29. ESQUEMA DE LAGUNA FACULTATIVA A ESCALA PILOTO CON DEFLECTORES .....	61
ILUSTRACIÓN 30. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN A ESCALA PILOTO 1:50.....	62
ILUSTRACIÓN 31. SIMILITUD GEOMÉTRICA EN LAGUNA ANAERÓBICA.....	64
ILUSTRACIÓN 32. SIMILITUD GEOMÉTRICA EN LAGUNA FACULTATIVA .....	64
ILUSTRACIÓN 33. SIMILITUD CINEMÁTICA EN LAGUNAS MODELO.....	65
ILUSTRACIÓN 34. ENTRADAS Y SALIDAS DE MODELOS A ESCALA PILOTO .....	68
ILUSTRACIÓN 35. NIVELACIÓN DE SUPERFICIE DE CONCRETO .....	69
ILUSTRACIÓN 36. RESERVORIO PARA ABASTECIMIENTO HIDRÁULICO CONTINUO .....	69
ILUSTRACIÓN 37. RESERVORIOS DE ENTRADA PARA LAGUNAS A ESCALA PILOTO .....	71
ILUSTRACIÓN 38. DETERMINACIÓN DE CANTIDAD DE TRAZADOR NaCl .....	74
ILUSTRACIÓN 39. INYECCIÓN DE TRAZADOR EN ENTRADA DE LAGUNAS .....	75
ILUSTRACIÓN 40. TOMA DE MUESTRAS EN SALIDAS DE LAGUNAS .....	75
ILUSTRACIÓN 41. MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD - MUESTRA N° 10 LAGUNA FACULTATIVA ORIGINAL.....	76
ILUSTRACIÓN 42. IDEALIZACIÓN PANTALLAS DEFLECTORAS .....	85
ILUSTRACIÓN 43. DISEÑO ESTRUCTURAL – PANTALLA LAGUNA ANAERÓBICA .....	86
ILUSTRACIÓN 44. DISEÑO ESTRUCTURAL – PANTALLA LAGUNA FACULTATIVA .....	87
ILUSTRACIÓN 45. BENEFICIO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN FUNCIÓN A LA CALIDAD DE AGUA RESIDUAL TRATADA REUTILIZADA PARA REGADÍO EN ZACATECAS, MÉXICO .....	88
ILUSTRACIÓN 46. CURVAS DE NIVEL - LAGUNA ANAERÓBICA .....	90
ILUSTRACIÓN 47. VOLUMEN ÚTIL DE LAGUNAS – AUTOCAD CIVIL 3D .....	91
ILUSTRACIÓN 48. VOLÚMENES EN ENTRADAS DE LAGUNAS A ESCALA PILOTO .....	93
ILUSTRACIÓN 49. GRADIENTE DE VELOCIDADES DURANTE 5 DÍAS DE SIMULACIÓN - LAGUNA ANAERÓBICA ORIGINAL .....	95
ILUSTRACIÓN 50. GRADIENTE DE VELOCIDADES DURANTE 5 DÍAS DE SIMULACIÓN – LAGUNA ANAERÓBICA CON DEFLECTORES.....	96

ILUSTRACIÓN 51. GRADIENTE DE VELOCIDADES DURANTE 5 DÍAS DE SIMULACIÓN – LAGUNA FACULTATIVA ORIGINAL .....	97
ILUSTRACIÓN 52. GRADIENTE DE VELOCIDADES – LAGUNA FACULTATIVA CON DEFLECTORES .....	98
ILUSTRACIÓN 53. SIMILITUD EN PATRÓN DE FLUJO DE ENTRADA - LAGUNA ANAERÓBICA .....	112
ILUSTRACIÓN 54. COMPARATIVO DE ENSAYO DE TRAZADORES CON MODELACIÓN CFD – LAGUNA ANAERÓBICA ORIGINAL .....	113
ILUSTRACIÓN 55. RANGO DE VELOCIDADES – LAGUNA ANAERÓBICA ORIGINAL .....	113
ILUSTRACIÓN 56. COMPARATIVO DE ENSAYO DE TRAZADORES CON MODELACIÓN CFD – LAGUNA FACULTATIVA ORIGINAL .....	114
ILUSTRACIÓN 57. RANGO DE VELOCIDADES – LAGUNA FACULTATIVA ORIGINAL .....	115
ILUSTRACIÓN 58. COMPARATIVO DE ENSAYO DE TRAZADORES CON MODELACIÓN CFD – LAGUNA ANAERÓBICA CON DEFLECTORES .....	116
ILUSTRACIÓN 59. RANGO DE VELOCIDADES – LAGUNA ANAERÓBICA CON DEFLECTORES .....	116
ILUSTRACIÓN 60. COMPARATIVO DE ENSAYO DE TRAZADORES CON MODELACIÓN CFD – LAGUNA FACULTATIVA CON DEFLECTORES .....	117
ILUSTRACIÓN 61. TIEMPO DE SIMULACIÓN – LAGUNA FACULTATIVA CON DEFLECTORES .....	127

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE UN AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA TÍPICA .....	17
TABLA 2. DIMENSIONES DE LAS LAGUNAS PROTOTIPO .....	56
TABLA 3. DIMENSIONES DE LAS LAGUNAS MODELO A ESCALA PILOTO .....	57
TABLA 4. DIMENSIONES ENTRE PROTOTIPO Y MODELO - LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN .....	66
TABLA 5. RADIOS ENTRE PROTOTIPO Y MODELO - LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN .....	66
TABLA 6. INFORMACIÓN SOBRE TRAZADORES EN SISTEMAS DE AGUA .....	77
TABLA 7. CONDUCTIVIDAD VS. TIEMPO – LAGUNA ANAERÓBICA ORIGINAL .....	99
TABLA 8. CONDUCTIVIDAD VS. TIEMPO – LAGUNA ANAERÓBICA CON DEFLECTORES .....	100
TABLA 9. CONDUCTIVIDAD VS. TIEMPO – LAGUNA FACULTATIVA ORIGINAL .....	101
TABLA 10. CONDUCTIVIDAD VS. TIEMPO – LAGUNA FACULTATIVA CON DEFLECTORES .....	102
TABLA 11. CONCENTRACIÓN VS. TIEMPO – LAGUNA ANAERÓBICA ORIGINAL .....	104
TABLA 12. CONCENTRACIÓN VS. TIEMPO – LAGUNA ANAERÓBICA CON DEFLECTORES .....	105
TABLA 13. CONCENTRACIÓN VS. TIEMPO – LAGUNA FACULTATIVA ORIGINAL .....	106
TABLA 14. CONCENTRACIÓN VS. TIEMPO – LAGUNA FACULTATIVA CON DEFLECTORES .....	107
TABLA 15. DATOS - TIEMPO DE RETENCIÓN REAL .....	108
TABLA 16. DATOS - TIEMPO DE RETENCIÓN REAL .....	109
TABLA 17. DATOS - TIEMPO DE RETENCIÓN REAL .....	110
TABLA 18. DATOS - TIEMPO DE RETENCIÓN REAL .....	111
TABLA 19. DATOS – CRITERIOS DE DISEÑO PARA LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN .....	118
TABLA 20. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO A PRECIOS PRIVADOS .....	123
TABLA 21. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO A PRECIOS SOCIALES .....	124

## I. INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales de tipo Lagunas de Estabilización son ampliamente usados alrededor del mundo debido a su bajo costo en operación y mantenimiento [1], además del casi nulo requerimiento energético. En Latinoamérica, es la tecnología de tratamiento de aguas residuales más usada, con 866 unidades de tratamiento de las 2242 existentes [2]. En Perú, forma parte del 75% del total de las PTAR [3].

A nivel nacional, cabe resaltar la baja eficiencia de tratamiento en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) la cual, según lo indicado en [3], se fundamenta en tres factores: el diseño de las PTAR, las condiciones reales de operación (sobre todo en tecnología de lagunas) y la sobrecarga hidráulica; con una negligente gestión en cuanto al mantenimiento de tales sistemas: Maleza en la superficie de las lagunas (28 PTAR), abundante lodo flotante (47 PTAR), diques con erosión, excavaciones o grietas (64 PTAR), pedazos de geomembrana faltante (47 PTAR), corrosión de infraestructura y equipos (28 PTAR) y falta de tapas de buzones (13 PTAR).

Más allá de la situación actual del sistema de Lagunas de Estabilización, se puede observar en visitas a campo que todos los sistemas locales de lagunas de estabilización constan de un diseño tradicional, donde solo se basan en la eficiencia media de remoción de contaminantes, en parámetros escalares de entrada y valores medios de flujo. Ello refleja la poca importancia dada a la Hidrodinámica en los Sistemas de Lagunas de Estabilización, la cual habla de cambios en las configuraciones de la geometría de las lagunas, entradas, salidas, agentes externos como el viento, la radiación solar [4], esencia del presente estudio.

El presente proyecto cuyo ámbito de estudio es el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (Lagunas de Estabilización), bajo la tutela de EPSEL S.A., se localiza en el km. 6 de la carretera Chiclayo – San José a 500 metros de la Ciudad de Dios. Esta unidad de tratamiento de aguas residuales es drenada por los colectores Norte, Sur y

Norte - Norte de la Ciudad de Chiclayo para una capacidad de 76 850 metros cúbicos al día, cuyo equivalente es 890 litros por segundo [5].

El estado actual del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Chiclayo se resume en la falta de mantenimiento desde el año 1998 (año de inicio de operación), la excesiva acumulación de lodos en las unidades anaeróbicas, pobre tratamiento de las aguas servidas que conlleva al incumplimiento de los Límites Máximos Permisibles y refleja la pobre remoción de contaminantes.

Una solución para mejorar la eficiencia de tratamiento es la reconfiguración hidráulica del sistema, como por ejemplo la instalación de estructuras como pantallas para direccionar el flujo [6], el cambio de las configuraciones de entradas y salidas o la implementación de aireadores mecánicos [4].

En efecto, el objetivo principal de esta investigación es evaluar, mejorar y optimizar las condiciones hidrodinámicas de un circuito representativo de lagunas del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Chiclayo aplicando modelos basados en la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD).

Sin embargo, también se requieren experimentos en campo o a escala piloto para validar los resultados de los modelamientos numéricos CFD, de tal manera que la investigación no quede a nivel de resultados computacionales. Por ello, se realizará el diseño, construcción y evaluación de modelos a escala piloto del sistema en estudio.

Los objetivos específicos son:

Realizar el Levantamiento Topográfico de la zona.

Obtener la geometría real del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Chiclayo.

Realizar el aforo en la entrada de lagunas anaeróbicas y facultativas, importante en la definición de las condiciones iniciales y de contorno del sistema.

Elaborar varios modelos CFD de uno de los circuitos de flujo representativos del sistema considerando factores como el viento, calidad de agua y configuraciones de los mejoramientos.

Diseñar, construir y evaluar modelos hidráulicos a escala piloto de uno de los circuitos de flujo representativos del sistema.

Realizar ensayos de trazadores en la laguna a escala para determinar la hidrodinámica del sistema, la influencia del viento y calidad del agua.

Determinar los costos para la implementación de los mejoramientos propuestos.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES

En los antecedentes, se describen los estudios previos que detallan la diversidad de modelos hidráulicos empleados para el estudio y auditoría de lagunas de estabilización, así como su respectiva utilidad.

**Cedillo Galarza, Juan Sebastián y María Magdalena Matailo Quitusco, 2011. “Validación de Modelos Computacionales de Flujo Dinámico con prueba de trazadores en lagunas de gran escala”. Proyecto de Graduación previo a obtención del grado de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Cuenca, Cuenca – Ecuador.**

Este trabajo de investigación alude el uso de la herramienta Dinámica de Fluidos Computacional (CFD, en inglés) para la construcción geométrica, discretización y simulación del comportamiento hidráulico de dos (2) lagunas facultativas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba, Cuenca, Ecuador. Además del modelamiento, los investigadores realizaron la validación in-situ del modelo computacional mediante pruebas experimentales (trazadores colorantes). Destacaron que un modelo CFD es indudablemente una herramienta muy poderosa en el ámbito de la hidráulica de las lagunas, pudiéndose mejorar con más parámetros que asemejen dicho modelo cada vez más a la realidad.

**Shilton, Andy y Duncan Mara, 2005. “CFD (computational fluids dynamics) modelling of baffles for optimizing tropical waste stabilization pond systems”. Water Science and Technology 51 (12): 103 – 106.**

Esta investigación se basa en el modelamiento mediante CFD del uso de deflectores para lagunas de estabilización en zonas tropicales, los cuales se diseñaron con una longitud igual al 70 % del ancho de las lagunas. Los autores resaltan los variados beneficios de la utilización de estas tecnologías, entre ellos la mayor efectividad en la remoción de bacterias y la menor necesidad de área requerida para los estanques, lo que representa menores costos. Ellos preconizan la necesidad de estudios de campo para validar los modelos CFD utilizados en este rubro.

**Olukanni, David O. y Joel Ducoste, 2011. “Optimization of waste stabilization pond design for developing nations using computational fluid dynamics”. *Ecological Engineering* 31 (2011): 1878 – 1888.**

En esta investigación se desarrolló una optimización del modelo de lagunas de estabilización basado en la herramienta CFD. En dicho modelo, se evaluó el impacto en el rendimiento del tratamiento de las aguas residuales al cambiar el número de deflectores, longitud, ubicación de las estructuras de entrada y salida y disposición de las lagunas.

**Cortés Martínez, Facundo et al., 2014. “Función objetivo en el diseño de la laguna facultativa (estudio de caso)”. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5 (3): 433-447.**

Este estudio se basó en la aplicación de la Programación no lineal con el algoritmo de gradiente reducido generalizado (GRG), con el objetivo de optimizar el diseño tradicional y el costo del tratamiento de las aguas residuales mediante lagunas de estabilización. La importancia de esta investigación radica en reducir el área requerida y, en efecto, los costos, problemática resaltante de este tipo de tecnologías de tratamiento.

**Cortés Martínez, Facundo et al., 2016. “Mathematical modeling and optimization in the design of a maturation pond”. *Journal of Applied Research and Technology* 14 (2016): 93 - 100.**

Los autores proponen una optimización del diseño de una laguna de maduración mediante un modelo matemático ante la falta de eficiencia de tratamiento de las aguas servidas en México en relación con los estándares de la norma competente. Esta optimización dio como resultado una reducción del tiempo de retención hidráulico de 8.65 días, una reducción del requerimiento de terreno de 48.16 % y una reducción del costo de 42.24 % en relación con el diseño por metodología tradicional.

**Alvarado, Andrés et al. 2011. “Hydraulic assessment of waste stabilization ponds: Comparison of computational fluid dynamics against tracer data”. *Maskana* 2(1): 81-89**

En esta investigación, los autores se concentran en la comparación de los ensayos de trazadores con los de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) para el estudio de la hidráulica de las lagunas de estabilización en una laguna de maduración de 7 ha. A partir de dicha comparación, se obtiene un gráfico sobre la Distribución del Tiempo de Retención, concluyendo que los estudios de CFD y trazadores son herramientas muy poderosas y precisas para describir la hidrodinámica de una laguna de estabilización.

**Li, M., H. Zhang, C. Lemckert, y H. Stratton. 2015. «Improving hydrodynamic performance of waste stabilization ponds using three-dimensional numerical models». *21st International Congress on Modelling and Simulation. Gold Coast, Australia: Charles Sturt University, Griffith University.***

La descripción del comportamiento hidrodinámico de las lagunas de estabilización se determina de manera considerable mediante un modelo CFD. Mediante el software CFD MIKE 3, se modela una laguna a la cual se le implementan deflectores los cuales contribuyeron positivamente en la eficiencia hidráulica de las lagunas. La relación largo - ancho fue de 1.6.

**Ouedraogo, Faissal Romaric. 2016. «Impact of Sludge Layer Geometry on the Hydraulic Performance of a Waste Stabilization Pond». *Thesis for the degree of Master of Science in Civil Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering, University of South Florida.***

El autor estudia el impacto de la geometría de la capa de lodos en el comportamiento hidráulico de cuatro casos de lagunas de estabilización mediante el uso de software CFD (OpenFOAM). Sus resultados sugieren un cuidadoso monitoreo con la acumulación de los lodos y el nivel de la superficie del agua en los sistemas mencionados.

**Lizima, Louis. 2013. “Hydraulic Evaluation of a Community Managed Waste Stabilization Pond System in Bolivia”. Thesis for the degree of Master of Science in Civil Engineering, Tampa, Florida: University of South Florida.**

El autor modeló el sistema de lagunas de estabilización de San Antonio, Bolivia, compuesto por una laguna facultativa y dos lagunas de maduración. Se realizó simulaciones en CFD (OpenFOAM) y ensayos de trazadores y de acumulación de sólidos, de lo cual se concluyó que el Tiempo Promedio de Retención Hidráulica (MHRT, en inglés) varió entre 10.88 y 13.04 días, con una eficiencia entre 33 y 51.6 %. Esto representa la existencia de un mal comportamiento hidráulico del sistema en estudio.

**Murphy, Chris. 2012. “Quantifying the Impact of Sludge Accumulation on the Hydraulic Performance of Waste Stabilisation Ponds”. Thesis, The University of Western Australia.**

Murphy desarrolló modelos CFD (MIKE 21) considerando el efecto de la acumulación de lodos en las lagunas de estabilización. El autor establece que la acumulación paulatina de los lodos en las lagunas causa un decremento en el tratamiento en general, por lo que se recomienda utilizar metodologías para el desarrollo de programas de gestión de los lodos, así como mejoramientos en el diseño para reducir el costo de operación.

## 2.2. BASES TEÓRICO – CIENTÍFICAS

### 2.2.1. AGUAS RESIDUALES

Las Aguas Residuales son el producto del uso del recurso hídrico mezclado con cualquier sustancia que ingresa a la red de alcantarillado [7]. Se debe tener en cuenta la proveniencia de las aguas residuales, pues de esto depende el tipo de tratamiento y la tecnología adecuada a emplear. En efecto, Romero [7, p. 23] establece la caracterización de las aguas residuales de la siguiente manera:

Aguas Residuales Domésticas: provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales.

Aguas Residuales Municipales: residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal.

Aguas Residuales Industriales: provenientes de las descargas de industrias de manufactura.

Por otro lado, Hernández [8, pp. 13-14] establece los siguientes conceptos: Aguas blancas o de lluvia: donde se integran los depósitos de contaminación atmosférica, los restos de la actividad humana, los residuos del tráfico.

Aguas negras o urbanas: la cual presenta compuestos químicos como microorganismos, urea, albúmina, proteínas, ácido acético y láctico.

Según Romero [7, p. 28], “La cantidad y concentración de las aguas residuales es función de su origen y de sus componentes, por ello las cargas equivalentes o contribuciones per cápita por día varían de una ciudad a otra y de un país a otro”.

## ▪ **Composición de las Aguas Residuales**

Las aguas residuales están compuestas por una gran variedad de sustancias y también por la variación de las mismas de acuerdo a cada comunidad por individual.

Las propiedades en estudio que deben tomarse en cuenta para caracterizar un agua residual son las siguientes:

Acidez: Capacidad cuantitativa de neutralizar una base fuerte a un pH de 8.3. Tiene efecto destructor o alterador de la flora y fauna de fuentes receptoras.

Ácido Sulhídrico: H<sub>2</sub>S, es un producto de la descomposición anaeróbica de las aguas residuales. La corrosión de las alcantarillas y de las plantas de tratamiento está, a menudo, relacionada con la producción de H<sub>2</sub>S en la atmósfera.

Alcalinidad: Medida de la capacidad de neutralizar ácidos. Las aguas residuales domésticas son generalmente alcalinas, siendo comunes concentraciones entre 50 y 200 mg/L – CaCO<sub>3</sub> son comunes.

Algas: En lagunas fotosintéticas las algas proveen el oxígeno requerido para la actividad biológica aeróbica. Los nutrientes y el dióxido de carbono producidos son usados por las algas estableciéndose una relación simbiótica algas-bacterias responsable del tratamiento del agua. Son indeseables en aguas superficiales pues cubren las superficies de lagos y embalses.

Bacterias: Son los organismos más importantes en la descomposición y estabilización de la materia orgánica. Asimismo, los organismos bacteriales patógenos que pueden acompañar las excretas humanas originan uno de los problemas sanitarios más graves en áreas de malas condiciones sanitarias.

Cloruros: Comunes en aguas residuales pues la contribución diaria por persona es de 6 a 9 gramos. Concentraciones altas pueden causar problemas de calidad de aguas para riego y de sabor en aguas para reuso.

Coliformes: Los organismos patógenos que pueden existir en las aguas residuales son, generalmente, pocos y difíciles de aislar e identificar, Por esta razón se prefiere utilizar a los coliformes como organismo indicador

de contaminación o, en otras palabras, como indicador de la existencia de organismos productores de enfermedad.

Color: Las aguas residuales domésticas frescas son generalmente de color gris y a medida que el agua envejece cambia a color gris oscuro y luego a negro.

Demanda Bioquímica de Oxígeno: La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aeróbicas. En condiciones normales de laboratorio esta demanda se cuantifica a 20°C y el ensayo estándar se realiza a 5 días de incubación y se conoce convencionalmente como DBO con valores numéricos expresados generalmente en mg/L – O<sub>2</sub>.

Demanda Química de Oxígeno: La demanda química de oxígeno o DQO se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte. La DQO es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales industriales o municipales tóxicas a la vida biológica y se puede realizar en solo unas 3 horas [7].

**Tabla 1. Características de un agua residual doméstica típica**

Parámetro	Magnitud
D.B.O.	200 mg/L
D.Q.O.	400 mg/L
Sólidos Suspendidos Totales	200 mg/L
Sólidos Suspendidos Volátiles	150 mg/L
Nitrógeno Amoniacal	30 mg/L - N
Ortofosfatos	10 mg/L - P

**Fuente: Romero, 2009**

▪ **Muestras para caracterización de aguas residuales:**

Un agua residual debe caracterizarse de manera global. Es conocida la el cambio de estas aguas considerando las estaciones y periodos de estudio a lo largo del tiempo. Por lo tanto, se recomienda realizar el muestreo en zonas de alta turbulencia y mezcla, aunque también depende de cada problema individual de estudio. Por otro lado, el uso del agua a tratar es un parámetro importante para elaborar un adecuado programa de muestreo [7].

▪ **Procesos Unitarios en el tratamiento de aguas residuales**

En el tratamiento de aguas residuales se depurarán todas aquellas sustancias que representen un peligro respecto al uso post-tratamiento o al cuerpo receptor. Entonces, será necesario que estas aguas pasen por ciertos procesos unitarios los cuales irán eliminando tales sustancias indeseables en función a la tecnología de tratamiento y a la complejidad de estos procesos [8].

Los procesos unitarios se subdividen de la siguiente manera:

“Procesos físicos:

- Desbastes por rejillas, tamices o filtración mecánica.
- Desengrasado. Su misión es la retirada de grasas, hidrocarburos y elementos flotantes en las aguas.
- Sedimentación para eliminar los sólidos en suspensión por su mayor densidad en relación a la del agua.
- Flotación para eliminar materias en suspensión por su menor densidad en relación a la del agua.
- Absorción para eliminación de micro-contaminantes, como color, fenoles, etc.

Procesos químicos:

- Floculación y coagulación, utilizable cuando existe dificultad para la sedimentación de las partículas en suspensión.
- Neutralización para modificar el pH.
- Oxidación.
- Reducción, como la utilización de sulfato de hierro para eliminar cromo.
- Intercambio iónico, para eliminación de cobre, zinc, plomo, etc.

Procesos biológicos:

Se busca el desarrollo de la actividad bacteriológica para la depuración de la materia orgánica, todo de forma natural (autodepuración).

- Procesos de biomasa en suspensión, tipo fangos activos.
- Procesos de biomasa fija, tipo lechos bacterianos” [8, pp. 14, 15].

#### ▪ **Principios de tratamiento de las aguas residuales**

El tratamiento de aguas residuales se basa en una serie de procesos físicos, biológicos y químicos determinantes para la remoción de contaminantes. La descripción del tipo de tratamiento depende del tipo de actividad biológica durante la descomposición de la materia orgánica, el cual puede ser una oxidación anaeróbica (tratamiento anaeróbico) o aeróbica (tratamiento aeróbico).

Tratamiento Anaeróbico: La descomposición de la materia orgánica se produce en ausencia de oxígeno disuelto. Se da el proceso de “desnitrificación”, en el cual se usa oxígeno de compuestos orgánicos (nitratos, nitritos, sulfatos, CO<sub>2</sub>).

Tratamiento Aeróbico: La materia orgánica se descompone mediante el uso de oxígeno molecular disuelto. El oxígeno reduce los compuestos orgánicos a compuestos inorgánicos altamente oxidados, proceso conocido como “mineralización”, más veloz que el del tratamiento anaeróbico [7].

#### ▪ **Lagunas de Estabilización como alternativa de tratamiento de las aguas residuales**

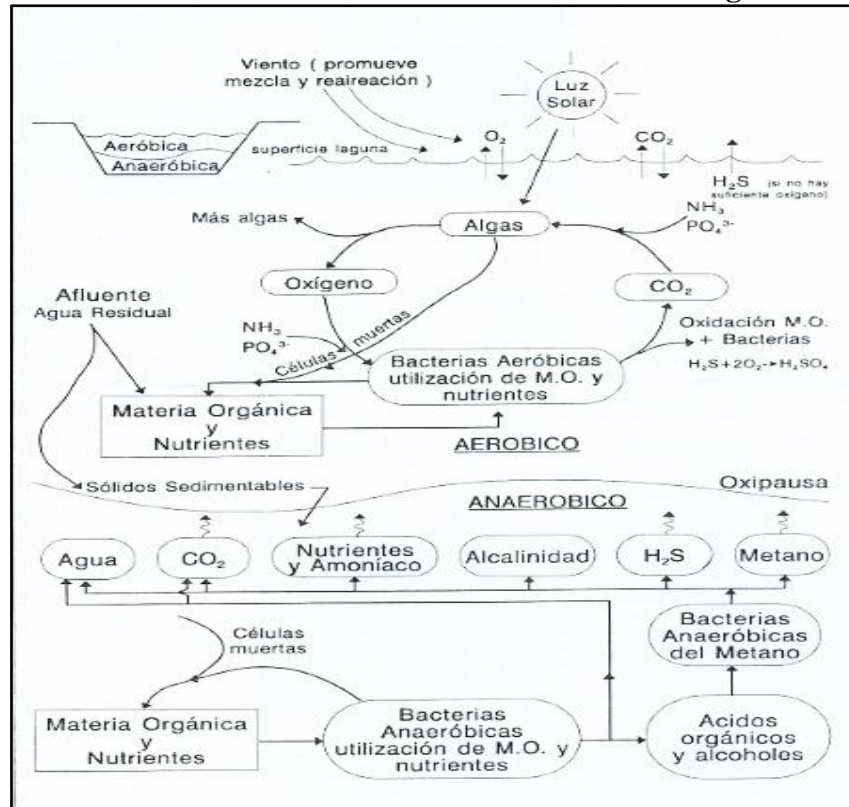
Las lagunas de estabilización son estudiadas como reactores, siendo estanques construidos en tierra, de profundidad reducida, diseñados para el tratamiento de aguas residuales, por medio de la interacción de la biomasa, la materia orgánica del afluente y otros procesos naturales [9].

Una laguna de estabilización contiene principalmente algas y bacterias en suspensión. El oxígeno liberado por las algas, a través del metabolismo fotosintético, es usado por las bacterias en la descomposición aeróbica de la materia orgánica. A la vez, los nutrientes y el dióxido de carbono producidos por la actividad bacteriana son usados

por las algas, Otros organismos, como los rotíferos y los protozoarios, tienen como función depurar el efluente [7].

El proceso integral en sistemas de lagunaje se muestra en el siguiente esquema:

**Ilustración 1. Procesos de tratamiento en una laguna**



**Fuente: Romero, 2009**

Se sabe que este tipo de sistemas funcionan en zonas donde el costo del terreno es relativamente bajo debido a su naturaleza de abarcar grandes áreas, siendo una alternativa viable para países en vías de desarrollo. No obstante, el diseño de este tipo de sistemas se realizaba de forma empírica, solo teniendo en cuenta las normativas de diseño y la escasa documentación de investigaciones.

Posteriormente, han aumentado el número de investigaciones respectivas a este tema y las más resaltantes están en las siguientes universidades:

- Universidad de California – Estados Unidos
- Universidades de Paraíba y Minas Gerais – Brazil

- Univalle – Colombia
- Universidad Flinders – Australia
- AIT – Tailandia
- Universidad de Massey – Nueva Zelanda
- Universidad de Montpellier I y II – Francia
- Universidades en Leeds – Inglaterra
- Conferencias internacionales, guías de diseño, manuales y libros [9].

### **2.2.2. ANÁLISIS DIMENSIONAL Y SIMILITUD HIDRÁULICA**

Resulta complejo el estudio de los fenómenos hidráulicos debido a los múltiples factores que intervienen en los mismos. Un exhaustivo estudio hidráulico representa una inversión considerable de tiempo y dinero y, en algunos casos, los resultados solo describen de manera parcial tales fenómenos.

Los modelos hidráulicos a escala piloto son sumamente importantes para estudiar fenómenos hidráulicos a detalle, pues representan un ahorro en tiempo y dinero. Sin embargo, se debe tener un cuidado especial para escalar de forma apropiada cada parámetro. Para ello se utiliza la técnica de Análisis Dimensional.

Los propósitos de un Análisis Dimensional son los siguientes:

- “Generar parámetros adimensionales que ayuden con el diseño de experimentos (físicos y/o numéricos) y en el reporte de resultados experimentales.
- Obtener leyes de escalamiento de modo que se pueda predecir el desempeño del prototipo a partir del desempeño del modelo.
- Predecir tendencias en relación a parámetros” [10].

#### ▪ **Principios de similitud**

“El principio de similitud consiste en aceptar que las conclusiones obtenidas del análisis de un fenómeno son aplicables a otro fenómeno” [10].

Existen tres condiciones necesarias para similitud completa entre un modelo y un prototipo [10].

Similitud Geométrica: Las relaciones entre las dimensiones homólogas de modelo y prototipo deben ser proporcionales a un factor de escala constante.

$$\frac{L_m}{L_p} = L_r \quad (1)$$

$$\frac{A_m}{A_p} = \frac{L_m^2}{L_p^2} = L_r^2 \quad (2)$$

Similitud Cinemática: Existe semejanza cinemática entre modelo y prototipo si:

- Las trayectorias de las partículas homólogas son geoméricamente semejantes;
- Las relaciones entre las velocidades de las partículas homólogas son iguales.

*Relaciones de velocidad:*

$$\frac{V_m}{V_p} = \frac{\frac{L_m}{T_m}}{\frac{L_p}{T_p}} = \frac{L_m \cdot T_p}{L_p \cdot T_m} = \frac{L_r}{T_r} \quad (3)$$

*Relaciones de aceleración:*

$$\frac{a_m}{a_p} = \frac{\frac{L_m}{T_m^2}}{\frac{L_p}{T_p^2}} = \frac{L_m \cdot T_p^2}{L_p \cdot T_m^2} = \frac{L_r}{T_r^2} \quad (4)$$

*Relaciones de Caudal:*

$$\frac{Q_m}{Q_p} = \frac{\frac{L_m^3}{T_m}}{\frac{L_p^3}{T_p}} = \frac{L_m^3 \cdot T_p}{L_p^3 \cdot T_m} = \frac{L_r^3}{T_r} \quad (5)$$

Similitud Dinámica: Entre modelo y prototipo con previa semejanza geométrica y cinemática, existirá semejanza dinámica cuando las relaciones entre las fuerzas homólogas son iguales.

Sin embargo, por lo general solo una fuerza es predominante en los modelos hidráulicos, y puede ser cualquiera de los siguientes parámetros adimensionales:

*Número de Reynolds:* Relaciona las fuerzas de inercia y viscosidad.

$$Re = \frac{V \cdot L}{\nu} \quad (6)$$

*Número de Froude:* Relaciona las fuerzas de inercia y gravitatoria.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}} \quad (7)$$

*Número de Euler:* Relaciona las fuerzas de inercia y presión.

$$Eu = \frac{\rho \cdot V^2}{p} \quad (8)$$

*Número de Mach:* Relaciona las fuerzas de inercia y elástica.

$$M = \frac{V}{\sqrt{E/\rho}} \quad (9)$$

*Número de Weber:* Relaciona las fuerzas de inercia y tensión superficial.

$$W = \frac{\rho \cdot L \cdot V^2}{\sigma} \quad (10)$$

### 2.2.3. HIDRÁULICA DE LAGUNAS

Shilton y Harrison afirman que para el entendimiento de la hidráulica de las lagunas se requiere la evaluación del aporte del momento de flujo dentro de una laguna. Esto incluye, en términos generales, los siguientes factores internos:

- Caudal de flujo:* a mayor caudal, incrementa el momento de entrada.
- Posición y orientación de la entrada:* define el modo en que el momento de entrada se introduce al cuerpo de la laguna y cómo influye en el patrón principal de flujo.
- Posición de salida:* Establece la distancia de la entrada y, además, el tiempo para que el flujo principal alcance la salida.

*-Efectos de temperatura y densidad:* pueden influenciar el efecto canal y la circulación del flujo principal.

*-Cortante del viento:* Las altas velocidades del viento y las grandes superficies de lagunas aumentan el momento actuante y, como resultado, influyen en el patrón principal de flujo.

*-Aeradores mecánicos:* si existe tal sistema en las lagunas, esto constituye un aporte significativo de momento y puede tener, como resultado, una considerable influencia en el patrón principal de flujo [4].

Además, Alvarado sostiene que el régimen hidráulico de una laguna determina el tiempo de retención de las aguas efluentes, lo cual afecta directamente el rendimiento global de las Lagunas de Estabilización. El análisis de la hidráulica de las lagunas es un paso esencial en el entendimiento de la efectividad de operación del sistema [11].

#### ▪ **Patrones de flujo y mezcla en lagunas**

Los sistemas de lagunas de estabilización, debido a los variados fenómenos físicos, químicos y biológicos propios de su funcionamiento, son estudiados como reactores. En el diseño de reactores se busca conocer el tamaño y tipo apropiado de reactor, así como el método de operación.

Los patrones de flujo en lagunas de estabilización dependen de las condiciones de mezcla, lo cual se relaciona directamente con el tipo de reactor que idealiza a la laguna o lagunas en estudio. Los patrones típicos de flujo y mezcla incluyen los reactores discontinuos y los de caudal continuo. Los reactores con caudal continuo se clasifican en [12], [13]:

a) Reactores de Flujo Pistón: Se les llama también flujo tapón, tubular ideal o reactores continuo de flujo uniforme. La composición del fluido va de un punto a otro a lo largo de la dirección del flujo. En este tipo de reactor puede haber mezcla lateral del fluido, pero nunca a lo largo de la trayectoria de flujo (no dispersión). El tiempo de residencia para todos los elementos es el mismo.

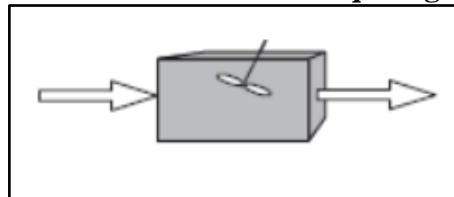
### **Ilustración 2. Idealización Flujo Pistón**



**Fuente: Von Sperling, 2007**

- b) Reactores de Tanque Agitado (mezcla completa): Conocidos también como reactores de flujo mezclado o de retromezclado. Su contenido es perfectamente agitado y su composición es la misma en todos los puntos del mismo y hasta en la salida del reactor.

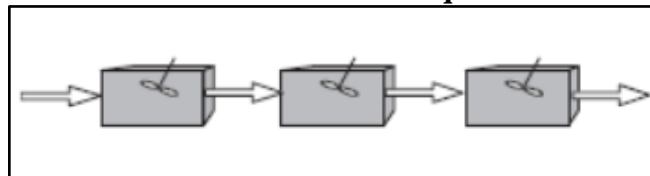
### **Ilustración 3. Idealización Tanque Agitado**



**Fuente: Von Sperling, 2007**

- c) Reactores de tanque agitado en serie: Se usa para modelar el régimen hidráulico de lagunas que se encuentran entre el flujo de pistón y el de mezcla completa. Si un sistema está compuesto por un solo tanque entonces es de mezcla completa, y si el sistema tiene infinito número de reactores en serie, tendrá un comportamiento de flujo pistón. Son comúnmente aplicadas en lagunas de maduración (Von Sperling, 2007).

### **Ilustración 4. Idealización Tanques en Serie**



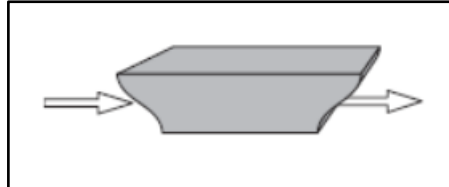
**Fuente: Von Sperling, 2007**

La intención de estos modelos es de diseñar reactores reales los cuales puedan aproximarse al comportamiento de los reactores ideales.

Sin embargo, se debe enfatizar que la tendencia de algunos reactores se aleja en cierta medida de tales modelos ideales dando lugar a los reactores con flujo disperso.

d) Reactores de flujo disperso: En la realidad, los cuerpos de agua presentan una característica de dispersión de contaminantes, situación intermedia entre los ya conocidos flujos pistón y de mezcla completa. Este modelo resulta muy importante para el estudio de aguas cuyas velocidades son muy bajas.

**Ilustración 5. Idealización flujo disperso**



**Fuente: Von Sperling, 2007**

▪ **Dispersión**

Es una medida del grado de mezcla, a mayor dispersión menor es la eficiencia de remoción y una gran variación de la misma implica que algunos “paquetes de agua”, se moverán rápidamente a través de la laguna mientras otros viajan más lentamente.

El flujo de fluidos no ideal puede ser estudiado mediante la información sobre la distribución por edades de las moléculas de líquido a la salida o por distribución del tiempo de residencia dentro de la laguna (Cedillo y Matailo, 2011).

El factor de dispersión o número de dispersión  $d$ , es igual a la inversa del número de Peclet, que describe la relación entre el transporte por convección y dispersión.

$$Pe = \frac{1}{d} = \frac{U \cdot L}{D} \quad (11)$$

$$d = \frac{D}{U \cdot L} = \frac{D \cdot t}{L^2} = \frac{2881 \cdot PR}{L^2} \quad (12)$$

Donde:

$t_n$ : tiempo de residencia teórica o nominal =  $V/Q$  (h)

$L$ : Distancia entre dispositivos de entrada y salida (m)

2881: Cortante con unidades  $m^2/s$

El coeficiente de dispersión ( $D$ ) está relacionado con los datos geométricos como la longitud y ancho de la laguna, por lo tanto la

geometría y el caudal son los principales factores que condicionan la distribución del tiempo de retención. Se requiere conocer el coeficiente de dispersión “D” para la evaluación del factor de dispersión “d”.

D grande: Implica una rápida dispersión de la curva del trazador.

D pequeño: Implica una baja dispersión de la curva del trazador.

D=0: Significa que no hay dispersión, por lo tanto, el flujo es de pistón.

Existen una serie de ecuaciones en la literatura para una determinación del número de dispersión (d) en cuerpos lagunares. A continuación, se muestra un resumen de estas ecuaciones adaptadas según Von Sperling (2007):

Polprasert and Batharai 1993

$$d = \frac{(0.184 \cdot t \cdot v \cdot (B + 2 \cdot H)^{0.489} \cdot B^{1.511})}{(L \cdot H)^{1.489}} \quad (13)$$

Agunwaba 1992

$$d = 0.102 \cdot \left( \frac{3 \cdot (B + 2 \cdot H) \cdot t_n \cdot v}{4 \cdot L \cdot B \cdot H} \right)^{-0.410} \cdot \frac{H}{L} \cdot \left( \frac{H}{B} \right)^{-(0.981 + 1.385 \frac{H}{B})} \quad (14)$$

Yáñez 1993

$$d = \frac{\frac{L}{B}}{-0.261 + 0.254 \cdot \left( \frac{L}{B} \right) + 1.014 \cdot \left( \frac{L}{B} \right)^2} \quad (15)$$

Von Sperling

$$d = \frac{1}{\frac{L}{B}} \quad (16)$$

Donde:

L: Largo de la laguna (m)

B: Ancho de la laguna (m)

H: Profundidad de la laguna (m)

tn: Tiempo de retención nominal (d)

v: Viscosidad cinemática del agua (m<sup>2</sup>d<sup>-1</sup>)

Von Sperling (2007) propone la siguiente correlación para la viscosidad cinemática en función de la temperatura (T) en °C:

$$v = 0.325 \cdot T^{-0.45} \quad (17)$$

Cuando  $d$  tiende a infinito, el reactor tiende a un régimen de mezcla completa, por otro lado, cuando  $d$  tiende a cero el reactor tiende a un régimen de flujo de pistón.

Según Levenspiel (2004), se tiene la siguiente descripción de los resultados del número de dispersión:

$d \leq 0.01$ : Para valores pequeños de “ $d$ ”, la dispersión de la curva no cambia significativamente en su forma cuando pasa por el punto de medida, por lo que no altera la varianza de la curva.

$d \geq 0.01$ : Para  $d$  mayores o iguales a 0.01 la respuesta del pulso es amplia y pasa por el punto de medida suficientemente despacio que cambia la forma (se dispersa) cuando ha sido medida. Para un amplio “ $d$ ” lo que sucede en la entrada o salida del reactor afecta ampliamente la forma de la curva del trazador.

- **Volumen efectivo**

Hasta ahora el tiempo de residencia bajo flujo estacionario ha sido igual al tiempo de residencia nominal  $V/Q$ , pero en la realidad esto no sucede, incluso bajo condiciones de flujo estacionario.

El tiempo medio de residencia  $t_m$  es siempre inferior que el tiempo de residencia nominal  $t_n$ .

Para un mejor entendimiento y discusión entre el tiempo de residencia medio y el tiempo de residencia nominal, se puede multiplicar a los dos por el caudal, lo que da la relación entre dos volúmenes:

$$e = \frac{\text{Volumen efectivo}}{\text{Volumen Total}} = \frac{t_m \cdot Q}{t_n \cdot Q} \quad (18)$$

“ $e$ ” es la relación de volumen efectivo y está ligada al ancho y largo de la laguna pero también es afectada por factores como el viento (Persson y Wittgren, 2003), la cual se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$e = 0.84 \cdot (1 - \exp^{-0.59 \cdot (\frac{L}{B})}) \quad (19)$$

Donde:

L: Largo de la laguna (m)

B: Ancho de la laguna (m)

▪ **Problemas con el diseño de lagunas**

En realidad, las lagunas no funcionan a su tiempo de retención hidráulico teórico, ello debido a que:

-Comparado con el caudal constante usado para calcular el tiempo de retención hidráulico teórico, el caudal real está constantemente cambiando.

-Las lagunas están parcialmente llenas de lodo.

Incluso si una laguna está funcionando acorde con su tiempo de retención hidráulico teórico, su eficiencia hidráulica aun parece ser por debajo de los niveles óptimos debido a:

-Espacios hidráulicos muertos.

-Corcocircuitos hidráulicos [4].

*Espacios muertos:* El volumen ocupado por los lodos acumulados es físicamente un espacio muerto. Este fenómeno reduce el volumen efectivo de la laguna, por lo que reduce también la eficiencia hidráulica y de tratamiento [4].

Este término también se emplea para hacer referencia a áreas que se encuentran fuera del patrón de flujo principal, como las esquinas. Aunque este concepto suele ser confuso pues la mayor parte del fluido está en movimiento. El enfoque es de acuerdo a los rangos de velocidad, que oscilan desde rápidos a muy lentos.

Las zonas como remolinos en las esquinas tardan en mezclarse e intercambiar fluido con el flujo principal y, además, su contenido queda retenido por largos periodos, lo cual produce una reducción del volumen activo de la laguna encargado del tratamiento del flujo principal [4].

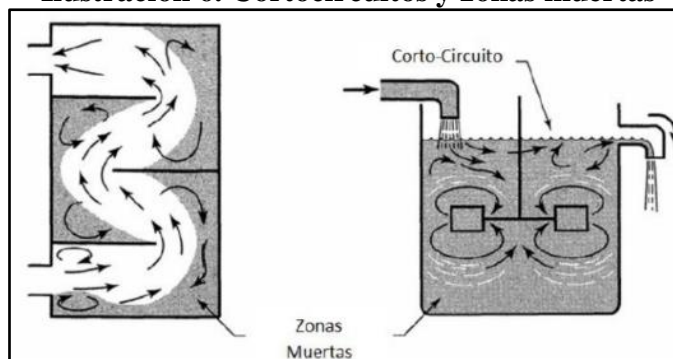
*Cortocircuitos hidráulicos:* Este fenómeno se produce cuando parte del flujo sale del sistema de tratamiento en un tiempo mucho menor al tiempo de retención teórico, sin mezclarse adecuadamente y sin lograr la eficiencia requerida de tratamiento [4].

Los investigadores que llevan a cabo ensayos de trazadores han informado sistemáticamente sobre la presencia de cortocircuitos. Se han dado varias razones para explicar por qué esto puede ocurrir. Diferentes autores han atribuido este efecto a varias causas posibles, incluida la estratificación térmica, la canalización directa desde la entrada a la salida y los efectos del viento [4].

Varios autores concuerdan que los patrones de flujo en el interior de una laguna, no son ni de pistón ni de mezcla completa sino intermedio (Dorego y Leduc, 1996; Lloid y otros, 2003; Persson y Wittgren, 2003), y resultados en campo sugieren una dispersión considerable pero no perfecta como se suele asumir en los diseños o evaluación de las lagunas, ya que al tomar uno u otro flujo no se está tomando en cuenta factores que actúan en la laguna como por ejemplo sedimentación y acumulación de lodos, burbujas de biogás (Peña y otros, 2000). Se puede desviar de los flujos ideales por canalización de fluido, reciclaje de fluido o por la creación de zonas muertas en el reactor, en reactores se deben evitar estos procesos ya que bajan la eficiencia de la unidad [12].

La ocurrencia de cortocircuitos en lagunas es la causa de varios problemas tales como la aparición de zonas muertas o estancadas que reducen el volumen efectivo y el área superficial de la laguna, con la posibilidad de problemas de olor en las áreas con sobrecarga [12].

**Ilustración 6. Cortocircuitos y zonas muertas**



**Fuente: Levenspiel, 2004**

Las corrientes de agua inducidas por el viento son las más propensas a la formación de cortocircuitos en comparación con las posiciones relativas a la entrada y salida. Lagunas con formas irregulares también contribuyen para la formación de cortocircuitos (Mendoza, 2000).

También existen otros problemas con respecto a que se siguen diseñando sistemas con tiempo de retención nominal ( $t_n=V/Q$ ) en lugar de una estimación de tiempo de retención hidráulico de un modelo físico o matemático, ya que el tiempo de retención nominal no tiene en cuenta cortocircuitos y la consecuente insuficiencia hidráulica (Persson y Wittgren, 2003), lo cual es un factor causal de un mal desempeño en cuanto a su capacidad de tratamiento, debido a que la parte hidráulica está íntimamente relacionada con la eficiencia para tratar las aguas residuales en las lagunas.

▪ **Distribución del Tiempo de Residencia (RTD, por sus siglas en inglés)**

Es el tiempo de permanencia de cada una de las moléculas en un reactor, el cual se obtiene fácilmente mediante el experimento de estímulo – respuesta.

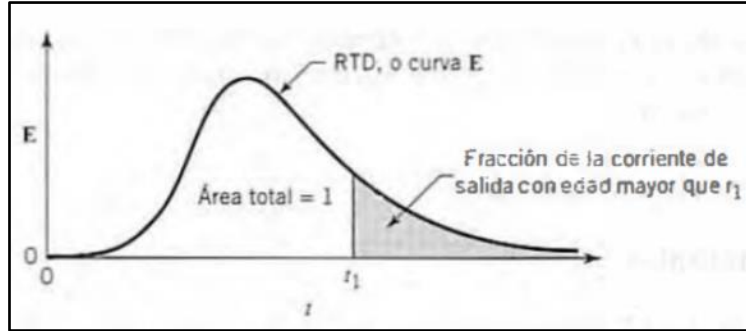
Es evidente que a los elementos del fluido que siguen diferentes caminos a lo largo del reactor les podría tomar tiempos diferentes en pasar a través de él. La distribución de estos tiempos en la corriente del fluido que sale del recipiente se denomina distribución de la edad a la salida, E, o distribución de tiempos de residencia (RTD) del fluido. E tiene unidades de tiempo<sup>-1</sup> [12].

Es conveniente representar la RTD de tal manera que el área bajo la curva sea la unidad, o sea:

$$\int_0^{\infty} E dt = 1 \quad (20)$$

Este procedimiento se denomina normalización de la distribución, mostrado en el siguiente gráfico:

### Ilustración 7. Curva de Distribución de Tiempos de Residencia (RTD)



Fuente: Levenspiel, 2004

#### ▪ Métodos experimentales para medir E

Método del impulso: Encontrar la curva E para un recipiente de volumen  $V$  ( $m^3$ ) a través del cual fluyen  $v$  ( $m^3/s$ ) de fluido. Se introducen instantáneamente  $M$  unidades de trazador (kg o moles) en la corriente de entrada al recipiente y se mide la concentración-tiempo del trazador que abandona el recipiente. Esta es la curva  $C_{impulso}$ . A partir del balance de materia para el recipiente se encuentra:

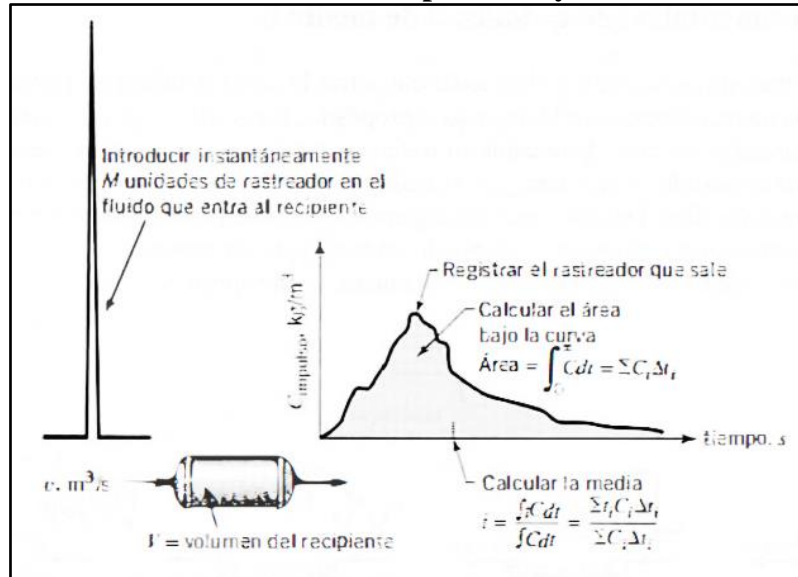
$$(\text{Área bajo la curva } C_{impulso}): A = \int_0^x C dt \cong \sum_i C_i \Delta t_i = \frac{M}{v} \left[ \frac{kg \cdot s}{m^3} \right] \quad (21)$$

$$(\text{Media de la curva } C_{impulso}): \bar{t} = \frac{\int_0^x t C dt}{\int_0^x C dt} \cong \frac{\sum_i t_i C_i \Delta t_i}{\sum_i C_i \Delta t_i} = \frac{V}{v} [s] \quad (22)$$

Para encontrar la curva E a partir de la curva  $C_{impulso}$  se ha de cambiar simplemente la escala de concentración, de forma que el área bajo la curva sea la unidad. Así, simplemente dividir las lecturas de concentración por  $M/v$ , de la siguiente manera:

$$E = \frac{C_{impulso}}{M/v} \quad (23)$$

### Ilustración 8. Procedimiento para ensayos de trazadores



Fuente: Levenspiel, 2004

Se tiene otra función RTD, la  $E_\theta$ . Aquí el tiempo se mide en función promedio de residencia  $\theta=t/\bar{t}$ , de la siguiente manera:

$$E_\theta = \bar{t}E = \frac{V}{v} \cdot \frac{C_{\text{impulso}}}{M/v} = \frac{V}{M} \cdot C_{\text{impulso}} \quad (24)$$

La relación entre  $C_{\text{impulso}}$  y las curvas  $E$  solo se cumple con exactitud para condiciones frontera de recipientes cerrados.

Método del escalón: Considerar que  $v$  ( $m^3/s$ ) de una corriente de fluido pasan a través de un recipiente de volumen  $V$ . Ahora bien, en  $t=0$  se cambia de fluido ordinario a un fluido que tiene una concentración de trazador a la salida  $C_{\text{escalón}}$  contra el tiempo,  $t$ .

Un balance de materia relaciona las diferentes cantidades medidas de la curva de salida de una entrada en escalón, donde  $m$  [ $kg/s$ ] es la velocidad de flujo del trazador en el fluido de entrada. La forma adimensional de la curva  $C_{\text{escalón}}$  es la llamada curva  $F$ . Se encuentra haciendo que la concentración del trazador aumente de cero hasta la unidad.

#### 2.2.4. ENSAYOS DE TRAZADORES

Se sabe a cabalidad que los ensayos o pruebas de trazadores tienen múltiples utilidades, entre ellas la calibración de estructuras de medición de caudal o la caracterización hidráulica de lagunas [14]. Un ensayo de trazadores se desarrolla mediante la adición de una sustancia trazadora en el afluente del tanque o reactor en análisis, cuya concentración es conocida, para después determinar a la salida la evolución de dicha concentración a lo largo del tiempo de ensayo [15].

Las sustancias trazadoras, según Yáñez, pueden ser las siguientes:

- “Colorantes, como fluoresceína o rodamina.
- Iones como cloruros, especialmente de sodio o potasio, fluoruros o nitratos, especialmente de sodio.
- Elementos radiactivos como isótopos.
- Ácidos: clorhídrico, benzoico.
- Otras sustancias químicas: alizarim, sapirol, naptol” [15].

##### ▪ **Procedimiento**

El procedimiento para la prueba de trazadores depende del modo en cómo éste se inyecta al reactor. Existen dos formas: Instantánea y Continua [15].

##### Dosificación Instantánea:

Hace referencia a que el tiempo de inyección del trazador debe ser muy corto, en orden a 1/30 del tiempo teórico de retención ( $t_0$ ), y su aplicación debe ser estratégica, de tal manera que pueda mezclarse de inmediato con la masa de agua afluente de la unidad en análisis [14].

La cantidad de trazador P (kg), en caso de cloruro de sodio (NaCl), necesaria para adicionar al reactor en evaluación se determina mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{V \times K \times C_0}{I \times 10^3} \quad (25)$$

Donde:

P: peso del trazador por añadir al reactor, kg.

V: volumen útil del reactor, m<sup>3</sup>.

K: constante de corrección

Co: concentración, mg/L o g/m<sup>3</sup>.

I: grado de pureza del trazador, fracción de la unidad [15].

$$K = \frac{\text{Peso de NaCl}}{\text{PesoCl}} = \frac{23 + 35.5}{35.5} = 1.65 \quad (26)$$

Dosificación continua:

La concentración (C<sub>0</sub>) se aplica continuamente, siendo el tiempo de inyección no menor de tres veces el periodo de retención teórico (t<sub>0</sub>).

La cantidad de trazador P (kg/h), en caso de cloruro de sodio (NaCl), necesaria para adicionar al reactor en evaluación se determina mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{Q \times K \times Co}{I \times 10^3} \quad (27)$$

Donde:

P: peso del trazador por añadir al reactor, kg/h.

Q: caudal de la unidad por evaluar, m<sup>3</sup>/s.

K: constante de corrección

C<sub>0</sub>: concentración, mg/L o g/m<sup>3</sup>.

I: grado de pureza del trazador, fracción de la unidad [15].

▪ **Tiempo de retención promedio a partir de datos reales**

El tiempo de retención teórico es uno de los indicadores que determinan la eficiencia de tratamiento de una Laguna de Estabilización. Sin embargo, para encontrar el tiempo de retención real, se debe determinar el tiempo de retención promedio a partir de datos reales, es decir, experimentalmente. En otras palabras, es de gran recomendación realizar estudios de trazadores a escala piloto para evaluar de forma fidedigna el funcionamiento de un sistema de lagunas de estabilización.

En un estudio de trazadores, el tiempo de retención real se determina mediante la siguiente expresión [16]:

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i \times C_i}{\sum C_i} \quad (28)$$

Donde:

$\bar{t}$ : tiempo de retención promedio.

$t_i$ : tiempo de muestreo en la salida del reactor.

$C_i$ : concentración del trazador a la salida.

### 2.2.5. DINÁMICA COMPUTACIONAL DE FLUIDOS

La Dinámica Computacional de Fluidos es aquella herramienta que desarrolla, mediante métodos numéricos, una serie de algoritmos para la resolución de problemas hidrodinámicos y de mecánica de fluidos, todo ello con el enorme potencial de un ordenador.

Ojeda et al. mencionan sobre el aumento del campo de acción del CFD debido al aumento de la velocidad de procesamiento de las computadoras. Esto implica que con este paquete de software ya se están solucionando problemas de mayor complejidad relacionados a los flujos compresibles e incompresibles, laminar o turbulento, con reacciones químicas, transferencia de calor, transferencia de masa, cambios de fase (congelación, fusión, etc.), procesos mecánicos, esfuerzos y deformaciones presentes en estructuras sólidas, además de los problemas de medio ambiente y arquitectura [17].

#### ▪ Terminología [18]

Condiciones Iniciales: Condiciones en el momento inicial en una simulación dependiente del tiempo .

Cuadrícula/Malla: El resultado de dividir el dominio computacional (discretización) en un número de elementos o células que definen los puntos discretos en los que se calcula la solución numérica. Los puntos son normalmente los centros celulares o vértices celulares .

Dominio: La región geométrica sobre la que se realiza una simulación. A veces se denomina el dominio analítico o dominio computacional .

Ecuaciones de Gobierno: Las ecuaciones matemáticas que describen la física del flujo considerado. Estas serán típicamente las ecuaciones de conservación de masa, momentum y energía, pero pueden incluir

adicionalmente ecuaciones para el transporte de turbulencia y masa de especies, por ejemplo .

Precisión del Modelo: Una medida de la similitud de un modelo conceptual con el flujo físico que se pretende representar y una de las medidas por las que se valida una solución .

Precisión Numérica: Una medida de la exactitud del tratamiento numérico (es decir, discretización y convergencia) y una de las medidas mediante las cuales se verifica una solución .

Pre-Procesamiento: Definición del flujo a simular (propiedades de fluidos, geometría, generación de mallas, condiciones de contorno, etc.).

Validación: El proceso de determinar con qué precisión una simulación representa el mundo real .

Verificación: El proceso de determinar si una simulación representa con precisión el modelo conceptual. Una simulación verificada no hace ninguna afirmación relativa a la representación del mundo real por la simulación .

▪ **Procesos de un modelo CFD [19]**

Los modelos CFD están estructurados en base a algoritmos numéricos capaces de resolver problemas de flujo de fluidos. Todos los códigos están compuestos de las siguientes fases [19]:

Pre – procesamiento: Consiste en la introducción de datos sobre problemas de flujos a un programa CFD por medio de un operador de interfaz amigable para, posteriormente, su transformación para que pueda ser procesada por el solver.

Esta fase está compuesta por:

- Definición del dominio computacional.
- Generación de la grilla (malla), división del dominio en una cantidad de elementos no excesiva (subdominios).
- Selección de los fenómenos físicos y químicos que necesitan ser modelados.
- Definición de propiedades de fluidos.
- Especificación de condiciones de borde apropiadas en las celdas correspondientes al contorno del dominio.

Se debe añadir que la precisión de los modelos CFD tienen una estrecha relación con el número de elementos. Mientras mayor sea el número de elementos, mayor será la precisión del modelo. Sin embargo, el tiempo necesario para resolver el problema será mayor, lo cual se traduce en mayor costo computacional.

Solucionador: Los algoritmos numéricos de los cuales se basa la solución de problemas de flujos mediante CFD consisten en los siguientes pasos:

- Integración de ecuaciones de gobierno de flujo de fluidos de todo el volumen de control del dominio.
- Discretización o conversión de las ecuaciones integrales resultantes en sistemas de ecuaciones algebraicas.
- Solución de las ecuaciones algebraicas por métodos iterativos.

Post-procesador: Así como los pre-procesadores, se le ha dedicado una considerable cantidad de trabajos de desarrollo, lo cual ha permitido dotar a los diferentes modelos CFD con herramientas versátiles de visualización de datos. Aquí se incluyen:

- Geometría del dominio y monitoreo de la grilla.
- Gráficos vectoriales.
- Gráficas de líneas y contornos sombreados.
- Gráficos de superficies en 2D y 3D.
- Rastreo de partículas.
- Manipulación de vistas.

Asimismo, algunos códigos cuentan con animación dinámica de los resultados.

#### ▪ **Uso de la CFD como herramienta para el estudio de Lagunas de Estabilización**

La CFD ha ido desarrollándose armoniosamente en el rubro de Lagunas de Estabilización, desde mediados de los años '90. Wood et al. [20] fue el pionero en utilizar la Dinámica Computacional de Fluidos para la evaluación de sistemas de Lagunas de Estabilización. Él elaboró modelos en 2D de 4 sistemas de lagunas, considerando flujo permanente y régimen laminar, para evaluar la hidrodinámica de los sistemas.

Conforme ha ido pasando el tiempo, una amplia gama de investigaciones sobre CFD en Lagunas de Estabilización se han ido publicando, teniendo en cuenta muchas variables de modelización, tales como: Decisión de desarrollar el modelo en 2D o 3D, Calidad del Agua, Balance Térmico, Acumulación de los Lodos, Viento, Radiación Solar, Software a emplear, análisis de Precisión y la Validación del modelo [21].

Mientras más variables se tomen en los modelos CFD, más complejo será su desarrollo y, por lo tanto, se requerirá mayor demanda computacional y tiempo de simulación. Autores como Alvarado et al. [11], Binxin Wu [22], entre otros autores resaltan el largo periodo de simulación en sus modelos. Por otro lado, Olukanni y Ducoste [23], aseguran que los modelos 2D son buenos predictores de la hidrodinámica de las lagunas, teniendo como ventaja el ahorro de tiempo y costo computacional.

▪ **Ecuaciones de Gobierno para modelización de Sistemas de Lagunas de Estabilización [24]**

Aponte estudió el comportamiento hidrodinámico de lagunas facultativas construidas a escala piloto. Durante su estudio, utilizó una serie de ecuaciones que gobiernan las condiciones de los sistemas de lagunas de estabilización, las cuales se exponen a continuación:

Balance de cantidad de movimiento:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \phi) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + S \quad (29)$$

<i>Término de acumulación</i>	<i>Término convectivo</i>	<i>Término difusivo</i>	<i>Término fuente</i>
-----------------------------------	-------------------------------	-----------------------------	---------------------------

Donde:

$\rho$ : Densidad ( $ML^{-3}$ );

$x$ : Variable vectorial o escalar;

$u$ : Velocidad en la dirección  $j$  ( $Lt^{-1}$ );

$\Gamma$ : Coeficiente de difusividad ( $M^2t^{-1}$ );

$S$ : término fuente para la variable  $\phi$

Ecuación de continuidad (fluido incompresible, estado no estacionario):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (30)$$

Donde:

$u, v$  y  $w$ : Velocidades en direcciones  $x, y$  y  $z$ ;

$\rho$ : Densidad ( $\text{ML}^{-3}$ )

Ecuaciones de Navier-Stokes promediadas en Reynolds:

$$\frac{\partial(\rho U_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_i U_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \rho \overline{u_i u_j} \right) + S_M \quad (31)$$

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El presente proyecto cuyo ámbito de estudio es el sistema de Lagunas de Estabilización de San José, se localiza, según EPSEL S.A., en el km. 6 de la carretera Chiclayo – San José a 500 metros de la Ciudad de Dios. Esta unidad de tratamiento de aguas residuales es drenada por los colectores Norte, Sur y Norte - Norte de la Ciudad de Chiclayo para una capacidad de 76 850 metros cúbicos al día, cuyo equivalente es 890 litros por segundo [5].

#### **3.2. ESTUDIOS Y RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO**

##### **3.2.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO**

El levantamiento topográfico sirvió para determinar el relieve real del sistema existente y, en efecto, elaborar la geometría y el mallado del mismo. Esta resultó una herramienta fundamental para la generación del modelo numérico CFD.

Se debe recalcar que la Entidad Prestadora de Servicios (EPSEL), la cual tiene bajo su tutela el Sistema de Lagunas de Estabilización de San José, no otorgó los datos suficientes para poder dar el enfoque principal a la Modelación CFD, por lo que fue necesario llevar a cabo el levantamiento topográfico – superficial.

El levantamiento topográfico duró un día y medio. Para los puntos del fondo de los diques se consideró una relación ancho/altura de 2, de acuerdo con las especificaciones de los planos otorgados en EPSEL S.A.

##### **▪ Materiales y equipos**

Los equipos utilizados se tomaron prestados de la Universidad, con el plazo de 3 días para su respectiva devolución. Se realizó una declaración jurada asumiendo toda la responsabilidad en caso de pérdida o robo de los equipos topográficos. Se utilizó lo siguiente:

- Una (1) Estación Total Topcon ES-105.

- Dos (2) prismas + dos (2) portaprismas.
- Un (1) GPS navegador Garmin.
- Una (1) Brújula.
- Pintura en spray
- Estacas
- Una (1) Wincha L=30 m.
- Un (1) Trípode.

▪ **Procedimiento –trabajo de campo**

El trabajo de campo tuvo una duración de un día y medio, y solo se enfocó en obtener el gradiente de elevaciones a lo largo de todo el terreno de las lagunas. Se realizó de la siguiente manera:

Lo primero y lo fundamental fue el reconocimiento del terreno, y de esta manera se establecieron los límites del levantamiento. En esta etapa se descubrieron las dificultades como: intensidad de viento, lejanía entre puntos de estación. La extensión del levantamiento topográfico es de 40.99 ha.

Una vez reconocido el terreno, se procedió a los puntos de estación. Debido a la gran extensión del terreno, se establecieron estratégicamente los puntos de estación, teniendo en cuenta las dificultades para la visación de puntos y la intensidad de viento que pudo ocasionar imprecisión en las medidas.

**Ilustración 9. Levantamiento con Estación Total**



**Fuente:Elaboración propia**

Con estacas de fierro corrugado, se monumentó con pintura verde el punto de E1, con coordenadas: 9251176.6490m (N) y 618110.5210m (E).

Se niveló la Estación Total y se visaron todas las lagunas anaeróbicas y dos facultativas.

Durante el levantamiento topográfico, se instruyó a los ayudantes que en cada curva se visen 4 puntos, y en los lados uno o dos puntos debido al poco desnivel existente.

### **3.2.2. AFORO EN ENTRADAS DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**

Este estudio permitió determinar las condiciones iniciales del sistema de lagunas de estabilización, útil para el modelo numérico CFD.

Para realizar tal medición, se empleó el Método del Flotador teniendo en cuenta el régimen hidráulico de los canales del sistema, lo que posibilitó una aplicación adecuada de tal metodología.

#### **▪ Materiales y equipos**

Para este procedimiento se emplearon materiales y equipos económicamente cómodos y sin necesidad de resguardarlos, más bien desechables. A continuación, el listado de los mismos:

- Pelotas de ping pong (flotadores)
- Estacas
- Wincha de mano (L=8 m)
- Cámara digital Canon 11 Mpx
- Plumón indeleble

#### **▪ Procedimiento – trabajo de campo**

A continuación, se detallará el procedimiento seguido para el aforo:

1° Se eligió el lugar donde realizar el aforo, esto es, en los canales más cercanos a la entrada. No se hizo una medición directa debido a la peligrosidad de medir el caudal en canales de entrada al encontrarse en pleno cuerpo de las lagunas.

2° Para encontrar un valor aceptable, se realizaron 5 aforos por cada entrada. Esto permitió reducir la desviación de los resultados.

3° Se hizo la medición geométrica de los canales. Se determinó la sección transversal del flujo en los canales en estudio y se midió la longitud de control.

4° Obtenidos los datos geométricos, se procedió a determinar el tiempo que el flotador demoró en recorrer la longitud de control con ayuda de la cámara digital.

5° El resto del procedimiento (determinación de caudal) se redujo a un trabajo de gabinete, una vez obtenidos todos los datos de campo.

**Ilustración 10. Aforo en canal de entrada - laguna anaeróbica**



**Fuente: Elaboración propia**

### **3.3. MODELACIÓN CFD DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**

El modelo numérico CFD se ha respaldado cabalmente en todos los estudios previos descritos en este informe. Para tal propósito se han empleado varios softwares de acuerdo con sus fases de desarrollo: Preprocesamiento (Geometría, Mallado, Condiciones de Contorno e Internas), Proceso (Etapa de cálculo, altamente dependiente de la fineza de la malla) y Postproceso (Determinación de caudales, velocidades, patrón de flujo, etc.).

El principal software utilizado para el desarrollo de esta investigación es el software IBER en su versión 2.4.3. “Iber es un modelo numérico bidimensional de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen variable para el estudio hidromorfológico de cauces. El campo de aplicación de Iber es muy amplio, siendo su principal finalidad el estudio hidrodinámico en ríos, si bien permite estudiar además el transporte de sedimentos en los cauces y dispone de herramientas para realizar análisis de inundabilidad. También es adecuado para estudiar el flujo de marea en estuarios y realizar simulaciones de rotura de presas, entre otras” [25].

“El motor numérico de Iber es el código FORTRAN F90, que resuelve las ecuaciones Navier Stokes 2D integradas en profundidad para aguas poco profundas, conocidas como de Saint Venant, con ecuaciones de cierre turbulento. Para resolver estas ecuaciones se emplea el método de los volúmenes finitos” [25].

Iber tiene una interfaz bastante amigable, de tal manera que la mayor preocupación en un problema hidrodinámico es el de una adecuada geometría y mallado del modelo.

Las lagunas de estabilización son un caso especial de estudio en cuanto a hidrodinámica, por las tendencias de flujo anteriormente expuestas (flujo tipo pistón, flujo de tanque agitado, flujo disperso) además de la considerable influencia de factores ambientales en el flujo.

El flujo en lagunas de estabilización, al ser un enorme cuerpo de agua en relación con el caudal de entrada, tiende a ser sumamente lento, requiriéndose largos tiempos computacionales en la fase de procesamiento, por lo que el desarrollo de investigaciones en este rubro se ha visto mermado por el gran requerimiento computacional.

No obstante, el desarrollo de la tecnología ha permitido repotenciar de sobremanera los ordenadores, lo que ha permitido ampliar el campo de acción de estos en problemas hidrodinámicos. Esto ha ayudado a comprender mejor el comportamiento hidrodinámico en flujos lentos o muy complejos.

### **3.3.1. DESARROLLO DE LA GEOMETRÍA – MODELOS DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**

La Geometría de los modelos numéricos CFD desarrollados en esta investigación se han elaborado en los entornos de Autodesk (AutoCAD Civil 3D 2018), Python (Salome Platform 8.3) y en el mismo entorno de Preprocesamiento de Iber 2.4.3.

En Autodesk se trabajó con los datos obtenidos del levantamiento topográfico. Para crear puntos internos en la geometría, se utilizó el Salome Platform, pues su entorno es muy amigable para interactuar puntos, líneas y superficies. Esto contribuye en el entorno de Iber, donde existe una especial exigencia en la geometría.

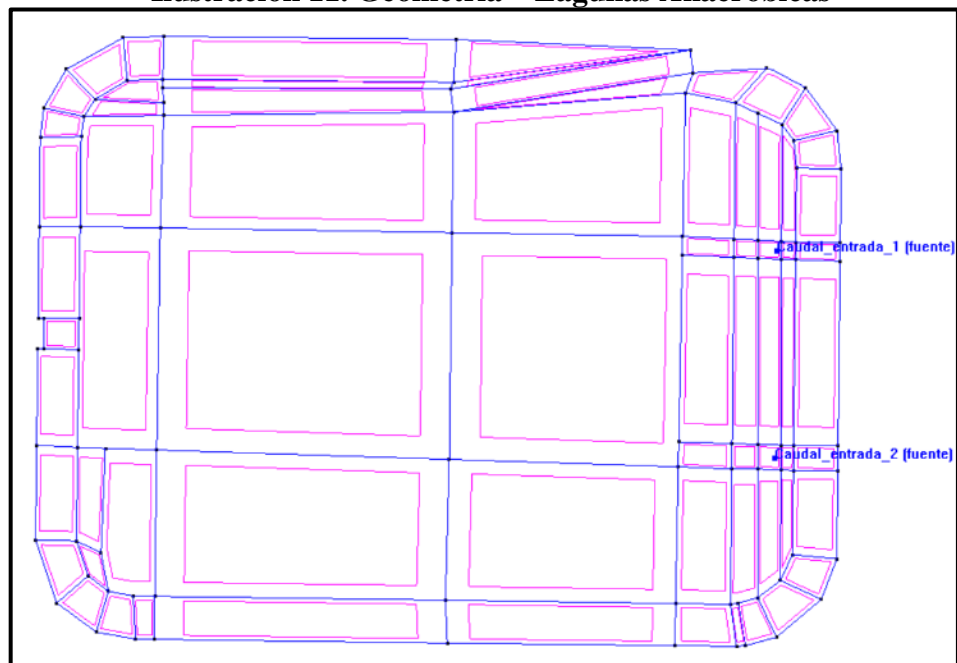
En el modelo Iber solo se crearon las superficies, teniendo cuidado con aquellas superficies muy largas o “con defectos” pues estas no son reconocidas por el programa al momento de asignar condiciones iniciales, de contorno y rugosidad.

No se pudieron evitar las superficies triangulares, poco amigables para modelos CFD en general. Sin embargo, no se tuvo problemas con este tipo de elementos.

Para una correcta discretización de las lagunas, se realizó el siguiente procedimiento:

- Exportación de polilíneas 3D de la geometría generada por el levantamiento topográfico al software Salome Platform.
- Creación de puntos y líneas en Salome Platform.
- Importación de la geometría generada en Salome Platform en el entorno Iber.
- Creación de superficies listas para discretizar. Unión definitiva de puntos y líneas.

**Ilustración 11. Geometría – Lagunas Anaeróbicas**



**Fuente: Elaboración propia**

### 3.3.2. MALLADO DE ELEMENTOS

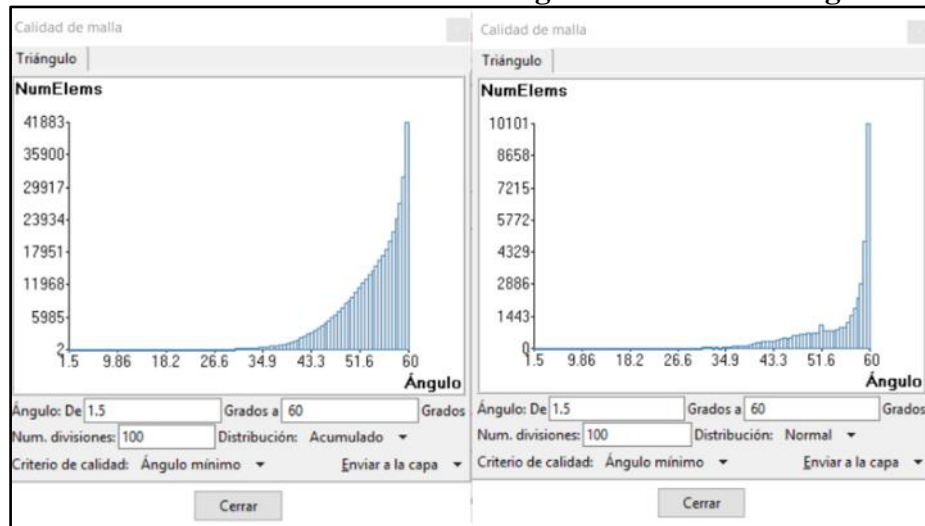
Para el mallado de elementos, se utilizó la herramienta de Iber “Malla no estructurada”, debido a que esta es la más adecuada para mallar elementos con irregularidades geométricas.

Los elementos de la rampa y los bordes que unen los diques con el fondo de laguna cuentan con mayor número de elementos de malla. En las lagunas anaeróbicas se utilizó el mismo tamaño de malla en todos los elementos, sin embargo el programa afina automáticamente las mallas en bordes, esquinas y geometrías difíciles.

La discretización del dominio computacional de las lagunas, tanto anaeróbicas como facultativas, se exponen a continuación:

El dominio de la laguna anaeróbica original está conformado por 41883 elementos, siendo el 24.1% elementos (10101) con lados forman ángulos de  $60^\circ$  y con pocos elementos con lados que forman ángulos menores de  $35^\circ$ , por lo cual se considera un mallado aceptable.

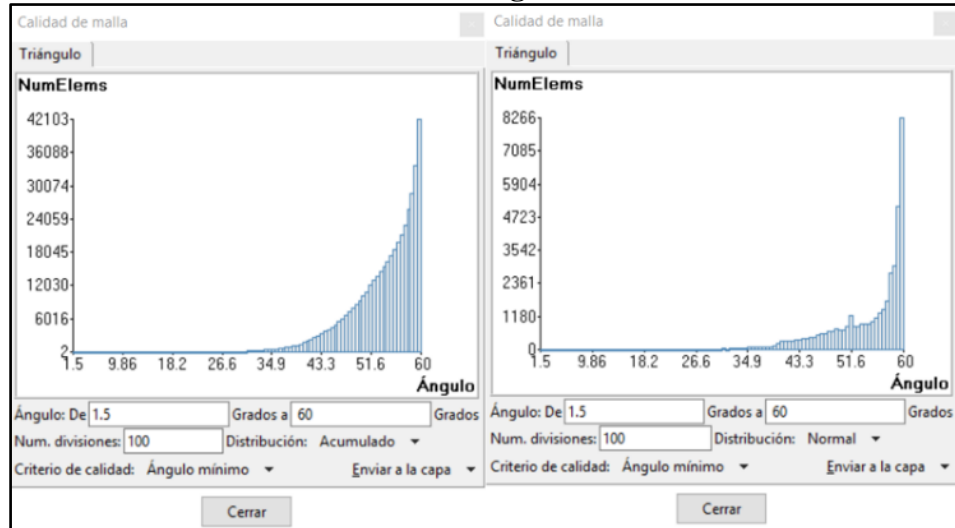
**Ilustración 12. Calidad de malla – Laguna Anaeróbica Original**



**Fuente: Iber 2.4.3.**

Por otro lado, el dominio de la laguna anaeróbica con deflectores consta de 42103 elementos, de los cuales casi el 20% de elementos (8266) tienen lados cuyos ángulos son  $60^\circ$  y prácticamente no existen elementos con lados menores a los  $35^\circ$ , indicador de una malla tolerable para los resultados.

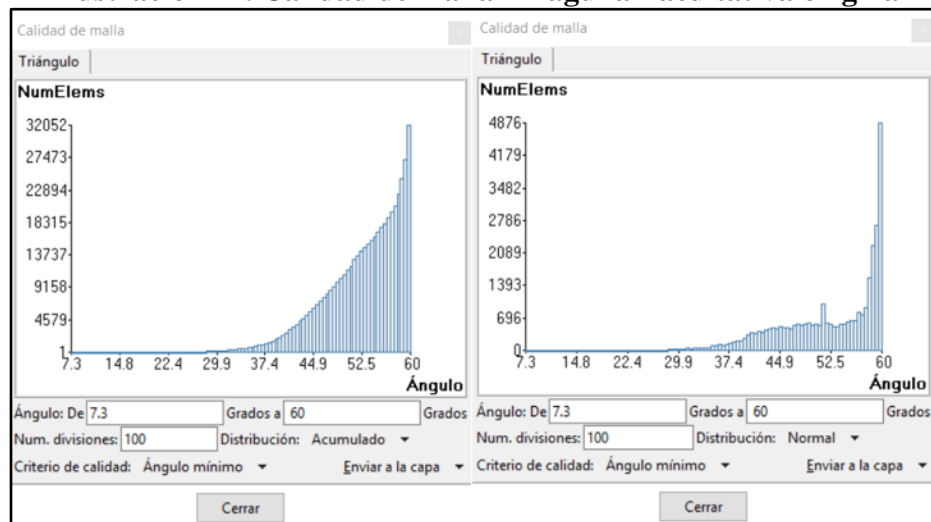
### Ilustración 13. Calidad de malla – Laguna Anaeróbica con deflectores



Fuente: Iber 2.4.3.

La laguna facultativa original se discretizó con 32052 elementos, donde 4876 (15.2%) de ellos conforman ángulos de 60°, quedando una pequeña cantidad de elementos con ángulos menores a 30°.

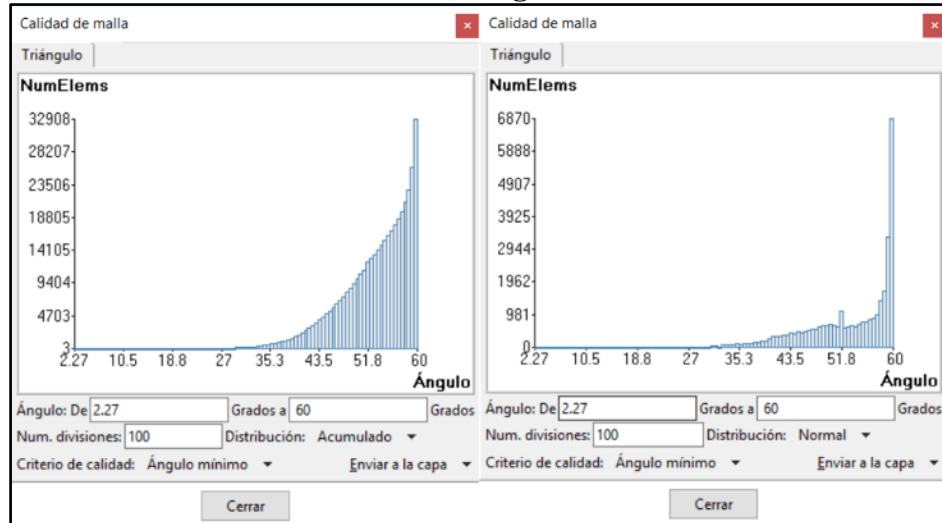
### Ilustración 14. Calidad de malla – Laguna Facultativa original



Fuente: Iber 2.4.3.

La laguna facultativa con deflectores alcanzó un número de elementos de 32908, de los cuales 6870 (20.9%) conforman ángulos de 60°. Asimismo, raros por no decir ningún elemento conforman ángulos menores de 35°.

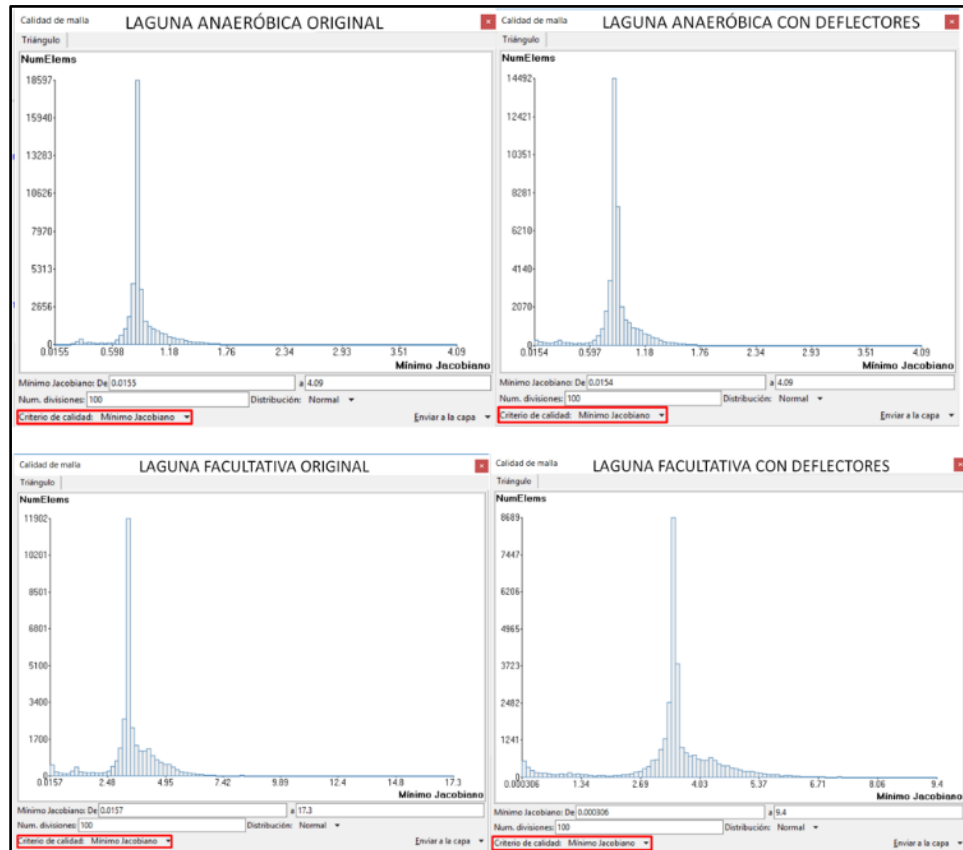
### Ilustración 15. Calidad de malla – Laguna Facultativa con deflectores



Fuente: Iber 2.4.3.

Además, se debe resaltar que en el parámetro de calidad de malla “Mínimo Jacobiano”, ningún elemento de los cuatro modelos CFD llegan tener Jacobianos negativos, lo cual demuestra que no habrán problemas en la fase de cálculo [25].

### Ilustración 16. Mínimo Jacobiano en todas las modelaciones CFD



Fuente: Iber 2.4.3.

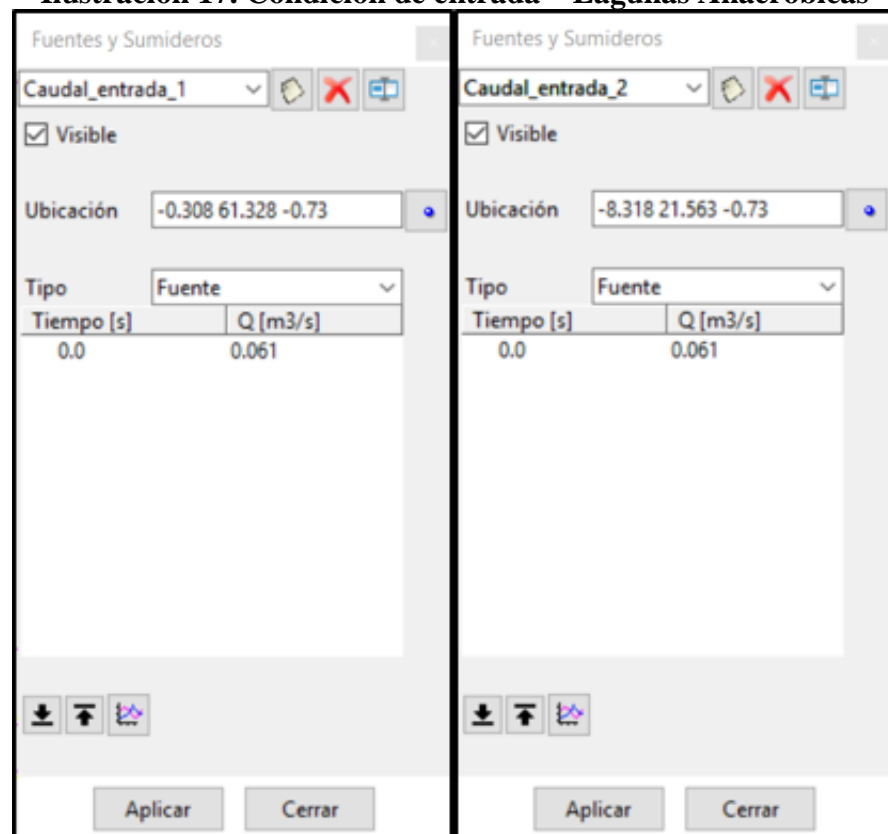
### 3.3.3. CONDICIONES INICIALES Y DE CONTORNO DEL MODELO CFD

Para las condiciones de contorno, como Iber es un modelo bidimensional, solo está permitido añadirse a puntos o a líneas, mas no a superficies.

En las lagunas anaeróbicas se colocaron las siguientes condiciones:

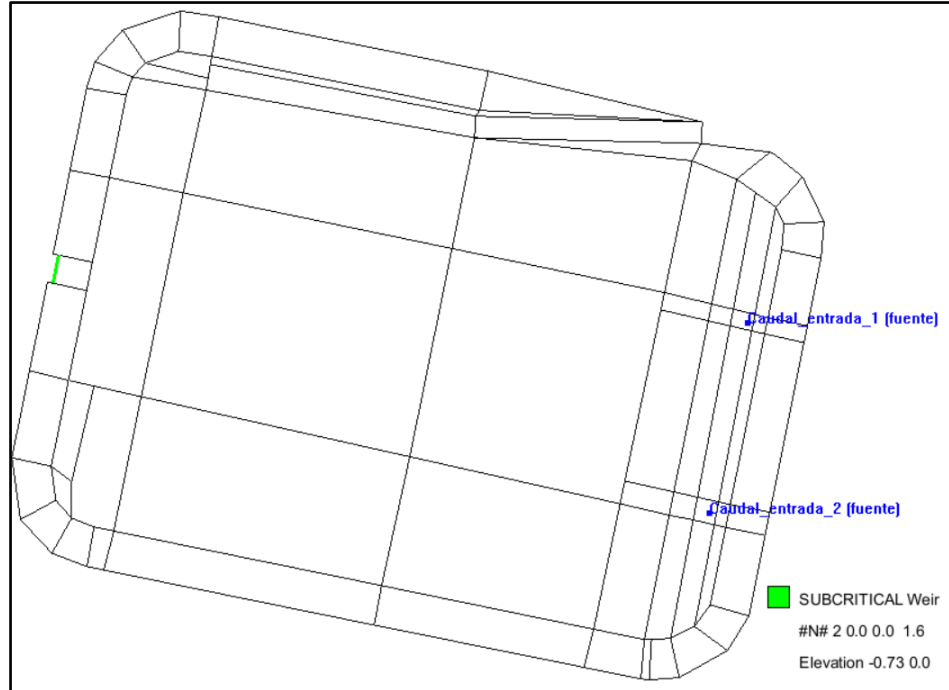
- **Condiciones de Contorno – Lagunas Anaeróbicas:**
  - Caudal de entrada:  $0.061 \text{ m}^3/\text{s}$  (condición tipo Fuente)
  - Salida: tipo Vertedero
  - Cota relativa:  $z=-0.73 \text{ m}$  (Condiciones iniciales de nivel de agua)

**Ilustración 17. Condición de entrada – Lagunas Anaeróbicas**



Fuente: Iber 2.4.3.

### Ilustración 18. Condición de salida – Lagunas Anaeróbicas



Fuente: Iber 2.4.3.

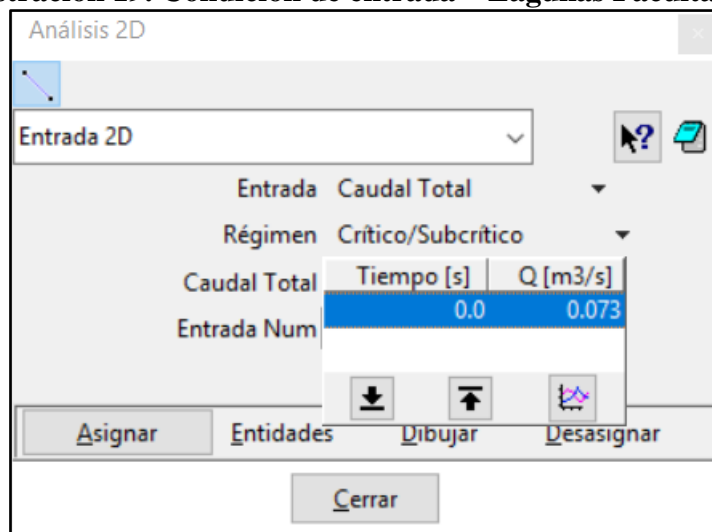
#### ▪ Condiciones de Contorno – Lagunas Facultativas:

-Caudal de entrada:  $0.073 \text{ m}^3/\text{s}$

-Salida: tipo Vertedero

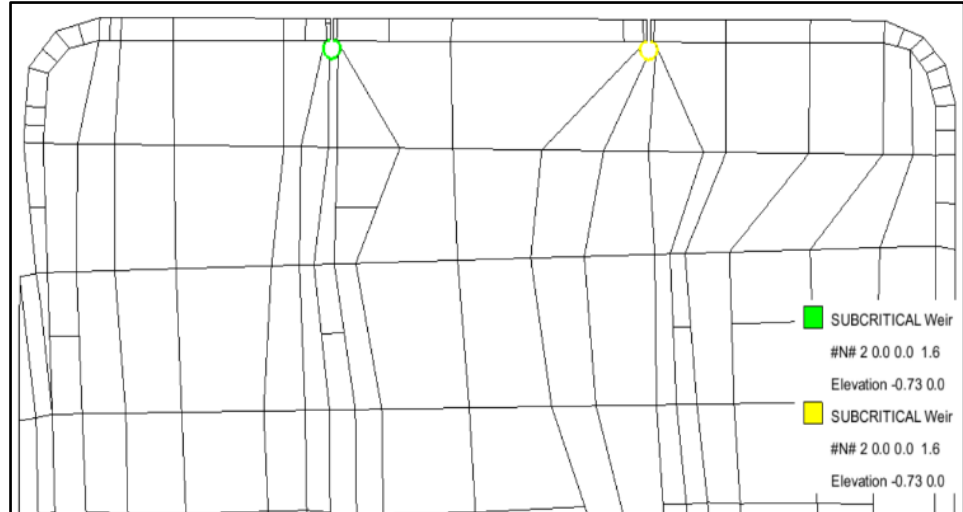
-Cota relativa:  $z=-0.73 \text{ m}$  (Condiciones iniciales de nivel de agua)

### Ilustración 19. Condición de entrada – Lagunas Facultativas



Fuente: Iber 2.4.3.

### Ilustración 20. Condición de salida – Laguna Facultativa

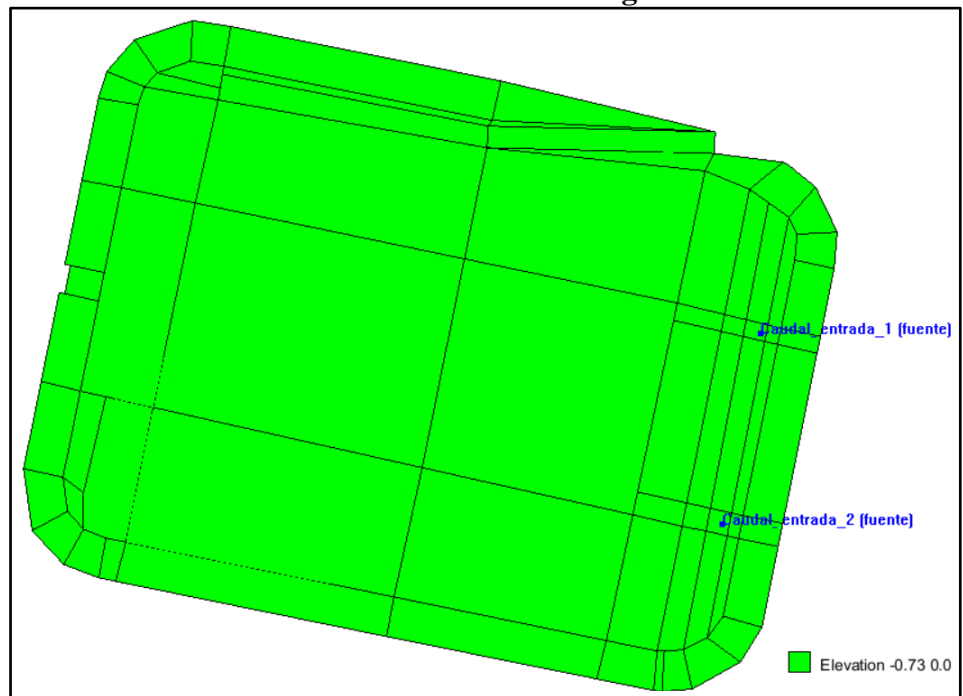


Fuente: Iber 2.4.3.

### ▪ Condiciones Iniciales – Lagunas Anaeróbicas:

Nivel de agua:  $z = -0.73$  m

### Ilustración 21. Condiciones iniciales – Lagunas Anaeróbicas

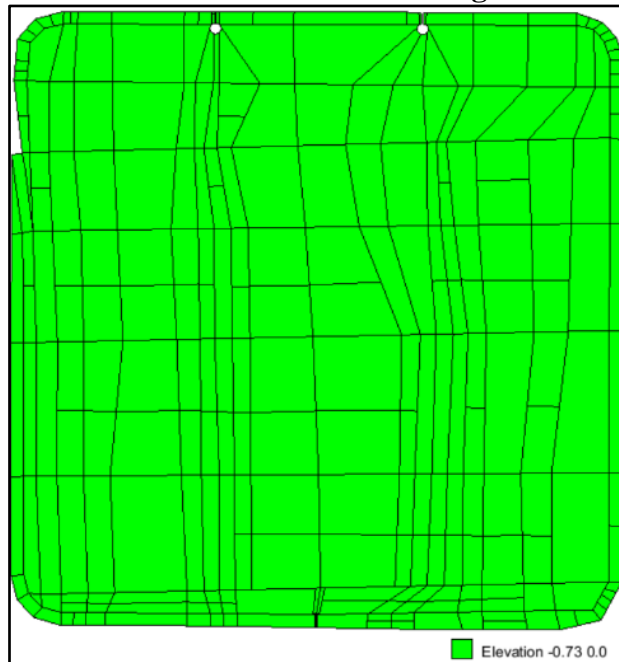


Fuente: Iber 2.4.3.

▪ **Condiciones Iniciales – Lagunas Facultativas:**

Nivel de agua:  $z = -0.73$  m

**Ilustración 22. Condiciones iniciales – Lagunas Facultativas**

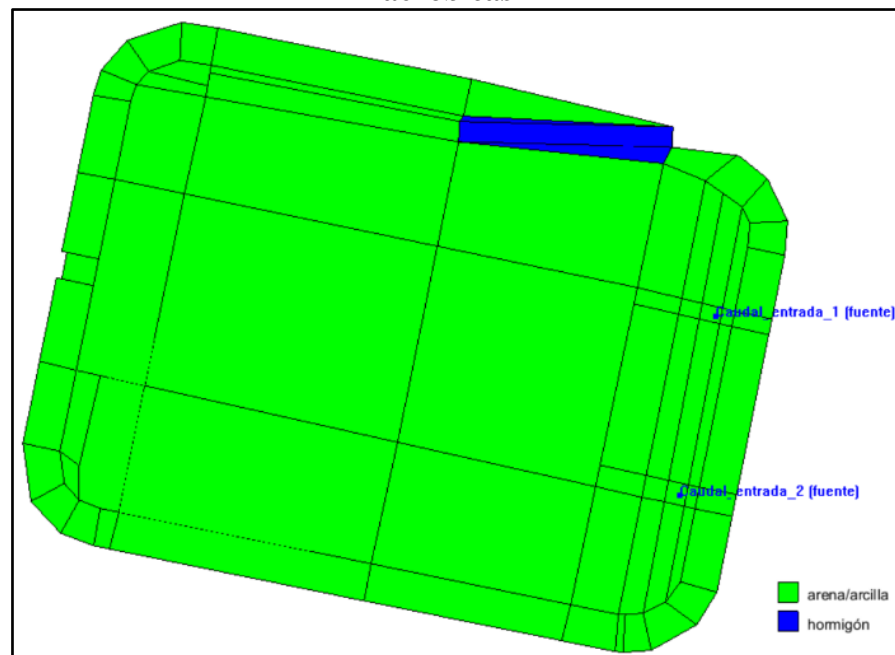


**Fuente: Iber 2.4.3.**

▪ **Condiciones de Rugosidad – Lagunas Anaeróbicas:**

Material: Arena/Arcilla (C.Manning=0.023); Hormigón o Concreto (C.Manning=0.018).

**Ilustración 23. Condiciones de Rugosidad - Uso de Suelo – Lagunas Anaeróbicas**

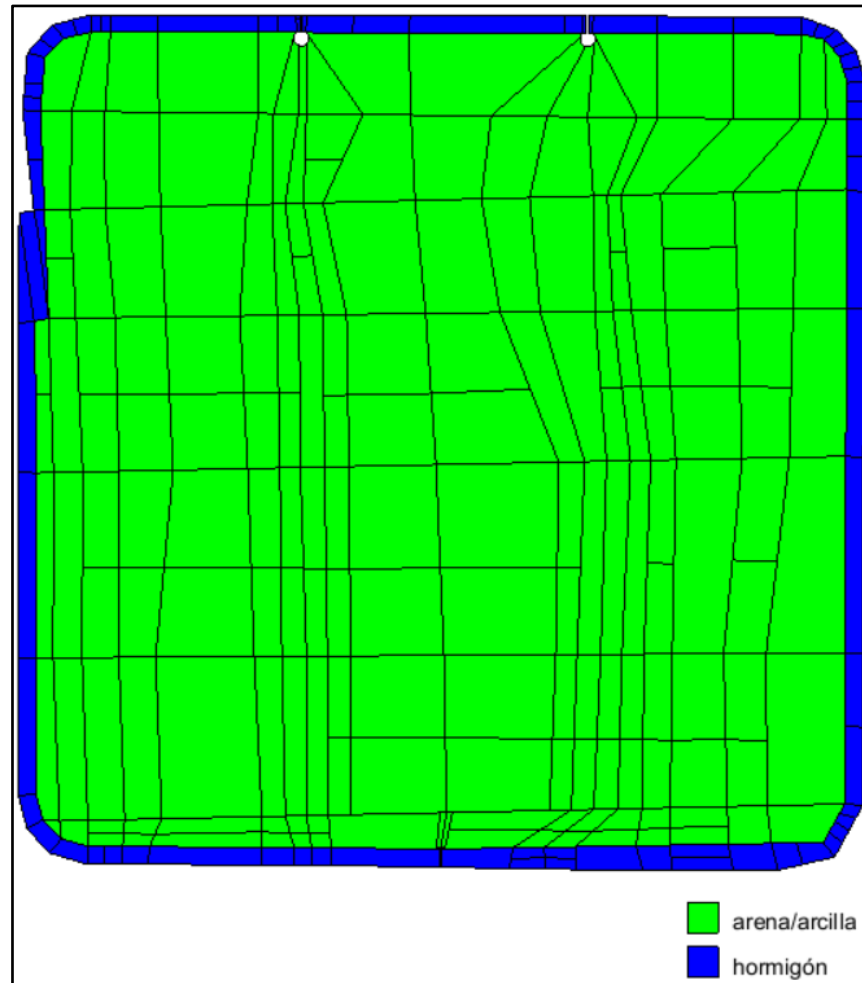


**Fuente: Iber 2.4.3.**

▪ **Condiciones de Rugosidad – Lagunas Facultativas**

Material: Arena/Arcilla (C.Manning=0.023); Hormigón o Concreto (C.Manning=0.018).

**Ilustración 24. Condiciones de Rugosidad - Uso de Suelo – Lagunas Facultativas**



Fuente: Iber 2.4.3.

### 3.4. MODELO HIDRÁULICO A ESCALA PILOTO

Las lagunas de estabilización son un caso notable de flujos en superficie libre. De esto se desprende que las fuerzas dominantes en el prototipo se rigen netamente a la Ley de Froude (fuerzas gravitatorias).

Las fuerzas viscosas tienden a ser insignificantes, por lo que el número de Reynolds no afecta a las características hidráulicas en lagunas de estabilización [26], [27].

El agua residual y el agua potable presentan semejanzas respecto a comportamiento hidráulico. Por esta razón, se decidió optar por desarrollar el modelo hidráulico con agua potable, con la ventaja de que ésta es mucho más fácil de manipular [16].

En base a estos principios, se ejecutaron dos modelos a escala piloto de las lagunas representativas del sistema: Laguna Anaeróbica y Laguna Facultativa, cuyos prototipos presentan las siguientes dimensiones:

**Tabla 2. Dimensiones de las lagunas prototipo**

	Laguna Anaeróbica	Laguna Facultativa
Largo (l)	157.50 m	240.00 m
Ancho (a)	118.00 m	236.00 m
Altura (h)	4.20 m	2.50 m

**Fuente: Elaboración propia**

**Ilustración 25. Vista aérea - Lagunas de San José**



**Fuente: Google Earth, 2018**

El factor a escala utilizado fue 1:50, de lo cual se desglosan las siguientes dimensiones para los modelos a escala piloto:

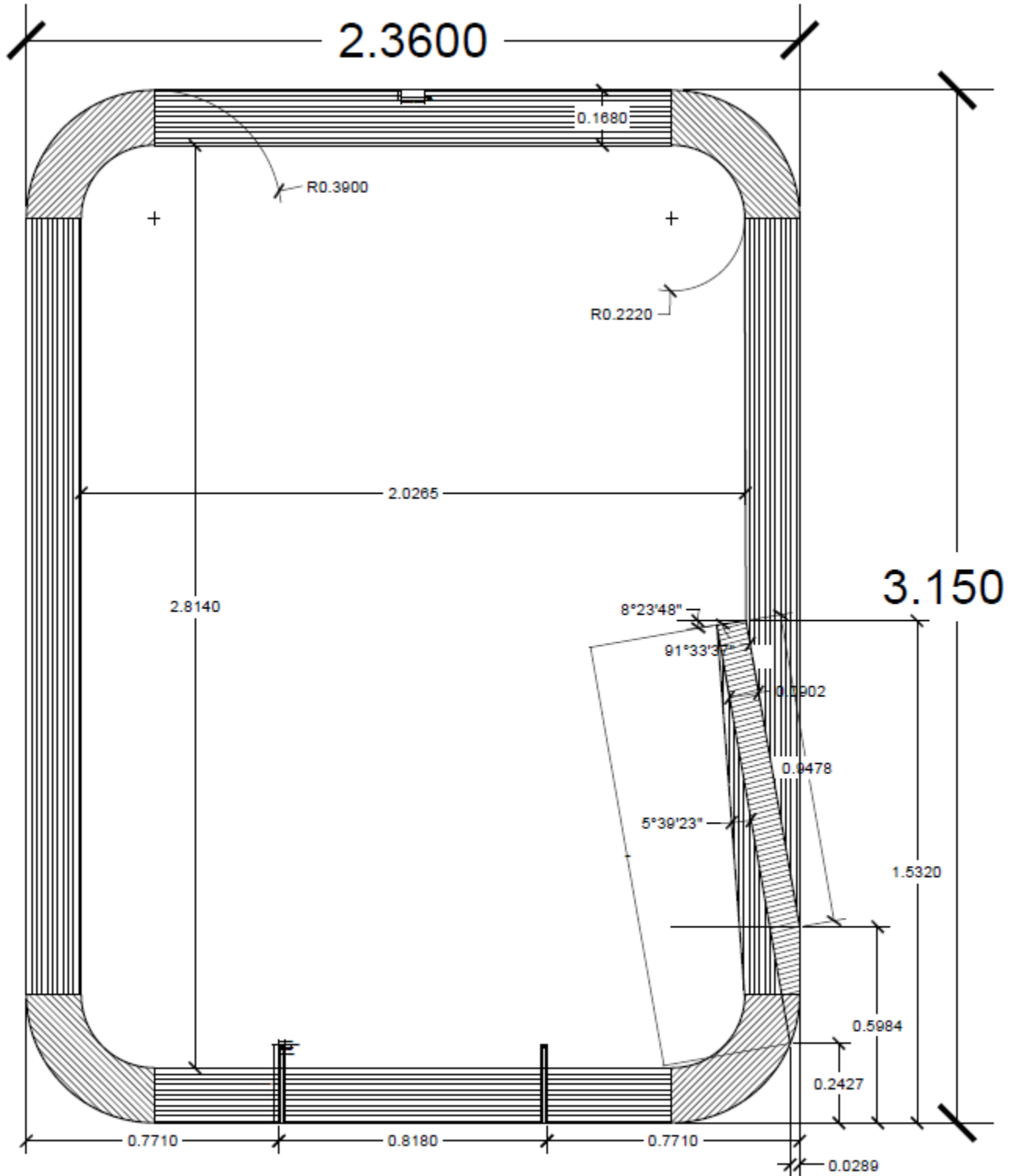
**Tabla 3. Dimensiones de las lagunas modelo a escala piloto**

	Laguna Anaeróbica	Laguna Facultativa
Largo (l)	3.15 m	4.80 m
Ancho (a)	2.36 m	4.72 m
Altura (h)	0.084 m	0.050 m

**Fuente: Elaboración propia**

A diferencia de otros trabajos, se ha respetado la semejanza geométrica, por lo que todas las estructuras hidráulicas se han escalado adecuadamente.

Ilustración 26. Esquema de Laguna Anaeróbica Original a Escala Piloto

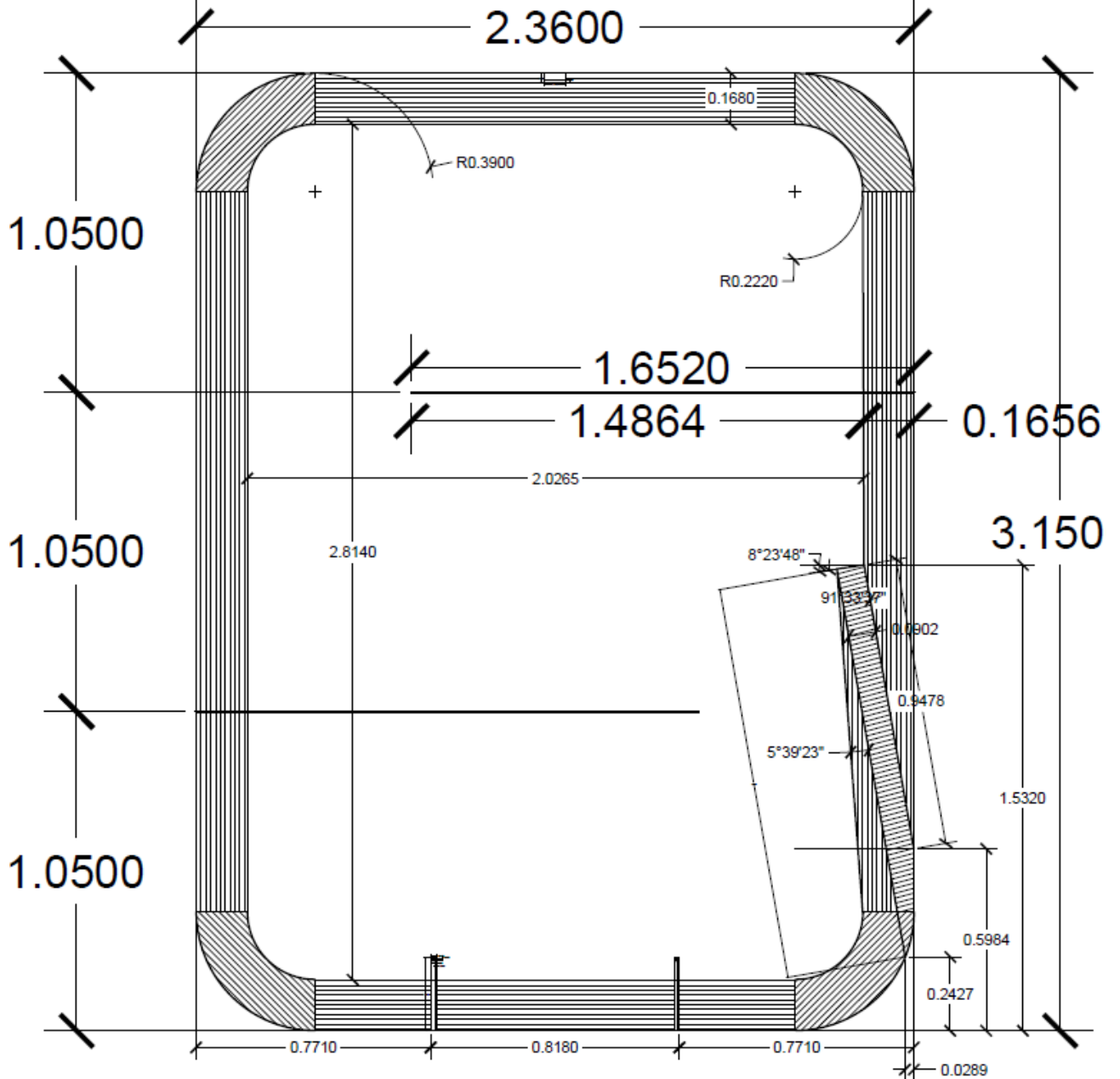


# Lag. Anaeróbica

Escala 1:50

Fuente: Elaboración Propia

**Ilustración 27. Esquema de Laguna Anaeróbica a Escala Piloto con Deflectores**

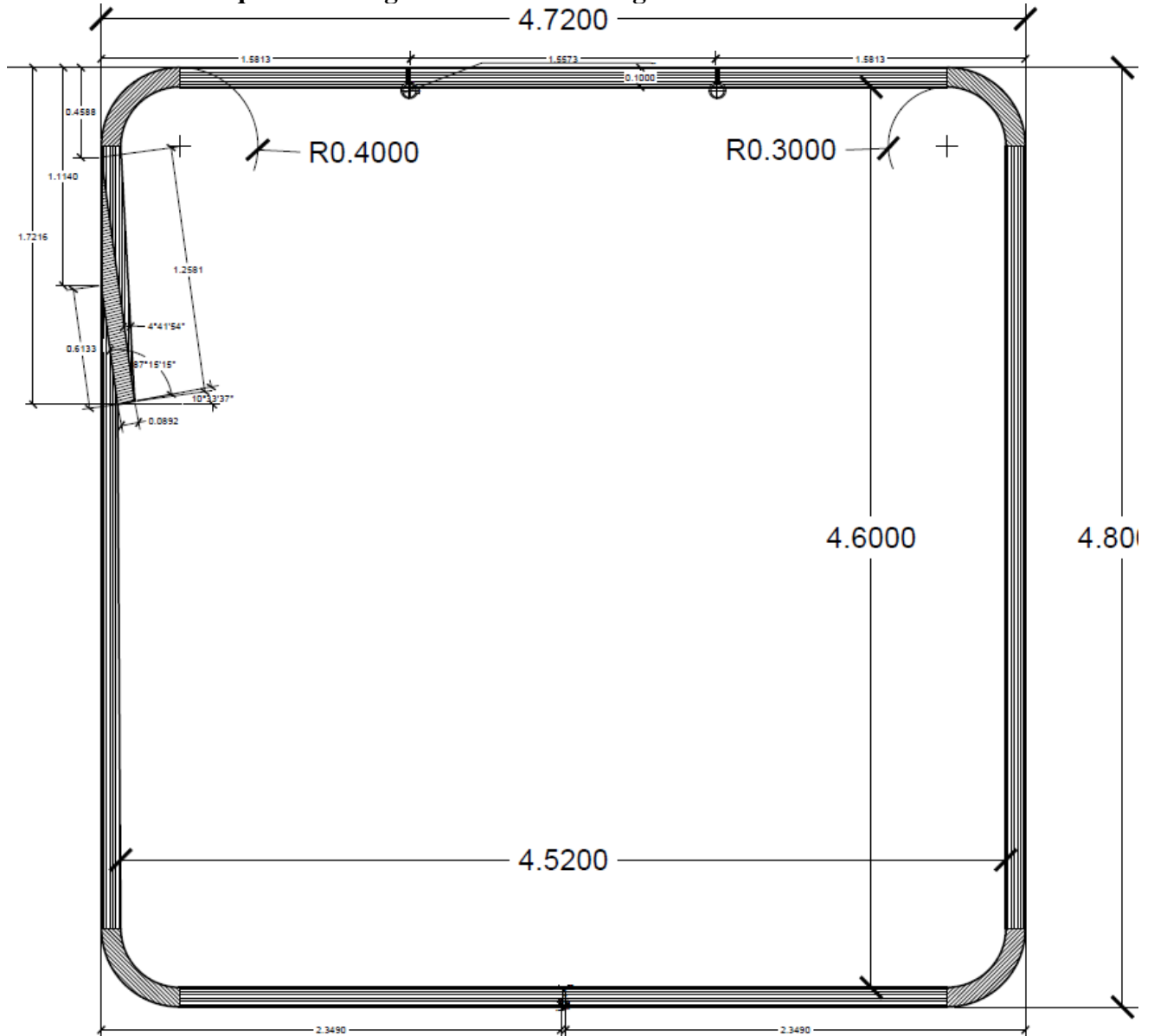


# Mejoramiento A1

Escala 1:50

Fuente: Elaboración Propia

**Ilustración 28. Esquema de Laguna Facultativa Original a Escala Piloto**

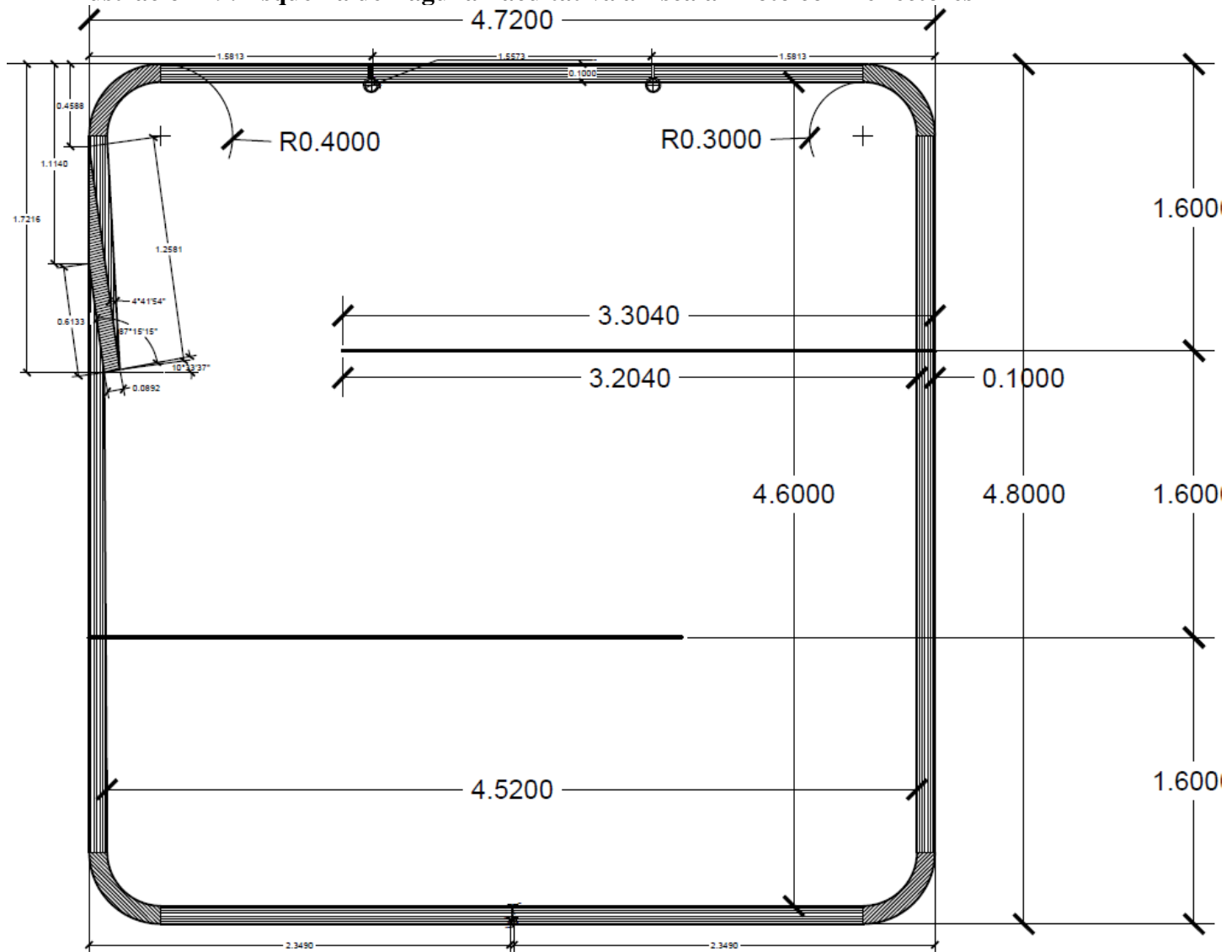


**Lag. Facultativa**

Escala 1:50

**Fuente: Elaboración Propia**

**Ilustración 29. Esquema de Laguna Facultativa a Escala Piloto con Deflectores**



## Mejoramiento F1

Escala 1:50

Fuente: Elaboración Propia

### **Ilustración 30. Lagunas de estabilización a escala piloto 1:50**



**Fuente: Elaboración propia**

#### **3.4.1. ELECCIÓN DEL FACTOR DE ESCALA**

Se debe tener en cuenta que el motivo principal para la elección de la escala 1:50 ha sido la practicidad para realizar el modelo y el control sobre el mismo. Una escala más grande demandaría un gasto económico considerable debido a la gran magnitud de las lagunas en estudio.

El tiempo de retención es un impedimento para la factibilidad en la obtención de resultados. Mientras más cercana a la realidad sea la escala, el tiempo de retención se aproximará al real. Bien se sabe que estos sistemas tienen días de tiempo de retención, entonces el proceso de obtención de resultados se letargaría bastante. Por esa razón, una escala pequeña resulta práctica para la obtención de rápidos resultados.

También un indicador de fuerte consideración es el del espacio disponible. Se debe optimizar el espacio pues a mayor tamaño del modelo tiende a ser más difícil de controlar, hasta para el muestreo tiende a ser más difícil.

El proceso constructivo también es un importante indicador en la elección del factor de escala. Mientras más grande sea el modelo, mayor requerimiento de personal será necesario, además de mayor duración en la construcción del mismo.

Realizando una breve evaluación de las posibles escalas en función al tirante hidráulico en las lagunas de mayor magnitud:

- **Para un  $y = 0.10$  m (escala 1:25)**

Ancho del modelo:  $236/25 = 9.44$  m

Largo del modelo:  $240/25 = 9.60$  m

Las dimensiones en esta escala son bastante grandes, por lo cual se descarta esta opción, pese al pequeño tirante. Los costos, además, se verían posiblemente triplicados o cuadruplicados, lo cual sería factible con un apoyo económico adicional.

- **Para un  $y = 0.025$  m (escala 1:100)**

Ancho del modelo:  $236/100 = 2.36$  m

Largo del modelo:  $240/100 = 2.40$  m

Las dimensiones aún son significativas, sin embargo el tirante cuando es demasiado pequeño produce una variación en las fuerzas predominantes de un sistema hidráulico, ya no predominan las fuerzas de gravedad sino las fuerzas de Tensión Superficial. Por lo tanto, los resultados no serían muy confiables e incluso las estructuras hidráulicas serían demasiado diminutas y difíciles de fabricar.

### **3.4.2. SIMILITUD HIDRÁULICA – LAGUNAS DE SAN JOSÉ**

En primer lugar, se determinó la Similitud Geométrica de las dos lagunas representativas en estudio respetando la escala (1:50) en todas las dimensiones de las mismas, desde las dimensiones generales hasta las dimensiones de las estructuras hidráulicas.

Se tuvo especial cuidado en la correcta medición de las estructuras hidráulicas, las cuales tienen una crucial repercusión en los resultados tanto del modelo CFD como del mismo modelo hidráulico a escala.

**Ilustración 31. Similitud Geométrica en laguna anaeróbica**

<b>SIMILITUD GEOMÉTRICA</b>	
ESCALA REAL	ESCALA PILOTO
<p><b>ANAERÓBICA</b></p> <p>L= 157.5 m                      A= 118 m                      h= 4.2 m                      R= 19.5 m                      r= 11.1 m                      z= 2</p> <p>Dimensiones de Entradas y salidas</p> <p>Canales entrada:</p> <p>L= 12 m                      lagujero= 0.3 m                      aagujero= 0.5 m</p> <p>Vertedero salida:</p> <p>L= 6 m                      sifón a x=0 0.25 m                      sifón a x=0.75 0.5 m</p>	<p><b>ANAERÓBICA</b></p> <p>L= 3.1500 m                      A= 2.3600 m                      h= 0.0840 m                      R= 0.3900 m                      r= 0.2220 m                      z= 2</p> <p>Canales entrada (1/50):</p> <p>L= 0.24 m                      lagujero= 0.006 m                      aagujero= 0.01 m</p> <p>Vertedero salida (1/50):</p> <p>L= 0.12 m                      lagujero= 0.005 m                      aagujero= 0.01 m</p>

**Fuente: Elaboración propia**

**Ilustración 32. Similitud Geométrica en laguna facultativa**

<b>SIMILITUD GEOMÉTRICA</b>	
ESCALA REAL	ESCALA PILOTO
<p><b>FACULTATIVA</b></p> <p>L= 240 m                      A= 236 m                      h= 2.5 m                      R= 20 m                      r= 15 m                      z= 2</p> <p>Dimensiones de Entradas y salidas</p> <p>Canal Entrada</p> <p><math>a_{m_{canal}}</math>= 0.8 m  <math>a_{M_{canal}}</math>= 1.3 m</p> <p>Vertederos salida:</p> <p><math>L_{octógono}</math>= 1.4 m                      acanal 0.5 m</p>	<p><b>FACULTATIVA</b></p> <p>L= 4.8000 m                      A= 4.7200 m                      h= 0.0500 m                      R= 0.4000 m                      r= 0.3000 m                      z= 2</p> <p>Canales entrada (1/50):</p> <p><math>a_{m_{canal}}</math>= 0.016 m  <math>a_{M_{canal}}</math>= 0.026 m</p> <p>Vertederos salida (1/50):</p> <p><math>L_{octógono}</math>= 0.028 m                      lagujero= 0.01 m</p>

**Fuente: Elaboración propia**

Una vez establecida la Similitud Geométrica, se realizaron los cálculos para la Similitud Cinemática, considerando que el Número de Froude debe ser el mismo tanto para el prototipo como para el modelo. Los cálculos se muestran a continuación:

**Ilustración 33. Similitud Cinemática en lagunas modelo**

SIMILITUD CINEMÁTICA			
NÚMERO DE FROUDE ESCALA REAL	$F_R = \frac{v}{\sqrt{gD_H}}$		ESCALA PILOTO
ANAERÓBICAS			
v= 0.676 m/s			v= 0.096 m/s
g= 9.81 m/s <sup>2</sup>	0.06083079		g= 9.81 m/s <sup>2</sup>
D <sub>H</sub> = 0.18 m			D <sub>H</sub> = 0.0036 m
Fr <sub>R</sub> = 0.509			Fr <sub>M</sub> = 0.509
FACULTATIVAS			
v= 0.571 m/s	0.073088		v= 0.081 m/s
g= 9.81 m/s <sup>2</sup>			g= 9.81 m/s <sup>2</sup>
D <sub>H</sub> = 0.16 m			D <sub>H</sub> = 0.0032 m
Fr <sub>R</sub> = 0.456			Fr <sub>M</sub> = 0.456

**Fuente: Elaboración propia**

En estos cálculos, se puede apreciar la igualdad de Números de Froude entre modelo y prototipo, lo que garantiza una correcta similitud. También es sumamente importante recalcar el cumplimiento de las siguientes leyes en tales resultados:

La relación de escala para similitud geométrica es 50, es decir:

$$\frac{L_p}{L_m} = N_L = 50$$

La relación de escala para velocidades es 50<sup>0.5</sup>, es decir:

$$\frac{V_p}{V_m} = N_V = 50^{0.5}$$

La relación de escala para caudales es 50<sup>2.5</sup>, es decir:

$$\frac{Q_p}{Q_m} = N_Q = 50^{2.5}$$

Los valores de caudal son los siguientes:

Q<sub>anaer\_modelo</sub>= 6.882 cm<sup>3</sup>/s (las dos entradas); Q<sub>facult\_modelo</sub>= 4.134 cm<sup>3</sup>/s

### 3.4.3. CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL MODELO

La construcción de modelos a escala piloto de Lagunas de Estabilización son, así como para el resto de aplicaciones, un trabajo arduo y debe analizarse con sumo cuidado cada proceso a seguir, desde el inicio de la construcción hasta el mismo funcionamiento, debido al prolongado tiempo y dinero invertidos.

Los modelos construidos en esta investigación representan a uno de los cinco circuitos del Sistema de Lagunaje para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Chiclayo. Para este modelo resultó de inmensa utilidad la geometría obtenida a partir del levantamiento topográfico, pues a partir de esta geometría se realizaron las dimensiones del modelo a escala piloto.

Sin embargo, se creyó conveniente adaptar y redondear algunas medidas para poder representar la información con mayor facilidad y rapidez. De esta manera, las dimensiones se presentan a continuación:

**Tabla 4. Dimensiones entre prototipo y modelo - lagunas de estabilización**

LAGUNA	Dimensiones (Escala Real), m	Dimensiones (Escala piloto), m
Anaeróbica	118 x 157.5 x 4.2	2.36 x 3.15 x 0.084
Facultativa	236 x 240 x 2.5	4.72 x 4.80 x 0.050

**Fuente: Elaboración propia**

Se debe indicar que los bordes de las lagunas son circulares, cuyos radios se presentan a continuación:

**Tabla 5. Radios entre prototipo y modelo - lagunas de estabilización**

LAGUNA	Radios (Escala Real)	Radios (Escala piloto)
Anaeróbica	Int:11.1 m, Ext: 19.5 m	Int: 0.22 m, Ext: 0.39 m
Facultativa	Int: 15 m, Ext: 20 m	Int: 0.30 m, Ext: 0.40 m

**Fuente: Elaboración propia**

## ▪ **Materiales y Equipos**

Los materiales utilizados han variado conforme el avance de los procesos constructivos del modelo a escala piloto. Esta variación se ha basado, sobre todo, en la durabilidad del modelo hidráulico. En primer lugar se optó por realizar los modelos a base de plástico y arena fina. Sin embargo, estos materiales demostraron que ante la intemperie no son durables, por lo que se optó por cambiar los materiales de construcción.

Los materiales utilizados en el modelo hidráulico a escala piloto son los siguientes:

- 12 bolsas de Cemento Mochica tipo I
- 1 m<sup>3</sup> de piedra chancada de ½"
- 1 m<sup>3</sup> de arena gruesa
- 4 kg de alambre N° 16
- 10 palos de eucalipto
- 14 planchas de triplay
- Listones de madera de 1" x 2"
- Clavos de 2"
- Mantas de polipropileno de 8x8 m, 6x6m y 2x13m
- Entradas y salidas de acrílico a medida
- Sikaflex transparente y pistola

Por otro lado, los equipos utilizados fueron equipos de precisión topográfica, mencionados a continuación:

- Nivel topográfico Topcon
- 1 Mira
- 1 Jalón

Estos equipos permitieron desarrollar las fases de replanteo y de nivelación. Los equipos utilizados se solicitaron de la universidad como Préstamo de Activo Fijo, lo cual favoreció en cuanto al ahorro de alquiler de equipos.

## ▪ Procedimiento

Diseño de entradas y salidas: Con ayuda de una hoja de cálculo se procedió a escalar adecuadamente las estructuras hidráulicas de los modelos a escala. El material utilizado fue acrílico por su trabajabilidad y durabilidad.

**Ilustración 34. Entradas y salidas de modelos a escala piloto**



**Fuente: Elaboración propia**

Delimitación del terreno a utilizar: Se realizó en un área efectiva de 6.20 m x 9.50 m, donde se consideraron espacios para transitar alrededor de los modelos y, de esta manera, posibilitar la evaluación de los mismos. Se utilizaron el nivel topográfico, mira, jalón y yeso para establecer tales límites en el terreno.

Nivelación de terreno: El terreno de la zona se caracteriza por ser bastante pedregoso e irregular, por lo que se procedió a excavar superficialmente hasta encontrar firmeza y poder trazar la geometría en planta de las lagunas a escala piloto. Se utilizaron palana, pico y barreta, con ayuda de un peón.

Cercado y techado de área útil: Se dispuso de triplay, listones, pies derechos de eucalipto y manta de polipropileno para aislar el área útil de la intemperie. Se consiguió techar una altura de 2.50 m.

Trazo definitivo de geometría de lagunas: Se procedió a trazar la geometría para obtener la disposición correcta de los diques en la escala deseada. Se utilizó cordel como límites para la colocación del concreto.

Vaciado y colocación del concreto: Se utilizó concreto como material principal para la construcción de las lagunas a escala piloto. Se realizó una estricta nivelación con puntos de referencia. Asimismo, se supervisaron los niveles de la superficie acabada de concreto. La superficie de concreto fue pulida y, posteriormente, debidamente curada.

### **Ilustración 35. Nivelación de superficie de concreto**



**Fuente: Elaboración propia**

Instalación de la fuente de abastecimiento hidráulico: Se instaló un reservorio de aproximadamente 200 litros, el cual abasteció continuamente a las tres entradas existentes. La laguna anaeróbica tiene dos entradas, por lo cual tiene dos baldes como fuente de abastecimiento, mientras que la laguna facultativa tiene un balde para su única entrada.

### **Ilustración 36. Reservorio para abastecimiento hidráulico continuo**



**Fuente: Elaboración propia**

Prueba hidráulica del sistema de lagunas a escala piloto: Una vez establecidos sus componentes, se realizó la prueba para verificar el flujo continuo. Esto ayudó a garantizar la validez de los modelos. En estas pruebas se tuvieron que ajustar los caudales de entrada de acuerdo con el caudal escalado calculado.

#### **3.4.4. REGULACIÓN DE LOS CAUDALES EN ENTRADAS DE LAGUNAS A ESCALA PILOTO**

Una vez aforados los canales de entrada de las lagunas en estudio, para realizar una correcta representación de las mismas a escala piloto se procedió a regular los caudales de los baldes abastecedores de las lagunas a escala piloto. Si bien estos caudales deben estar correctamente escalados, la dificultad para regularlos a una escala pequeña (1:50) hizo que se aceptaran valores aproximados, mas no exactos.

##### **▪ Materiales y equipos**

Los materiales utilizados para la regulación de los caudales a escala piloto fueron los siguientes:

- Un recipiente graduado  $V=250$  mL
- Un cronómetro
- Una cámara fotográfica
- Una calculadora
- Una libreta de notas

##### **▪ Procedimiento**

El total de entradas en el modelo a escala fueron tres (dos entradas en la laguna anaeróbica y una en la facultativa), por lo que la regulación se realizó en cada una. Los caudales escalados base fueron los siguientes:  $Q_A=6.88 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/s;  $Q_F=4.13 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/s. Se tomaron al menos siete pruebas a cada entrada, y se distinguieron de acuerdo a la etiqueta del balde reservorio.

Los parámetros medidos fueron el volumen de agua (V) en un tiempo determinado (t). De esta manera, los caudales se obtendrían en mL/s, lo cual mediante la conversión de unidades se pasarían a m<sup>3</sup>/s, con lo cual finalizó el ensayo.

**Ilustración 37. Reservorios de entrada para lagunas a escala piloto**



**Fuente: Elaboración propia**

### 3.4.5. ENSAYOS DE TRAZADORES EN LAGUNAS A ESCALA PILOTO

Los ensayos de trazadores son muy útiles para la evaluación de la eficiencia hidráulica en plantas de tratamiento de agua, sin embargo su uso ha sido restringido. Como ya se ha explicado anteriormente, el parámetro *tiempo de retención* es el que determina la eficiencia hidráulica en este tipo de sistemas. Además, investigaciones indican que es una metodología fidedigna para validar modelos hidráulicos computacionales (CFD), con sugerencias incluso de realizar mayor cantidad de investigaciones en campo para aumentar la información respecto a este rubro.

#### ▪ **Materiales y Equipos**

Los materiales, equipos e insumos utilizados para estas pruebas son las siguientes:

##### Materiales:

- 1 kg de sal
- 20 frascos de plástico con rosca herméticos (250 ml)
- Tres jeringas: dos de 1 cm<sup>3</sup> y una de 3 cm<sup>3</sup>
- Agua destilada
- Un marcador indeleble
- Linterna

##### Equipos:

- Un conductímetro de mesa ORION THERMO SCIENTIFIC Star A212.
- Balanza electrónica con precisión 0.01 gramos.

Se debe recalcar las limitaciones respecto a este ensayo sobre todo por los equipos a utilizar, pues en la universidad no está disponible el conductímetro. Afortunadamente, en EPSEL S.A. disponen de tal equipo, y los ensayos se están realizando dos veces por semana. Esto limita la capacidad de avance del proyecto.

Por otro lado, para los ensayos de trazadores es muy recomendado el uso de la sustancia trazadora Rodamina WT, la cual es difícil de encontrar en el mercado local. Además, el equipo detector (Fluorómetro) de esta

sustancia no está disponible a nivel local, por lo que se optó por el Cloruro de Sodio como sustancia trazadora. La Rodamina WT solo servirá para determinar el patrón de flujo de las lagunas y poder compararlo gráficamente con los modelos CFD.

▪ **Procedimiento**

Definición de cantidad de trazador: Este parámetro es importante para el grado de detección del trazador. Si se le pone menos, será indetectable. Si se le pone más, los resultados no serán tan confiables debido a una alteración de la densidad del agua de las lagunas. Por esta razón, se debe respetar la cantidad de trazador, la cual depende del volumen útil del reactor. Se calculó la cantidad de trazador de la siguiente manera con la siguiente expresión:

$$P = \frac{V \times k \times C_o}{I \times 10^3}$$

Donde:

P: Peso del trazador por añadir al reactor, kg

V: Volumen útil del reactor, m<sup>3</sup>

K: constante de corrección

Co: concentración, mg/L o g/m<sup>3</sup>

I: Grado de pureza del trazador, fracción de la unidad

Para la laguna anaeróbica, se han tomado los siguientes valores:

V=0.4479 m<sup>3</sup>

K=1.65

Co=50 mg/L

I=0.9 (90% de pureza)

Por lo que, la cantidad de trazador (P) toma el valor de 0.04105 kg, equivalente a 41.05 g.

Para la laguna facultativa, se han tomado los siguientes valores:

V=0.9058 m<sup>3</sup>

K=1.65

Co=50 mg/L

I=0.9 (90% de pureza)

Por lo que, la cantidad de trazador (P) toma el valor de 0.08303 kg, equivalente a 83.03 g.

Esta cantidad de trazador se debe inyectar a la entrada de cada laguna en un tiempo no mayor de 1/30 del tiempo de retención teórico. Este tipo de ensayo es el instantáneo.

### **Ilustración 38. Determinación de cantidad de trazador NaCl**



**Fuente: Elaboración propia**

Dilución de sustancia trazadora con agua de la laguna: La dilución de la sustancia trazadora se hace de preferencia con agua del mismo reactor para evitar variaciones de temperatura del agua, lo cual hace variar el ensayo.

Inyección del trazador: Obtenido el trazador (sustancia trazadora diluida), se inyectó en la entrada(s) de las lagunas en un tiempo no menor de 1/30 del tiempo de retención teórico.

En la laguna anaeróbica, el tiempo de retención teórico es de 18 horas, 4 minutos y 41 segundos. Por lo tanto, el tiempo de inyección del trazador deberá ser menor a 36 minutos y 9 segundos.

En las laguna facultativa, el tiempo de retención teórico es de 2 días, 12 horas, 51 minutos y 32 segundos. En efecto, el tiempo de inyección del trazador deberá ser menor a 2 horas, 1 minuto, y 43 segundos.

### **Ilustración 39. Inyección de trazador en entrada de lagunas**



**Fuente: Elaboración propia**

Toma de muestras en las salidas: Se procedió a tomar muestras de acuerdo al tiempo de retención teórico. Mientras más corto sea el tiempo de retención teórico, mayor número de muestras se podrán tomar. Estas muestras fueron ensayadas en el laboratorio de EPSEL mediante la medición de la conductividad.

### **Ilustración 40. Toma de muestras en salidas de lagunas**



**Fuente: Elaboración propia**

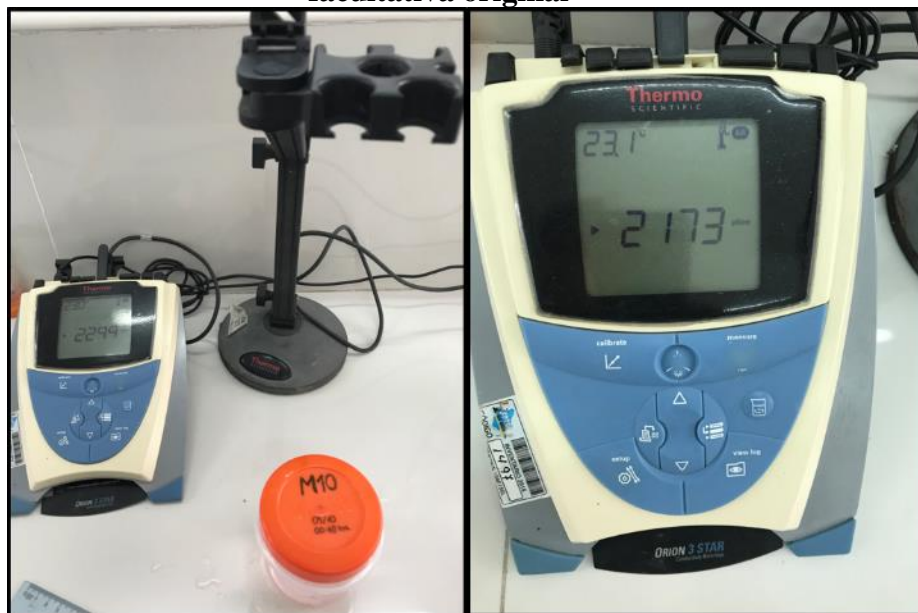
Ensayo de Conductividad: Este ensayo permitió calcular la concentración de Cloruro de Sodio en el efluente de los modelos. De esta manera se obtuvieron tantos datos como muestras se han tomado, y se podrá graficar la curva de distribución de tiempo de retención. De esta

manera, se podrá evaluar la eficiencia hidráulica del reactor y se podrá comparar los resultados con los mejoramientos propuestos.

Para este ensayo, se deben seguir los siguientes pasos:

- En primer lugar, se debe tener las muestras listas para ensayarse.
- Luego, encender el Conductímetro y purificar el sensor del mismo con agua destilada para empezar las mediciones.
- Una vez purificado, se procede a colocar el sensor dentro de la muestra a examinar y se toman tres mediciones, considerando tanto la conductividad como la temperatura.
- Se repiten estos pasos para las demás muestras y el ensayo queda culminado.

**Ilustración 41. Medición de conductividad - Muestra N° 10 laguna facultativa original**



**Fuente: Elaboración propia**

### 3.4.6. USO DE RODAMINA PARA DETERMINAR PATRÓN DE FLUJO

La Rodamina es un colorante ampliamente usado en estudios hídricos, precisamente para determinar el patrón de flujo en sistemas de superficie libre. Esta sustancia tiene una ventaja respecto a los colorantes tradicionales debido a su lenta degradación y mezcla con los flujos, lo cual permite una buena representación visual en los cuerpos de agua.

También tiene una ventaja como trazador al no reaccionar con los componentes que tiene el agua, lo cual lo hace amigable con el medio ambiente.

**Tabla 6. Información sobre trazadores en sistemas de agua**

TRAZADOR	SISTEMA	MÉTODO DE DETECCIÓN	REFERENCIA
Cloruro de Sodio	Lagunas (escala laboratorio)	Titulación	Thirimurthy, 1969
Rhodamina WT (20%)	Lagunas (Piloto y campo)	Fluorómetro	Mangleson, 1972
Rhodamina WT (20%)	Lagunas (escala campo)	Fluorómetro	Reynolds, 1977
Rhodamina WT	Lagunas aeradas	Fluorómetro	Murphy, 1974
Rhodamina WT	Lagunas piloto	Fluorómetro	Watters, 1973
Pontacyl rosa B	Agua	Fluorómetro	Fuerstein, 1963
Fluoresceína			
Rhodamina B			
Fluoresceína	Tanques de sedimentación	Colorímetro	Tekippe, 1968
Rhodamina B	Tanques de cloración	Fluorométrico	Marake, 1973
Rhodamina WT	Ríos - Lagunas aeradas	Fluorómetro	Timpany, 1970
Rhodamina B	Ríos	Fluorómetro	Wilson, 1968
Rhodamina WT	Ríos (reaeración)	Fluorómetro	Tsivoglou, 1969
Tritio (3H)	Ríos (reaeración)	Contador	Tsivoglou, 1969
Kripton -85	Ríos (reaeración)	Contador	Tsivoglou, 1969
Tritio (3H)	Ríos - Mar - Agua subterránea	Contador	Erickson, 1977
Bromo (82Br)	Filtros biológicos	Contador	Sheikh, 1970
Bromo (82Br)	Emisario submarino	Contador	Eden, 1967
Tintura orgánica azul	Canales en laboratorio	Fotográfico	Ward, 1973
Hierro (59Fe)	Lodo de sedimentador	Contador	Scalf, 1968
Rhodamina WT	Reservorios	Fotográfico	Morris, 1969
Bromo (82Br)	Aforo de ríos	Contador	García, 1977
K Br (82Br)	Calibración de Parshall	Fluorómetro	García, 1978
NaI (131I)	Dinámica de lagos	Contador	García, 1979
Bromo (82Br)	Conexiones ilícitas en alcantarillado	Contador	García, 1980
K Br / NH4Br (82 Br)	Difusión en emisario submarino	Contador	García, 1981
Kripton (85K)	Estudio de capacidad asimilativa de ríos	Contador	Krenkel, 1969
Yodo (131I)			
Na Br (82Br)			
Tritio (3H)			
Bromo (82Br)	Lagunas (escala campo)	Contador	Gilath, 1979
Varios radioactivos	Varios usos	Contador	White, 1972
Varios colorantes	Varios usos	Fluorómetro	Cobb, 1965
Varios colorantes	Varios usos	Fluorómetro	Kilpatrick, 1970

**Fuente: Yáñez, 1983**

La Rodamina no se utilizó como trazador principal debido a la dificultad para la obtención del instrumento medidor de su concentración, el Fluorómetro. En vista de la imposibilidad de conseguir tal equipo, se tomó la decisión de utilizarlo como indicador del patrón de flujo en las lagunas en estudio.

▪ **Materiales y equipos**

Para la aplicación de Rodamina en las lagunas, se consideraron los siguientes materiales:

- Rodamina x 100 g.
- Jeringas de 3 cm<sup>3</sup>
- Recipiente con tapa para disolver el colorante Rodamina

▪ **Procedimiento**

Disolución del colorante en 200 ml de agua: En primer lugar se disolvió una pisco del colorante con aproximadamente 200 ml de agua de la laguna en estudio.

Adición de más colorante de acuerdo a la trabajabilidad: Se procedió a verificar por simple inspección la concentración, de tal manera que no se exceda ni tampoco sea muy baja.

Inyección del trazador: Mediante la jeringa se logró inyectar correctamente el trazador en la entrada(s) de las lagunas de manera uniforme para apreciar el flujo natural de las mismas.

Toma de fotografías: Se aprovechó en tomar fotos durante todo el proceso del flujo en cada una de las lagunas, en las cuatro configuraciones estudiadas.

### **3.5. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE PANTALLAS DEFLECTORAS EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**

Se debe resaltar que para la implementación de pantallas deflectoras de flujo en el sistema existente de lagunas de estabilización de la ciudad de Chiclayo – Lagunas de San José, se está considerando la previa descolmatación de los lodos acumulados actualmente debido a un proyecto de inversión vigente al respecto por la Empresa Prestadora de Servicios del departamento de Lambayeque (EPSEL).

Por otro lado, este análisis permitirá evaluar la rentabilidad de la inversión en función a la utilidad que tendría un agua de mejor calidad y, además, se evaluará la utilidad de la implementación de esta tecnología en sistemas existentes de tratamiento de aguas residuales como el presentado en este estudio.

El mencionado proyecto se ha formulado para realizarlo en etapas. Debido a que las lagunas necesariamente deben continuar en funcionamiento, se ha propuesto modificar una laguna por cada etapa, es decir serían cuatro etapas. El procedimiento de modificación, como se ha indicado anteriormente, va de la mano con el proyecto ya formulado de EPSEL S.A. de la Descolmatación de los Lodos Acumulados en las lagunas.

Se sabe técnicamente que para la descolmatación de las lagunas se debe considerar un periodo largo para la evaporación natural del agua en la batería de lagunas (L. Anaeróbica + L. Facultativa), pudiendo alcanzar los tres meses debido al gran volumen de cada batería de lagunas [29], eso dependerá de las especificaciones dadas por los Especialistas de EPSEL S.A.

Por ello, cada etapa del proyecto se ha planificado en iniciar un año después, por lo que el plazo del proyecto se extiende a cuatro años. Sin embargo, la duración de los trabajos por cada etapa es de solo 31 días. Mientras que el periodo de alteración del sistema en general sea menor, el funcionamiento del sistema no sufrirá muchos cambios, por lo que es necesario realizarlo en el menor tiempo posible.

### **3.5.1. DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS A EJECUTAR – PANTALLAS DEFLECTORAS DE CONCRETO ARMADO**

#### **▪ EXCAVACIÓN DE ZANJA – PANTALLAS DEFLECTORAS DE FLUJO**

Descripción:

Se excavará la longitud correspondiente de la pantalla deflectora, dependiendo del ancho de su cimentación. La profundidad de la zanja también se determina de acuerdo al dimensionamiento de la pantalla deflectora.

Esta partida considera cuatro subítems:

- Pantallas deflectoras h=2.10 m
- Taludes h=2.10 m
- Pantallas deflectoras h=3.90 m
- Taludes h=3.90 m

Método de medición:

Se hallará geométricamente el volumen de la zanja a excavar en metros cúbicos (m<sup>3</sup>).

Forma de pago:

La forma de pago se realizará mediante tareos, es decir, un equivalente en metros lineales del rendimiento diario normal. Eso contará como un jornal diario para los operarios de maquinaria pesada.

#### **▪ ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE CON VOLQUETES POR SUBCONTRATA**

Descripción:

El material excedente a raíz de la excavación será acarreado y trasladado con volquetes con capacidad no mayor de 10 m<sup>3</sup> para evitar sobrecargas excesivas en los diques. Se ha creído conveniente que esta partida se haga mediante subcontrata. Se ha considerado un factor de esponjamiento de 1.25.

Método de medición:

El material excedente se determinará en función del volumen total de excavación, siendo su unidad de medida los metros cúbicos (m<sup>3</sup>). Se tendrá en cuenta el factor de esponjamiento señalado en la descripción.

Forma de pago:

Este rubro será pagado en función al número de volquetadas de acarreo del material excedente hasta el destino predeterminado, ya sea un relleno sanitario o una escombrera.

▪ **SOLADO e=0.20 cm C:H 1:10**

Descripción:

El solado se realizará con cemento tipo V en función a las condiciones agresivas a la cual está sometido. Deberá estar correctamente nivelada para una adecuada disposición de la pantalla deflectora. Se realizará mediante múltiples cuadrillas para un avance uniforme en todo el largo de cada pantalla.

Método de medición:

El solado colocado en obra será medido en base al cálculo de la excavación en zanjas, variando solamente la profundidad de la mezcla. Su unidad de medida será en metros cúbicos (m<sup>3</sup>).

Forma de pago:

Esta partida se pagará por la cantidad de metros cúbicos colocados en obra, lo cual se convertirá a unidades de metro lineal para un mejor control.

▪ **ACERO CORRUGADO f'y=4200 kg/cm<sup>2</sup> Grado 60**

Descripción:

El acero corrugado de la cimentación de las pantallas deberá tener el espaciamiento adecuado. Tener un cuidado especial en el recubrimiento de las caras de la cimentación al estar en contacto directo con el suelo. Se dejarán las mechas correspondientes para el vaciado del concreto de la cimentación.

El acero corrugado de las pantallas deberá estar correctamente espaciado. Tener especial cuidado con los traslapes para evitar dejar vacíos en el concreto que posteriormente serán perjudiciales durante el vaciado por poco espacio y por posibles filtraciones.

Método de medición:

La habilitación de acero para las estructuras de la obra será medida por el peso del acero habilitado de acuerdo al diámetro del acero, diferente en cada estructura. La unidad será kilogramos (kg).

Forma de pago:

El pago será en concordancia con los kilogramos de avance físico ejecutado.

▪ **ENCOFRADO PANTALLAS DOS CARAS**

Descripción:

El encofrado a utilizar será el adecuado de tal manera que la superficie final no quede porosa, pues estará en contacto con agua residual, cuyos componentes bien se sabe que son agresivos. Se dispondrá de ductos a mitad de altura de pantalla para el correcto vibrado del concreto.

También se realizará por separado de acuerdo a los dos rubros:

- Pantallas deflectoras h=2.10 m
- Pantallas deflectoras h=3.90 m

Método de medición:

La unidad de medida para el encofrado será los metros cuadrados efectivos encofrados (m<sup>2</sup>).

Forma de pago:

El pago corresponde al avance físico de los metros cuadrados encofrados y desencofrados. Se considerará el 50% cuando está encofrado y el 100% cuando ya esté desencofrado.

▪ **CONCRETO PREMEZCLADO CIMENTACIÓN PANTALLAS**

Descripción:

El concreto premezclado para la cimentación deberá ser colocado con la precaución de no dañar ni doblar las mechas de acero de las pantallas. El acero de la cimentación deberá estar apoyado en dados de concreto de calidad similar al concreto colocado. Tener cuidado ante un posible deslizamiento del acero colocado. La dosificación será de acuerdo a las características de los agregados, de acuerdo a como lo determine el supervisor del proyecto.

Método de medición:

El concreto premezclado se cuantificará por los viajes del camión mezclador transportados desde la planta concretera hasta el punto de vaciado. Se medirá en metros cúbicos (m<sup>3</sup>).

Forma de pago:

Se valorizará el trabajo en función de los metros cúbicos reflejados en el avance físico, es decir, ya vaciados en obra y con sus procedimientos pertinentes.

▪ **JUNTA WATERSTOP  $\phi$  2''**

Descripción:

Las juntas waterstop se colocarán en la base de cada lado de las pantallas deflectoras para un fin exclusivamente de protección de la base del muro ante una infiltración de las aguas agresivas. Se colocará conjuntamente con el encofrado y el acero para muros, de tal manera que quede listo para el vaciado de concreto en las pantallas.

Método de medición:

Las juntas waterstop se medirán en función a los metros lineales colocados. Será la distancia efectiva, es decir, no se considerará la distancia repetida en los traslapes (ml).

Forma de pago:

El pago se realizará acorde a la distancia de waterstop habilitado listo para vaciado de pantallas deflectoras.

▪ **CONCRETO PREMEZCLADO PANTALLAS  $f'c=350$  kg/cm<sup>2</sup>**

Descripción:

Se utilizará un concreto de tal calidad para mitigar la agresividad de los componentes del agua residual a los que la pantalla estará continuamente expuesta. La calidad del concreto requiere que se emplee esta modalidad de preparado. Por otro lado, se debe cerciorar el correcto vibrado del concreto a lo largo de toda la pantalla y en toda la altura. La dosificación será de acuerdo a las características de los agregados o de acuerdo a como lo determine el supervisor del proyecto.

También se realizará por separado de acuerdo a los dos rubros:

- Pantallas deflectoras h=2.10 m

- Pantallas deflectoras h=3.90 m

Método de medición:

El concreto premezclado se cuantificará por los viajes del camión mezclador transportados desde la planta concretera hasta el punto de vaciado. Se medirá en metros cúbicos (m<sup>3</sup>).

Forma de pago:

Se valorizará el trabajo en función de los metros cúbicos reflejados en el avance físico, es decir, ya vaciados en obra y con sus procedimientos pertinentes.

▪ **TARRAJEO CON IMPERMEABILIZANTE - MUROS**

Descripción:

Con esta actividad se garantizará la impermeabilidad de las pantallas deflectoras. Se utilizará aditivo impermeabilizante y la proporción adecuada de mortero de acuerdo a como lo especifique el supervisor del proyecto. El acabado entre borde de muro – losa será de tipo sanitario.

Método de medición:

El tarrajeo impermeabilizante se medirá por el área tarrajada cuya mezcla presente la debida dosificación de aditivo impermeabilizante. La unidad de medida es el metro cuadrado (m<sup>2</sup>).

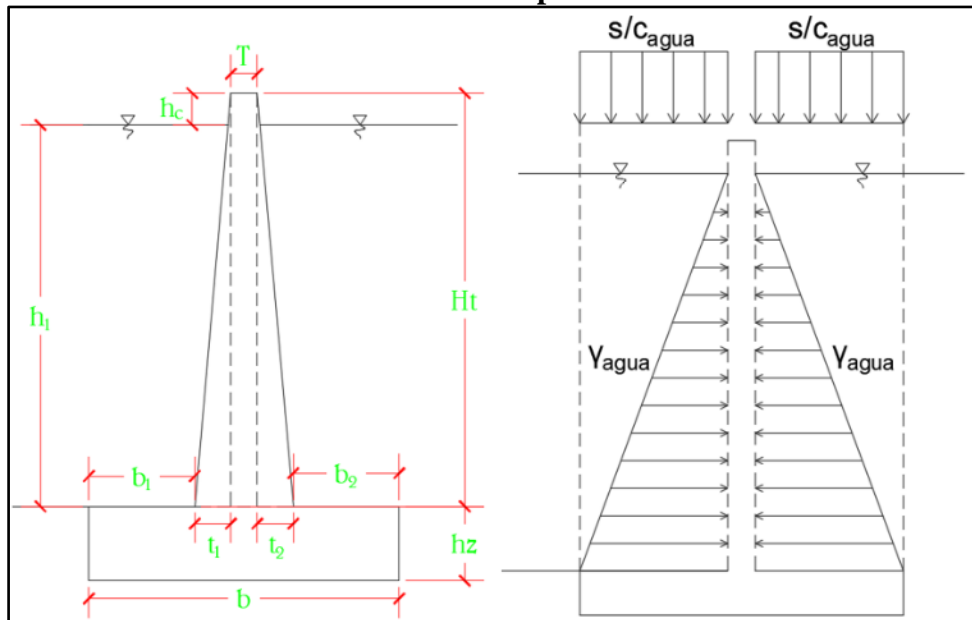
Forma de pago:

El trabajo se valorizará en función al área efectiva tarrajada reflejada en el avance físico. Los derrames se considerarán en otro ítem debido al trabajo diferenciado que se requiere.

### 3.5.2. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PANTALLAS DEFLECTORAS – CONCRETO ARMADO

El diseño estructural de las pantallas deflectoras se realizó teniendo en cuenta que está sujeta a esfuerzos simétricos. El estado de carga de las pantallas deflectoras se describe teniendo en cuenta que se encuentra sumergida casi por completo en las aguas residuales a tratar. La idealización del estado de carga se presenta a continuación:

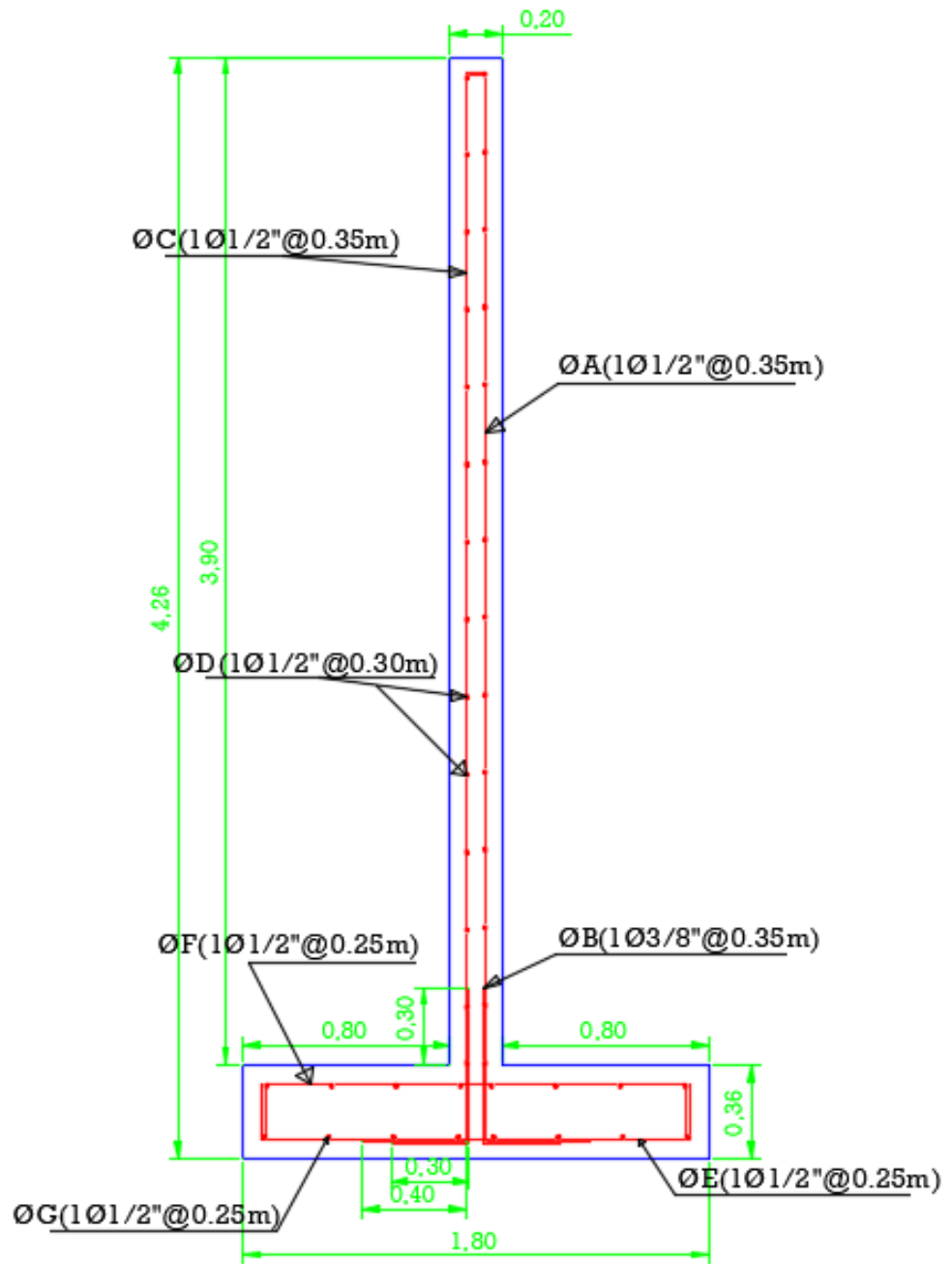
**Ilustración 42. Idealización pantallas deflectoras**



**Fuente: Elaboración propia**

El dimensionamiento y demás especificaciones de las pantallas deflectoras se presentan a continuación:

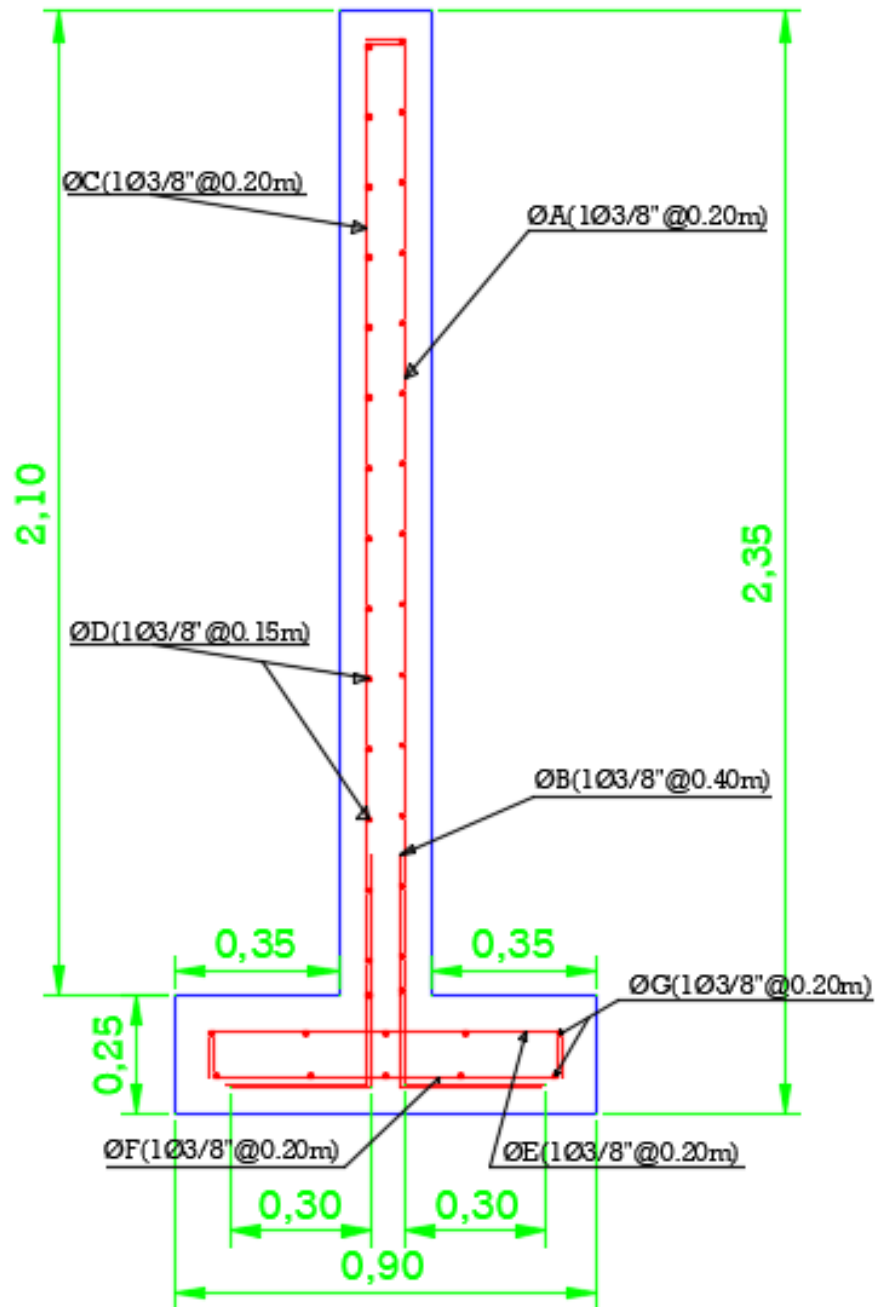
**Ilustración 43. Diseño estructural – Pantalla Laguna Anaeróbica**



**DETALLE DE PANTALLA  
LAGUNA ANAERÓBICA**

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 44. Diseño estructural – Pantalla Laguna Facultativa



## DETALLE DE PANTALLA LAGUNA FACULTATIVA

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.3. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE PANTALLAS DEFLECTORAS

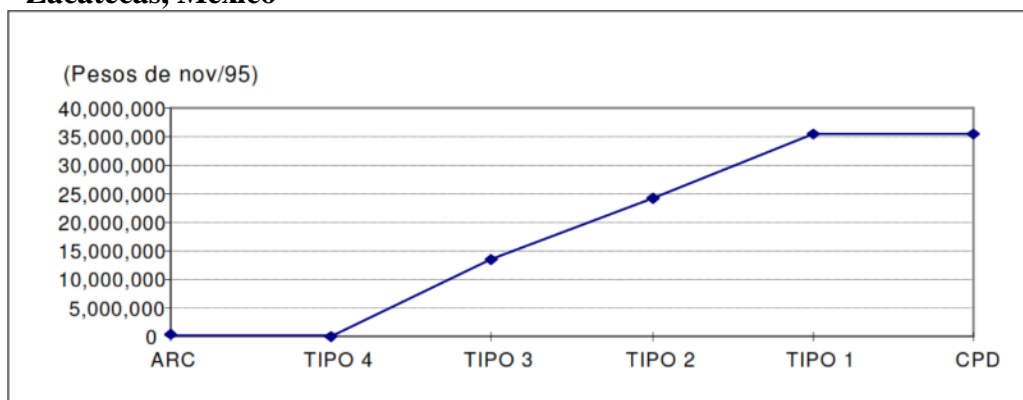
La evaluación económica del proyecto está basada en el beneficio que traería la optimización hidráulica del sistema en estudio a la economía del sector. Para ello, se consideraron los siguientes factores:

- **Descripción del rubro afectado en estudio**

Sector agricultura: Con una mejora de la calidad del agua con fines agronómicos, se tiene que la variedad de cultivos se amplía, aumentando de esta manera la productividad y el ingreso por hectárea de la zona beneficiada.

De acuerdo con CEPEP en Zacatecas, México (1996); existe un beneficio económico de la incorporación de agua de mejor calidad en función a la normativa vigente para el reúso de las aguas residuales tratadas. Se estimó el beneficio de sembrar en 260 hectáreas, forrajes con agua residual cruda y con agua tipo 4; sandía con el tipo 3; ajo con el tipo 2 y papa con el tipo 1 [28], de la siguiente manera:

**Ilustración 45. Beneficio de producción agrícola en función a la calidad de agua residual tratada reutilizada para regadío en Zacatecas, México**



Fuente: CEPEP, 1996

Donde:

-“ARC: Agua Residual Cruda.

-CPD: Condiciones Particulares de Descarga.

-TIPO 1: La que contenga menos de 1,000 coliformes totales/100 ml y ningún huevo de helminto viable por litro de agua. Cultivos permitidos con el uso de este tipo de agua: Libre cultivo.

-TIPO 2: La que contenga de 1 a 1,000 coliformes fecales/100 ml y cuando más un huevo viable de helminto por litro de agua. Cultivos permitidos con el uso de este tipo de agua: ajo, pepino, jitomate verde (o de cáscara), jícama, melón y sandía.

-TIPO 3: La que contenga de 1,001 a 100,000 coliformes fecales/100 ml. Cultivos permitidos con el uso de este tipo de agua: melón y sandía, siempre y cuando se utilice riego por surco.

-TIPO 4: La que contenga más de 100,000 coliformes fecales/100 ml. Todas las hortalizas y productos hortifructícolas están prohibidos” [28].

▪ **Marco conceptual para la evaluación**

Evaluación a precios privados: La evaluación a precios privados tendrá en cuenta los siguientes ítems: Beneficio (en función al sector agricultura) y Costo de Inversión (costo de implementación de pantallas deflectoras).

Evaluación social: Se tendrá en cuenta los mismos parámetros aplicando el análisis comparativo de la situación sin proyecto y con proyecto y, además, aplicando los factores de corrección sugeridos por la Directiva General del SNIP

Horizonte de evaluación: El horizonte de evaluación será de 10 años.

Tasa de descuento utilizada: Para la tasa de descuento se considerará el valor de 8% de acuerdo a la Directiva del SNIP - Anexo 10, modificado por la Resolución Directoral N° 002-2013-EF/63.01.5.

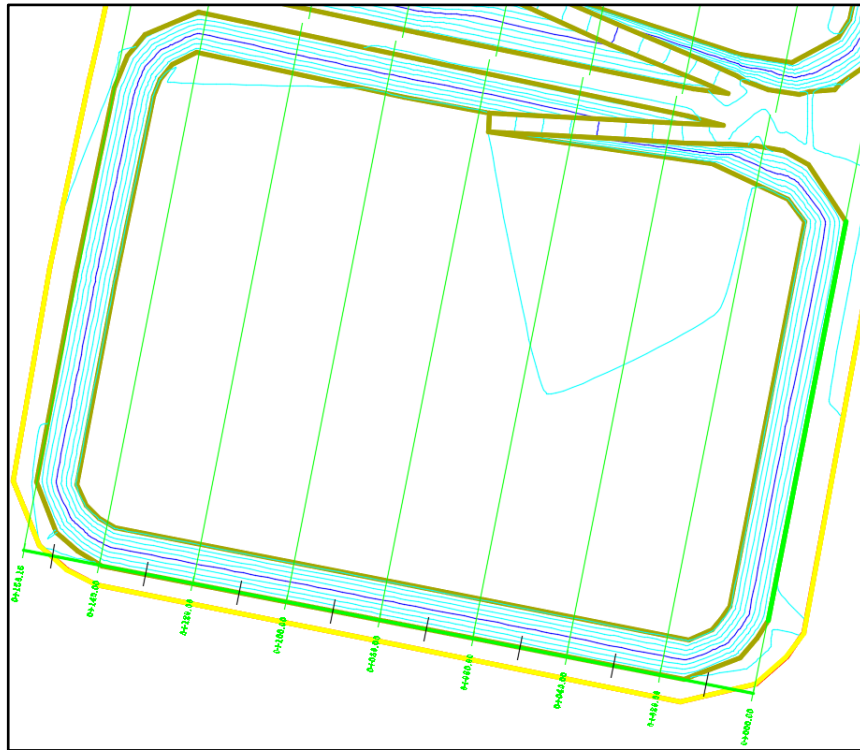
## IV. RESULTADOS

### 4.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

En el levantamiento topográfico, se logró extraer la gradiente de la elevación a lo largo de todo el terreno. Se pudo obtener una diferencia de 4.286 metros entre los puntos extremos del sistema, 10.037 m (estructuras de entrada) y 5.751 (efluente).

Además, se pudieron obtener las superficies de todas las lagunas del sistema, lo cual se exportará a las interfaces gráficas para dar inicio al modelamiento CFD. Las curvas de nivel se configuraron con un espaciamiento de 0.50 m para que sean apreciables las pendientes de los diques en el plano general.

**Ilustración 46. Curvas de nivel - laguna anaeróbica**



**Fuente: Elaboración propia**

Del mismo modo, se obtuvieron los volúmenes de las lagunas, lo cual servirá para determinar el tiempo de retención teórico, dato esencial en los ensayos de trazadores.

Los volúmenes reales de las lagunas se han considerado en función de la cota de agua durante el levantamiento topográfico en cada laguna, lo cual se pudo obtener mediante la visación de puntos en el espejo de agua en las rampas de acceso.

**Ilustración 47. Volumen útil de lagunas – AutoCAD Civil 3D**

<b>VOLUMEN ÚTIL LAGUNAS (m<sup>3</sup>)</b>	
ANAERÓBICA 1	51891.51
ANAERÓBICA 2	53181.75
ANAERÓBICA 3	52935.04
ANAERÓBICA 4	53740.88
ANAERÓBICA 5	53723.23
FACULTATIVA 1	68385.16
FACULTATIVA 2	90238.48
FACULTATIVA 3	81218.41
FACULTATIVA 4	95493.81
FACULTATIVA 5	91868.97

**Fuente: Elaboración propia**

Asimismo, en los planos se muestran las secciones transversales trabajadas para la obtención de dichos volúmenes. Se obviaron los volúmenes de relleno pues estos representan áreas incompatibles respecto al volumen de interés.

## **4.2. AFORO DE ENTRADA EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**

En este trabajo de campo se obtuvieron datos como el tiempo de recorrido del flotador en la longitud de control, datos procesados en gabinete. Estos datos se asignaron al modelo numérico CFD.

En el trabajo de gabinete se obtuvieron los caudales y velocidades promedio para cada entrada de las lagunas anaeróbicas y facultativas, todo ello a partir de las mediciones repetitivas explicadas anteriormente en el apartado de Metodología. A continuación, se describirán los resultados obtenidos en gabinete:

### **4.2.1. AFORO EN LAGUNAS ANAERÓBICAS**

Para las lagunas anaeróbicas, al tener dos entradas similares, solo se procedió a medir una de ellas. Las dimensiones del canal de entrada fueron las siguientes:

- $y = 0.18$  m (tirante)
- $a = 0.50$  m (ancho del canal)
- $L = 18.10$  m (longitud de control)

El ensayo del flotador arrojó una velocidad promedio de  $0.676$  m/s y un caudal promedio de  $0.061$  m<sup>3</sup>/s. El total, al ser dos entradas, sería de  $0.122$  m<sup>3</sup>/s.

Comparando con el caudal promedio de diseño de  $76850$  m<sup>3</sup>/día, equivalente a  $0.178$  m<sup>3</sup>/s por cada laguna primaria, indica que aún el caudal aforado está por debajo del caudal de diseño, a pesar de la sabida situación de la interrupción del agua residual en los canales previos a la planta de tratamiento para el regadío ilegal de cultivos.

### **4.2.2. AFORO EN LAGUNAS FACULTATIVAS**

Para las lagunas facultativas se procedió a la medición del tramo inmediato anterior al de descarga. Las dimensiones del canal fueron las siguientes:

- $y = 0.16$  m (tirante)
- $a = 0.80$  m (ancho del canal)
- $L = 17.00$  m (longitud de control)

El ensayo del flotador arrojó una velocidad promedio de  $0.571$  m/s y un caudal promedio de  $0.073$  m<sup>3</sup>/s. Una observación peculiar es que el caudal de  $0.122$  m<sup>3</sup>/s no se conserva, lo que da a entender un problema de

infiltración de las aguas residuales por los diques o por el subsuelo o también podría ser una repartición desigual de los caudales en el sistema.

#### 4.2.3. REGULACIÓN DE CAUDALES EN ENTRADAS DE LAGUNAS A ESCALA PILOTO

- **Reservorio Cil (para  $Q_F=4.13 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ ):**

Se logró la regulación al séptimo intento, con los siguientes parámetros:

$$V= 165 \text{ mL}$$

$$t= 40.42 \text{ s}$$

En efecto, el caudal regulado resultó  $Q_{cil}=4.082 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

- **Reservorio Crisol (para  $Q_A=6.88 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ ):**

Se logró la regulación al cuarto intento, con los siguientes parámetros:

$$V= 195 \text{ mL}$$

$$t= 30.00 \text{ s}$$

En efecto, el caudal regulado resultó  $Q_{crisol}=6.50 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

- **Reservorio Del Cielo (para  $Q_A=6.88 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ ):**

Se logró la regulación al cuarto intento, con los siguientes parámetros:

$$V= 207.5 \text{ mL}$$

$$t= 30.12 \text{ s}$$

En efecto, el caudal regulado resultó  $Q_{del\ cielo}=6.889 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

#### Ilustración 48. Volúmenes en entradas de lagunas a escala piloto



Fuente: Elaboración propia

### **4.3. POSTPROCESO – MODELOS CFD**

Para el Postproceso de los Modelos CFD de Lagunas de Estabilización, se han considerado ciertas herramientas que permiten la mejor comprensión de los resultados. La herramienta más importante para esta etapa es la denominada “Fijar Valor Máximo”. Esta herramienta permite reducir el rango de los resultados en los casos donde hay una variación muy grande entre los valores de todo el dominio [25], caso muy peculiar dado en lagunas de estabilización. En los cuatro modelos CFD se fijó el valor máximo de velocidad, lo cual permitió predecir los fenómenos de cortocircuitos hidráulicos, zonas muertas y la trayectoria de las líneas de corriente.

Asimismo, los resultados obtenidos tras el cálculo hidrodinámico en las lagunas de estabilización se obtuvieron luego de un tiempo considerable, aproximadamente dos meses entre modelaciones y correcciones. Para poder obtener datos fidedignos, se siguieron los siguientes criterios:

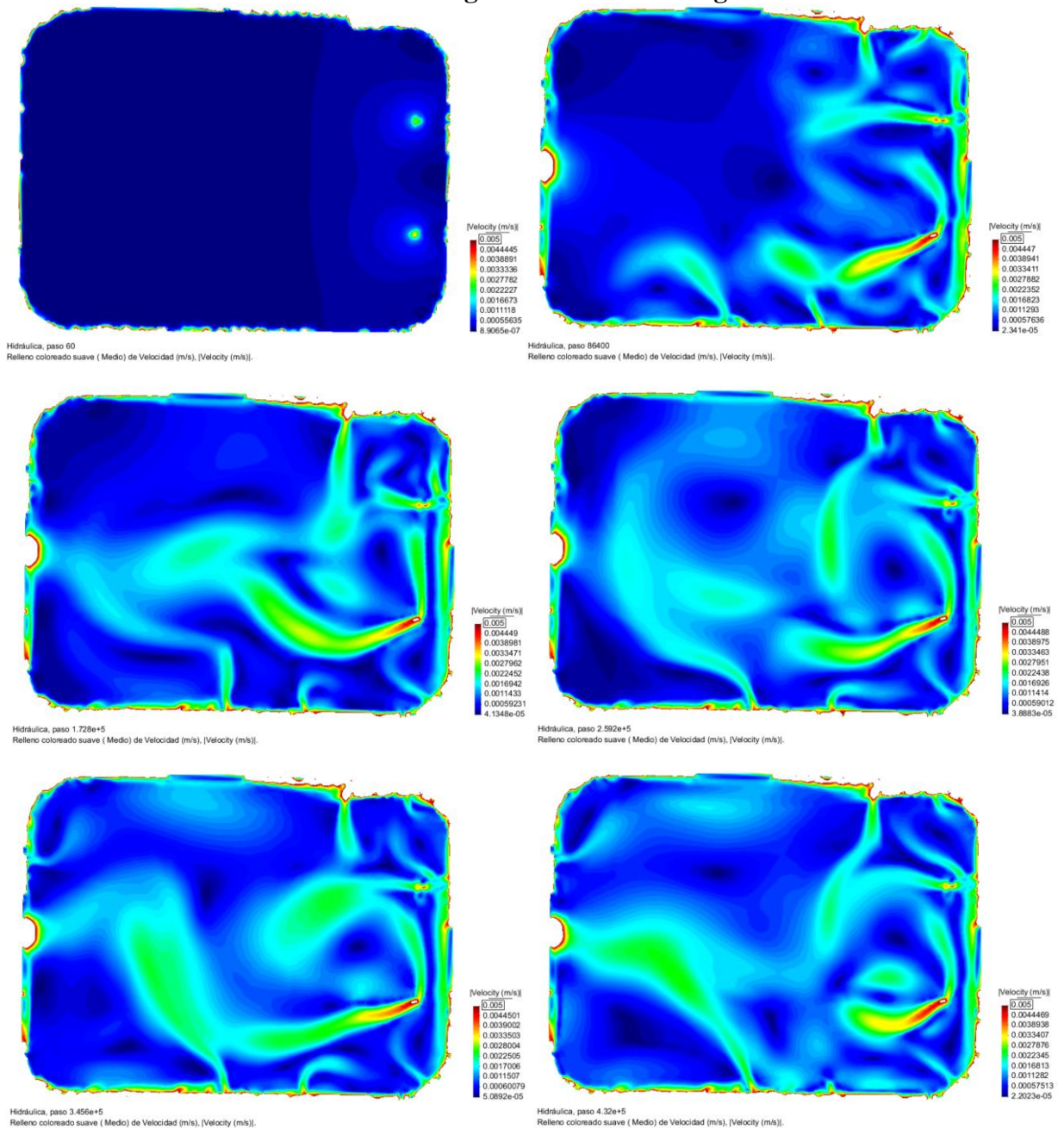
- El tiempo de modelación fue de 5 días = 432 000 s, teniendo en cuenta que el tiempo de retención en este tipo de sistemas puede ser de días o semanas.
- La calidad del mallado se consideró de calidad intermedia para que el tiempo de simulación no sea un impedimento para la obtención de resultados.
- Se utilizaron varias computadoras para poder acelerar el proceso de obtención de resultados.

#### **4.3.1. POSTPROCESO – LAGUNAS ANAERÓBICAS**

##### **▪ LAGUNA ANAERÓBICA ORIGINAL**

En las lagunas anaeróbicas, pese a tener entradas de tipo dispersor, no distribuye uniformemente el flujo en el cuerpo de la laguna, sino más bien se aprecian las líneas de corriente cuya trayectoria empieza en las entradas y se unen a la mitad del cuerpo de la laguna para luego ir directamente hacia la salida; en otras palabras, existencia de cortocircuitos. Este patrón de flujo origina dos zonas muertas principales: Una entre las dos entradas y la otra en la segunda mitad del cuerpo de la laguna. Fijando la velocidad máxima a 5 mm/s, se obtiene el siguiente resultado:

### Ilustración 49. Gradiente de velocidades durante 5 días de simulación - Laguna Anaeróbica Original

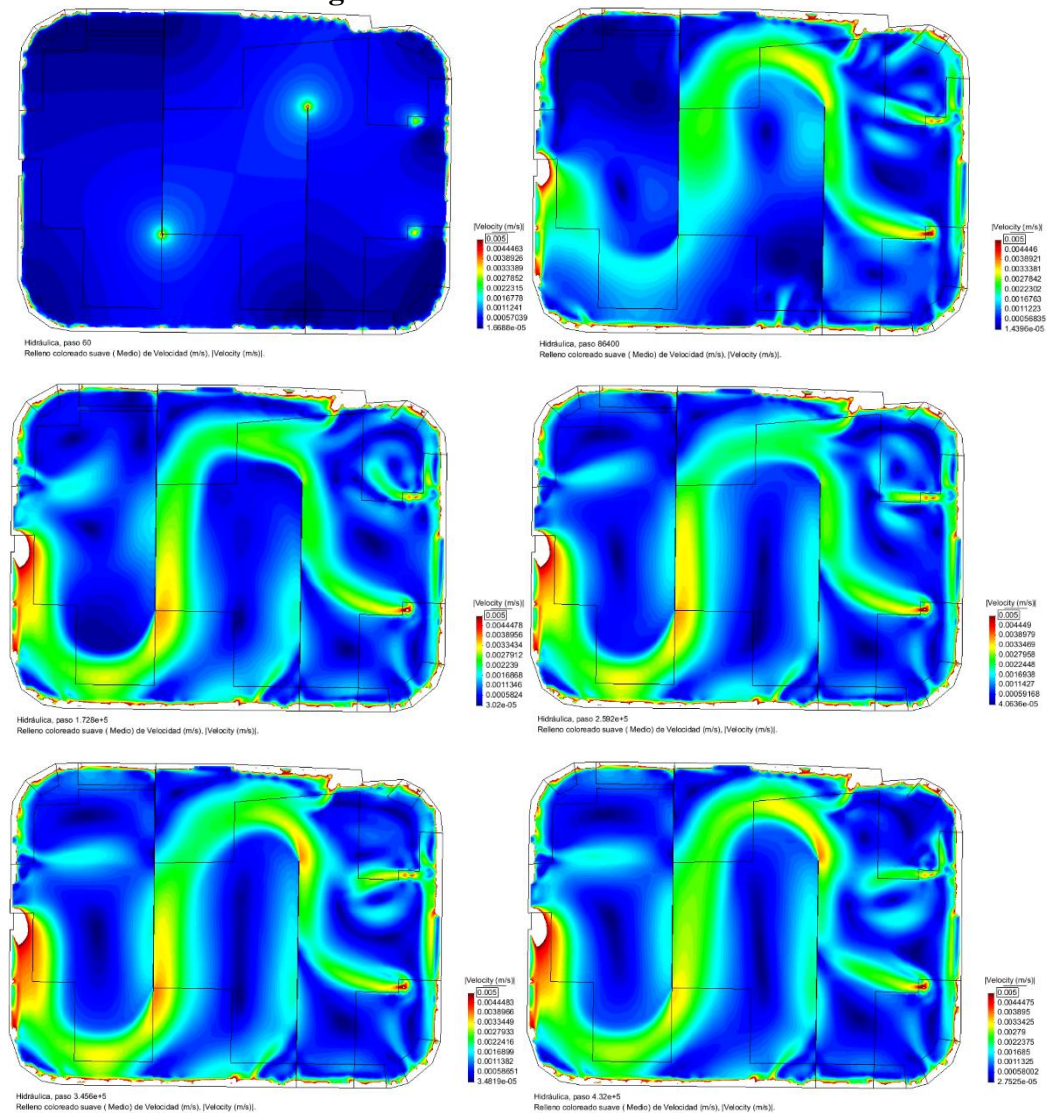


Fuente: Iber 2.4.3

#### LAGUNA ANAERÓBICA CON DEFLECTORES

La implementación de deflectores en la laguna anaeróbica genera un patrón de flujo zigzagueante, en el cual se puede apreciar el aumento de la distancia recorrida entre entradas y salidas. Sin embargo, no se pueden evitar las zonas muertas. Fijando la velocidad máxima a 5 mm/s, el resultado es el siguiente:

### Ilustración 50. Gradiente de velocidades durante 5 días de simulación – Laguna Anaeróbica con deflectores



**Fuente: Iber 2.4.3**

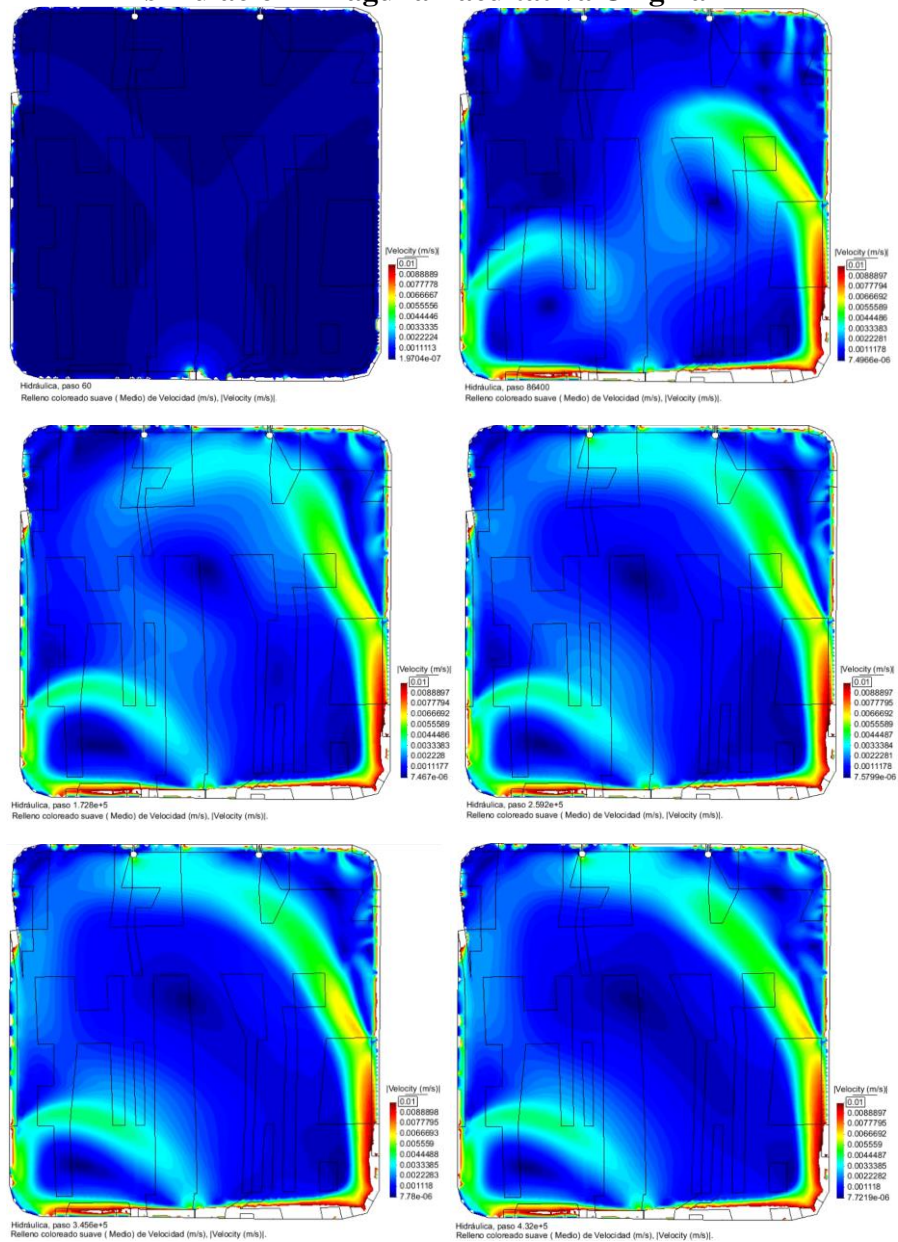
Se puede apreciar que las velocidades a la salida de la laguna con deflectores son más altas, pero siguen un patrón definido de flujo a diferencia de la laguna anaeróbica original. Pese a las velocidades más altas, la longitud recorrida de las líneas de corriente es mayor en la laguna modificada que en la original. Esto repercute en el tiempo de retención, tal como se verá en el ensayo de trazadores.

### 4.3.2. POSTPROCESO – LAGUNAS FACULTATIVAS

#### ▪ LAGUNA FACULTATIVA ORIGINAL

En este caso, la distribución del flujo se caracteriza por la generación de dos líneas de corriente las cuales, debido al pequeño deflector colocado en la entrada, se abren hacia los extremos laterales de la laguna. Esto provoca el surgimiento de dos grandes zonas muertas que ocupan un gran porcentaje del área de la laguna. Sin duda, se aprecia la deficiente distribución del patrón de flujo. Fijando la velocidad máxima a 1cm/s, el resultado es el siguiente:

**Ilustración 51. Gradiente de velocidades durante 5 días de simulación – Laguna Facultativa Original**

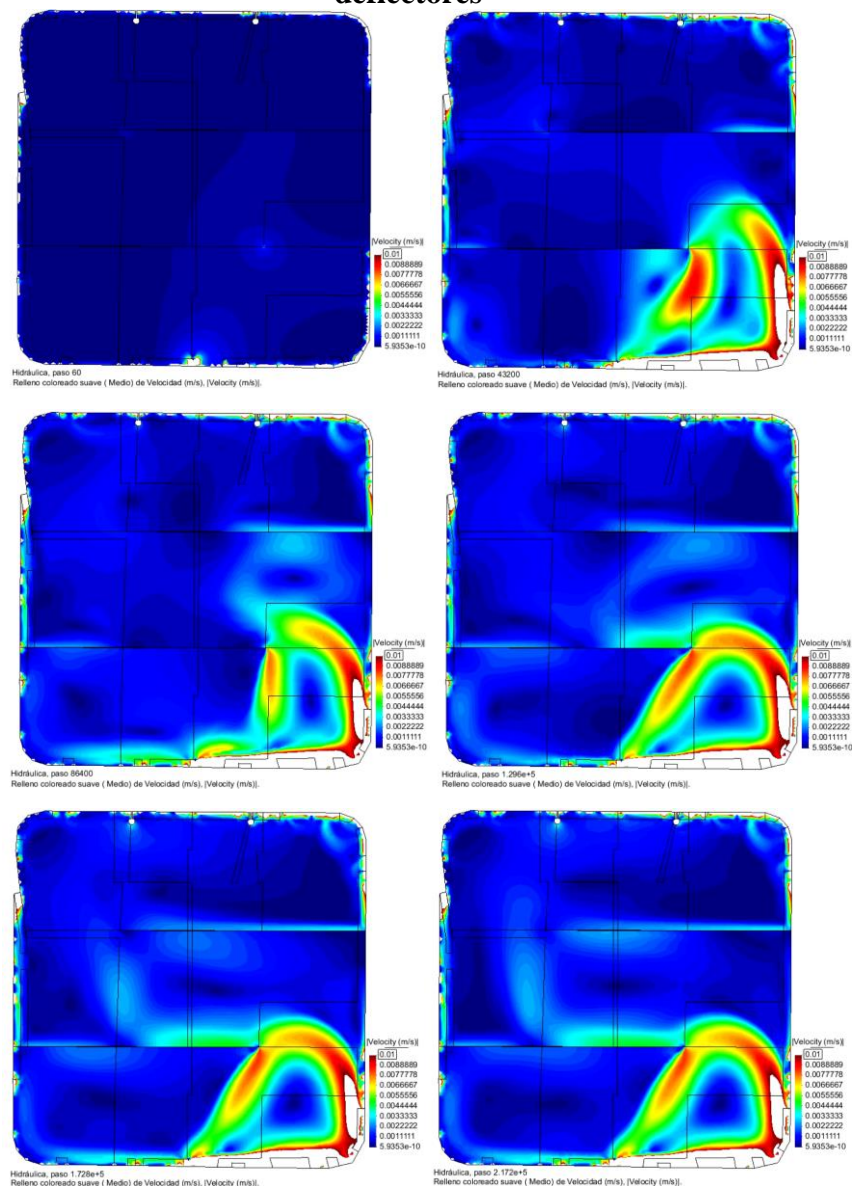


Fuente: Iber 2.4.3

▪ **LAGUNA FACULTATIVA CON DEFLECTORES**

La laguna facultativa con deflectores tiene un comportamiento extraño en cuanto a distribución del flujo. Se puede apreciar que, la función del deflector en frente de la entrada es insignificante pues ahora los principales deflectores son los transversales. Además, se observa cómo la línea de corriente del lado derecho se bifurca con el primer deflector transversal. Evidentemente, el flujo retarda su llegada a la salida, por lo cual, la función de los deflectores transversales es eficaz. Sin embargo, se pueden apreciar zonas muertas en cada división. Fijando la velocidad máxima a 1 cm/s, se obtiene el siguiente resultado:

**Ilustración 52. Gradiente de velocidades – Laguna Facultativa con deflectores**



Fuente: Iber 2.4.3

#### 4.4. ENSAYOS DE TRAZADORES EN LAGUNAS A ESCALA PILOTO

Con la realización de este estudio, se obtiene la *Curva de Distribución de Tiempos de Residencia*, la cual es indicadora de la eficiencia hidráulica de los reactores en estudio, tal como se viene señalando en capítulos anteriores. Para ello, se procesaron los datos con la siguiente secuencia:

##### 4.4.1. Curvas de Conductividad de trazador NaCl

- **Laguna anaeróbica a escala piloto original**

La curva en la configuración original de la laguna anaeróbica muestra una aparición ligeramente rápida del pico (valor máximo), lo cual se predice que existe cortocircuito hidráulico. El pico se presencia a 4 horas de iniciado el ensayo de trazadores con NaCl, tal como se muestra a continuación:

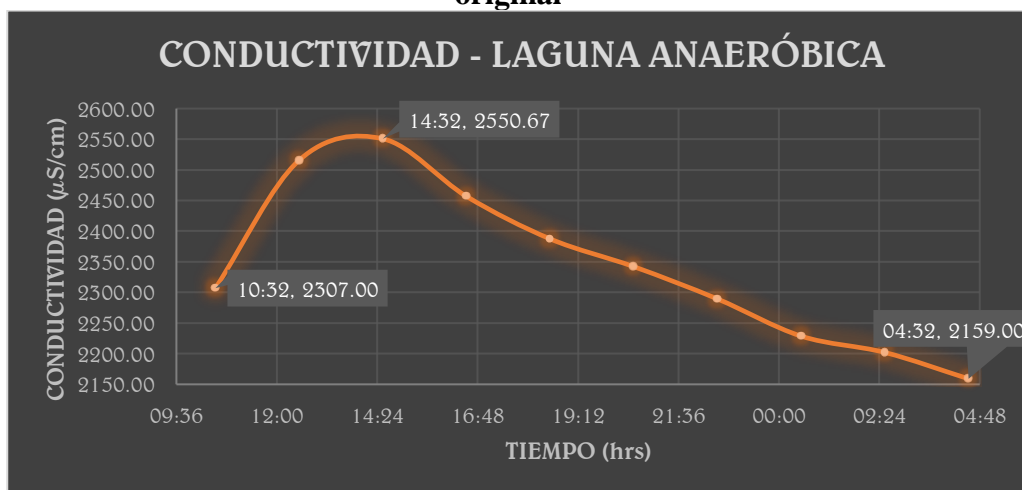
**Tabla 7. Conductividad vs. Tiempo – Laguna Anaeróbica Original**

DATOS DE CAMPO (11/02 - 12/02/2019) Intervalo ensayo: 02:00 h

MUESTRA	HORA ENSAYO	CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )				TEMPERATURA ( $^{\circ}\text{C}$ )			
		LABORATORIO			PROMEDI	LABORATORIO			PROMEDIO
INICIAL	10:32	2305	2310	2306	2307.00	30.7	30.7	30.7	30.70
1	12:32	2508	2523	2516	2515.67	29.3	30.3	30.5	30.03
2	14:32	2554	2551	2547	2550.67	29.3	29.9	30.0	29.73
3	16:32	2456	2460	2454	2456.67	29.1	29.7	29.8	29.53
4	18:32	2383	2391	2388	2387.33	28.1	29.0	29.1	28.73
5	20:32	2343	2343	2340	2342.00	28.1	28.9	28.0	28.33
6	22:32	2289	2292	2287	2289.33	27.7	28.7	28.9	28.43
7	00:32	2229	2231	2226	2228.67	28.2	28.5	28.6	28.43
8	02:32	2204	2205	2197	2202.00	27.5	28.2	28.3	28.00
9	04:32	2158	2158	2161	2159.00	27.2	27.9	28.0	27.70

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 1. Curva Conductividad vs. Tiempo – Laguna Anaeróbica original**



Fuente: Elaboración propia

- **Laguna Anaeróbica a escala piloto con deflectores**

A diferencia de su configuración original, este mejoramiento permitió dilatar la ocurrencia del pico de la curva hacia las 8 horas.

La conductividad, al añadir deflectores a este sistema, se dispersa con mayor uniformidad durante el tiempo. Este es un indicador de mejoramiento de la distribución del flujo a lo largo del reactor, sin embargo no logra alcanzar ni siquiera la mitad del tiempo teórico de retención, lo cual puede aún ser mejorado.

**Tabla 8. Conductividad vs. Tiempo – Laguna Anaeróbica con deflectores**  
 DATOS DE CAMPO (24/02 - 25/02/2019) Intervalo ensayo: 02:00 h

MUESTRA	HORA ENSAYO	CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )				TEMPERATURA ( $^{\circ}\text{C}$ )			
		LABORATORIO			PROMEDI	LABORATORIO			PROMEDIO
INICIAL	10:53	2023	2020	2019	2020.67	27.0	27.9	28.1	27.67
1	12:53	2042	2045	2044	2043.67	26.9	27.5	27.6	27.33
2	14:53	2070	2066	2067	2067.67	27.0	27.4	27.6	27.33
3	16:53	2072	2076	2075	2074.33	26.9	27.3	27.4	27.20
4	18:53	2149	2150	2151	2150.00	27.6	28.0	28.1	27.90
5	20:53	2121	2131	2130	2127.33	27.2	27.9	28.1	27.73
6	22:53	2126	2126	2124	2125.33	27.0	27.8	27.9	27.57
7	00:53	2100	2098	2100	2099.33	27.3	27.8	27.8	27.63
8	02:53	2072	2069	2067	2069.33	27.0	27.5	27.7	27.40
9	04:53	2046	2053	2054	2051.00	26.7	27.5	27.6	27.27
10	06:53	2012	2017	2015	2014.67	27.4	27.8	27.9	27.70
11	08:53	1983	1987	1987	1985.67	27.1	28.1	28.3	27.83

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 2. Curva Conductividad vs. Tiempo – Laguna Anaeróbica con deflectores**



Fuente: Elaboración propia

▪ **Laguna facultativa a escala piloto original**

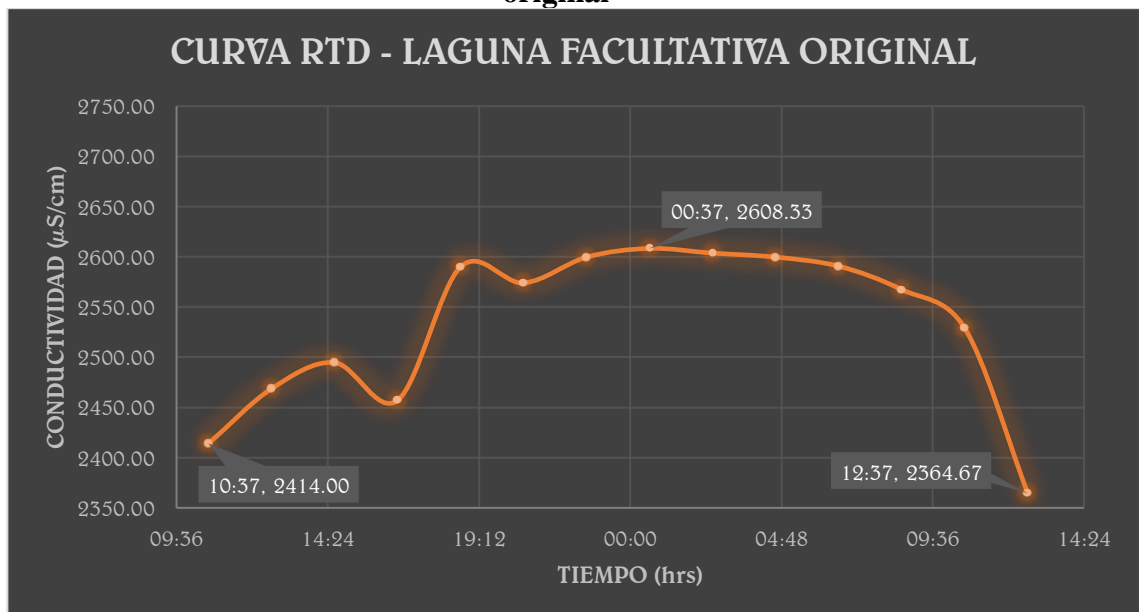
En este reactor, cuyo volumen es aproximadamente el doble del anaeróbico, existe también una uniformidad en la distribución de la conductividad a lo largo del tiempo. Luego de 14 horas de la inyección del trazador, la curva RTD muestra su punto pico, tal como se muestra a continuación:

**Tabla 9. Conductividad vs. Tiempo – Laguna Facultativa Original**

DATOS DE CAMPO (11/02 - 12/02/2019) Intervalo ensayo: 02:00

MUESTRA	HORA ENSAYO	CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )				TEMPERATURA ( $^{\circ}\text{C}$ )			
		LABORATORIO			PROMEDI	LABORATORIO			PROMEDIO
INICIAL	10:37	2408	2416	2418	2414.00	27.6	28.4	28.7	28.23
1	12:37	2465	2473	2468	2468.67	26.9	27.6	27.7	27.40
2	14:37	2487	2499	2498	2494.67	27.0	28.1	28.2	27.77
3	16:37	2454	2458	2459	2457.00	25.7	26.3	26.4	26.13
4	18:37	2589	2590	2591	2590.00	26.0	26.6	26.8	26.47
5	20:37	2572	2578	2572	2574.00	26.0	27.0	27.1	26.70
6	22:37	2597	2601	2601	2599.67	26.2	26.9	27.0	26.70
7	00:37	2607	2608	2610	2608.33	26.1	26.8	26.9	26.60
8	02:37	2607	2600	2604	2603.67	25.7	26.3	26.5	26.17
9	04:37	2594	2603	2602	2599.67	25.1	25.5	25.7	25.43
10	06:37	2593	2590	2589	2590.67	26.1	26.3	26.4	26.27
11	08:37	2561	2571	2570	2567.33	25.7	26.7	26.8	26.40
12	10:37	2523	2533	2531	2529.00	25.8	26.5	26.6	26.30
13	12:37	2359	2367	2368	2364.67	25.7	26.1	26.2	26.00

**Gráfico 3. Curva Conductividad vs. Tiempo – Laguna Facultativa original**



Fuente: Elaboración propia

▪ **Laguna facultativa con deflectores**

La implementación de deflectores en la laguna facultativa ha generado un aumento del tiempo de retención de 14 a 24 horas. Ha habido un considerable aumento de tiempo, sin embargo no es representativo en función del tiempo de retención teórico (2.54 días). Posiblemente se debe a los factores externos a los cuales las lagunas piloto están sometidas, pues son muy vulnerables debido a su pequeña escala.

**Tabla 10. Conductividad vs. Tiempo – Laguna Facultativa con deflectores**

DATOS DE CAMPO (24/02 - 26/02/2019) Intervalo ensayo: 02:00

MUESTRA	HORA ENSAYO	CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )				TEMPERATURA ( $^{\circ}\text{C}$ )			
		LABORATORIO			PROMEDI	LABORATORIO			PROMEDIO
INICIAL	11:09	2369	2371	2370	2370.00	26.7	28.0	28.2	27.63
1	13:09	2405	2401	2402	2402.67	27.5	28.0	28.1	27.87
2	15:09	2392	2393	2388	2391.00	27.0	27.6	27.7	27.43
3	17:09	2415	2425	2422	2420.67	26.9	27.4	27.5	27.27
4	19:09	2429	2419	2419	2422.33	26.1	26.7	26.8	26.53
5	21:09	2465	2474	2474	2471.00	25.9	26.4	26.5	26.27
6	23:09	2494	2508	2506	2502.67	26.5	27.5	27.7	27.23
7	01:09	2466	2468	2469	2467.67	26.9	27.5	27.7	27.37
8	03:09	2470	2468	2468	2468.67	26.6	27.2	27.3	27.03
9	05:09	2449	2455	2456	2453.33	26.4	26.9	27.1	26.80
10	07:09	2412	2422	2419	2417.67	25.6	26.5	26.6	26.23
11	09:09	2458	2473	2471	2467.33	26.1	27.0	27.2	26.77
12	11:09	2508	2520	2522	2516.67	27.4	28.0	28.2	27.87
13	13:09	2468	2482	2482	2477.33	27.6	28.1	28.2	27.97
14	15:09	2464	2476	2476	2472.00	27.2	27.9	28.1	27.73
15	17:09	2433	2437	2437	2435.67	27.0	27.8	27.9	27.57
16	19:09	2424	2427	2429	2426.67	26.9	27.5	27.6	27.33
17	21:09	2407	2418	2417	2414.00	26.4	27.2	27.4	27.00
18	23:09	2434	2432	2431	2432.33	26.3	26.7	26.8	26.60
19	01:09	2418	2415	2416	2416.33	26.6	27.0	27.1	26.90
20	03:09	2400	2400	2398	2399.33	26.6	27.0	27.1	26.90
21	05:09	2390	2395	2394	2393.00	26.2	26.9	27.1	26.73
22	07:09	2396	2380	2377	2384.33	26.2	26.8	26.8	26.60
23	09:09	2343	2347	2349	2346.33	25.9	26.4	26.6	26.30
24	11:09	2195	2188	2180	2187.67	25.9	26.0	26.2	26.03

**Gráfico 4. Curva de Conductividad de trazador NaCl – Laguna Facultativa con deflectores**



**Fuente: Elaboración propia**

#### 4.4.2. Curvas de Concentración vs. Tiempo: $C_{\text{impulso}}$ (en mg/L)

Una vez procesados los datos de campo de los ensayos de trazadores, se procedió a la conversión de la conductividad a concentración (en mg/L) para poder realizar la curva de Concentración vs. Tiempo. Tal información junto a la permitió determinar el tiempo de retención real de cada reactor en sus diferentes configuraciones.

▪ **Curvas  $C_{impulso}$  – Ensayos de Trazadores**

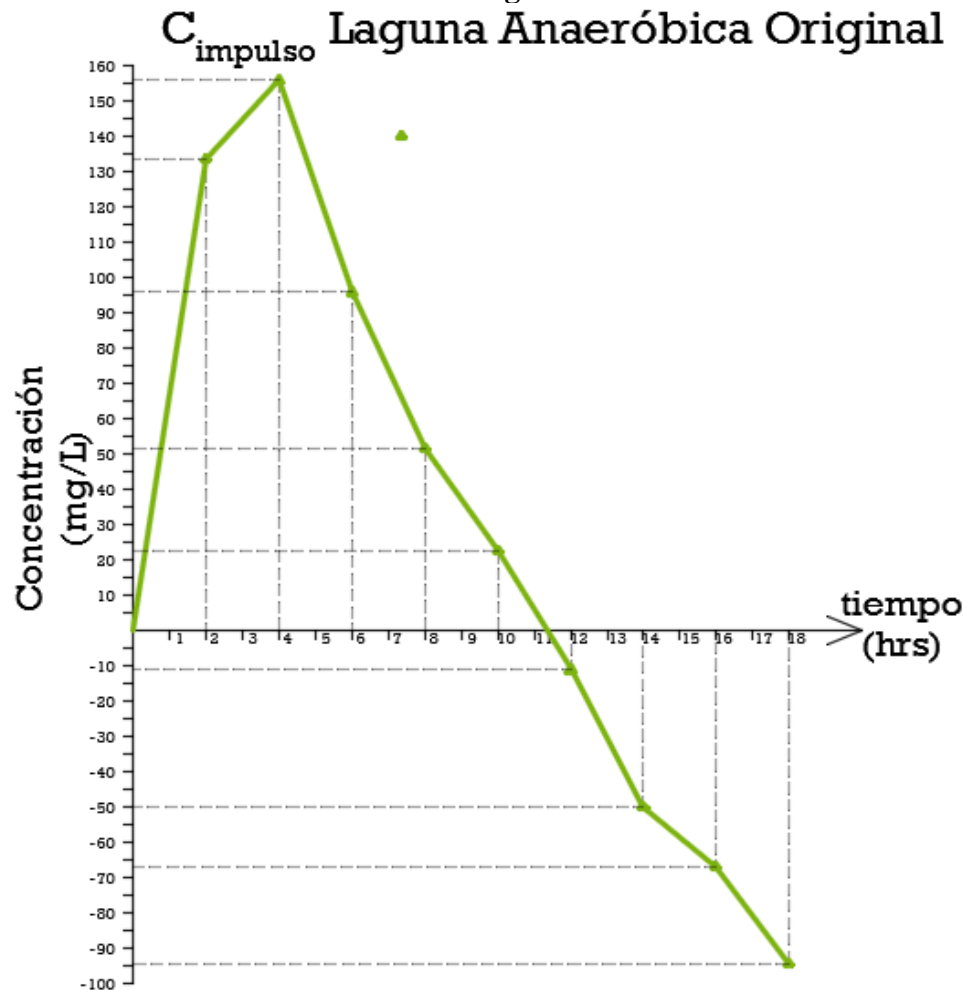
**Tabla 11. Concentración vs. Tiempo – Laguna Anaeróbica Original**

N° Muestra	t(horas)	COND. PROMEDIO	CONC. PROMEDIO (ppm o mg/L)	C-Co (ppm o mg/L)
INICIAL	0	2307.00	1476.48	0.00
1	2	2515.67	1610.03	133.55
2	4	2550.67	1632.43	155.95
3	6	2456.67	1572.27	95.79
4	8	2387.33	1527.89	51.41
5	10	2342.00	1498.88	22.40
6	12	2289.33	1465.17	-11.31
7	14	2228.67	1426.35	-50.13
8	16	2202.00	1409.28	-67.20
9	18	2159.00	1381.76	-94.72

$F.C. = 0.64$

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 5. Curva Concentración vs. Tiempo ( $C_{impulso}$ ) – Laguna Anaeróbica Original**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 12. Concentración vs. Tiempo – Laguna Anaeróbica con deflectores**

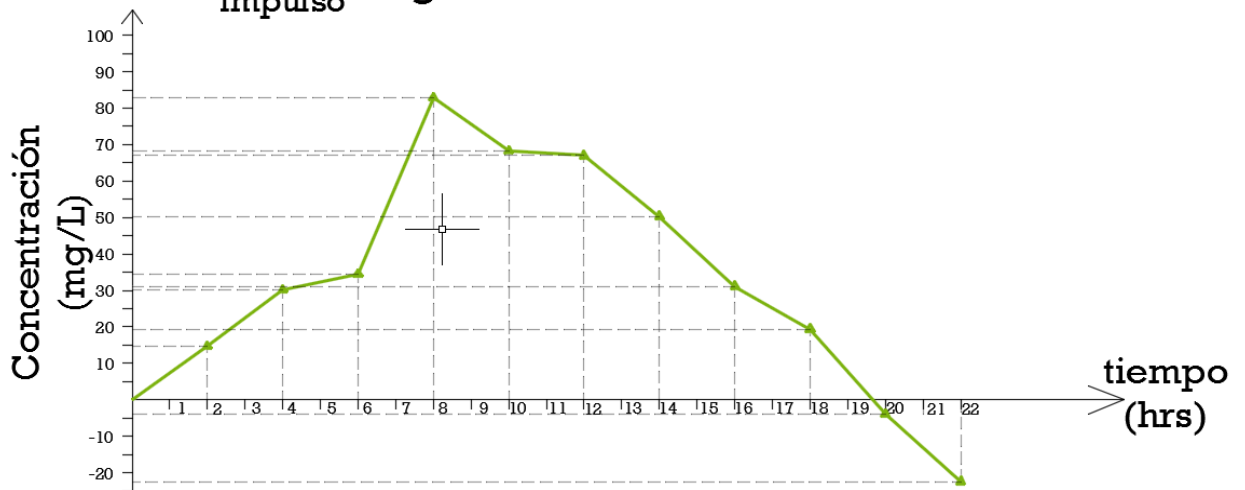
N° Muestra	t(horas)	COND. PROMEDIO	CONC. PROMEDIO (ppm o mg/L)	C-Co (ppm o mg/L)
INICIAL	0	2020.67	1293.23	0.00
1	2	2043.67	1307.95	14.72
2	4	2067.67	1323.31	30.08
3	6	2074.33	1327.57	34.35
4	8	2150.00	1376.00	82.77
5	10	2127.33	1361.49	68.27
6	12	2125.33	1360.21	66.99
7	14	2099.33	1343.57	50.35
8	16	2069.33	1324.37	31.15
9	18	2051.00	1312.64	19.41
10	20	2014.67	1289.39	-3.84
11	22	1985.67	1270.83	-22.40

F.C. = 0.64

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 6. Curva Concentración vs. Tiempo ( $C_{impulso}$ ) – Laguna Anaeróbica con deflectores**

$C_{impulso}$  Laguna Anaeróbica c/deflectores



Fuente: Elaboración propia

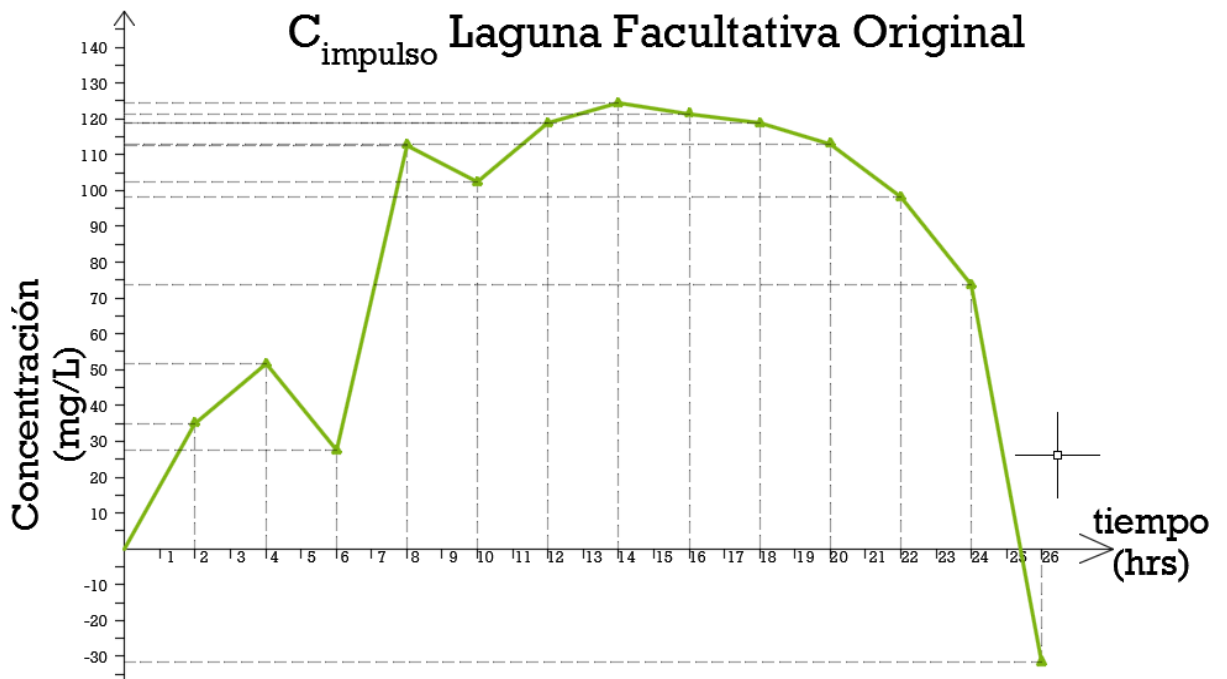
**Tabla 13. Concentración vs. Tiempo – Laguna Facultativa Original**

N° Muestra	t(horas)	COND. PROMEDIO	CONC. PROMEDIO (ppm o mg/L)	C-Co (ppm o mg/L)
INICIAL	0	2414.00	1544.96	0.00
1	2	2468.67	1579.95	34.99
2	4	2494.67	1596.59	51.63
3	6	2457.00	1572.48	27.52
4	8	2590.00	1657.60	112.64
5	10	2574.00	1647.36	102.40
6	12	2599.67	1663.79	118.83
7	14	2608.33	1669.33	124.37
8	16	2603.67	1666.35	121.39
9	18	2599.67	1663.79	118.83
10	20	2590.67	1658.03	113.07
11	22	2567.33	1643.09	98.13
12	24	2529.00	1618.56	73.60
13	26	2364.67	1513.39	-31.57

F.C. = 0.64

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 7. Curva Concentración vs. Tiempo ( $C_{impulso}$ ) – Laguna Facultativa Original**



Fuente: Elaboración propia

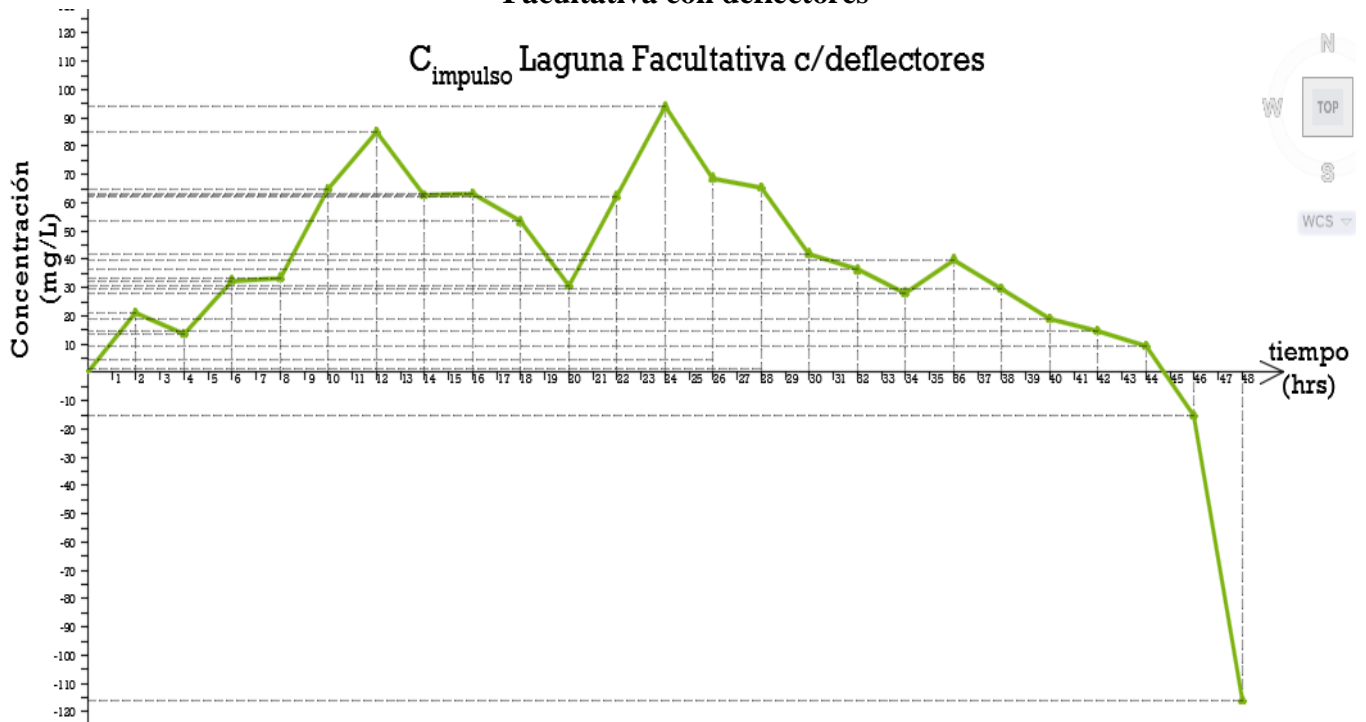
**Tabla 14. Concentración vs. Tiempo – Laguna Facultativa con deflectores**

N° Muestra	t(horas)	COND. PROMEDIO	CONC. PROMEDIO (ppm o mg/L)	C-Co (ppm o mg/L)
INICIAL	0	2370.00	1516.80	0.00
1	2	2402.67	1537.71	20.91
2	4	2391.00	1530.24	13.44
3	6	2420.67	1549.23	32.43
4	8	2422.33	1550.29	33.49
5	10	2471.00	1581.44	64.64
6	12	2502.67	1601.71	84.91
7	14	2467.67	1579.31	62.51
8	16	2468.67	1579.95	63.15
9	18	2453.33	1570.13	53.33
10	20	2417.67	1547.31	30.51
11	22	2467.33	1579.09	62.29
12	24	2516.67	1610.67	93.87
13	26	2477.33	1585.49	68.69
14	28	2472.00	1582.08	65.28
15	30	2435.67	1558.83	42.03
16	32	2426.67	1553.07	36.27
17	34	2414.00	1544.96	28.16
18	36	2432.33	1556.69	39.89
19	38	2416.33	1546.45	29.65
20	40	2399.33	1535.57	18.77
21	42	2393.00	1531.52	14.72
22	44	2384.33	1525.97	9.17
23	46	2346.33	1501.65	-15.15
24	48	2187.67	1400.11	-116.69

**F.C. = 0.64**

**Fuente: Elaboración propia**

**Gráfico 8. Curva Concentración vs. Tiempo ( $C_{impulso}$ ) – Laguna Facultativa con deflectores**



**Fuente: Elaboración propia**

#### 4.4.3. Cálculo del Tiempo de Retención Promedio a partir de datos reales

Este cálculo se obtiene con la utilización de los datos de la tabla Concentración vs. Tiempo, en donde interactúan las concentraciones por cada toma de muestra con su respectivo instante de tiempo. Se obtuvo de esta forma:

- **Laguna Anaeróbica Original**

**Tabla 15. Datos - Tiempo de retención real**

MUESTRA	$\Sigma$ hrs	t	CONCENTRACIÓN PROMEDIO (mg/L)	C-Co	t(C-Co)	$\Sigma$ (C-Co)
INICIAL	10:32 a.m.	0.00	1476.48	0.00	0.00	0.00
1	12:32 p.m.	2.00	1610.03	133.55	267.09	133.55
2	02:32 p.m.	4.00	1632.43	155.95	623.79	289.49
3	04:32 p.m.	6.00	1572.27	95.79	574.72	385.28
4	06:32 p.m.	8.00	1527.89	51.41	411.31	436.69
5	08:32 p.m.	10.00	1498.88	22.40	224.00	459.09
5'	09:51 p.m.	11.33	1476.48	0.00	0.00	459.09

**Fuente: Elaboración propia**

Se deben considerar solo los datos mayores o iguales a la concentración inicial, es decir, los muestreos durante la permanencia del trazador en el reactor.

Sumatoria de concentraciones:

$$\sum (C - C_0) = 459.09$$

Sumatoria del producto de concentraciones y sus respectivos instantes:

$$\sum t \cdot (C - C_0) = 2100.91$$

Tiempo de retención promedio a partir de datos reales:

$$t_{prom} = \frac{\sum t \cdot (C - C_0)}{\sum (C - C_0)} = \frac{2100.91}{459.09} = 4.576 \text{ hrs}$$

▪ **Laguna Anaeróbica con deflectores**

**Tabla 16. Datos - Tiempo de retención real**

MUESTRA	Σhrs		CONCENTRACIÓN PROMEDIO (mg/L)	C-Co	t(C-Co)	Σ(C-Co)
INICIAL	10:53 a.m.	0.00	1293.23	0.00	0.00	0.00
1	12:53 p.m.	2.00	1307.95	14.72	29.44	14.72
2	02:53 p.m.	4.00	1323.31	30.08	120.32	44.80
3	04:53 p.m.	6.00	1327.57	34.35	206.08	79.15
4	06:53 p.m.	8.00	1376.00	82.77	662.19	161.92
5	08:53 p.m.	10.00	1361.49	68.27	682.67	230.19
6	10:53 p.m.	12.00	1360.21	66.99	803.84	297.17
7	12:53 a.m.	14.00	1343.57	50.35	704.85	347.52
8	02:53 a.m.	16.00	1324.37	31.15	498.35	378.67
9	04:53 a.m.	18.00	1312.64	19.41	349.44	398.08
9'	06:43 a.m.	19.67	1293.23	0.00	0.00	398.08
10	06:53 a.m.	20.00	1289.39	-3.84	-76.80	394.24
11	08:53 a.m.	22.00	1270.83	-22.40	-492.80	371.84

Σ(C-Co)= 398.08

Σt(C-Co)= 4057.17

t<sub>prom</sub> = 10.19 hrs

**Fuente: Elaboración propia**

▪ **Laguna Facultativa Original**

**Tabla 17. Datos - Tiempo de retención real**

MUESTRA	$\Sigma$ hrs		CONCENTRACIÓN PROMEDIO (mg/L)	C-Co	t(C-Co)	$\Sigma$ (C-Co)
INICIAL	10:37 a. m.	0.00	1544.96	0.00	0.00	0.00
1	12:37 p. m.	2.00	1579.95	34.99	69.97	34.99
2	2:37 p. m.	4.00	1596.59	51.63	206.51	86.61
3	4:37 p. m.	6.00	1572.48	27.52	165.12	114.13
4	6:37 p. m.	8.00	1657.60	112.64	901.12	226.77
5	8:37 p. m.	10.00	1647.36	102.40	1024.00	329.17
6	10:37 p. m.	12.00	1663.79	118.83	1425.92	448.00
7	12:37 a. m.	14.00	1669.33	124.37	1741.23	572.37
8	2:37 a. m.	16.00	1666.35	121.39	1942.19	693.76
9	4:37 a. m.	18.00	1663.79	118.83	2138.88	812.59
10	6:37 a. m.	20.00	1658.03	113.07	2261.33	925.65
11	8:37 a. m.	22.00	1643.09	98.13	2158.93	1023.79
12	10:37 a. m.	24.00	1618.56	73.60	1766.40	1097.39
12'	12:00 p. m.	25.40	1544.96	0.00	0.00	1097.39
13	12:37 p. m.	26.00	1513.39	-31.57	-820.91	1065.81

$\Sigma(C-Co) = 1097.39$

$\Sigma t(C-Co) = 15801.6$

$t_{prom} = 14.4 \text{ hrs}$

**Fuente: Elaboración propia**

▪ **Laguna Facultativa con deflectores**

**Tabla 18. Datos - Tiempo de retención real**

MUESTRA	$\Sigma$ hrs		CONCENTRACIÓN PROMEDIO (mg/L)	C-Co	t(C-Co)	$\Sigma$ (C-Co)
INICIAL	11:09 a.m.	0.00	1516.80	0.00	0.00	0.00
1	01:09 p.m.	2.00	1537.71	20.91	41.81	20.91
2	03:09 p.m.	4.00	1530.24	13.44	53.76	34.35
3	05:09 p.m.	6.00	1549.23	32.43	194.56	66.77
4	07:09 p.m.	8.00	1550.29	33.49	267.95	100.27
5	09:09 p.m.	10.00	1581.44	64.64	646.40	164.91
6	11:09 p.m.	12.00	1601.71	84.91	1018.88	249.81
7	01:09 a.m.	14.00	1579.31	62.51	875.09	312.32
8	03:09 a.m.	16.00	1579.95	63.15	1010.35	375.47
9	05:09 a.m.	18.00	1570.13	53.33	960.00	428.80
10	07:09 a.m.	20.00	1547.31	30.51	610.13	459.31
11	09:09 a.m.	22.00	1579.09	62.29	1370.45	521.60
12	11:09 a.m.	24.00	1610.67	93.87	2252.80	615.47
13	01:09 p.m.	26.00	1585.49	68.69	1786.03	684.16
14	03:09 p.m.	28.00	1582.08	65.28	1827.84	749.44
15	05:09 p.m.	30.00	1558.83	42.03	1260.80	791.47
16	07:09 p.m.	32.00	1553.07	36.27	1160.53	827.73
17	09:09 p.m.	34.00	1544.96	28.16	957.44	855.89
18	11:09 p.m.	36.00	1556.69	39.89	1436.16	895.79
19	01:09 a.m.	38.00	1546.45	29.65	1126.83	925.44
20	03:09 a.m.	40.00	1535.57	18.77	750.93	944.21
21	05:09 a.m.	42.00	1531.52	14.72	618.24	958.93
22	07:09 a.m.	44.00	1525.97	9.17	403.63	968.11
22'	07:54 a.m.	44.75	1516.80	0.00	0.00	968.11
23	09:09 a.m.	46.00	1501.65	-15.15	-696.75	952.96
24	11:09 a.m.	48.00	1400.11	-116.69	-5601.28	836.27

$\Sigma(C-Co) = 968.11$

$\Sigma t(C-Co) = 20630.6$

$t_{prom} = 21.31 \text{ hrs}$

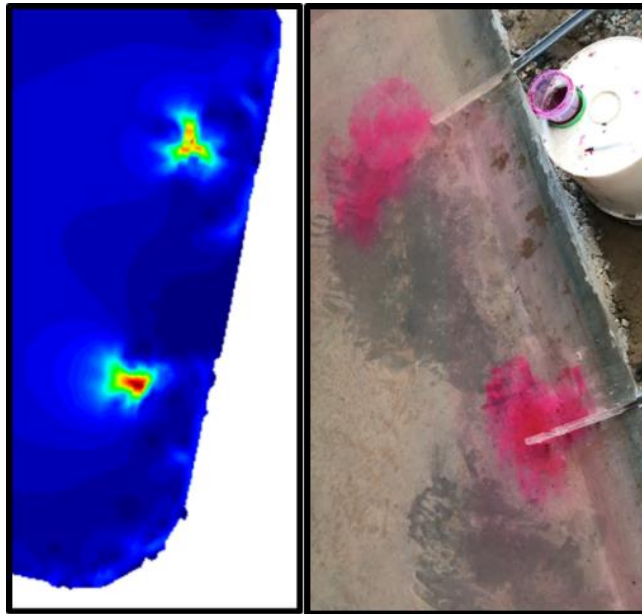
**Fuente: Elaboración propia**

## 4.5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE ENSAYOS DE TRAZADORES CON MODELACIÓN CFD

### 4.5.1. LAGUNA ANAERÓBICA ORIGINAL

Las entradas tipo dispersores (prototipo) de las lagunas anaeróbicas sí tienen una semejanza al inicio del postproceso, la cual se puede apreciar a continuación:

**Ilustración 53. Similitud en patrón de flujo de entrada - laguna anaeróbica**

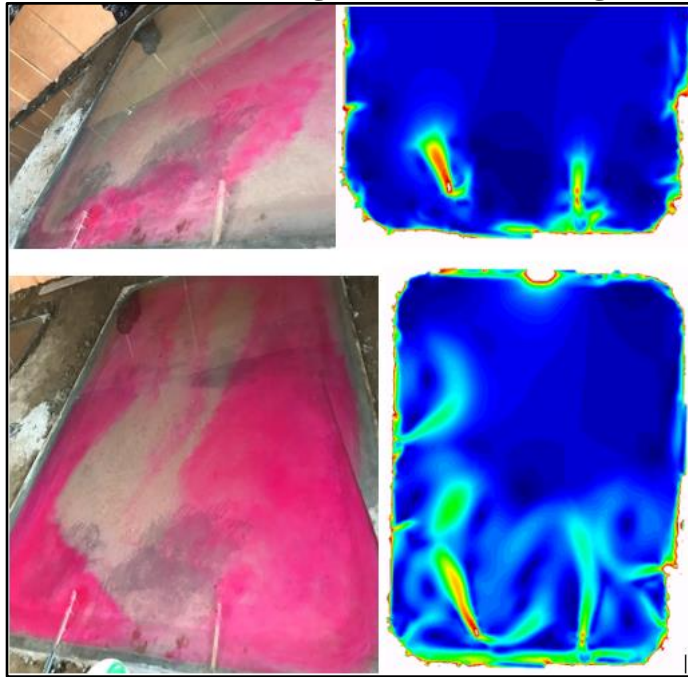


**Fuente: Elaboración propia**

De aquí se puede resaltar la importancia de la acertada elección del tipo de entrada durante la modelación CFD, es decir, de la entrada tipo “Fuente”. De otra forma no se hubiese podido obtener tal resultado.

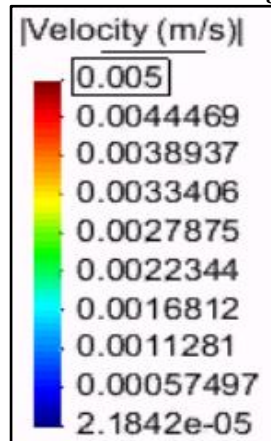
También se aprecia la tendencia al flujo preferencial durante el recorrido del trazador, debido a que, las líneas de corriente de las entradas se inclinan a la longitud más corta para llegar a la salida, de la siguiente manera:

**Ilustración 54. Comparativo de Ensayo de Trazadores con Modelación CFD – Laguna Anaeróbica original**



**Fuente: Elaboración propia**

**Ilustración 55. Rango de velocidades – Laguna Anaeróbica original**



**Fuente: Iber 2.4.3**

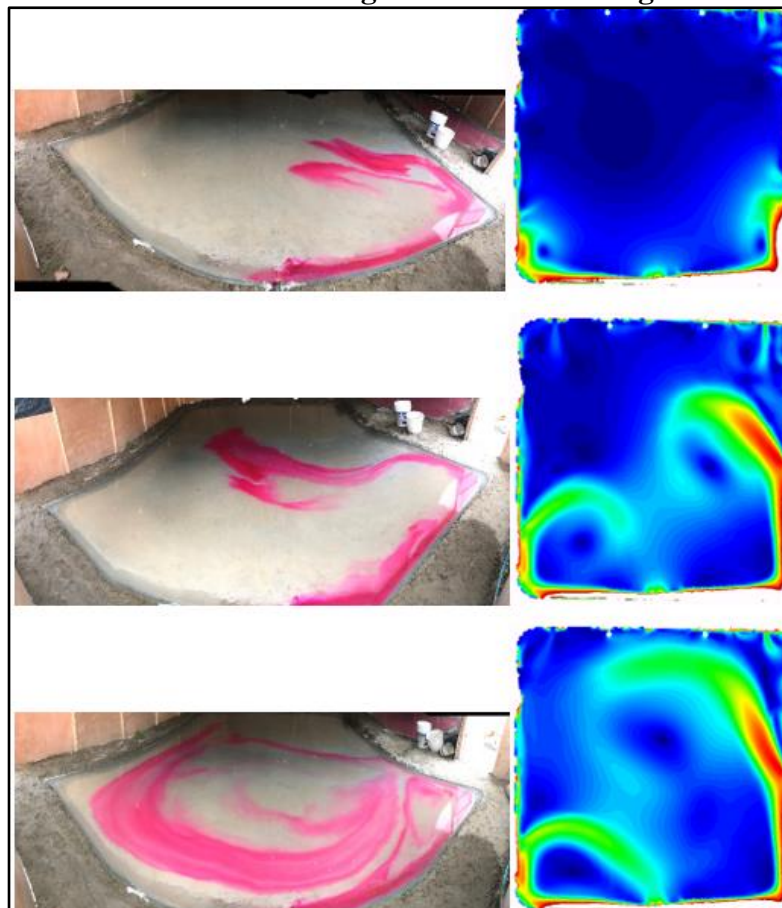
Estas imágenes también reflejan la considerable cantidad de zonas muertas de la laguna anaeróbica en su configuración original, por lo que manifiesta una necesidad de optimizar la hidráulica del sistema.

#### 4.5.2. LAGUNA FACULTATIVA ORIGINAL

Al inicio del ensayo y de la simulación, las líneas de corriente no coinciden, pues en el ensayo de trazadores solo hay una inclinación del colorante hacia un lado, mientras que en la simulación, el deflector frontal a la entrada sí se ve que cumple su función. Esto indica alguna alteración en el ensayo de trazadores posiblemente por el viento, pues el agua se mueve pese a la mínima brisa o viento. Sin el cerco ni el techado, todos los ensayos hubiesen sido un fracaso.

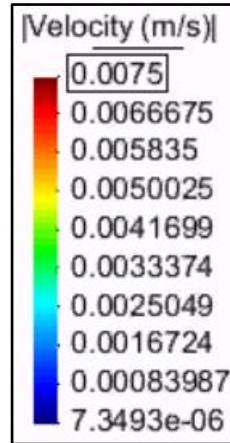
Sin embargo, la tendencia es la misma. Existe flujo preferencial en ambas representaciones, dejando una zona muerta extensa en el medio, tal como se ha descrito previamente en los resultados.

**Ilustración 56. Comparativo de Ensayo de Trazadores con Modelación CFD – Laguna Facultativa original**



Fuente: Iber 2.4.3

### Ilustración 57. Rango de velocidades – Laguna Facultativa original



Fuente: Iber 2.4.3

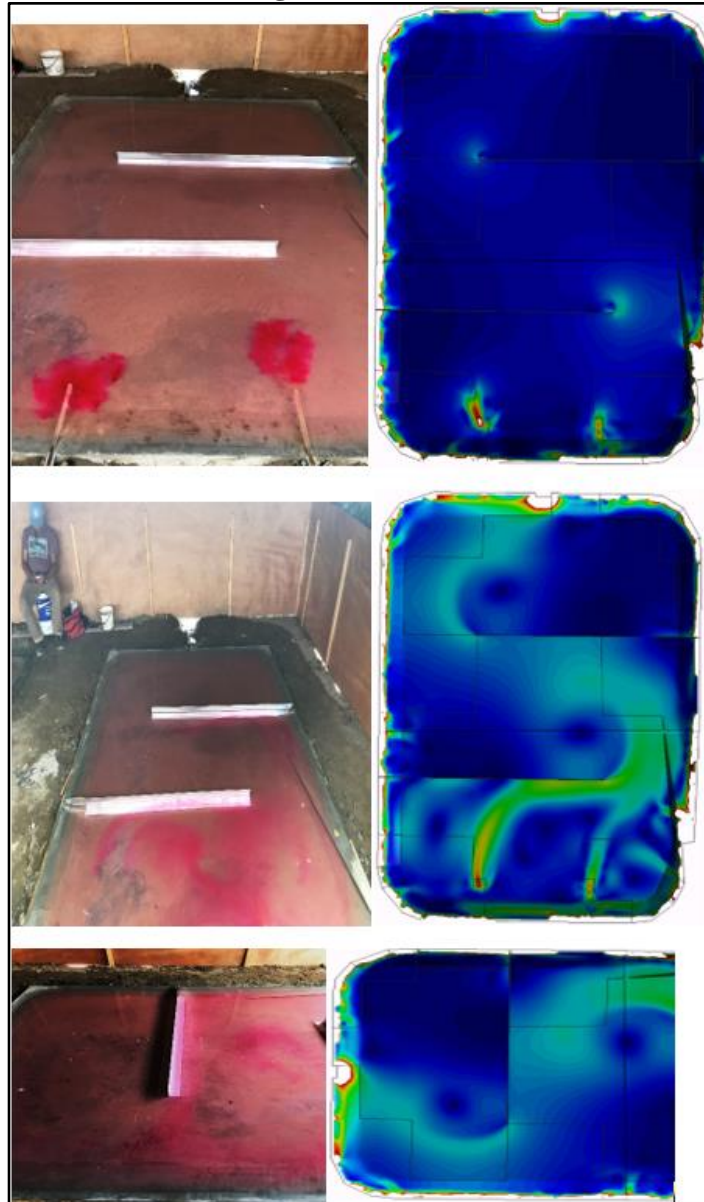
#### 4.5.3. LAGUNA ANAERÓBICA – MEJORAMIENTO N° 1 CON DEFLECTORES

La implementación de deflectores en la laguna anaeróbica al 70% de su ancho ha causado una mejor distribución del flujo, el cual se torna zigzagueante.

En primera instancia, el flujo se dispersa alrededor de las entradas para luego alcanzar el primer deflector transversal, luego pasa al segundo deflector, dejando una zona muerta en la división intermedia, fácilmente apreciable tanto en el ensayo de trazadores como en el modelo CFD.

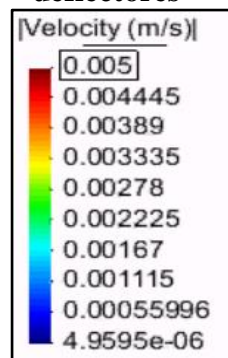
Por último, en la salida también hay flujo preferencial en vista que el vertedero de salida se encuentra geométricamente a la mitad del ancho de la laguna, dejando una zona muerta en la división de la salida.

**Ilustración 58. Comparativo de Ensayo de Trazadores con Modelación CFD – Laguna Anaeróbica con deflectores**



**Fuente: Elaboración propia**

**Ilustración 59. Rango de velocidades – Laguna Anaeróbica con deflectores**



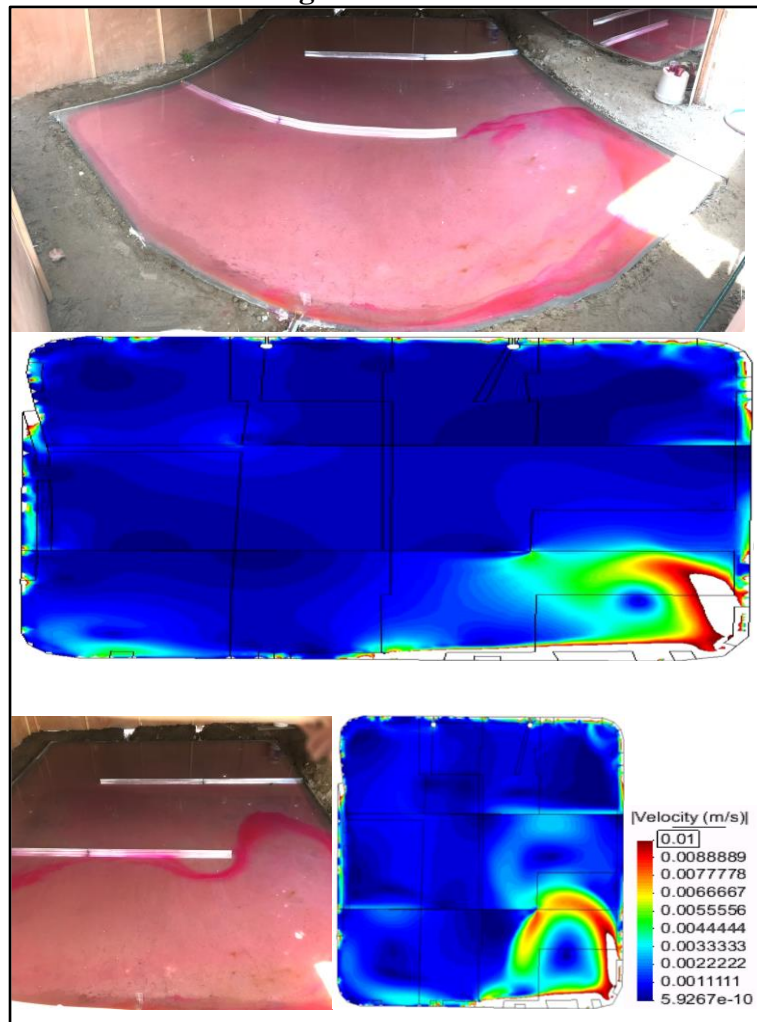
**Fuente: Iber 2.4.3**

#### 4.5.4.LAGUNA FACULTATIVA – MEJORAMIENTO N° 2 CON DEFLECTORES

La laguna facultativa con deflectores, tanto en el Ensayo de Trazadores como en el modelo CFD, se caracteriza por el desarrollo de sus líneas de corriente hacia los lados debido a su deflector central delante de la entrada. Los deflectores transversales evitan que ocurra flujo preferencial, como sucedía en el anterior caso sin deflectores. Sin embargo, se establece un comportamiento peculiar cuando un grupo de sus líneas de corriente se bifurca con el primer deflector transversal, generando el regreso hacia la entrada.

Se debe evaluar, por tanto, si al implementar los deflectores transversales se debería quitar el deflector de la entrada existente, para una mejor distribución de las líneas de corriente.

**Ilustración 60. Comparativo de Ensayo de trazadores con Modelación CFD – Laguna Facultativa con Deflectores**



**Fuente: Elaboración propia**

#### 4.6. ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL TRATADA MEDIANTE IMPLEMENTACIÓN DE DEFLECTORES EN LAS LAGUNAS DE SAN JOSÉ

De acuerdo a los Análisis Físico – Químicos y Microbiológicos del desagüe crudo brindados por EPSEL S.A. de las Lagunas de San José, los parámetros de calidad del agua más críticos son los siguientes:

- $DBO_5 = 440 \text{ mg/L}$
- CF (Coliformes Fecales) =  $6.4 \times 10^7 \text{ NMP/100 ml}$
- S.S.T.=  $6 \text{ ml/L/h}$

Teniendo en cuenta que las pantallas deflectoras optimizan la eficiencia de tratamiento en las lagunas de estabilización, en función a los altos porcentajes de mejoramiento en los ensayos de trazadores (222.48% en lagunas anaeróbicas y 67.57% en lagunas facultativas), se asumirá que las lagunas ahora optimizadas trabajan con la mayor eficiencia posible.

Romero [7] establece ciertos criterios de diseño para cada tipo de lagunas de estabilización, los cuales se tendrán en cuenta para evaluar la calidad final de las aguas residuales tratadas en las Lagunas de San José.

**Tabla 19. Datos – Criterios de diseño para lagunas de estabilización**

Parámetro	Anaerobia	Facultativa	Maduración
Nº de unidades	$\geq 2$	–	–
Carga orgánica superficial kg DBO/ha.d	$> 1000$	Modelos de McGarry y Pescod, Yáñez, Cubillos	–
Carga orgánica volumétrica g DBO/m <sup>3</sup> d	$> 200$ (T<20°C) $> 300$ (T>20°C)	–	–
Remoción de DBO	30-40%(T=10-15°C) 40-50%(T=15-20°C) 50-60%(T= 20-25°C) 60-70%(T= 25-30°C)	–	CSR = 0.941CSA-7.16
Tiempo de retención, d	4 - 5 (T<15°C) 2 - 3 (T=15-20°C) 1 - 2 (T>20°C)	5 - 30	>10
Profundidad, m	2.5 - 5	1 - 2.5	0.9 - 1.5
Lc.dos	0.04 m <sup>3</sup> /c.año	> 0.3 m	–
Período de desenlode, años	> 5	>10	–
Temperatura de diseño	Promedio del mes más frío	Promedio del mes más frío	Promedio del mes más frío
Remoción de CF $K_d$ , d <sup>-1</sup>	Modelo de mezcla completa 0.60 para 400 kgDBO/ha.d 0.55 para 600 kgDBO/ha.d 0.50 para 800 kgDBO/ha.d 0.46 para 1000 kgDBO/ha.d 0.41 para 1200 kgDBO/ha.d 0.37 para 1400 kgDBO/ha.d	Modelo de flujo disperso 0.8 a 1.6 d <sup>-1</sup> para 20°C	Modelo de flujo disperso 0.8 a 1.6 d <sup>-1</sup> para 20°C
Remoción de SS	–	80%	–
Remoción bental de SSV	–	50%	–
Densidad relativa de lodos	–	1.05 en primarias 1.03 en secundarias	–
% SS del lodo	–	10% en primarias 2% en secundarias	–
Localización, m	>1000	> 500	–

Fuente: Romero, 2009

#### 4.6.1. LAGUNAS ANAERÓBICAS

- Remoción de DBO<sub>5</sub>: De acuerdo a Romero [7], el 60% de remoción:  
Entonces, el nuevo valor de DBO en el efluente de las lagunas anaeróbicas será de 176 mg/L.
- Remoción de Coliformes Fecales: de acuerdo a la data de EPSEL S.A., el menor valor es 1.1x10<sup>6</sup> NMP/100 ml.
- Remoción de Sólidos en Suspensión Totales (S.S.T.);  
De acuerdo a lo mostrado por EPSEL S.A., la remoción alcanzada en las lagunas anaeróbicas es la gran mayoría del total de los Sólidos en Suspensión, es decir S.S.T. en este proceso es de 0.20 ml/L/h.

#### 4.6.2. LAGUNAS FACULTATIVAS

- Remoción de DBO<sub>5</sub>: de acuerdo con la fórmula:

$$L = \frac{L_0 \times 4 \times a \times e^{((1-a)/2d)}}{(1+a)^2} + L_0 \times Fia [30]$$

El valor de DBO en el efluente de las lagunas facultativas es de 95.79 mg/L.

- Remoción de Coliformes Fecales: de acuerdo con la fórmula:

$$N = \frac{N_0 \times 4 \times a \times e^{((1-a)/2d)}}{(1+a)^2} [30]$$

Entonces, el nuevo valor de CF en el efluente de las lagunas facultativas será de 4.87x10<sup>4</sup> NMP/100 ml.

- Remoción de Sólidos en Suspensión Totales (S.S.T.);  
En las lagunas facultativas se refuerza la remoción de este parámetro, quedando 0.00 ml/L/h.

## 4.7. ANÁLISIS ECONÓMICO – IMPLEMENTACIÓN DE PANTALLAS DEFLECTORAS EN SISTEMA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE CHICLAYO

### 4.7.1. PRESUPUESTO – PANTALLAS DEFLECTORAS DE CONCRETO ARMADO

#### ▪ Costo Directo

<b>Presupuesto</b>					
Presupuesto	1103001	MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE CHICLAYO MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE PANTALLAS DEFLECTORAS DE FLUJO			
Cliente	Valdez Castañeda, Arturo Valentín			Costo al	05/01/2020
Lugar	LAMBAYEQUE - LAMBAYEQUE - SAN JOSE				
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	<b>PANTALLAS DEFLECTORAS - ESTRUCTURAS</b>				<b>586,554.81</b>
01.01	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>36,084.52</b>
01.01.01	EXCAVACIÓN DE ZANJA - PANTALLAS H=3.90 m - TSR (CON MAQUINARIA)	m3	149.59	82.48	12,338.18
01.01.02	EXCAVACIÓN DE ZANJA - TALUDES H=3.90 m - TSR (CON MAQUINARIA)	m3	9.84	219.53	2,160.18
01.01.03	EXCAVACIÓN DE ZANJA - PANTALLAS H=2.10 m - TSR (CON MAQUINARIA)	m3	129.76	82.48	10,702.60
01.01.04	EXCAVACIÓN DE ZANJA - TALUDES H=2.10 m - TSR (CON MAQUINARIA)	m3	1.52	219.53	333.69
01.01.05	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE CON VOLQUETES POR SUPERCONTRATA	m3	290.71	36.29	10,549.87
01.02	<b>PANTALLAS DEFLECTORAS h=2.10 m</b>				<b>281,095.33</b>
01.02.01	<b>CONCRETO SIMPLE</b>				<b>1,414.43</b>
01.02.01.01	CONCRETO fc=100 kg/cm2 PARA SOLADOS	m3	59.58	23.74	1,414.43
01.02.02	<b>CONCRETO ARMADO</b>				<b>279,680.90</b>
01.02.02.01	ACERO CORRUGADO Fy=4200 kg/cm2 Grado 60	kg	15,138.45	4.36	66,003.64
01.02.02.02	ENCOFRADO - CARA PRINCIPAL h=2.10 m	m2	1,345.68	59.88	80,579.32
01.02.02.03	ENCOFRADO - EXTREMO e=0.20 m para h=2.10 m	m2	0.84	59.88	50.30
01.02.02.04	ENCOFRADO - RESTO DIQUE h=2.10 m	m2	17.64	59.88	1,056.28
01.02.02.05	CONCRETO PREMEZCLADO fc=350 kg/cm2 CIMENTACIÓN PANTALLAS	m3	73.98	387.47	28,665.03
01.02.02.06	CONCRETO PREMEZCLADO fc=350 kg/cm2 PANTALLAS h=2.10 m	m3	136.33	387.47	52,823.79
01.02.02.07	TARRAJEO CON IMPERMEABILIZANTE DE MUROS - PANTALLA DEFLECTORA h=2.10 m	m2	681.66	49.28	33,592.20
01.02.02.08	JUNTAS WATERSTOP 6" PANTALLAS h=2.10 m	m	959.18	17.63	16,910.34
01.03	<b>PANTALLAS DEFLECTORAS h=3.90 m</b>				<b>269,374.96</b>
01.03.01	<b>CONCRETO SIMPLE</b>				<b>1,445.29</b>
01.03.01.01	CONCRETO fc=100 kg/cm2 PARA SOLADOS	m3	60.88	23.74	1,445.29
01.03.02	<b>CONCRETO ARMADO</b>				<b>267,929.67</b>
01.03.02.01	ACERO CORRUGADO Fy=4200 kg/cm2 Grado 60	kg	15,162.12	4.36	66,106.84
01.03.02.02	ENCOFRADO - CARA PRINCIPAL h=3.90 m	m2	1,157.52	59.88	69,312.30
01.03.02.03	ENCOFRADO - EXTREMO e=0.20 m para h=3.90 m	m2	1.56	59.88	93.41
01.03.02.04	ENCOFRADO - RESTO DIQUE h=3.90 m	m2	60.84	59.88	3,643.10
01.03.02.05	CONCRETO PREMEZCLADO fc=350 kg/cm2 CIMENTACIÓN PANTALLAS	m3	106.27	387.47	41,176.44
01.03.02.06	CONCRETO PREMEZCLADO fc=350 kg/cm2 PANTALLAS h=3.90 m	m3	121.84	387.47	47,209.34
01.03.02.07	TARRAJEO CON IMPERMEABILIZANTE DE MUROS - PANTALLA DEFLECTORA h=3.90 m	m2	609.18	49.28	30,020.39
01.03.02.08	JUNTAS WATERSTOP 6" PANTALLAS h=3.90 m	m	588.08	17.63	10,367.85
02	<b>OBRAS PROVISIONALES, TRABAJOS PRELIMINARES, SEGURIDAD Y SALUD</b>				<b>24,561.55</b>
02.01	<b>CONSTRUCCIONES PROVISIONALES</b>				<b>24,561.55</b>
02.01.01	ALMACEN PROVISIONAL	m2	100.00	189.46	18,946.00
02.01.02	CASETA DE GUARDIANÍA PROVISIONAL	m2	5.40	119.02	642.71
02.01.03	COMEDOR PERSONAL OBRERO (capacidad 50 personas)	m2	46.08	84.48	3,892.84
02.01.04	SERVICIO DE BAÑO PORTÁTIL (INODORO Y LAVADERO TIPO DISALO)	glb	1.00	1,080.00	1,080.00
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>611,116.36</b>

El Costo Directo del proyecto es de S/.611.116.36 por etapa. Al ser cuatro etapas, el costo directo asciende a S/2,444,465.44.

▪ **Gastos Generales**

**Gastos generales**

Presupuesto **1103001** MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE CHICLAYO MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE PANTALLAS DEFLECTORAS DE FLUJO

Fecha **05/01/2020**

Moneda **01 NUEVOS SOLES**

**GASTOS VARIABLES**

**42,748.16**

**PERSONAL PROFESIONAL Y AUXILIAR**

Código	Descripción	Unidad	Personas	%Particip.	Tiempo	Sueldo/Jornal	Parcial
01006	Administrador de Obra	mes	1.00	100.00	1.00	2,500.00	2,500.00
01009	Planillero	mes	1.00	100.00	1.00	1,500.00	1,500.00
01010	Tareador	mes	1.00	100.00	1.00	1,500.00	1,500.00
01012	Residente General	mes	1.00	100.00	1.00	3,500.00	3,500.00
01013	Supervisor General	mes	1.00	100.00	1.00	4,000.00	4,000.00
01014	Asistente de Residente	mes	1.00	100.00	1.00	2,000.00	2,000.00
01015	Asistente de Supervisión	mes	1.00	100.00	1.00	2,000.00	2,000.00
01016	Especialista Ambiental	mes	1.00	100.00	1.00	2,500.00	2,500.00
<b>Subtotal</b>							<b>19,500.00</b>

**PERSONAL TECNICO**

Código	Descripción	Unidad	Personas	%Particip.	Tiempo	Sueldo/Jornal	Parcial
02001	Maestro General	mes	1.00	100.00	1.00	1,800.00	1,800.00
02003	Almacenero	mes	1.00	100.00	1.00	1,500.00	1,500.00
02006	Guardián	mes	2.00	100.00	1.00	1,500.00	3,000.00
02007	Topógrafo	mes	1.00	100.00	1.00	2,000.00	2,000.00
02009	Chofer	mes	1.00	100.00	1.00	1,500.00	1,500.00
<b>Subtotal</b>							<b>9,800.00</b>

**ALQUILER DE EQUIPO MENOR**

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tiempo	Costo	Parcial
03007	Camioneta Cabina doble 2 ton	und	1.00	1.00	4,800.00	4,800.00
<b>Subtotal</b>						<b>4,800.00</b>

**HOSPEDAJE Y SERVICIOS**

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tiempo	Costo	Parcial
04001	Alimentación diaria	mes	1.00	1.00	5,000.00	5,000.00
04002	Consumo de agua potable	mes	1.00	1.00	150.00	150.00
04003	Consumo de energía eléctrica	mes	1.00	1.00	1,500.00	1,500.00
04004	Teléfono	mes	1.00	1.00	150.00	150.00
<b>Subtotal</b>						<b>6,800.00</b>

**GASTOS FINANCIEROS Y SEGUROS**

Código	Descripción	Unidad	Parcial
0004	Seguro contra todo riesgo	und	1,848.16
<b>Subtotal</b>			<b>1,848.16</b>

**Total gastos 42,748.16**

El monto en Gastos Generales asciende a S/.42,748.16, lo que en cuatro etapas se eleva a S/.170,992.64.

## ▪ Fórmula Polinómica

### Fórmula Polinómica

Presupuesto	1103001	MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE CHICLAYO MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE PANTALLAS DEFLECTORAS DE FLUJO
Fecha Presupuesto	05/01/2020	
Moneda	NUEVOS SOLES	
Ubicación Geográfica	140311	LAMBAYEQUE - LAMBAYEQUE - SAN JOSE

$$K = 0.309*(MO_r / MO_o) + 0.242*(Cr / Co) + 0.143*(Ar / Ao) + 0.079*(Mr / Mo) + 0.082*(Dr / Do) + 0.145*(Ir / Io)$$

Monomi	Factor	(%)	Símbolo	Indice	Descripción
1	0.309	100.000	MO	47	MANO DE OBRA INC. LEYES SOCIALES
2	0.242	100.000	C	80	CONCRETO PREMEZCLADO
3	0.143	100.000	A	03	ACERO DE CONSTRUCCION CORRUGADO
4	0.079	100.000	M	43	MADERA NACIONAL PARA ENCOF. Y CARPINT.
5	0.082	100.000	D	31	DOLAR MAS INFLACION USA Y DUCTO DE CONCR
6	0.145	100.000	I	39	INDICE GENERAL DE PRECIOS AL CONSUMIDOR

## ▪ Presupuesto total

Considerando una Utilidad de 10% y teniendo en cuenta el Impuesto General a las Ventas (IGV = 18%), el presupuesto por etapa asciende a S/.843,671.92, lo cual durante todo el proyecto se eleva al monto de S/.3,374,687.68.

## 4.7.2. EVALUACIÓN ECONÓMICA

### ▪ A PRECIOS PRIVADOS

Considerando las declaraciones de un usuario del agua residual tratada para regadío en el sector de San José, son aproximadamente 1800 hectáreas de regadío las cuales son cultivadas con forraje. Sin embargo, la mejora de la calidad del agua residual tratada permite cultivos tales como la sandía o el melón [29].

Luego de la aplicación del proyecto, el cultivo de la sandía aumenta la utilidad de los terrenos en el área de estudio, de tal manera que el Valor Actual Neto asciende a S/. 2,427,357.28 y la Tasa Interna de Retorno es el 12.45%, mayor al 8% como límite de una rentabilidad positiva, tal como se muestra en la siguiente tabla:

### ▪ A PRECIOS SOCIALES

Por tratarse de un Proyecto de Tratamiento de Aguas Residuales, se aplica un factor de corrección a precios sociales de 0.785. Aplicando la misma metodología para la evaluación de la rentabilidad, el Valor Actual Neto Social asciende al monto de S/. 3,089,436.81 y la Tasa Interna de Retorno Social resulta 18.30%, lo que garantiza definitivamente la rentabilidad del proyecto.

**Tabla 20. Evaluación Económica del Proyecto a Precios Privados**

<b>ANÁLISIS DE RENTABILIDAD</b>													
<b>SECTOR</b>	AGRICULTURA					UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO							
<b>TESIS</b>	EVALUACIÓN, MEJORAMIENTO Y OPTIMIZACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE SAN JOSÉ APLICANDO MODELOS CFD - LAMBAYEQUE, 2017												
<b>FLUJO DE CAJA A PRECIOS PRIVADOS DEL PROYECTO</b>													
<b>VALOR BASE (CONDICIONES NORMALES)</b>	S/. 6,810,277.50												
<b>RUBRO</b>	<b>PERIODO (AÑOS)</b>												
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>IND. ECON.</b>	
<b>1. BENEFICIO ADICIONAL (por cultivo)</b>	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	
Alfalfa criolla	S/. 6,810,277.50	S/. 6,810,277.50	S/. 6,810,277.50	S/. 6,810,277.50	S/. 7,146,587.50	S/. 7,146,587.50	S/. 7,146,587.50	S/. 7,146,587.50	S/. 7,146,587.50	S/. 7,146,587.50	S/. 7,146,587.50	S/. 7,146,587.50	
Sandía (riego por surco)	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. 1,080,000.00	S/. 1,080,000.00	S/. 1,080,000.00	S/. 1,080,000.00	S/. 1,080,000.00	S/. 1,080,000.00	S/. 1,080,000.00	S/. 1,080,000.00	
<b>2. COSTO</b>	S/. -906,171.92	S/. -856,171.92	S/. -856,171.92	S/. -856,171.92	S/. -84,367.19	S/. -84,367.19	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	
Pre-Ejecución	S/. 50,000.00												
Ejecución	S/. 843,671.92	S/. 843,671.92	S/. 843,671.92	S/. 843,671.92									
Capacitación	S/. 12,500.00	S/. 12,500.00	S/. 12,500.00	S/. 12,500.00									
Post-Ejecución (5% del monto contractual)					S/. 84,367.19	S/. 84,367.19							
<b>3. FLUJO NETO (1-2)</b>	S/. -906,171.92	S/. -856,171.92	S/. -856,171.92	S/. -856,171.92	S/. 1,331,942.81	S/. 1,331,942.81	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	
<b>4. FACTOR DE ACTUALIZACIÓN (1/(F.C+T.S.D.))</b>	0.925926	0.857339	0.793832	0.735030	0.680583	0.630170	0.583490	0.540269	0.500249	0.463193	0.428883		
<b>5. VALOR ACTUAL DEL FLUJO NETO (VAN)</b>	S/. -839,048.07	S/. -734,029.42	S/. -679,656.87	S/. -629,311.92	S/. 906,497.89	S/. 839,349.90	S/. 826,403.28	S/. 765,188.22	S/. 708,507.61	S/. 656,025.57	S/. 607,431.08	S/. 2,427,357.28	
<b>6. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)</b>													12.45%

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 21. Evaluación Económica del Proyecto a Precios Sociales**

<b>ANÁLISIS DE RENTABILIDAD</b>													
<b>SECTOR</b>	AGRICULTURA					UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO							
<b>TESIS</b>	EVALUACIÓN, MEJORAMIENTO Y OPTIMIZACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE SAN JOSÉ APLICANDO MODELOS CFD - LAMBAYEQUE, 2017												
<b>FLUJO DE CAJA A PRECIOS SOCIALES DEL PROYECTO</b>													
<b>VALOR BASE (CONDICIONES NORMALES)</b>	S/. 6,810,277.50												
<b>RUBRO</b>	<b>PERIODO (AÑOS)</b>												
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>IND. ECON.</b>	
<b>1. BENEFICIO ADICIONAL (por cultivo)</b>	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	
Alfalfa criolla	S/. 6,810,277.50	S/. 6,810,277.50	S/. 6,810,277.50	S/. 6,810,277.50	S/. 7,146,587.50	S/. 7,146,587.50	S/. 7,146,587.50	S/. 7,146,587.50	S/. 7,146,587.50	S/. 7,146,587.50	S/. 7,146,587.50	S/. 7,146,587.50	
Sandía (riego por surco)	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. 1,080,000.00	S/. 1,080,000.00	S/. 1,080,000.00	S/. 1,080,000.00	S/. 1,080,000.00	S/. 1,080,000.00	S/. 1,080,000.00	S/. 1,080,000.00	
<b>2. COSTO</b>	S/. -711,344.96	S/. -672,094.96	S/. -672,094.96	S/. -672,094.96	S/. -51,989.17	S/. -51,989.17	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	
Pre-Ejecución	S/. 39,250.00												
Ejecución	S/. 662,282.46	S/. 662,282.46	S/. 662,282.46	S/. 662,282.46									
Capacitación	S/. 9,812.50	S/. 9,812.50	S/. 9,812.50	S/. 9,812.50									
Post-Ejecución (5% del monto contractual)					S/. 51,989.17	S/. 51,989.17							
<b>3. FLUJO NETO (1-2)</b>	S/. -711,344.96	S/. -672,094.96	S/. -672,094.96	S/. -672,094.96	S/. 1,364,320.83	S/. 1,364,320.83	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	S/. 1,416,310.00	
<b>4. FACTOR DE ACTUALIZACIÓN (1/(F.C+T.S.D.))</b>	0.925926	0.857339	0.793832	0.735030	0.680583	0.630170	0.583490	0.540269	0.500249	0.463193	0.428883		
<b>5. VALOR ACTUAL DEL FLUJO NETO (VAN)</b>	S/. -658,652.74	S/. -576,213.10	S/. -533,530.65	S/. -494,009.86	S/. 928,533.83	S/. 859,753.55	S/. 826,403.28	S/. 765,188.22	S/. 708,507.61	S/. 656,025.57	S/. 607,431.08	S/. 3,089,436.81	
<b>6. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)</b>													18.30%

Fuente: Elaboración propia

## **V. DISCUSIÓN**

### **5.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO**

De acuerdo con el levantamiento topográfico, los desniveles en promedio son de 5 ‰, lo cual representa una pendiente bastante pequeña y, por lo tanto, no se ha tomado en consideración en el modelo a escala piloto. Esto puede relacionarse con el criterio de Cedillo y Matailo [9], quienes no consideraron el desnivel de las lagunas en estudio para su modelamiento CFD.

Por otro lado, la topografía en este informe se ha utilizado principalmente para la obtención de la geometría de las lagunas, no como en otros trabajos en donde se utiliza para el cálculo de volúmenes de excavación, etc. Si bien, se han calculado volúmenes, pero estos han sido utilizados para determinar la capacidad de las lagunas, información útil para la obtención del tiempo de retención teórico y, en efecto, poder realizar los ensayos de trazadores.

### **5.2. AFORO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**

Los caudales obtenidos mediante el aforo de los canales de entrada en las lagunas tanto anaeróbicas como facultativas han sido utilizados para poder determinar las condiciones de contorno de las lagunas de estabilización en los modelos CFD. El contraste con otras investigaciones como lo son Ruiz [16], Cedillo [9], consiste en el modo en cómo se ha obtenido el caudal. Tales autores han obtenido datos de la Empresa Prestadora de Servicio, mientras que los datos obtenidos en este informe proceden de la medición directa. Esto refleja la falta de apoyo por parte de las Empresas Prestadoras de Servicios a nivel local, pues no se comprometen a brindar información útil para llevar a cabo una investigación.

### **5.3. MODELACIÓN CFD DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**

Es importante destacar los trabajos realizados sobre modelamiento CFD de lagunas de estabilización. Mientras que en este informe se han utilizado modelos bidimensionales, otros autores como Alvarado [11], Cedillo y Matailo [9], utilizan y recomiendan modelos tridimensionales al tener mayor capacidad de predicción de lo ocurrido en las lagunas. Sin embargo, autores como Olukanni y

Ducoste [23] señalan que es mucho más práctico la utilización de modelos bidimensionales al considerarlos capaces de brindar resultados aceptables, rápidos y de forma económica (con una computadora personal), sin recurrir a una evidente demanda computacional exigida por los modelos tridimensionales.

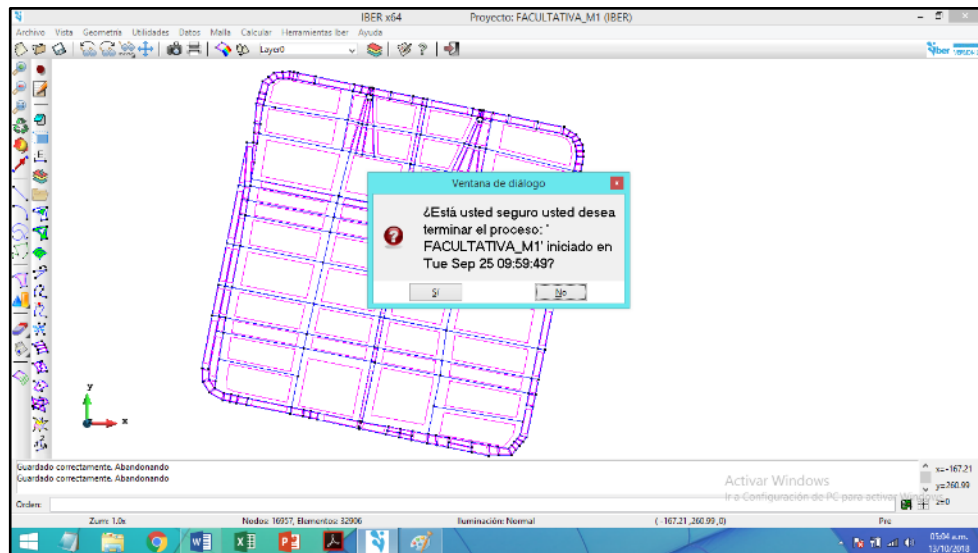
También es importante mencionar todos los paquetes CFD aplicables a lagunas de estabilización. En este informe se ha estudiado la hidrodinámica, sin embargo, hay estudios que consideran toda una gama de factores como el viento, calidad de agua, temperatura, etc. Pese a que no se han tocado estos paquetes en el presente informe, se debe aclarar que basta con considerar uno de esos paquetes para recurrir a una alta demanda computacional. Esta es la razón por la cual no se ha considerado el viento, calidad de agua ni temperatura en este estudio.

En materia de postproceso CFD, es importante en gran medida el aprovechamiento óptimo de las herramientas de postproceso, caso contrario, los modelos CFD quedan como una “caja negra de resultados” donde simplemente se obtienen datos numéricos sin ningún significado.

Los resultados en el análisis comparativo entre los Ensayos de Trazadores y los Modelos CFD indican que el modelo IBER resulta un gran predictor del patrón de flujo en lagunas de estabilización. Sin embargo, varios autores, entre ellos Shilton [28], Cedillo y Matailo [9], Coggins [6], etc., establecen que los ensayos de trazadores no predicen el comportamiento total de una laguna de estabilización, sino solo de un periodo de tiempo determinado. Por eso, hay algunas compatibilidades y también incompatibilidades respecto a tal comparativo.

En cuanto al tiempo de simulación CFD, las estadísticas fueron realmente acertadas. El tiempo de simulación para lagunas de estabilización es muy prolongado, depende mucho del poder computacional. El mayor tiempo de simulación ha sido alrededor de 18 días, solo para obtener los resultados de 2 días de tiempo real.

### Ilustración 61. Tiempo de simulación – Laguna Facultativa con deflectores



Fuente: Iber 2.4.3

Autores como Aponte [24], Cedillo y Matailo [9], indican su tiempo de simulación comparado con su tiempo real, y también se refleja una vasta brecha en cuanto a poder computacional. Los años venideros serán de mucho desarrollo computacional. Esto generará una mayor amplitud en el estudio de fenómenos de flujo de fluidos complejos con ayuda de modelos CFD.

#### 5.4. MODELOS A ESCALA PILOTO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Por otro lado, si se habla sobre los modelos a escala piloto para el estudio del comportamiento hidráulico de lagunas de estabilización, se diría que el factor de escala considerado (1:50) es pequeño en comparación con otros estudios como los de Montes y Villalva [27], Ruiz y Oviedo [16], Wood [20], Shilton [28] y Olukanni y Ducoste [23]. No obstante, el motivo de este argumento respecto al resto de estudios es por la magnitud de los sistemas de lagunas estudiados en este informe. Los sistemas estudiados por los autores citados son lagunas pequeñas construidas con fines investigativos, lo cual establece tal diferencia.

Además, aparte del factor a escala, también es importante notificar que en este informe se ha respetado la similitud geométrica en todas las dimensiones de los modelos a escala construidos, mientras que los autores mencionados han utilizado el concepto de “Modelos Geométricamente Deformables”, lo cual

establece la distorsión de la escala del tirante para conservar el régimen de la Ley de Froude.

## **5.5. ENSAYOS DE TRAZADORES**

En cuanto a los Ensayos de Trazadores en lagunas a escala piloto, tales estudios demuestran la fiabilidad de los modelos CFD para predecir la hidrodinámica en Lagunas de Estabilización. Desde Wood [20], el pionero en modelación CFD de lagunas de estabilización, se siguen recomendando este tipo de estudios computacionales para la optimización de sistemas de lagunas de estabilización. También se recomiendan más estudios de campo para poder validar resultados y aumentar la información en este rubro.

Por otro lado, para el cálculo del tiempo de retención en laboratorio, los resultados fueron bastante bajos respecto al tiempo de retención teórico. Sin embargo, la implementación de deflectores demostró que es una metodología válida para aumentar los tiempos de retención. En el caso de las Lagunas Anaeróbicas, el tiempo de retención pudo aumentarse a más del doble, de 4.58 horas a 10.19 horas; y en las Lagunas Facultativas el tiempo ampliado fue de 14.4 horas a 21.31 horas.

Se debe esclarecer que, las condiciones en que se han realizado los ensayos de trazadores no han sido las mejores, pues, ha habido influencia de la intemperie en los resultados de estos ensayos. En comparación con autores que han realizado estudios de trazadores a escala piloto como Watters [26], Wood [20], Shilton [28], etc., ellos han realizado ensayos en buenas condiciones de aislamiento, de tal manera que no influyan agentes externos como el viento o la temperatura.

## **5.6. CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL TRATADA CON EL MEJORAMIENTO**

Se sabe que muchos autores e instituciones en Norteamérica y Europa [32] [33] [34], para el tratamiento de aguas residuales con fines de reúso para riego u otro uso más importante proponen y preconizan la aplicación de tecnología avanzada a base del consumo de considerables cantidades de energía, pues son los métodos con mayor efectividad y con menor área ocupada posible. Sin embargo, en Latinoamérica las circunstancias son diferentes. El uso de energía es restringido y hay una crisis respecto a la gestión del reúso de las aguas residuales tratadas. Por lo tanto, el apostar por tecnología que implique la optimización el funcionamiento natural de un sistema de lagunaje sin necesidad de utilizar mucha energía es una oportunidad que puede ser llevada a los rincones más recónditos de la población, mejorando sus condiciones sanitarias y brindando la oportunidad de aprovechar un recurso renovable como es el agua.

## **5.7. ANÁLISIS ECONÓMICO**

Los parámetros de rentabilidad VAN y TIR tanto a precios privados como sociales demuestran el gran beneficio del reaprovechamiento del agua para usos más importantes. Bien se establece tal postulado en la Evaluación Económica de La Zacatecana en México (1996) [29], donde se realiza un análisis de los beneficios de mejorar la calidad del agua residual tratada para fines de regadío, no solo económicos sino también sociales y en el sector salud, incentivando que las autoridades esclarezcan el marco normativo para poder emplear tecnología y reducir costos de energía y que todos por igual puedan beneficiarse.

## **5.8. PRONUNCIAMIENTO DE EPSEL S.A.**

El Ing. Franklin Carhuatocto, Ingeniero de Planta en EPSEL S.A., tuvo la oportunidad de pronunciarse ante la propuesta de este proyecto. El ingeniero explicó que un modelamiento CFD podría contribuir en la evaluación de la hidráulica no solo en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, sino también en Plantas de Tratamiento de Agua Potable y aún con mayor incidencia. Se pronunciaron también respecto al Modelo a Escala Piloto, en donde observaron

que no había una semejanza tan real debido a que el modelo es de concreto mientras que el prototipo es de tierra compactada. Sin embargo, se les indicó que, por ser un flujo bastante lento, la rugosidad en las paredes de la laguna no es tan significativa y lo que más importa es el flujo en el cuerpo de la laguna en donde ocurren la mayoría de fenómenos hidráulicos.

Además, tuvieron interés de aplicar los ensayos de trazadores en campo en las Lagunas de San José, en donde se les indicó que es recomendable realizarlo mediante Muestreadores Automáticos empleando el colorante Rodamina.

## **5.9. RECOMENDACIONES DE MODELACIÓN CFD EN PROYECTOS DE LAGUNAJE**

Según la bibliografía consultada y la experiencia durante la ejecución de esta investigación, la modelación CFD en Sistemas de Lagunas de Estabilización resultaría útil para la Auditoría de Proyectos de Inversión, específicamente en la fase de Diseño Hidráulico. Con todos los estudios previos de topografía y estudios de campo, podría realizarse una modelación CFD y verificar los posibles fenómenos hidráulicos producidos en el cuerpo de la laguna en estudio. De aquí que podría optimizarse en la etapa de Pre – Inversión. Esto generaría un ahorro en los costos evitados para mejorar un proyecto con deficiencias hidráulicas.

Por otro lado, también serviría para mejorar un sistema existente, siempre y cuando se realicen los estudios de evaluación correspondientes tales como batimetría de lagunas, caudal actual, etc.

## VI. CONCLUSIONES

La topografía del Sistema de Lagunas de Estabilización de San José permitió el desarrollo de las modelaciones CFD. Al no contar con apoyo por parte de la EPS respecto a los planos de las lagunas, el realizar el levantamiento topográfico fue una pieza clave para realizar este estudio. También se resalta la compatibilidad del software IBER para poder leer superficies de diferentes formatos.

Por otro lado, la topografía también sirvió para el cálculo de los volúmenes en las lagunas. Junto al aforo de entradas en lagunas permitió determinar el tiempo de retención teórico.

El aforo de los caudales de entrada del Sistema de Lagunas de Estabilización de San José fue también una información de suma importancia, pues por ese lado tampoco se recibió información exacta por parte de la EPS. La importancia radicó tanto para realizar el modelo CFD como para el modelo a escala piloto.

Los caudales aforados mediante el método del flotador indican que el Sistema de Lagunas de Estabilización de San José ya se encuentra muy cerca de su caudal de diseño, por lo que, ante el inminente crecimiento abrumador de la población lambayecana, se requerirá una ampliación del sistema de tratamiento de aguas residuales. Esto quiere decir que se tendrán que diseñar nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales, por lo cual se consideran bastante bienvenidas las investigaciones sobre la optimización de sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales.

El optar por modelamientos bidimensionales de CFD para la evaluación y mejoramiento del Sistema de Lagunas de Estabilización de San José fue una decisión crucial para poder obtener oportunamente los resultados. Bien se sabe que un modelo CFD tridimensional requeriría mucho más tiempo y poder computacional, lo que no hubiese permitido obtener resultados a tiempo. También el incluir más factores como el viento o calidad de agua demandaría más tiempo y poder computacional, por lo que no se ha considerado. Sin embargo, no se ve lejos la posibilidad de investigar todos estos factores debido al continuo avance tecnológico en los ordenadores.

Es importante resaltar la gran ventaja de la obtención de datos con modelos CFD en comparación con los de campo, pues, para realizar un estudio de campo en lagunas de estabilización, aparte del tiempo prolongado de los estudios y de la tendencia de la intemperie a alterar los resultados, también existe riesgo de vida, el cual debe ser considerado en los costos de tal estudio. Mientras que en un modelo CFD, con la simple obtención de datos básicos de campo y de un ordenador adecuado, ya se puede estimar el comportamiento hidrodinámico en estos sistemas.

Los modelos a escala piloto del Sistema de Lagunas de Estabilización de San José permitieron, mediante el ensayo de trazadores, la obtención del tiempo de retención real. Se puede apreciar que los tiempos de retención reales no coinciden con los teóricos, pues son notablemente menores. No obstante, se puede demostrar la mejora en los tiempos de retención: En la Laguna Anaeróbica, de 4.576 h aumentó a 10.19 h; mientras que en la Laguna Facultativa aumentó de 14.4 h a 21.31 h. En efecto, los modelos a escala piloto han servido de sobremanera para validar los resultados de la modelación CFD. Estos han permitido despejar las dudas respecto a resultados netamente computacionales arrojados por los modelos CFD.

Los ensayos de trazadores en el mejoramiento propuesto del Sistema de Lagunas de Estabilización de San José son un claro ejemplo de cómo un sistema de lagunas de estabilización puede mejorarse u optimizarse, sin necesidad de recurrir al uso de aparatos mecánicos que simbolizan un coste de operación y mantenimiento mayor.

El presupuesto del proyecto de Implementación de Pantallas Deflectoras en el Sistema de Lagunas de Estabilización de San José alcanzó la cifra de S/.3,374,687.68. Considerando que la inversión contribuirá en la posibilidad de ampliar la gama de cultivos en la zona, se probó con el cultivo de sandía siendo este un cultivo tolerante a la calidad del agua, y los parámetros de rentabilidad a precios privados y sociales reflejan una inversión exitosa.

De esta manera, se puede concluir que la inversión en el reúso de las aguas residuales tratadas del Sistema de Lagunas de Estabilización de San José es una alternativa con elevadas posibilidades de ser rentable y mejor aún si se trata de una técnica que no será costosa en operación y mantenimiento.

## VII. RECOMENDACIONES

Los softwares que se utilicen para la creación de superficies y el paquete de software CFD deben ser altamente compatibles para evitar errores durante el procesamiento de la modelación CFD. Ese tipo de errores son los errores más difíciles de interpretar.

Si bien, los modelos a escala piloto de lagunas de estabilización desarrollados en este informe han sido pequeños por motivos económicos y espaciales, se recomienda realizar modelos con escalas más grandes para poder apreciar mejor los fenómenos hidráulicos.

En los modelos a escala piloto, es de amplia recomendación el colocar una salida de rebose para su fácil vaciado, pues los Ensayos de Trazadores perturban la naturaleza del agua contenida y, por lo tanto, generarían dificultades para realizar más ensayos en un periodo más corto de tiempo.

Para modelaciones CFD en Lagunas de Estabilización, se recomienda utilizar el mayor poder computacional posible, pues el requerimiento computacional es sumamente elevado y, al incluir los paquetes adicionales como viento, calidad de agua o temperatura, el requerimiento aumenta exponencialmente.

Respecto a la modelación CFD de Lagunas de Estabilización, a nivel de Latinoamérica hay una brecha considerable de investigaciones al respecto. Siendo la conservación del recurso hídrico un tema crucial en estos tiempos es importante profundizar en técnicas y métodos modernos que optimicen y amplíen el reúso de las aguas residuales tratadas.

Se recomienda, además, incentivar a las autoridades para la creación de una normativa en la que exijan modelamiento CFD para la auditoría de proyectos de inversión de Lagunas de Estabilización y demás tecnologías para tratamiento de aguas residuales.

## VIII. REFERENCIAS

- [1] Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, «Principles of Design and Operations of Wastewater Treatment Pond Systems for Plant Operators, Engineers, and Managers,» Cincinnati, Ohio, 2011.
- [2] J. Morgan-Sagastume, A. Padilla, L. Romero-Casallas, L. Güereca, M. Cirneros-Ortiz, A. Musharrafie, F. Hernández y A. Noyola, «Wastewater technologies in Latin American and the Caribbean countries,» IDCR - UNAM, Ottawa, Canada, 2012.
- [3] Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento y Cooperación Alemana, «Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el ámbito de operación de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento,» SUNASS, 2015.
- [4] A. Shilton y J. Harrison, «Development of guidelines for improved hydraulic design of waste stabilisation ponds,» *Water Science and Technology*, vol. 48, n° 2, pp. 173-180, Julio 2003.
- [5] EPSEL S.A., «Ciclo Operacional del Alcantarillado,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.epsel.com.pe/Presentacion/WFrmServicioAL.aspx>. [Último acceso: 10 setiembre 2017].
- [6] L. X. Coggins, J. Sounness, L. Zheng, M. Ghisalberti y A. Ghadouani, «Impact of Hydrodynamic Reconfiguration with Baffles on Treatment Performance in Waste Stabilisation Ponds: A Full-Scale Experiment,» *Water*, vol. 10, n° 109, pp. 1-18, Enero 2018.
- [7] J. A. Romero Rojas, *Calidad del agua*, Tercera Edición ed., Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009.
- [8] A. Hernández Lehmann, *Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales*, Segunda Edición ed., Madrid: Garceta Grupo Editorial, 2015, p. 396.
- [9] J. S. Cedillo Galarza y M. M. Matailo Quituisaca, «Validación de Modelos Computacionales de Flujo Dinámico con prueba de trazadores en lagunas de gran escala,» Cuenca - Ecuador, 2011.
- [10] W. Chereque Morán, «Mecánica de Fluidos I,» Lima - Perú, 1987.
- [11] A. Alvarado, S. Vedantam, G. Durazno y I. Nopens, «Hydraulic assessment of waste stabilization ponds: Comparison of computational fluid dynamics simulations against tracer data,» *Maskana*, vol. 2, n° 1, pp. 81-89, 2011.
- [12] O. Levenspiel, *Ingeniería de las reacciones químicas*, Tercera ed., Limusa Wiley, 2004.

- [13] M. von Sperling, «Waste Stabilization Ponds,» International Water Association (IWA), 2007.
- [14] F. Yáñez Cossio, «Manual de Métodos Experimentales. "Evaluación de Lagunas de Estabilización",» Lima, 1982.
- [15] J. Pérez Carrión y G. Galvis C., «Análisis de flujos y factores que determinan los periodos de retención,» de *Manual de evaluación. Tomo II, Programa Regional HPE/OPS/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.*, Lima, 1992.
- [16] C. E. Ruiz Bernal y C. G. Oviedo Orellana, «El viento - factor importante en el tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización,» Lima - Perú, 2013.
- [17] P. A. Ojeda Escoto, M. López Parra, A. Farah Simón y A. C. Ramírez Reivich, *CFD como una herramienta para diseño de productos*, CD. Obregón, Sonora: Universidad Nacional Autónoma de México, 2009.
- [18] A. De Souza, «How to understand Computational Fluid Dynamics Jargon,» NAFEMS CFD Working Group Members, 2005.
- [19] H. K. Versteeg y W. Malalasekera, *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*, Segunda ed., Pearson Education Limited, 2007.
- [20] M. Wood, P. Greenfield, T. Howes, M. Johns y J. Keller, «Computational fluid dynamic modelling of wastewater ponds to improve design,» *Water Science and Technology*, pp. 111-118, 1995.
- [21] R. G. Passos, D. F.C. Dias y M. von Sperling, «Review of practical aspects for modelling of stabilization ponds using Computational Fluid Dynamics,» *Environment Technology Reviews*, vol. 5, n° 1, pp. 78-102, 2016.
- [22] Binxin Wu, «CFD Analysis of Mixing in Large Aerated Lagoons,» *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, vol. 4, n° 1, pp. 127-138, 2010.
- [23] D. O. Olukanni y J. Ducoste, «Optimization of waste stabilization pond design for developing nations using computational fluid dynamics,» *Ecological Engineering*, vol. 31, n° 2011, pp. 1878-1888, Noviembre 2011.
- [24] A. Aponte Reyes, «Validación de modelos hidrodinámicos de tres modelos topológicos de lagunas facultativas secundarias,» *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, vol. XV, n° 4, pp. 637-654, 2014.
- [25] Centro de Estudios Hidrográficos, «Modelo IBER 2.0. Manual del usuario,» CEDEX: Servicio de Publicaciones - Ministerio de Fomento, 2016.
- [26] G. Z. Watters, *The Hydraulics of Waste Stabilization Ponds*, Logan, Utah: Utah State University, 1973.

- [27] R. E. Montes Escalante y Y. W. Villalva Flores, «Evaluación, optimización y mejoramiento del sistema hidráulico en modelo a escala de una laguna de estabilización,» Lima - Perú, 1991.
- [28] OPS/CEPIS/05.168 UNATSABAR, «GUÍA PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE TANQUES SÉPTICOS, TANQUES INHOFF Y LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN,» LIMA, PERÚ, 2005.
- [29] CEPEP, EVALUACIÓN SOCIAL DEL PROYECTO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “LA ZACATECANA” Y SU ANALISIS NORMATIVO, Zacatecas, 1996.
- [30] A. Shilton, «Studies into the hydraulics of waste stabilisation ponds,» Massey University, Palmerston North, New Zealand, 2001.
- [31] WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas), «Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado.,» UNESCO, París, 2017.
- [32] Y. Vega, «Planta de Tratamiento de Epsel es un foco contaminante,» *Diario La República*, 01 Julio 2015.
- [33] A. Shilton y D. Mara, «CFD (computational fluid dynamics) modelling of baffles for optimizing tropical waste stabilization pond systems,» *Water Science & Technology*, vol. 51, n° 12, pp. 103-106, Febrero 2005.
- [34] D. Kuzmin, «Introduction to Computational Fluid Dynamics,» 03 Febrero 2007. [En línea]. Available: <http://www.mathematik.uni-dortmund.de/~kuzmin/cfdintro/lecture1.pdf>. [Último acceso: 01 Septiembre 2017].
- [35] F. Cortés Martínez, A. Treviño Cansino, A. Luévanos Rojas, R. Luévanos Rojas y A. C. Uranga Sifuentes, «Función Objetivo en el diseño de la laguna facultativa (estudio de caso),» *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 5, n° 3, pp. 433 - 447, 2014.
- [36] F. Cortés Martínez, A. Treviño Cansino, A. Sáenz López, J. L. González Barrios y F. J. De la Cruz Acosta, «Mathematical modeling and optimization in the design of a maturation pond,» *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 14, n° 2016, pp. 93 - 100, 2016.
- [37] H. Ratsey, «Upgrading Waste Stabilisation Ponds: Reviewing the options,» 2016.
- [38] C. Barreto Escobedo, «Investigación hidráulica utilizando un modelo numérico 3D de la presa Tablones Alto - Chincas,» Piura, 2015.
- [39] J. Ferrer Polo y A. Seco Torrecillas, Tratamientos biológicos de aguas residuales, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2008.


- [40] C. Yee-Batista, «Un 70% de las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas,» 31 diciembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados>. [Último acceso: 01 setiembre 2017].
- [41] J. F. Larios-Meño, C. González Taranco y Y. Morales Olivares, «Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú,» *Saber y Hacer. Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL*, vol. 2, n° 2, pp. 09-25, 2015.
- [42] Red ALFA TECSPAR (Tecnologías Sostenibles para la Potabilización y el Tratamiento de Aguas Residuales), «Manual de tecnologías sostenibles en el tratamiento de aguas,» Dublin Institute of Technology, Universidad Autónoma San Luis Potosí, Universidad de Antioquia, Universidad de Concepción, Università Degli Studi di Padova, Universitat Politècnica de Catalunya, 2014.
- [43] M. Wood, T. Howes, J. Keller y M. Johns, «Two dimensional computational fluid dynamic models for waste stabilisation ponds,» *Elsevier Science*, vol. 32, pp. 958-963, 1998.
- [44] M. Li, H. Zhang, C. Lemckert y H. Stratton, «Improving hydrodynamic performance of waste stabilisation ponds using three-dimensional numerical models,» de *21st International Congress on Modelling and Simulation*, Gold Coast, Australia, 2015.
- [45] Bureau of Science Services - Operator Certification Program, «Ponds, Lagoons and Natural Systems Study Guide - Subclass A4,» Bureau of Science Services, Operator Certification Program, Wisconsin, 2015.
- [46] Agencia Agraria de Noticias, «300 hectáreas de cultivo en costa se riegan con agua residual sin tratar,» 2012. [En línea]. Available: <http://agraria.pe/noticias/300-hectareas-de-cultivo-en-costa-se-riegan-con-agua-residua-3761>. [Último acceso: 01 setiembre 2017].
- [47] ESAN, «¿Qué son los estándares de calidad ambiental y los límites máximos permisibles?,» 27 abril 2016. [En línea]. Available: <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2016/04/que-son-los-estandares-de-calidad-ambiental-y-los-limites-maximos-permisibles/>. [Último acceso: 20 setiembre 2017].
- [48] H. Pearson, D. Mara y H. Arridge, «The influence of pond geometry and configuration on facultative and maturation waste stabilisation pond performance and efficiency,» *Water Science and Technology*, vol. 31, n° 12, pp. 129-139, 1995.
- [49] International Association for Hydro-Environment Engineering and Research, «The Contribution of Advanced Simulation Tools to the Hydraulic Design of Water and Wastewater Treatment facilities,» *Hydrolink*, vol. 02, n° 2016, p. 34, 2016.

- [50] F. R. Ouedraogo, «Impact of Sludge Layer Geometry on the Hydraulic Performance of a Waste Stabilization Pond,» 2016.
- [51] L. Lizima, «Hydraulic Evaluation of a Community Managed Waste Stabilization Pond System in Bolivia,» University of South Florida, Tampa, Florida, 2013.
- [52] C. Murphy, «Quantifying the Impact of Sludge Accumulation on the Hydraulic Performance of Waste Stabilisation Ponds,» The University of Western Australia, 2012.
- [53] F. Yáñez, «Lagunas de Estabilización,» Lima, Perú, 1992.
- [54] F. Li, H. Wang, T. Wang, B. Zhang, B. Toure, I. Bosire Omosa, T. Chiramba, M. Abdel-Monem y M. Pradhan, «Water and Wastewater Treatment in Africa – Current Practices and Challenges,» *Clean – Soil Air Water*, vol. 42, n° 8, pp. 1029 - 1035, 2014.
- [55] International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, «Water and Wastewater Services in the Danube Region. A state of the sector.,» Vienna, Austria, 2015.
- [56] A. Shilton y D. Bailey, «Drouge tracking by image processing for the study of laboratory scale pond hydraulics,» *Flow Measurement and Instrumentation*, vol. 17, n° 2006, pp. 69-74, 2006.
- [57] R. Sánchez-Morales, E. Rosa-Domínguez y M. Moreno-Mata, «Análisis de la Confiabilidad del funcionamiento de lagunas facultativas primarias en Villa Clara - Cuba,» *Revista Tecnología Química*, vol. 31, n° 1, pp. 23-38, 2011.
- [58] D. Mara, Domestic wastewater treatment in developing countries, London, Sterling: Earthscan, 2003.
- [59] J. Ferrer Polo y A. Seco Torrecillas, Tratamientos de aguas. Tomo 1. Introducción a los tratamientos de aguas., Valencia: EDITORIAL DE LA UPV, 2007.

## ANEXOS

### ANEXO N° 01. DOCUMENTOS

#### Documento N° 1. Carta de presentación emitida al Gerente General de EPSEL S.A.



Chiclayo, 07 de setiembre del 2017.

**CARTA N° 106-2017-USAT-EICA**  
Señor  
Ing. Víctor Hugo Villacorta Félix  
Gerente General  
EPSEL S.A.

**Presente.-**

De mi especial consideración:

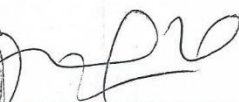
Es grato expresarle mis saludos a nombre de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo y desearle éxitos en su gestión al frente de su representada.


Al mismo tiempo, presentarle al estudiante VALDEZ CASTAÑEDA, ARTURO VALENTIN con DNI 71820858, de la escuela de Ingeniería CIVIL AMBIENTAL quien se encuentra desarrollando su proyecto de tesis titulada "MODELAMIENTO HIDRÁULICO COMPUTACIONAL MEDIANTE LA HERRAMIENTA CFD DEL COMPORTAMIENTO DE DEFLECTORES APLICADO A LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE SAN JOSÉ Y PAMPA DE PERROS - CHICLAYO" que redundará en beneficio de su comunidad.


Por esta razón, les solicitamos le otorguen las facilidades, permisos y apoyo pertinentes, brindándole la información necesaria para la continuidad de su proyecto.

Seguros de contar con su apoyo, nos suscribimos de Usted reiterando nuestro afán por trabajar mancomunadamente por el desarrollo y bienestar de la comunidad estudiantil.

Atentamente

  
Ing. Anibal Díaz Orrego  
DIRECTOR  
Esc. Ing. Civil Ambiental





*DPTO. COMARAS  
TRAT. AGUAS SECURAS  
JNC. RENTAS*

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo-Perú ▪ Central Telefónica: (074) 606200 - 606217 ▪ Oficina de Información: (074) 606203  
PreUSAT: (074) 606217 ▪ www.usat.edu.pe ▪ www.facebook.com/usat.peru


## Documento N° 2. Carta de autorización de EPSEL S.A.

### AUTORIZACIÓN

El que suscribe **BLGO. LORENZO BOCANEGRA CAMPOS** Sub Gerente de Producción de Epsel S.A.

AUTORIZA:

Que, el estudiante Sr. **ARTURO VALENTÍN VALDEZ CASTAÑEDA**, identificado con DNI N° 71820858, de la escuela de Ingeniería Civil Ambiental, de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, realice el estudio del Proyecto de Tesis: “MODELAMIENTO HIDRÁULICO COMPUTACIONAL MEDIANTE CFD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE DEFLECTORES PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CHICLAYO”; en coordinación con el **ING. ENRIQUE RENTERIA CAMPOS** Jefe del Departamento de Cámaras de Aguas Residuales de EPSEL S.A. para ello se le AUTORIZA realizar las acciones que su proyecto requiera, previa coordinación con las áreas competentes.

  
**BLGO. LORENZO BOCANEGRA CAMPOS**  
Sub Gerente de Producción



**Documento N° 3. Solicitud de Información en Trámites Documentarios –  
EPSEL S.A.**

493682

**Formulario de Solicitud de Acceso a la Información Pública**

<p>31 AGO 2017</p> <p>HORA: 4:14 PM</p> <p>TRAMITE DOCUMENTARIO</p>	<p><b>SOLICITUD DE ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA</b></p> <p>Texto Único Ordenado de la Ley N° 27806, Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM</p>	<p>N° DE REGISTRO</p>
---	---	-----------------------

**I. FUNCIONARIO RESPONSABLE DE LA ATENCION DE PEDIDOS EN EL MARCO DE LA LEY DE TRANSPARENCIA Y ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA**

Gerente General: Ing. Víctor Hugo Villacorta Félix

**II. DATOS DEL SOLICITANTE**

<p>APellidos y Nombres/Razon Social Valdez Castañeda, Arturo Valentin</p>	<p>DOCUMENTO DE IDENTIDAD 71820858</p>		
<p>DOMICILIO Psje. Los Jazmines #102 urb. Francisco Bolognesi - José Leonardo Ortiz</p>			
<p>AV/CALLE/JR/PSJ</p>			
<p>PROVINCIA Chiclayo</p>	<p>DEPARTAMENTO Lambayoque</p>	<p>CORREO ELECTRONICO 71820858@usat.pe</p>	<p>TELEFONO 975 950 750</p>

**III. INFORMACIÓN SOLICITADA**

✓ Solicito el Expediente Técnico del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Chiclayo. Loguñas de Estabilización Pampa de Perros y San José.

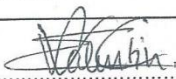
✓ Datos sobre calidad del efluente de la planta de Tratamiento mencionada.

**IV. DEPENDENCIA DE LA CUAL SE REQUIERE LA INFORMACIÓN**

Area de Sub-gerencia de Producción

**V. FORMA DE ENTREGA DE LA INFORMACIÓN (MARCA CON UN "X")**

COPIA SIMPLE	DISKETTE	CD	CORREO ELECTRONICO	OTROS
				<p>USB</p> <p style="text-align: right;">X</p>

<p style="text-align: center;"></p> <p style="text-align: center;">FIRMA</p>	<p>FECHA Y HORA DE RECEPCION</p>
---	----------------------------------

Observaciones: .....

.....

.....

**Documento N° 4. Cotización software CFD “OpenFOAM” Nivel Básico – Intermedio**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA**

Av. Túpac Amaru N° 210 Rímac, Puerta N° 4-B -UNI - Tel. 4811991 - 4811920 LIMA PERÚ  
E-mail: [lnh\\_uni@uni.edu.pe](mailto:lnh_uni@uni.edu.pe), [lnh\\_uni@hotmail.com](mailto:lnh_uni@hotmail.com), [lnhuni2011@gmail.com](mailto:lnhuni2011@gmail.com) - [www.lnh-uni.org](http://www.lnh-uni.org)



Lima, 15 de Septiembre del 2017.

Señor:

**VALDEZ CASTAÑEDA, ARTURO VALENTIN**

Estudiante

Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

Lambayeque -Perú

**COTIZACIÓN  
CURSO DE ENTRENAMIENTO CON OPENFOAM**

De mi consideración:

Es grato dirigirme a usted, con el fin de hacerle llegar la cotización para el curso de entrenamiento con el software de código abierto y libre OpenFOAM que se llevará a cabo en el Mes de Enero del 2018 en el Auditorio del Laboratorio Nacional de Hidráulica de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Descripción	Monto
Curso de entrenamiento con OpenFOAM: Básico Intermedio	S/. 1300

Estamos adjuntamos esta cotización para que usted pueda buscar el financiamiento y la estadía en la Ciudad de Lima o para los fines que usted disponga. En todo caso para mayor información comunicarse con el Ing. Luis Castro Inga, [lfcastro@uni.edu.pe](mailto:lfcastro@uni.edu.pe)

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente,

**Luis Fernando Castro Inga**

## Documento N° 5. Declaración Jurada de Inexistencia del Proyecto

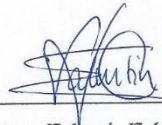
"AÑO DEL BUEN SERVICIO AL CIUDADANO"

### DECLARACIÓN JURADA

DOCUMENTO NO REDACTADO  
EN LA NOTARÍA

Yo, ARTURO VALENTÍN VALDEZ CASTAÑEDA, identificado con DNI N° 71820858, código universitario: 131CV43903, con domicilio en: Pasaje Los Jazmines N° 102 Urb. Francisco Bolognesi, José Leonardo Ortiz, estudiante de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, declaro bajo juramento tener conocimiento que el proyecto de tesis denominado "EVALUACIÓN, MEJORAMIENTO Y OPTIMIZACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE SAN JOSÉ APLICANDO MODELOS CFD – LAMBAYEQUE, 2017" no ha sido ni viene siendo ejecutado por ninguna persona o institución, sometiéndome a las sanciones emitidas por la Universidad, por lo cual firmo el presente documento en señal de veracidad.

SE LEGALIZA LA FIRMA  
NO EL CONTENIDO



Arturo Valentín Valdez Castañeda

DNI: 71820858

 **NOTARÍA CÁRDENAS**  
JAIME CÁRDENAS PONSECA  
NOTARIO - ABOGADO  
Reg. Colegio de Notarios de Lambayeque N°21  
Av. Saenz Peña N° 2311 - Urb. Latina  
José Leonardo Ortiz - Chiclayo - Perú  
Teléf. : (074) 257319 - Telefax: (074) 257320

CERTIFICO: QUE LA FIRMA QUE APARECE CORRESPONDE  
A: Arturo Valentín Valdez Castañeda  
QUIEN SUSCRIBIÓ EL PRESENTE DOCUMENTO EN SU  
PRESENCIA IDENTIFICÁNDOSE CON DNI: 71820858  
EL NOTARIO NO ASUME RESPONSABILIDAD SOBRE EL CONTENIDO DEL DOCUMENTO.  
CHICLAYO, 28 DE Noviembre DEL 2017

 **JAIME CÁRDENAS PONSECA**  
NOTARIO - ABOGADO  
Chiclayo, 28 de noviembre del 2017

Documento N° 6. Trámite Documentario Aprobado – EPSEL S.A.



**ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS  
DE SANEAMIENTO DE LAMBAYEQUE S.A.**

“TRABAJAMOS PERMANENTEMENTE PARA LLEVARLE AGUA DE  
LA MEJOR CALIDAD, CUIDELA NO LA DESPERDICIE”

Chiclayo, **02 OCT. 2017**

**CARTA N° 043-2017-EPSEL S.A-GG/OCS.**

Señor:

**ARTURO VALENTÍN VALDEZ CASTAÑEDA**

Pasajes Los Jazmines N° 102 – Urb. Francisco Bolognesi( Teléf. : 975950750)

**CHICLAYO.-**

Asunto : Información Solicitada

Ref. : Ley N° 27806 Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública (493682)

De mi especial consideración:

Me dirijo a usted con la finalidad de expresarle mi cordial saludo y al mismo tiempo, hacer de nuestro conocimiento que siendo la Oficina de Comunicación Social la encargada de la entrega de documentos en cumplimiento de la ley arriba acotada, atenderemos su petitorio de:

- COPIAS FEDATIZADAS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE SAN JOSÉ.
- MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE PAMPA DE PERROS.
- RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICOS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE PAMPA DE PERROS, ENERO – DICIEMBRE 2015.
- RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICOS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE PAMPA DE PERROS, ENERO – DICIEMBRE 2016.
- RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICOS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE PAMPA DE PERROS, ENERO – AGOSTO 2017.
- RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICOS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE SAN JOSÉ, ENERO – DICIEMBRE 2015.
- RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICOS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE SAN JOSÉ, ENERO – DICIEMBRE 2016.
- RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICOS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE SAN JOSÉ, ENERO – AGOSTO 2017

En tal sentido, de acuerdo a lo establecido en el Art. 17, a la Ley N. 27806, Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública; sírvase realizar el pago por 131 (CIENTO TREINTA Y UNO) folios (S/. 0.066 céntimos por cada copia) que hacen un total de S/. 2.772 Nuevos Soles; debiendo efectuar el depósito en cualquiera de las cuentas corrientes de EPSEL S.A.: Banco de Crédito N. 305-2462756-0-29 ó Banco Interbank N° 768-3104927890, y alcanzar a la oficina de Comunicación Social el voucher respectivo, para la entrega de los documentos requeridos debidamente fedateados.

Sin otro particular, le reitero mis consideraciones especiales.

Atentamente,

**LIC. CÉSAR A. AYASTA MECHAN**  
Jefe Oficina de Comunicación Social

CAM/iv.



**OFICINAS:** Av. Sáenz Peña N° 1860 (Planta de Agua Potable) Chiclayo - Telef. 253479 - 252291 - Telefax 253520  
Gerencia Operacional - Telef. 254132  
Gerencia Comercial - Av. Miguel Grau N°451 - Telef. 273609 - 235757  
Emergencias: Telf. 238363 - 0-800-27-092  
Pág. Web: www.epsel.com.pe

## ANEXO N° 02. TRABAJOS DE GABINETE

### T.G. N° 1. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE SAN JOSÉ (2015 - I)

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE SAN JOSÉ

ENERO - DICIEMBRE 2015

CODIGO	FECHA	LUGAR	HORA	PH	T°C	CLORUR	CONDUCT	DBOST	DBO5S	S.S.T	Col.Total	Col.Term
						mg/L	us/cm	mg/L	mg/L	ml/Lhr	NMP/100ml	NMP/100ml
LCC-0025-15-R-FQ(1)/fq-D	05/01/2015	Desagüe crudo	11:52	7.85	25.0	128.45	1225	275.52	-	2.50	2.8E+07	2.8E+07
LCC-0026-15-R-FQ(1)/fq-D	05/01/2015	Efluente	11:57	8.19	25.0	130.00	1366	-	110.25	0.10	1.2E+05	1.2E+05
LCC-0217-15-R-FQ(1)/fq-D	15/01/2015	Desagüe crudo	10:30	7.77	25.0	128.50	1232	240.00	-	2.00	2.4E+07	2.4E+07
LCC-0218-15-R-FQ(1)/fq-D	15/01/2015	A1	10:34	8.14	25.0	118.60	1358	-	-	0.05	2.1E+06	2.1E+06
LCC-0219-15-R-FQ(1)/fq-D	15/01/2015	A2	10:38	8.12	25.0	118.98	1370	-	-	0.10	1.7E+06	1.7E+06
LCC-0220-15-R-FQ(1)/fq-D	15/01/2015	A3	10:42	7.95	25.0	110.25	1365	-	-	0.10	1.1E+06	1.1E+06
LCC-0221-15-R-FQ(1)/fq-D	15/01/2015	A4	10:46	7.99	25.0	128.45	1592	-	-	0.05	1.3E+06	1.3E+06
LCC-0222-15-R-FQ(1)/fq-D	15/01/2015	A5	10:50	7.82	25.0	110.36	1350	-	-	0.10	1.2E+06	1.2E+06
LCC-0223-15-R-FQ(1)/fq-D	15/01/2015	F1	10:54	8.36	25.0	119.58	1318	-	-	0.10	2.0E+05	2.0E+05
LCC-0224-15-R-FQ(1)/fq-D	15/01/2015	F2	10:58	8.34	25.0	119.12	1325	-	-	0.05	2.2E+05	2.2E+05
LCC-0225-15-R-FQ(1)/fq-D	15/01/2015	F3	11:02	8.32	25.0	128.63	1365	-	-	0.10	1.3E+05	1.3E+05
LCC-0226-15-R-FQ(1)/fq-D	15/01/2015	F4	11:06	8.44	25.0	119.22	1371	-	-	0.05	1.1E+05	1.1E+05
LCC-0227-15-R-FQ(1)/fq-D	15/01/2015	F6	11:10	8.21	25.0	128.99	1425	-	-	-	2.1E+05	2.1E+05
LCC-0228-15-R-FQ(1)/fq-D	15/01/2015	Efluente	11:14	8.25	25.0	128.74	1328	-	110.00	0.05	2.8E+05	2.8E+05
LCC-0640-15-R-FQ(1)/fq-D	12/02/2015	Desagüe crudo	12:43	7.90	25.0	130.00	1340	260.00	-	2.10	5.4E+07	5.4E+07
LCC-0641-15-R-FQ(1)/fq-D	12/02/2015	Efluente	12:48	8.10	25.0	121.45	1309	-	110.00	0.05	2.0E+05	2.0E+05
LCC-0837-15-R-FQ(1)/fq-D	27/02/2015	Desagüe crudo	10:20	7.70	25.0	132.54	1238	260.00	-	2.20	5.4E+07	5.4E+07
LCC-0838-15-R-FQ(1)/fq-D	27/02/2015	A1	10:25	7.98	25.0	121.56	1210	-	-	0.50	2.2E+06	2.2E+06
LCC-0839-15-R-FQ(1)/fq-D	27/02/2015	A2	10:30	8.10	25.0	119.66	1200	-	-	0.10	2.8E+06	2.8E+06
LCC-0840-15-R-FQ(1)/fq-D	27/02/2015	A3	10:35	8.00	25.0	121.36	1225	-	-	0.10	2.2E+06	2.2E+06
LCC-0841-15-R-FQ(1)/fq-D	27/02/2015	A4	10:40	7.89	25.0	125.89	1435	-	-	0.10	1.7E+06	1.7E+06
LCC-0842-15-R-FQ(1)/fq-D	27/02/2015	A5	10:45	8.00	25.0	118.45	1182	-	-	0.10	2.4E+06	2.4E+06
LCC-0843-15-R-FQ(1)/fq-D	27/02/2015	F1	10:50	8.16	25.0	119.50	1208	-	-	0.05	1.1E+06	1.1E+06
LCC-0844-15-R-FQ(1)/fq-D	27/02/2015	F2	10:55	8.24	25.0	119.50	1208	-	-	0.05	4.2E+05	4.2E+05
LCC-0845-15-R-FQ(1)/fq-D	27/02/2015	F3	11:00	8.30	25.0	124.56	1229	-	-	0.02	3.2E+05	3.2E+05
LCC-0846-15-R-FQ(1)/fq-D	27/02/2015	F4	11:10	8.34	25.0	118.45	1210	-	-	0.02	2.1E+05	2.1E+05
LCC-0847-15-R-FQ(1)/fq-D	27/02/2015	F6	11:15	8.20	25.0	116.75	1192	-	-	0.01	1.7E+05	1.7E+05
LCC-0848-15-R-FQ(1)/fq-D	27/02/2015	Efluente	11:20	8.30	25.0	111.48	1110	-	100.00	0.01	2.0E+05	2.0E+05
LCC-1249-15-R-FQ(1)/fq-D	25/03/2015	Desagüe crudo	10:05	8.00	25.0	144.96	1325	400.00	-	6.00	3.5E+07	3.5E+07
LCC-1250-15-R-FQ(1)/fq-D	25/03/2015	Efluente	10:10	8.40	25.0	104.97	1286	-	140.00	0.10	1.7E+05	1.7E+05
LCC-1398-15-R-FQ(1)/fq-D	30/03/2015	Desagüe crudo	4:14	7.89	25.0	135.54	1225	280.00	-	2.00	3.5E+07	3.5E+07
LCC-1387-15-R-FQ(1)/fq-D	30/03/2015	A1	4:18	7.98	25.0	120.58	1200	-	-	0.60	5.4E+06	5.4E+06
LCC-1388-15-R-FQ(1)/fq-D	30/03/2015	A2	4:21	8.05	25.0	118.26	1189	-	-	0.10	2.0E+06	2.0E+06
LCC-1389-15-R-FQ(1)/fq-D	30/03/2015	A3	4:24	8.00	25.0	121.25	1210	-	-	0.10	2.2E+06	2.2E+06
LCC-1390-15-R-FQ(1)/fq-D	30/03/2015	A5	4:28	8.05	25.0	117.48	1185	-	-	0.10	1.7E+06	1.7E+06
LCC-1391-15-R-FQ(1)/fq-D	30/03/2015	F1	4:32	8.15	25.0	115.82	1175	-	-	0.10	2.8E+05	2.8E+05
LCC-1392-15-R-FQ(1)/fq-D	30/03/2015	F2	4:36	8.20	25.0	116.52	1186	-	-	0.05	2.1E+05	2.1E+05
LCC-1393-15-R-FQ(1)/fq-D	30/03/2015	F3	4:40	8.25	25.0	120.50	1208	-	-	0.01	1.4E+05	1.4E+05
LCC-1394-15-R-FQ(1)/fq-D	30/03/2015	F4	4:43	8.29	25.0	115.82	1178	-	-	0.01	7.0E+05	7.0E+05
LCC-1395-15-R-FQ(1)/fq-D	30/03/2015	F6	4:46	8.30	25.0	113.28	1125	-	-	0.01	2.0E+05	2.0E+05
LCC-1396-15-R-FQ(1)/fq-D	30/03/2015	Efluente	4:50	8.30	25.0	110.45	1119	-	90.00	0.01	1.1E+05	1.1E+05
LCC-1583-15-R-FQ(1)/fq-D	15/04/2015	Desagüe crudo	10:27	7.86	25.0	131.25	1230	280.00	-	2.40	3.5E+07	3.5E+07
LCC-1584-15-R-FQ(1)/fq-D	15/04/2015	Efluente	10:31	8.21	25.0	119.55	1115	-	100.00	0.05	1.1E+04	1.1E+04
LCC-1811-15-R-FQ(1)/fq-D	29/04/2015	Desagüe crudo	10:30	7.79	25.0	130.25	1242	260.00	-	2.30	5.4E+07	5.4E+07
LCC-1812-15-R-FQ(1)/fq-D	29/04/2015	A1	10:34	8.10	25.0	119.62	1125	-	-	0.50	2.2E+06	2.2E+06
LCC-1813-15-R-FQ(1)/fq-D	29/04/2015	A2	10:38	8.05	25.0	118.00	1120	-	-	0.10	1.7E+06	1.7E+06
LCC-1814-15-R-FQ(1)/fq-D	29/04/2015	A3	10:42	8.00	25.0	116.42	1123	-	-	0.10	2.4E+06	2.4E+06
LCC-1815-15-R-FQ(1)/fq-D	29/04/2015	A4	10:46	7.89	25.0	118.26	1132	-	-	0.05	2.2E+06	2.2E+06
LCC-1816-15-R-FQ(1)/fq-D	29/04/2015	A5	10:50	7.80	25.0	112.60	1105	-	-	0.05	4.9E+06	4.9E+06
LCC-1817-15-R-FQ(1)/fq-D	29/04/2015	F1	10:54	8.24	25.0	117.56	1138	-	-	0.10	2.4E+05	2.4E+05
LCC-1818-15-R-FQ(1)/fq-D	29/04/2015	F2	10:58	8.16	25.0	116.00	1126	-	-	0.10	1.3E+05	1.3E+05
LCC-1819-15-R-FQ(1)/fq-D	29/04/2015	F3	11:02	8.30	25.0	120.45	1160	-	-	0.05	1.1E+05	1.1E+05
LCC-1820-15-R-FQ(1)/fq-D	29/04/2015	F4	11:04	8.21	25.0	118.15	1130	-	-	0.05	1.3E+05	1.3E+05
LCC-1821-15-R-FQ(1)/fq-D	29/04/2015	F6	11:08	8.20	25.0	117.68	1123	-	-	0.05	2.1E+05	2.1E+05
LCC-1822-15-R-FQ(1)/fq-D	29/04/2015	Efluente	11:12	8.23	25.0	116.70	1110	-	110.00	0.01	7.0E+05	7.0E+05
LCC-1998-15-R-FQ(1)/fq-D	13/05/2015	Desagüe crudo	12:30	7.86	25.0	131.58	1308	280.00	-	1.80	3.5E+07	3.5E+07
LCC-2000-15-R-FQ(1)/fq-D	13/05/2015	Efluente	12:34	8.12	25.0	112.50	1180	-	110.00	0.05	1.3E+05	1.3E+05
LCC-2133-15-R-FQ(1)/fq-D	21/05/2015	Desagüe crudo	08:30	7.80	25.0	130.48	1275	260.00	-	2.00	2.4E+07	2.4E+07
LCC-2134-15-R-FQ(1)/fq-D	21/05/2015	A1	08:40	7.86	25.0	122.50	1200	-	-	0.10	2.8E+06	2.8E+06
LCC-2135-15-R-FQ(1)/fq-D	21/05/2015	A2	08:45	8.00	25.0	120.85	1186	-	-	0.10	2.2E+06	2.2E+06
LCC-2136-15-R-FQ(1)/fq-D	21/05/2015	A3	08:50	8.02	25.0	118.58	1180	-	-	0.05	2.0E+06	2.0E+06
LCC-2137-15-R-FQ(1)/fq-D	21/05/2015	A5	08:55	7.98	25.0	110.78	1176	-	-	0.05	1.7E+06	1.7E+06
LCC-2138-15-R-FQ(1)/fq-D	21/05/2015	F1	09:00	8.05	25.0	110.20	1173	-	-	0.05	3.5E+05	3.5E+05
LCC-2139-15-R-FQ(1)/fq-D	21/05/2015	F2	09:05	8.15	25.0	111.75	1181	-	-	0.10	2.8E+05	2.8E+05
LCC-2140-15-R-FQ(1)/fq-D	21/05/2015	F3	09:10	8.19	25.0	111.80	1180	-	-	0.05	2.4E+05	2.4E+05
LCC-2141-15-R-FQ(1)/fq-D	21/05/2015	F4	09:15	8.24	25.0	110.08	1175	-	-	0.05	1.3E+05	1.3E+05
LCC-2142-15-R-FQ(1)/fq-D	21/05/2015	F6	09:20	8.29	25.0	110.42	1173	-	-	0.01	3.5E+07	3.5E+07
LCC-2143-15-R-FQ(1)/fq-D	21/05/2015	Efluente	09:25	8.25	25.0	110.00	1170	-	100.00	0.01	1.2E+05	1.2E+05
LCC-2385-15-R-FQ(1)/fq-D	03/06/2015	Desagüe crudo	11:32	7.89	25.0	154.95	1386	200.00	-	1.30	3.5E+07	3.5E+07
LCC-2386-15-R-FQ(1)/fq-D	03/06/2015	Efluente	11:37	8.10	25.0	144.96	1340	-	110.00	0.05	2.2E+05	2.2E+05
LCC-2742-15-R-FQ(1)/fq-D	30/06/2015	Desagüe crudo	9:45	7.86	25.0	155.49	1308	280.00	-	1.20	5.4E+07	5.4E+07
LCC-2743-15-R-FQ(1)/fq-D	30/06/2015	A1	9:49	7.85	25.0	132.15	1300	-	-	0.01	1.3E+06	1.3E+06
LCC-2744-15-R-FQ(1)/fq-D	30/06/2015	A2	9:53	7.90	25.0	122.15	1307	-	-	0.01	2.1E+06	2.1E+06



Fuente: EPSEL S.A., 2017

## T.G. N° 2. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE SAN JOSÉ (2015 - II)

CODIGO	FECHA	LUGAR	HORA	PH	T°C	CLORURD mg/L	CONDUCT us/cm	DBOST mg/L	DBOSS mg/L	S.S.T ml/L/hr	Col.Total NMP/100ml	Col.Termot MPP/100ml
LCC-2745-15-R-FQ(1)/fq-D	30/06/2015	A3	9:57	8.00	25.0	118.90	1292	-	-	0.01	1.7E+06	1.7E+06
LCC-2746-15-R-FQ(1)/fq-D	30/06/2015	A5	10:05	7.98	25.0	115.52	1290	-	-	0.01	1.2E+06	1.2E+06
LCC-2747-15-R-FQ(1)/fq-D	30/06/2015	F1	10:09	8.02	25.0	112.48	1286	-	-	0.00	1.1E+05	1.1E+05
LCC-2749-15-R-FQ(1)/fq-D	30/06/2015	F2	10:13	8.06	25.0	110.00	1248	-	-	0.00	1.5E+05	1.5E+05
LCC-2749-15-R-FQ(1)/fq-D	30/06/2015	F3	10:17	8.04	25.0	110.15	1250	-	-	0.01	2.1E+05	2.1E+05
LCC-2750-15-R-FQ(1)/fq-D	30/06/2015	F4	10:21	8.15	25.0	110.68	1261	-	-	0.01	2.8E+05	2.8E+05
LCC-2151-15-R-FQ(1)/fq-D	30/06/2015	F6	10:25	8.16	25.0	111.05	1286	-	-	0.00	3.5E+05	3.5E+05
LCC-2152-15-R-FQ(1)/fq-D	30/06/2015	Efluente	10:29	8.20	25.0	111.00	1280	-	110.00	0.00	4.2E+05	4.2E+05
LCC-2780-15-R-FQ(1)/fq-D	01/07/2015	Desagüe crudo	10:50	7.82	25.0	144.96	1380	420.00	-	2.00	3.4E+07	3.4E+07
LCC-2781-15-R-FQ(1)/fq-D	01/07/2015	Efluente	10:55	8.09	25.0	104.97	1119	-	140.00	0.01	1.7E+05	1.7E+05
LCC-3013-15-R-FQ(1)/fq-D	15/07/2015	Desagüe crudo	11:55	7.79	25.0	152.69	1396	380.00	-	1.10	3.5E+07	3.5E+07
LCC-3014-15-R-FQ(1)/fq-D	15/07/2015	A1	11:59	7.85	25.0	140.68	1376	-	-	0.10	2.8E+06	2.8E+06
LCC-3015-15-R-FQ(1)/fq-D	15/07/2015	A2	12:03	7.88	25.0	144.63	1380	-	-	0.01	2.1E+06	2.1E+06
LCC-3016-15-R-FQ(1)/fq-D	15/07/2015	A3	12:07	7.92	25.0	136.80	1381	-	-	0.01	1.4E+06	1.4E+06
LCC-3017-15-R-FQ(1)/fq-D	15/07/2015	A5	12:11	7.90	25.0	132.97	1387	-	-	0.01	1.7E+06	1.7E+06
LCC-3018-15-R-FQ(1)/fq-D	15/07/2015	F1	12:15	7.86	25.0	112.58	1342	-	-	0.10	1.3E+05	1.3E+05
LCC-3019-15-R-FQ(1)/fq-D	15/07/2015	F2	12:19	7.96	25.0	110.61	1344	-	-	0.00	2.4E+05	2.4E+05
LCC-3020-15-R-FQ(1)/fq-D	15/07/2015	F3	12:23	8.05	25.0	110.82	1346	-	-	0.01	3.5E+05	3.5E+05
LCC-3021-15-R-FQ(1)/fq-D	15/07/2015	F4	12:27	7.98	25.0	111.42	1350	-	-	0.01	2.7E+05	2.7E+05
LCC-3022-15-R-FQ(1)/fq-D	15/07/2015	F6	12:31	8.00	25.0	110.63	1340	-	-	0.05	4.2E+05	4.2E+05
LCC-3023-15-R-FQ(1)/fq-D	15/07/2015	Efluente	12:35	8.06	25.0	110.97	1338	-	120.00	0.00	2.1E+05	2.1E+05
LCC-3416-15-R-FQ(1)/fq-D	12/08/2015	Desagüe crudo	11:10	7.80	25.0	144.96	1349	420.00	-	5.00	5.4E+07	5.4E+07
LCC-3417-15-R-FQ(1)/fq-D	12/08/2015	Efluente	11:15	7.90	25.0	154.95	1294	-	270.00	0.00	3.1E+05	3.1E+05
LCC-3631-15-R-FQ(1)/fq-D	26/08/2015	Desagüe crudo	10:30	7.85	25.0	144.96	1368	280.00	-	4.00	2.4E+07	2.4E+07
LCC-3632-15-R-FQ(1)/fq-D	26/08/2015	A1	10:34	7.80	25.0	144.96	1365	-	-	0.00	1.7E+06	1.7E+06
LCC-3633-15-R-FQ(1)/fq-D	26/08/2015	A2	10:37	7.89	25.0	144.96	1360	-	-	0.00	2.8E+06	2.8E+06
LCC-3634-15-R-FQ(1)/fq-D	26/08/2015	A3	10:40	7.80	25.0	144.96	1362	-	-	0.00	1.1E+06	1.1E+06
LCC-3636-15-R-FQ(1)/fq-D	26/08/2015	A5	10:44	7.90	25.0	124.96	1321	-	-	0.00	2.4E+06	2.4E+06
LCC-3637-15-R-FQ(1)/fq-D	26/08/2015	F1	10:47	8.00	25.0	124.96	1320	-	-	0.00	3.5E+06	3.5E+06
LCC-3638-15-R-FQ(1)/fq-D	26/08/2015	F2	10:50	8.04	25.0	124.96	1324	-	-	0.00	2.2E+05	2.2E+05
LCC-3639-15-R-FQ(1)/fq-D	26/08/2015	F3	10:53	8.00	25.0	124.96	1326	-	-	0.00	1.7E+05	1.7E+05
LCC-3640-15-R-FQ(1)/fq-D	26/08/2015	F4	10:56	8.10	25.0	124.96	1320	-	-	0.00	2.4E+05	2.4E+05
LCC-3641-15-R-FQ(1)/fq-D	26/08/2015	F6	10:59	8.11	25.0	124.96	1322	-	-	0.00	3.5E+05	3.5E+05
LCC-3642-15-R-FQ(1)/fq-D	26/08/2015	Efluente	11:04	8.05	25.0	114.96	1306	-	110.00	0.05	2.4E+05	2.4E+05
LCC-3739-15-R-FQ(1)/fq-D	02/09/2015	Desagüe crudo	9:00	7.88	25.0	124.96	1220	280.00	-	2.00	5.4E+07	5.4E+07
LCC-3740-15-R-FQ(1)/fq-D	02/09/2015	Efluente	9:05	8.17	25.0	104.97	1360	-	150.00	0.00	2.4E+05	2.4E+05
LCC-4119-15-R-FQ(1)/fq-D	25/09/2015	Desagüe crudo	9:40	7.79	25.0	124.96	1230	220.00	-	3.40	3.5E+07	3.5E+07
LCC-4120-15-R-FQ(1)/fq-D	25/09/2015	A1	9:43	8.16	25.0	124.96	1355	-	-	0.20	2.4E+06	2.4E+06
LCC-4121-15-R-FQ(1)/fq-D	25/09/2015	A2	9:46	8.10	25.0	114.96	1371	-	-	0.20	2.8E+06	2.8E+06
LCC-4122-15-R-FQ(1)/fq-D	25/09/2015	A3	9:49	7.96	25.0	114.96	1366	-	-	0.20	2.2E+06	2.2E+06
LCC-4123-15-R-FQ(1)/fq-D	25/09/2015	A5	9:53	7.86	25.0	104.97	1354	-	-	0.10	1.7E+06	1.7E+06
LCC-4124-15-R-FQ(1)/fq-D	25/09/2015	F1	9:56	8.33	25.0	104.97	1323	-	-	0.10	2.4E+05	2.4E+05
LCC-4125-15-R-FQ(1)/fq-D	25/09/2015	F2	9:59	8.37	25.0	104.97	1329	-	-	0.10	2.8E+05	2.8E+05
LCC-4126-15-R-FQ(1)/fq-D	25/09/2015	F3	10:04	8.34	25.0	114.96	1354	-	-	0.10	2.2E+05	2.2E+05
LCC-4127-15-R-FQ(1)/fq-D	25/09/2015	F4	10:07	8.42	25.0	114.96	1376	-	-	0.10	1.4E+05	1.4E+05
LCC-4128-15-R-FQ(1)/fq-D	25/09/2015	F6	10:10	8.29	25.0	104.97	1430	-	-	0.20	2.1E+05	2.1E+05
LCC-4129-15-R-FQ(1)/fq-D	25/09/2015	Efluente	10:13	8.27	25.0	114.96	1326	-	120.00	0.10	2.4E+05	2.4E+05
LCC-4372-15-R-FQ(1)/fq-D	16/10/2015	Desagüe crudo	9:35	7.86	25.0	184.94	1298	262.35	-	3.10	3.5E+07	3.5E+07
LCC-4373-15-R-FQ(1)/fq-D	16/10/2015	Efluente	10:05	7.96	25.0	194.94	1356	-	116.30	0.20	9.2E+06	9.2E+06
LCC-4482-15-R-FQ(1)/fq-D	21/10/2015	Desagüe crudo	10:48	7.80	25.0	144.96	1068	390.00	-	2.50	3.5E+07	3.5E+07
LCC-4483-15-R-FQ(1)/fq-D	21/10/2015	A1	10:52	7.81	25.0	144.96	1070	-	-	0.10	2.8E+06	2.8E+06
LCC-4484-15-R-FQ(1)/fq-D	21/10/2015	A2	10:58	7.86	25.0	144.96	1065	-	-	0.00	3.1E+06	3.1E+06
LCC-4485-15-R-FQ(1)/fq-D	21/10/2015	A3	11:03	7.83	25.0	144.96	1064	-	-	0.10	3.5E+06	3.5E+06
LCC-4486-15-R-FQ(1)/fq-D	21/10/2015	A5	11:06	7.92	25.0	144.96	1076	-	-	0.10	3.1E+06	3.1E+06
LCC-4487-15-R-FQ(1)/fq-D	21/10/2015	F1	11:09	7.96	25.0	144.96	1085	-	-	0.20	2.8E+05	2.8E+05
LCC-4488-15-R-FQ(1)/fq-D	21/10/2015	F2	11:13	7.99	25.0	144.96	1069	-	-	0.00	2.4E+05	2.4E+05
LCC-4489-15-R-FQ(1)/fq-D	21/10/2015	F3	11:17	8.01	25.0	164.95	1162	-	-	0.80	2.1E+05	2.1E+05
LCC-4490-15-R-FQ(1)/fq-D	21/10/2015	F4	11:22	8.06	25.0	134.96	1023	-	-	0.10	1.7E+05	1.7E+05
LCC-4491-15-R-FQ(1)/fq-D	21/10/2015	F6	11:28	8.01	25.0	134.96	1020	-	-	0.00	1.4E+05	1.4E+05
LCC-4492-15-R-FQ(1)/fq-D	21/10/2015	Efluente	11:31	8.10	25.0	64.96	769	-	141.00	0.80	2.4E+05	2.4E+05
LCC-4722-15-R-FQ(1)/fq-D	04/11/2015	Desagüe crudo	11:45	7.80	25.0	134.96	1214	316.80	-	3.60	5.3E+07	5.3E+07
LCC-4723-15-R-FQ(1)/fq-D	04/11/2015	Efluente	11:50	8.11	25.0	104.97	1180	-	141.10	0.20	2.2E+05	2.2E+05
LCC-4950-15-R-FQ(1)/fq-D	26/11/2015	Desagüe crudo	2:56	7.76	25.0	132.50	1232	320.00	-	2.80	3.4E+07	3.4E+07
LCC-4951-15-R-FQ(1)/fq-D	26/11/2015	A1	3:00	8.09	25.0	128.60	1215	-	-	0.20	2.5E+06	2.5E+06
LCC-4952-15-R-FQ(1)/fq-D	26/11/2015	A2	3:04	8.11	25.0	116.80	1220	-	-	0.20	2.7E+06	2.7E+06
LCC-4953-15-R-FQ(1)/fq-D	26/11/2015	A3	3:08	7.95	25.0	110.56	1232	-	-	0.10	2.3E+06	2.3E+06
LCC-4954-15-R-FQ(1)/fq-D	26/11/2015	A5	3:13	7.80	25.0	104.64	1215	-	-	0.10	1.8E+06	1.8E+06
LCC-4955-15-R-FQ(1)/fq-D	26/11/2015	F1	3:17	8.19	25.0	106.45	1222	-	-	0.10	2.3E+05	2.3E+05
LCC-4956-15-R-FQ(1)/fq-D	26/11/2015	F2	3:21	8.17	25.0	101.65	1210	-	-	0.10	2.7E+05	2.7E+05
LCC-4957-15-R-FQ(1)/fq-D	26/11/2015	F3	3:25	8.14	25.0	114.48	1216	-	-	0.10	2.4E+05	2.4E+05
LCC-4958-15-R-FQ(1)/fq-D	26/11/2015	F4	3:29	8.22	25.0	106.45	1213	-	-	0.10	1.5E+05	1.5E+05
LCC-4959-15-R-FQ(1)/fq-D	26/11/2015	F6	3:33	8.21	25.0	102.10	1210	-	-	0.20	2.3E+05	2.3E+05
LCC-4960-15-R-FQ(1)/fq-D	26/11/2015	Efluente	3:37	8.20	25.0	108.20	1216	-	110.00	0.10	2.4E+05	2.4E+05
LCC-5332-15-R-FQ(1)/fq-D	16/12/2015	Desagüe crudo	12:32	7.90	25.0	124.96	1205	260.00	-	5.00	5.4E+07	5.4E+07
LCC-5334-15-R-FQ(1)/fq-D	16/12/2015	Efluente	12:36	7.98	25.0	114.96	1335	-	110.00	0.10	2.0E+05	2.0E+05
LCC-5435-15-R-FQ(1)/fq-D	28/12/2015	Desagüe crudo	11:25	7.90	25.0	124.96	1234	240.00	-	2.00	2.4E+07	2.4E+07
LCC-5436-15-R-FQ(1)/fq-D	28/12/2015	A1	11:29	7.89	25.0	124.96	1326	-	-	0.00	2.8E+06	2.8E+06
LCC-5437-15-R-FQ(1)/fq-D	28/12/2015	A2	11:33	7.90	25.0	124.96	1355	-	-	0.10	3.1E+06	3.1E+06
LCC-5438-15-R-FQ(1)/fq-D	28/12/2015	A3	11:37	7.93	25.0	144.96	1363	-	-	0.10	1.1E+06	1.1E+06
LCC-5439-15-R-FQ(1)/fq-D	28/12/2015	A5	11:41	7.89	25.0	144.96	1345	-	-	0.10	3.1E+06	3.1E+06
LCC-5440-15-R-FQ(1)/fq-D	28/12/2015	F1	11:49	7.86	25.0	144.96	1316	-	-	0.20	2.8E+05	2.8E+05
LCC-5441-15-R-FQ(1)/fq-D	28/12/2015	F2	11:53	7.96	25.0	114.96	1322	-	-	0.10	2.4E+05	2.4E+05
LCC-5442-15-R-FQ(1)/fq-D	28/12/2015	F3	11:57	7.95	25.0	124.96	1347	-	-	0.10	2.1E+05	2.1E+05
LCC-5443-15-R-FQ(1)/fq-D	28/12/2015	F4	12:01	7.80	25.0	144.96	1370	-	-	0.20	1.7E+05	1.7E+05
LCC-5444-15-R-FQ(1)/fq-D	28/12/2015	Efluente	12:05	7.88	25.0	124.96	1330	-	100.00	0.10	2.4E+05	2.4E+05

## T.G. N° 3. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE SAN JOSÉ (2016 - I)

### RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE SAN JOSÉ

ENERO – DICIEMBRE 2016

CODIGO	FECHA	LUGAR	HORA	PH	T°C	CONDUCT us/cm	DBOST mg/L	DBO5S mg/L	S.S.T ml/L/hr	Col.Total NMP/100ml	Col.Termot NMP/100ml
LCC-0051-16-R-FQ(1)/fq-D	06/01/2016	Desagüe crudo	11:36	7.85	25.0	1211	250.00	-	3.50	3.5E+07	3.5E+07
LCC-0052-16-R-FQ(1)/fq-D	06/01/2016	Efluente	11:40	7.93	25.0	1330	-	120.00	0.10	1.7E+05	1.7E+05
LCC-0340-16-R-FQ(1)/fq-D	27/01/2016	Desagüe crudo	11:20	7.96	25.0	1239	250.00	-	2.00	2.4E+07	2.4E+07
LCC-0341-16-R-FQ(1)/fq-D	27/01/2016	A1	11:24	7.93	25.0	1328	-	-	0.10	2.6E+06	2.6E+06
LCC-0342-16-R-FQ(1)/fq-D	27/01/2016	A2	11:28	7.92	25.0	1365	-	-	0.10	2.8E+06	2.8E+06
LCC-0343-16-R-FQ(1)/fq-D	27/01/2016	A3	11:32	7.95	25.0	1369	-	-	0.10	1.2E+06	1.2E+06
LCC-0344-16-R-FQ(1)/fq-D	27/01/2016	A5	11:36	7.91	25.0	1347	-	-	0.20	3.5E+06	3.5E+06
LCC-0345-16-R-FQ(1)/fq-D	27/01/2016	F1	11:40	7.88	25.0	1326	-	-	0.10	1.7E+05	1.7E+05
LCC-0346-16-R-FQ(1)/fq-D	27/01/2016	F2	11:44	7.92	25.0	1330	-	-	0.10	2.2E+05	2.2E+05
LCC-0347-16-R-FQ(1)/fq-D	27/01/2016	F3	11:48	7.99	25.0	1349	-	-	0.10	1.7E+05	1.7E+05
LCC-0348-16-R-FQ(1)/fq-D	27/01/2016	F4	11:52	7.87	25.0	1375	-	-	1.10	1.7E+05	1.7E+05
LCC-0349-16-R-FQ(1)/fq-D	27/01/2016	F6	11:56	7.91	25.0	1339	-	-	0.10	2.1E+05	2.1E+05
LCC-0350-16-R-FQ(1)/fq-D	27/01/2016	Efluente	12:00	7.88	25.0	1335	-	90.00	0.10	2.4E+05	2.4E+05
LCC-0543-16-R-FQ(1)/fq-D	03/02/2016	Desagüe crudo	11:45	7.87	25.0	1330	280.00	-	2.00	3.4E+07	3.4E+07
LCC-0544-16-R-FQ(1)/fq-D	03/02/2016	Efluente	11:50	8.05	25.0	1256	-	110.00	0.10	1.7E+05	1.7E+05
LCC-0833-16-R-FQ(1)/fq-D	29/02/2016	Desagüe crudo	8:00	7.75	25.0	1338	260.00	-	1.80	3.5E+07	3.5E+07
LCC-0834-16-R-FQ(1)/fq-D	29/02/2016	A1	8:06	7.78	25.0	1305	-	-	0.80	2.8E+06	2.8E+06
LCC-0835-16-R-FQ(1)/fq-D	29/02/2016	A2	8:11	7.96	25.0	1280	-	-	0.10	2.1E+06	2.1E+06
LCC-0836-16-R-FQ(1)/fq-D	29/02/2016	A3	8:15	8.00	25.0	1275	-	-	0.10	1.4E+06	1.4E+06
LCC-0837-16-R-FQ(1)/fq-D	29/02/2016	A5	8:18	7.96	25.0	1289	-	-	0.10	1.7E+06	1.7E+06
LCC-0838-16-R-FQ(1)/fq-D	29/02/2016	F1	8:23	7.82	25.0	1246	-	-	0.10	1.3E+05	1.3E+05
LCC-0839-16-R-FQ(1)/fq-D	29/02/2016	F2	8:26	8.04	25.0	1252	-	-	0.10	2.4E+05	2.4E+05
LCC-0840-16-R-FQ(1)/fq-D	29/02/2016	F3	8:30	8.12	25.0	1215	-	-	0.10	3.5E+05	3.5E+05
LCC-0841-16-R-FQ(1)/fq-D	29/02/2016	F4	8:34	8.18	25.0	1250	-	-	0.10	2.7E+05	2.7E+05
LCC-0842-16-R-FQ(1)/fq-D	29/02/2016	F6	8:39	8.15	25.0	1241	-	-	0.10	4.2E+05	4.2E+05
LCC-0843-16-R-FQ(1)/fq-D	29/02/2016	Efluente	8:44	8.14	25.0	1210	-	100.00	0.00	2.1E+05	2.1E+05
LCC-1196-16-R-FQ(1)/fq-D	31/03/2016	Desagüe crudo	11:30	7.76	25.0	1235	280.00	-	1.60	3.5E+07	3.5E+07
LCC-1197-16-R-FQ(1)/fq-D	31/03/2016	A1	11:35	7.76	25.0	1215	-	-	0.70	2.8E+06	2.8E+06
LCC-1198-16-R-FQ(1)/fq-D	31/03/2016	A2	11:40	7.86	25.0	1210	-	-	0.10	2.1E+06	2.1E+06
LCC-1199-16-R-FQ(1)/fq-D	31/03/2016	A3	11:45	7.90	25.0	1208	-	-	0.10	1.4E+06	1.4E+06
LCC-1200-16-R-FQ(1)/fq-D	31/03/2016	A5	11:50	7.95	25.0	1218	-	-	0.10	1.7E+06	1.7E+06
LCC-1201-16-R-FQ(1)/fq-D	31/03/2016	F1	11:55	7.86	25.0	1219	-	-	0.10	1.3E+05	1.3E+05
LCC-1202-16-R-FQ(1)/fq-D	31/03/2016	F2	12:00	7.98	25.0	1220	-	-	0.10	2.4E+05	2.4E+05
LCC-1203-16-R-FQ(1)/fq-D	31/03/2016	F3	12:05	8.00	25.0	1224	-	-	0.00	3.5E+05	3.5E+05
LCC-1204-16-R-FQ(1)/fq-D	31/03/2016	F4	12:10	8.10	25.0	1217	-	-	0.10	2.7E+05	2.7E+05
LCC-1205-16-R-FQ(1)/fq-D	31/03/2016	F6	12:15	8.15	25.0	1214	-	-	0.00	4.2E+05	4.2E+05
LCC-1206-16-R-FQ(1)/fq-D	31/03/2016	Efluente	12:20	8.12	25.0	1206	-	90.00	0.10	2.1E+05	2.1E+05
LCC-1801-16-R-FQ(1)/fq-D	13/04/2016	Desagüe crudo	12:20	7.82	25.0	1342	280.00	-	2.80	6.4E+07	6.4E+07
LCC-1802-16-R-FQ(1)/fq-D	13/04/2016	Efluente	12:25	7.92	25.0	1295	-	140.00	0.50	3.8E+05	3.8E+05
LCC-1803-16-R-FQ(1)/fq-D	13/04/2016	Desagüe crudo	2:45	7.86	25.0	1208	440.00	-	4.00	3.5E+07	3.5E+07
LCC-1804-16-R-FQ(1)/fq-D	13/04/2016	A1	2:49	7.88	25.0	1280	-	-	0.50	2.6E+06	2.6E+06
LCC-1805-16-R-FQ(1)/fq-D	13/04/2016	A2	2:53	7.95	25.0	1152	-	-	0.50	2.8E+06	2.8E+06
LCC-1806-16-R-FQ(1)/fq-D	13/04/2016	A3	2:57	7.96	25.0	1147	-	-	1.00	1.2E+06	1.2E+06
LCC-1807-16-R-FQ(1)/fq-D	13/04/2016	A5	3:01	7.88	25.0	1158	-	-	1.00	3.5E+06	3.5E+06
LCC-1808-16-R-FQ(1)/fq-D	13/04/2016	F1	3:05	7.98	25.0	1214	-	-	0.00	1.7E+05	1.7E+05
LCC-1809-16-R-FQ(1)/fq-D	13/04/2016	F2	3:09	7.95	25.0	1162	-	-	0.50	2.2E+05	2.2E+05
LCC-1810-16-R-FQ(1)/fq-D	13/04/2016	F3	3:13	7.96	25.0	1287	-	-	1.00	1.7E+05	1.7E+05
LCC-1811-16-R-FQ(1)/fq-D	13/04/2016	F4	3:17	7.88	25.0	1154	-	-	1.00	1.7E+05	1.7E+05
LCC-1812-16-R-FQ(1)/fq-D	13/04/2016	F6	3:21	7.95	25.0	1232	-	-	0.50	2.1E+05	2.1E+05
LCC-1813-16-R-FQ(1)/fq-D	13/04/2016	Efluente	3:25	7.93	25.0	1160	-	280.00	0.50	2.4E+05	2.4E+05
LCC-2252-16-R-FQ(1)/fq-D	02/06/2016	Desagüe crudo	11:15	7.88	25.0	1210	420.00	-	3.00	3.5E+07	3.5E+07
LCC-2253-16-R-FQ(1)/fq-D	02/06/2016	Efluente	11:20	7.98	25.0	1162	-	260.00	0.10	2.4E+05	2.4E+05
LCC-2630-16-R-FQ(1)/fq-D	30/06/2016	Desagüe crudo	9:38	7.85	25.0	1209	400.00	-	3.50	3.5E+07	3.5E+07
LCC-2631-16-R-FQ(1)/fq-D	30/06/2016	A1	9:42	7.89	25.0	1285	-	-	0.20	2.6E+06	2.6E+06
LCC-2632-16-R-FQ(1)/fq-D	30/06/2016	A2	9:46	7.94	25.0	1155	-	-	0.20	2.8E+06	2.8E+06
LCC-2633-16-R-FQ(1)/fq-D	30/06/2016	A3	9:50	7.95	25.0	1148	-	-	0.10	1.2E+06	1.2E+06
LCC-2334-16-R-FQ(1)/fq-D	30/06/2016	A5	9:54	7.89	25.0	1153	-	-	0.20	3.5E+06	3.5E+06
LCC-2335-16-R-FQ(1)/fq-D	30/06/2016	F1	9:28	7.97	25.0	1220	-	-	0.10	1.7E+05	1.7E+05
LCC-2336-16-R-FQ(1)/fq-D	30/06/2016	F2	10:02	7.94	25.0	1165	-	-	0.50	2.2E+05	2.2E+05
LCC-2638-16-R-FQ(1)/fq-D	30/06/2016	F3	10:04	7.98	25.0	1280	-	-	0.50	1.7E+05	1.7E+05
LCC-2639-16-R-FQ(1)/fq-D	30/06/2016	F4	10:08	7.87	25.0	1150	-	-	0.20	1.7E+05	1.7E+05
LCC-2640-16-R-FQ(1)/fq-D	30/06/2016	F6	10:12	7.96	25.0	1235	-	-	0.20	2.1E+05	2.1E+05
LCC-2641-16-R-FQ(1)/fq-D	30/06/2016	Efluente	10:16	7.94	25.0	1164	-	270.00	0.20	2.4E+05	2.4E+05

Fuente: EPSEL S.A., 2017

## T.G. N° 4. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE SAN JOSÉ (2016 - II)

CODIGO	FECHA	LUGAR	HORA	PH	T°C	CONDUCT us/cm	DBOST mg/L	DBO5S mg/L	S.S.T ml/L/hr	Col.Total NMP/100ml	Col.TerMot NMP/100ml
LCC-2754-16-R-FQ(1)/fq-D	06/07/2016	Desagüe crudo	12:30	7.38	25.0	1345	380.00	-	2.00	3.5E+07	3.5E+07
LCC-2755-16-R-FQ(1)/fq-D	06/07/2016	Efluente	12:34	8.02	25.0	1362	-	230.00	0.20	1.7E+05	1.7E+05
LCC-2977-16-R-FQ(1)/fq-D	25/07/2016	Desagüe crudo	10:00	7.42	25.0	1352	400.00	-	2.50	2.4E+07	2.4E+07
LCC-2978-16-R-FQ(1)/fq-D	25/07/2016	A1	10:04	7.40	25.0	1321	-	-	0.01	2.6E+06	2.6E+06
LCC-2979-16-R-FQ(1)/fq-D	25/07/2016	A2	10:08	7.51	25.0	1284	-	-	0.10	2.8E+06	2.8E+06
LCC-2980-16-R-FQ(1)/fq-D	25/07/2016	A3	10:12	7.48	25.0	1310	-	-	0.10	1.2E+06	1.2E+06
LCC-2981-16-R-FQ(1)/fq-D	25/07/2016	A5	10:16	7.53	25.0	1345	-	-	0.20	3.5E+06	3.5E+06
LCC-2982-16-R-FQ(1)/fq-D	25/07/2016	F1	10:20	7.60	25.0	1354	-	-	0.10	1.7E+05	1.7E+05
LCC-2983-16-R-FQ(1)/fq-D	25/07/2016	F2	10:24	7.64	25.0	1325	-	-	0.30	2.2E+05	2.2E+05
LCC-2984-16-R-FQ(1)/fq-D	25/07/2016	F3	10:28	7.88	25.0	1361	-	-	0.10	1.7E+05	1.7E+05
LCC-2985-16-R-FQ(1)/fq-D	25/07/2016	F4	10:32	7.72	25.0	1365	-	-	0.00	1.7E+05	1.7E+05
LCC-2986-16-R-FQ(1)/fq-D	25/07/2016	F6	10:36	7.95	25.0	1360	-	-	0.10	2.1E+05	2.1E+05
LCC-2987-16-R-FQ(1)/fq-D	25/07/2016	Efluente	10:40	8.05	25.0	1372	-	210.00	0.00	2.4E+05	2.4E+05
LCC-3150-16-R-FQ(1)/fq-D	03/08/2016	Desagüe crudo	12:15	7.25	25.0	1348	410.00	-	2.80	3.5E+07	3.5E+07
LCC-3151-16-R-FQ(1)/fq-D	03/08/2016	Efluente	12:20	8.04	25.0	1358	-	270.00	0.20	2.4E+05	2.4E+05
LCC-3451-16-R-FQ(1)/fq-D	25/08/2016	Desagüe crudo	9:40	7.30	25.0	1340	400.00	-	2.90	3.5E+07	3.5E+07
LCC-3452-16-R-FQ(1)/fq-D	25/08/2016	A1	9:44	7.28	25.0	1347	-	-	0.50	2.6E+06	2.6E+06
LCC-3453-16-R-FQ(1)/fq-D	25/08/2016	A2	9:48	7.90	25.0	1349	-	-	0.50	2.8E+06	2.8E+06
LCC-3454-16-R-FQ(1)/fq-D	25/08/2016	A3	9:52	7.54	25.0	1352	-	-	0.50	1.2E+06	1.2E+06
LCC-3455-16-R-FQ(1)/fq-D	25/08/2016	A5	9:56	7.64	25.0	1350	-	-	0.20	3.5E+06	3.5E+06
LCC-3456-16-R-FQ(1)/fq-D	25/08/2016	F1	10:00	7.85	25.0	1357	-	-	0.10	1.7E+05	1.7E+05
LCC-3457-16-R-FQ(1)/fq-D	25/08/2016	F2	10:04	7.90	25.0	1355	-	-	0.10	2.2E+05	2.2E+05
LCC-3458-16-R-FQ(1)/fq-D	25/08/2016	F3	10:08	7.97	25.0	1359	-	-	0.10	1.7E+05	1.7E+05
LCC-3459-16-R-FQ(1)/fq-D	25/08/2016	F4	10:12	8.00	25.0	1360	-	-	0.10	1.7E+05	1.7E+05
LCC-3460-16-R-FQ(1)/fq-D	25/08/2016	F6	10:16	8.00	25.0	1361	-	-	0.10	2.1E+05	2.1E+05
LCC-3461-16-R-FQ(1)/fq-D	25/08/2016	Efluente	10:20	8.04	25.0	1164	-	250.00	0.00	2.4E+05	2.4E+05
LCC-3790-16-R-FQ(1)/fq-D	21/09/2016	Desagüe crudo	11:00	7.33	25.0	1378	320.00	-	2.00	3.5E+07	3.5E+07
LCC-3791-16-R-FQ(1)/fq-D	21/09/2016	A1	11:03	8.05	25.0	1284	-	-	0.60	2.6E+06	2.6E+06
LCC-3792-16-R-FQ(1)/fq-D	21/09/2016	A2	11:06	8.10	25.0	1285	-	-	0.40	2.8E+06	2.8E+06
LCC-3793-16-R-FQ(1)/fq-D	21/09/2016	A3	11:09	8.15	25.0	1284	-	-	0.20	1.2E+06	1.2E+06
LCC-3794-16-R-FQ(1)/fq-D	21/09/2016	A5	11:12	8.30	25.0	1285	-	-	0.20	3.5E+06	3.5E+06
LCC-3795-16-R-FQ(1)/fq-D	21/09/2016	F1	11:15	7.89	25.0	1279	-	-	0.10	1.7E+05	1.7E+05
LCC-3796-16-R-FQ(1)/fq-D	21/09/2016	F2	11:18	7.78	25.0	1341	-	-	0.10	2.2E+05	2.2E+05
LCC-3797-16-R-FQ(1)/fq-D	21/09/2016	F3	11:21	7.62	25.0	1360	-	-	0.10	1.7E+05	1.7E+05
LCC-3798-16-R-FQ(1)/fq-D	21/09/2016	F4	11:24	7.64	25.0	1355	-	-	0.10	1.7E+05	1.7E+05
LCC-3799-16-R-FQ(1)/fq-D	21/09/2016	F6	11:27	7.59	25.0	1361	-	-	0.10	2.1E+05	2.1E+05
LCC-3800-16-R-FQ(1)/fq-D	21/09/2016	Efluente	11:30	7.98	25.0	1289	-	260.00	0.00	2.4E+05	2.4E+05
LCC-4027-16-R-FQ(1)/fq	05/10/2016	Desagüe crudo	10:55	7.21	25.0	1329	280.00	-	1.50	3.5E+07	3.5E+07
LCC-4028-16-R-FQ(1)/fq	05/10/2016	Efluente	10:59	7.99	25.0	1331	-	170.00	0.20	2.4E+05	2.4E+05
LCC-4196-16-R-FQ(1)/fq	19/10/2016	Desagüe crudo	11:20	7.25	25.0	1410	420.00	-	1.80	3.5E+07	3.5E+07
LCC-4197-16-R-FQ(1)/fq	19/10/2016	A1	11:24	7.78	25.0	1373	-	-	1.20	2.6E+06	2.6E+06
LCC-4198-16-R-FQ(1)/fq	19/10/2016	A2	11:28	7.75	25.0	1386	-	-	1.00	2.8E+06	2.8E+06
LCC-4199-16-R-FQ(1)/fq	19/10/2016	A3	11:32	7.70	25.0	1405	-	-	0.20	1.2E+06	1.2E+06
LCC-4200-16-R-FQ(1)/fq	19/10/2016	A5	11:36	7.60	25.0	1392	-	-	0.40	3.5E+06	3.5E+06
LCC-4201-16-R-FQ(1)/fq	19/10/2016	F1	11:40	8.00	25.0	1346	-	-	0.20	1.7E+05	1.7E+05
LCC-4202-16-R-FQ(1)/fq	19/10/2016	F2	11:44	8.06	25.0	1333	-	-	0.20	2.2E+05	2.2E+05
LCC-4203-16-R-FQ(1)/fq	19/10/2016	F3	11:48	8.20	25.0	1374	-	-	0.10	1.7E+05	1.7E+05
LCC-4204-16-R-FQ(1)/fq	19/10/2016	F4	11:52	8.22	25.0	1365	-	-	0.10	1.7E+05	1.7E+05
LCC-4205-16-R-FQ(1)/fq	19/10/2016	F6	11:56	7.91	25.0	1359	-	-	0.10	2.1E+05	2.1E+05
LCC-4206-16-R-FQ(1)/fq	19/10/2016	Efluente	12:00	7.99	25.0	1359	-	270.00	0.00	2.4E+05	2.4E+05
LCC-4505-16-R-FQ(1)/fq	09/11/2016	Desagüe crudo	10:40	7.22	25.0	1420	260.00	-	2.80	2.6E+07	2.6E+07
LCC-4506-16-R-FQ(1)/fq	09/11/2016	Efluente	10:45	8.02	25.0	1329	-	90.00	0.20	4.3E+05	4.3E+05
LCC-4708-16-R-FQ(1)/fq	23/11/2013	Desagüe crudo	11:50	7.28	25.0	1441	420.00	-	2.00	3.5E+07	3.5E+07
LCC-4709-16-R-FQ(1)/fq	23/11/2013	A1	11:54	7.80	25.0	1411	-	-	1.00	2.6E+06	2.6E+06
LCC-4710-16-R-FQ(1)/fq	23/11/2013	A2	11:58	7.66	25.0	1436	-	-	0.80	2.8E+06	2.8E+06
LCC-4711-16-R-FQ(1)/fq	23/11/2013	A3	12:02	7.69	25.0	1433	-	-	0.50	1.2E+06	1.2E+06
LCC-4712-16-R-FQ(1)/fq	23/11/2013	A5	12:04	7.57	25.0	1450	-	-	0.50	3.5E+06	3.5E+06
LCC-4713-16-R-FQ(1)/fq	23/11/2013	F1	12:08	7.75	25.0	1342	-	-	0.20	1.7E+05	1.7E+05
LCC-4714-16-R-FQ(1)/fq	23/11/2013	F2	12:12	7.97	25.0	1350	-	-	0.10	2.2E+05	2.2E+05
LCC-4715-16-R-FQ(1)/fq	23/11/2013	F3	12:16	8.37	25.0	1343	-	-	0.10	1.7E+05	1.7E+05
LCC-4716-16-R-FQ(1)/fq	23/11/2013	F4	12:20	8.19	25.0	1391	-	-	0.10	1.7E+05	1.7E+05
LCC-4717-16-R-FQ(1)/fq	23/11/2013	F6	12:24	7.99	25.0	1339	-	-	0.10	2.1E+05	2.1E+05
LCC-4718-16-R-FQ(1)/fq	23/11/2013	Efluente	12:28	8.06	25.0	1342	-	280.00	0.00	2.4E+05	2.4E+05
LCC-4953-16-R-FQ(1)/fq	07/12/2016	Desagüe crudo	11:05	7.17	25.0	1546	420.00	-	1.80	3.5E+07	3.5E+07
LCC-4954-16-R-FQ(1)/fq	07/12/2016	Efluente	11:09	7.92	25.0	1441	-	210.00	0.10	1.7E+05	1.7E+05
LCC-5262-16-P-FQ(1)/fq	31/12/2016	Desagüe crudo	10:10	7.44	25.0	1350	380.00	-	2.00	2.4E+07	2.4E+07
LCC-5263-16-P-FQ(1)/fq	31/12/2016	A1	10:14	7.45	25.0	1320	-	-	0.10	2.6E+06	2.6E+06
LCC-5264-16-P-FQ(1)/fq	31/12/2016	A2	10:18	7.50	25.0	1287	-	-	0.10	2.8E+06	2.8E+06
LCC-5265-16-P-FQ(1)/fq	31/12/2016	A3	10:22	7.49	25.0	1311	-	-	0.10	1.2E+06	1.2E+06
LCC-5266-16-P-FQ(1)/fq	31/12/2016	A5	10:26	7.52	25.0	1344	-	-	0.10	3.5E+06	3.5E+06
LCC-5267-16-P-FQ(1)/fq	31/12/2016	F1	10:30	7.58	25.0	1355	-	-	0.00	1.7E+05	1.7E+05
LCC-5268-16-P-FQ(1)/fq	31/12/2016	F2	10:34	7.62	25.0	1328	-	-	0.10	2.2E+05	2.2E+05
LCC-5269-16-P-FQ(1)/fq	31/12/2016	F3	10:38	7.80	25.0	1360	-	-	0.10	1.7E+05	1.7E+05
LCC-2570-16-P-FQ(1)/fq	31/12/2016	F4	10:42	7.74	25.0	1362	-	-	0.00	1.7E+05	1.7E+05
LCC-2571-16-P-FQ(1)/fq	31/12/2016	F6	10:46	7.94	25.0	1366	-	-	0.10	2.1E+05	2.1E+05
LCC-2572-16-P-FQ(1)/fq	31/12/2016	Efluente	10:50	8.00	25.0	1370	-	200.00	0.00	2.4E+05	2.4E+05



Fuente: EPSEL S.A., 2017

# T.G. N° 5. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE SAN JOSÉ (2017 - I)

## RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE SAN JOSÉ ENERO – AGOSTO 2017

FECHA	CÓDIGO	LUGAR	HORA	PH	T°C	CONDUCT us/cm	DBO5T mg/L	DBO5S mg/L	S.S.T ml/L/hr	Col.Total NMP/100ml	Col.Termot NMP/100ml
03/01/2017	-0052-17-R-FQ	Desagüe crudo	10:32	7.31	26.0	1342	321.00	-	2.00	2.8E+07	2.8E+07
03/01/2017	-0053-17-R-FQ	Efluente	10:36	7.99	26.0	1288	-	260.00	0.00	3.5E+05	3.5E+05
25/01/2017	-0281-17-P-FQ	Desagüe crudo	11:10	7.32	26.0	1421	320.00	-	2.00	3.5E+07	3.5E+07
25/01/2017	-0282-17-P-FQ	A1	11:14	8.10	26.0	1298	-	-	0.50	2.4E+06	2.4E+06
25/01/2017	-0283-17-P-FQ	A2	11:18	7.00	26.0	1235	-	-	0.60	3.5E+06	3.5E+06
25/01/2017	-0284-17-P-FQ	A3	11:22	8.10	26.0	1243	-	-	0.10	5.4E+06	5.4E+06
25/01/2017	-0285-17-P-FQ	A5	11:26	8.25	26.0	1287	-	-	0.20	9.2E+06	9.2E+06
25/01/2017	-0286-17-P-FQ	F1	11:30	7.76	26.0	1267	-	-	0.20	5.4E+05	5.4E+05
25/01/2017	-0287-17-P-FQ	F2	11:34	7.80	26.0	1342	-	-	0.10	3.5E+05	3.5E+05
25/01/2017	-0288-17-P-FQ	F3	11:38	7.65	26.0	1328	-	-	0.10	9.2E+05	9.2E+05
25/01/2017	-0289-17-P-FQ	F4	11:42	7.84	26.0	1355	-	-	0.10	5.4E+05	5.4E+05
25/01/2017	-0290-17-P-FQ	F6	11:46	7.60	26.0	1327	-	-	0.10	5.4E+05	5.4E+05
25/01/2017	-0291-17-P-FQ	Efluente	11:50	7.90	26.0	1268	-	261.00	0.00	9.2E+05	9.2E+05
08/03/2017	-0766-17-R-FQ	Desagüe crudo	11:15	7.36	26.0	1344	360.00	-	1.80	2.8E+07	2.8E+07
08/03/2017	-0767-17-R-FQ	Efluente	11:20	8.05	26.0	1289	-	240.00	0.10	3.5E+05	3.5E+05
15/03/2017	-0778-17-P-FQ	Desagüe crudo	11:00	7.37	26.0	1418	340.00	-	2.00	3.5E+07	3.5E+07
15/03/2017	-0779-17-P-FQ	A1	11:04	8.00	26.0	1299	-	-	0.50	2.4E+06	2.4E+06
15/03/2017	-0780-17-P-FQ	A2	11:08	7.58	26.0	1236	-	-	0.60	3.5E+06	3.5E+06
15/03/2017	-0781-17-P-FQ	A3	11:16	8.07	26.0	1240	-	-	0.10	5.4E+06	5.4E+06
15/03/2017	-0782-17-P-FQ	A5	11:20	8.15	26.0	1280	-	-	0.20	9.2E+06	9.2E+06
15/03/2017	-0783-17-P-FQ	F1	11:24	7.38	26.0	1266	-	-	0.20	5.4E+05	5.4E+05
15/03/2017	-0784-17-P-FQ	F2	11:28	7.85	26.0	1344	-	-	0.10	3.5E+05	3.5E+05
15/03/2017	-0785-17-P-FQ	F3	11:32	7.70	26.0	1325	-	-	0.10	9.2E+05	9.2E+05
15/03/2017	-0786-17-P-FQ	F4	11:36	7.84	26.0	1356	-	-	0.10	5.4E+05	5.4E+05
15/03/2017	-0787-17-P-FQ	F6	11:40	7.66	26.0	1330	-	-	0.10	5.4E+05	5.4E+05
15/03/2017	-0788-17-P-FQ	Efluente	11:44	7.98	26.0	1272	-	230.00	0.00	9.2E+05	9.2E+05
21/04/2017	-1129-17-R-FQ	Desagüe crudo	3:10	7.40	26.4	1382	340.00	-	1.80	2.8E+07	2.8E+07
21/04/2017	-1130-17-R-FQ	Efluente	3:15	8.05	26.2	1240	-	240.00	0.10	3.5E+05	3.5E+05
06/04/2017	-1233-17-P-FQ	Desagüe crudo	11:30	7.30	26.0	1450	330.00	-	1.70	3.5E+07	3.5E+07
06/04/2017	-1234-17-P-FQ	A1	11:33	7.54	26.0	1410	-	-	0.50	2.4E+06	2.4E+06
06/04/2017	-1235-17-P-FQ	A2	11:36	7.51	26.0	1415	-	-	0.60	3.5E+06	3.5E+06
06/04/2017	-1236-17-P-FQ	A3	11:39	7.77	26.0	1420	-	-	0.10	5.4E+06	5.4E+06
06/04/2017	-1237-17-P-FQ	A5	11:42	7.80	26.0	1411	-	-	0.20	9.2E+06	9.2E+06
06/04/2017	-1238-17-P-FQ	F1	11:49	7.79	26.0	1400	-	-	0.20	5.4E+05	5.4E+05
06/04/2017	-1239-17-P-FQ	F2	11:48	7.88	26.0	1395	-	-	0.10	3.5E+05	3.5E+05
06/04/2017	-1240-17-P-FQ	F3	11:51	7.88	26.0	1380	-	-	0.10	9.2E+05	9.2E+05
06/04/2017	-1241-17-P-FQ	F4	11:54	7.75	26.0	1390	-	-	0.10	5.4E+05	5.4E+05
06/04/2017	-1242-17-P-FQ	F6	11:57	7.80	26.0	1360	-	-	0.10	5.4E+05	5.4E+05
06/04/2017	-1243-17-P-FQ	Efluente	12:00	8.00	26.0	1312	-	230.00	0.00	9.2E+05	9.2E+05
16/05/2017	-1434-17-P-FQ	Desagüe crudo	10:55	7.42	25.0	1324	300.00	-	1.80	2.8E+07	2.8E+07
16/05/2017	-1435-17-P-FQ	Efluente	11:05	7.98	25.0	1304	-	240.00	0.10	3.5E+05	3.5E+05
30/05/2017	-1475-17-P-FQ	Desagüe crudo	11:00	7.39	25.0	1420	320.00	-	2.00	3.5E+07	3.5E+07
30/05/2017	-1476-17-P-FQ	A1	11:04	7.88	25.0	1304	-	-	0.80	2.4E+06	2.4E+06
30/05/2017	-1477-17-P-FQ	A2	11:08	7.85	25.0	1240	-	-	0.70	3.5E+06	3.5E+06
30/05/2017	-1478-17-P-FQ	A3	11:16	7.99	25.0	1248	-	-	0.20	5.4E+06	5.4E+06
30/05/2017	-1479-17-P-FQ	A5	11:20	7.97	25.0	1278	-	-	0.10	9.2E+06	9.2E+06
30/05/2017	-1480-17-P-FQ	F1	11:24	7.48	25.0	1269	-	-	0.10	5.4E+05	5.4E+05
30/05/2017	-1481-17-P-FQ	F2	11:28	7.78	25.0	1348	-	-	0.10	3.5E+05	3.5E+05
30/05/2017	-1482-17-P-FQ	F3	11:32	7.88	25.0	1320	-	-	0.10	9.2E+05	9.2E+05
30/05/2017	-1483-17-P-FQ	F4	11:36	7.81	25.0	1361	-	-	0.10	5.4E+05	5.4E+05
30/05/2017	-1484-17-P-FQ	F6	11:40	7.84	25.0	1335	-	-	0.10	5.4E+05	5.4E+05
30/05/2017	-1485-17-P-FQ	Efluente	11:44	7.90	25.0	1280	-	220.00	0.00	9.2E+05	9.2E+05



Fuente: EPSEL S.A., 2017

**T.G. N° 6. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE  
LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE SAN JOSÉ (2017 - II)**

FECHA	CÓDIGO	LUGAR	HORA	PH	T°C	CONDUCT us/cm	DBO5T mg/L	DBO5S mg/L	S.S.T ml/Lhr	Col.Total NMP/100ml	Col.TerMot NMP/100ml
23/06/2017	-2066-17-R-FQ	Desagüe crudo	10:50	7.67	24.3	1378	345.00	-	1.50	2.8E+07	2.8E+07
23/06/2017	-2067-17-R-FQ	Efluente	11:10	8.02	25.2	1252	-	236.00	0.30	3.5E+05	3.5E+05
24/06/2017	-2133-17-P-FQ	Desagüe crudo	10:40	7.35	24.7	1437	324.00	-	1.80	4.3E+07	4.3E+07
24/06/2017	-2134-17-P-FQ	A1	10:44	7.45	23.0	1406	-	-	0.60	2.2E+06	2.2E+06
24/06/2017	-2135-17-P-FQ	A2	10:48	7.63	24.5	1426	-	-	0.70	3.5E+06	3.5E+06
24/06/2017	-2136-17-P-FQ	A3	10:52	7.87	22.0	1415	-	-	0.20	5.4E+06	5.4E+06
24/06/2017	-2137-17-P-FQ	A5	10:56	7.92	23.4	1413	-	-	0.10	9.2E+06	9.2E+06
24/06/2017	-2138-17-P-FQ	F1	11:00	7.68	25.0	1399	-	-	0.10	5.4E+05	5.4E+05
24/06/2017	-2139-17-P-FQ	F2	11:04	7.94	25.0	1387	-	-	0.20	2.8E+05	2.8E+05
24/06/2017	-2140-17-P-FQ	F3	11:08	7.89	24.3	1375	-	-	0.10	4.3E+05	4.3E+05
24/06/2017	-2141-17-P-FQ	F4	11:12	7.62	24.7	1382	-	-	0.30	3.5E+05	3.5E+05
24/06/2017	-2142-17-P-FQ	F6	11:16	7.84	25.0	1367	-	-	0.10	2.2E+05	2.2E+05
24/06/2017	-2143-17-P-FQ	Efluente	11:20	8.03	26.0	1315	-	232.00	0.10	5.4E+05	5.4E+05
05/07/2017	-2247-17-R-FQ	Desagüe crudo	11:35	7.35	26.0	1350	340.00	-	1.60	2.8E+07	2.8E+07
05/07/2017	-2248-17-R-FQ	Efluente	11:39	7.85	26.0	1218	-	220.00	0.10	3.5E+05	3.5E+05
10/07/2017	-2330-17-P-FQ	Desagüe crudo	12:00	7.38	26.0	1362	330.00	-	1.80	3.5E+07	3.5E+07
10/07/2017	-2331-17-P-FQ	A1	12:04	7.48	26.0	1310	-	-	0.50	2.4E+06	2.4E+06
10/07/2017	-2332-17-P-FQ	A2	12:08	7.55	26.0	1280	-	-	0.60	3.5E+06	3.5E+06
10/07/2017	-2333-17-P-FQ	A3	12:12	7.56	26.0	1265	-	-	0.10	5.4E+06	5.4E+06
10/07/2017	-2334-17-P-FQ	A5	12:16	7.55	26.0	1260	-	-	0.20	9.2E+06	9.2E+06
10/07/2017	-2335-17-P-FQ	F1	12:20	7.78	26.0	1266	-	-	0.20	5.4E+05	5.4E+05
10/07/2017	-2336-17-P-FQ	F2	12:24	7.80	26.0	1245	-	-	0.10	3.5E+05	3.5E+05
10/07/2017	-2337-17-P-FQ	F3	12:28	7.81	26.0	1240	-	-	0.10	9.2E+05	9.2E+05
10/07/2017	-2338-17-P-FQ	F4	12:32	7.82	26.0	1240	-	-	0.10	5.4E+05	5.4E+05
10/07/2017	-2339-17-P-FQ	F6	12:46	7.80	26.0	1225	-	-	0.10	5.4E+05	5.4E+05
10/07/2017	-2340-17-P-FQ	Efluente	12:50	7.88	26.0	1210	-	210.00	0.00	9.2E+05	9.2E+05
02/08/2017	-2695-17-P-FQ	Desagüe crudo	9:25	7.38	25.0	1354	240.00	-	1.50	3.5E+07	3.5E+07
02/08/2017	-2696-17-P-FQ	Efluente	9:30	7.83	25.0	1204	-	100.00	0.40	2.4E+05	2.4E+05
22/08/2017	-3023-17-P-FQ	Desagüe crudo	9:43	7.27	25.0	1294	220.00	-	1.30	3.5E+07	3.5E+07
22/08/2017	-3024-17-P-FQ	A1	9:49	7.47	25.0	1300	-	-	1.30	2.6E+06	2.6E+06
22/08/2017	-3025-17-P-FQ	A2	9:51	7.37	25.0	1314	-	-	0.50	2.8E+06	2.8E+06
22/08/2017	-3026-17-P-FQ	A3	9:53	7.39	25.0	1307	-	-	0.50	1.2E+06	1.2E+06
22/08/2017	-3027-17-P-FQ	A5	9:55	7.31	25.0	1317	-	-	0.50	3.5E+06	3.5E+06
22/08/2017	-3028-17-P-FQ	F1	9:58	7.62	25.0	1268	-	-	0.20	1.7E+05	1.7E+05
22/08/2017	-3029-17-P-FQ	F2	10:00	7.64	25.0	1277	-	-	0.20	2.2E+05	2.2E+05
22/08/2017	-3030-17-P-FQ	F3	10:02	7.81	25.0	1287	-	-	0.20	1.7E+05	1.7E+05
22/08/2017	-3031-17-P-FQ	F4	10:04	7.88	25.0	1286	-	-	0.00	1.7E+05	1.7E+05
22/08/2017	-3032-17-P-FQ	F6	10:06	7.69	25.0	1266	-	-	0.20	2.1E+05	2.1E+05
22/08/2017	-3033-17-P-FQ	Efluente	10:08	7.67	25.0	1272	-	170.00	0.50	2.4E+05	2.4E+05



**Fuente: EPSEL S.A., 2017**

**T.G. N° 7. Aforo entradas – Lagunas Anaeróbicas**

<b>AFORO LAGUNAS ANAERÓBICAS</b>					
Dimensiones del canal:		$y=$	0.18	m	
		$\alpha=$	0.50	m	$R_H=$ 0.105
		$L=$	18.10	m	
	TIEMPO (s)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)	CAUDAL PROMEDIO	
<b>M1</b>	25.98	0.697	0.063	<b>0.061 m<sup>3</sup>/s</b>	
<b>M2</b>	23.22	0.780	0.070		
<b>M3</b>	27.19	0.666	0.060		
<b>M4</b>	29.89	0.606	0.054	<b>VELOCIDAD PROMEDIO</b>	
<b>M5</b>	28.09	0.644	0.058	<b>0.676 m/s</b>	

Fuente: Elaboración propia

**T.G. N° 8. Aforo entradas – Lagunas Facultativas**

<b>AFORO LAGUNA FACULTATIVA 1</b>					
Dimensiones del canal:		$y=$	0.16	m	
		$\alpha=$	0.80	m	
		$L=$	17.00	m	
	TIEMPO (s)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)	CAUDAL PROMEDIO	
<b>M1</b>	29.08	0.585	0.075	<b>0.073 m<sup>3</sup>/s</b>	
<b>M2</b>	28.98	0.587	0.075		
<b>M3</b>	29.97	0.567	0.073		
<b>M4</b>	31.84	0.534	0.068	<b>VELOCIDAD PROMEDIO</b>	
<b>M5</b>	29.18	0.583	0.075	<b>0.571 m/s</b>	

Fuente: Elaboración propia

## T.G. N° 9. Remoción de Contaminantes en las Lagunas Facultativas con Pantallas Deflectoras

### ESTIMACIÓN DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LAGUNA FACULTATIVA

CAUDAL DE DISEÑO (Q) Q= 0.073 m <sup>3</sup> /s	Altura de laguna(espejo de agua): h <sub>lag</sub> = 1.8 m
DBO en afluente de LF DBO <sub>5</sub> = 176 mg/L	Dimensiones medias de la laguna: talud= 2 (relación 1:2)
Temperatura del agua T°= 25 °C	l= 240 m (a espejo de agua) a= 236 m (a espejo de agua)
Coliformes Fecales CF= 1.10E+06 NMP/100ml	lm= 232.8 m am= 228.8 m
Área de cada laguna: Au= 56640.00 m <sup>2</sup>	
Volumen de cada laguna: Vu= 95493.81 m <sup>3</sup>	

PERIODO DE RETENCIÓN REAL:	
PR <sub>real</sub> = PR <sub>teór</sub> *Fch	
PR <sub>teórico</sub> = 15.14 días;	Fch= 0.8
PR <sub>real</sub> = 12.112 días	

### CÁLCULO DEL FACTOR DE DISPERSIÓN (d)

$$d = \frac{1.158 \times [R \times (W + 2Z)^{0.489}] \times W^{1.511}}{(T + 42.5)^{0.734} \times (L \times Z)^{1.489}}$$

, donde:  
W,L,Z: dimensiones de la laguna.  
R: periodo de retención de la laguna.  
T: temperatura del agua, en °C.  
El valor de "d" debe ser menor de 2.

d= 4.19

### CÁLCULO DE LA CONSTANTE "a"

$$a = \sqrt{(1 + 4 \times K_b \times R \times d)}$$

Cálculo de k<sub>b</sub>:

$$K_b = K_{20} \times 1.05^{(T-20)} ; K_b = 0.841 \times 1.07^{(T-20)}$$

k<sub>b</sub>= 1.02 ; k<sub>b</sub>= 1.18

ENTONCES: k<sub>b</sub>= 1.10

a= 14.98

### COLIFORMES EN EL EFLUENTE:

$$N = \frac{N_0 \times 4 \times a \times e^{((1-a)/2d)}}{(1+a)^2}$$

N<sub>0</sub>= 1.10E+06 NMP/100ml

ENTONCES: N= 4.87E+04 NMP/100ml

### DBO A LA SALIDA:

$$L = \frac{L_0 \times 4 \times a \times e^{((1-a)/2d)}}{(1+a)^2} + L_0 \times Fia$$

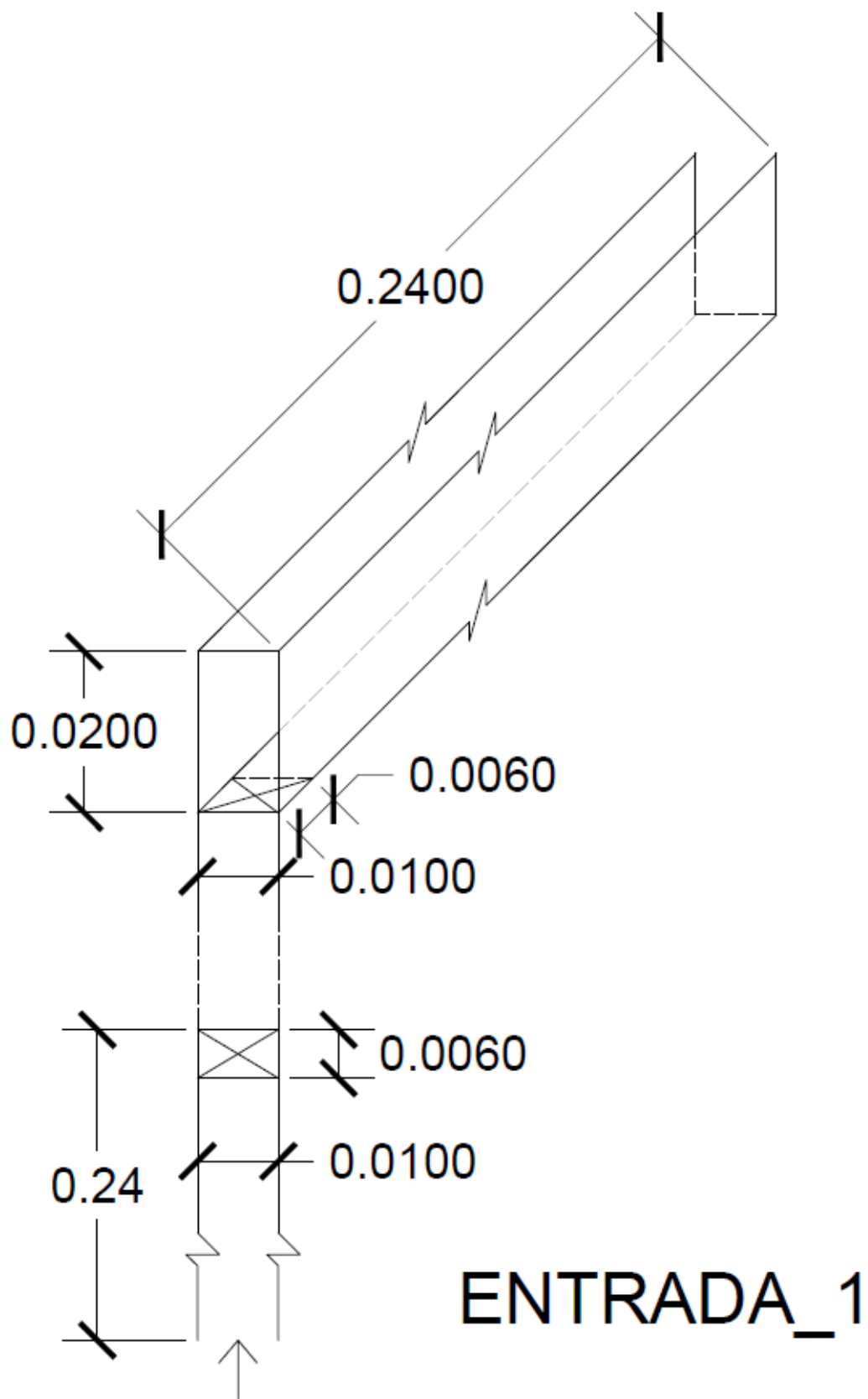
L<sub>0</sub>= 176 mg/L

Fia= 0.5 (lagunas facultativas)

L= 95.79 mg/L

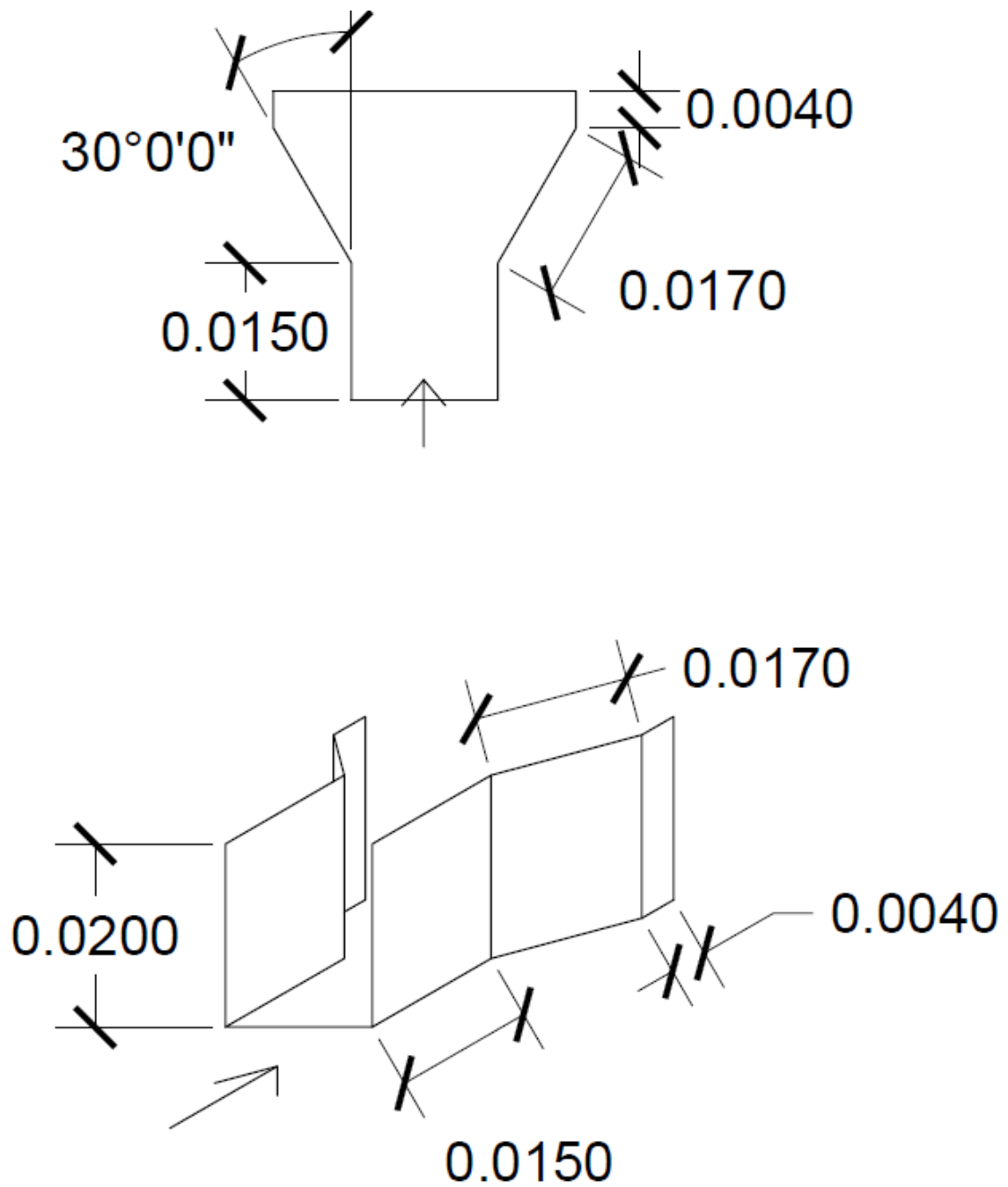
Fuente: OPS/CEPIS/05.163 UNATSABAR [30]

T.G. N° 10. Esquema de Entradas – Laguna Anaeróbica a Escala Piloto



Fuente: Elaboración Propia

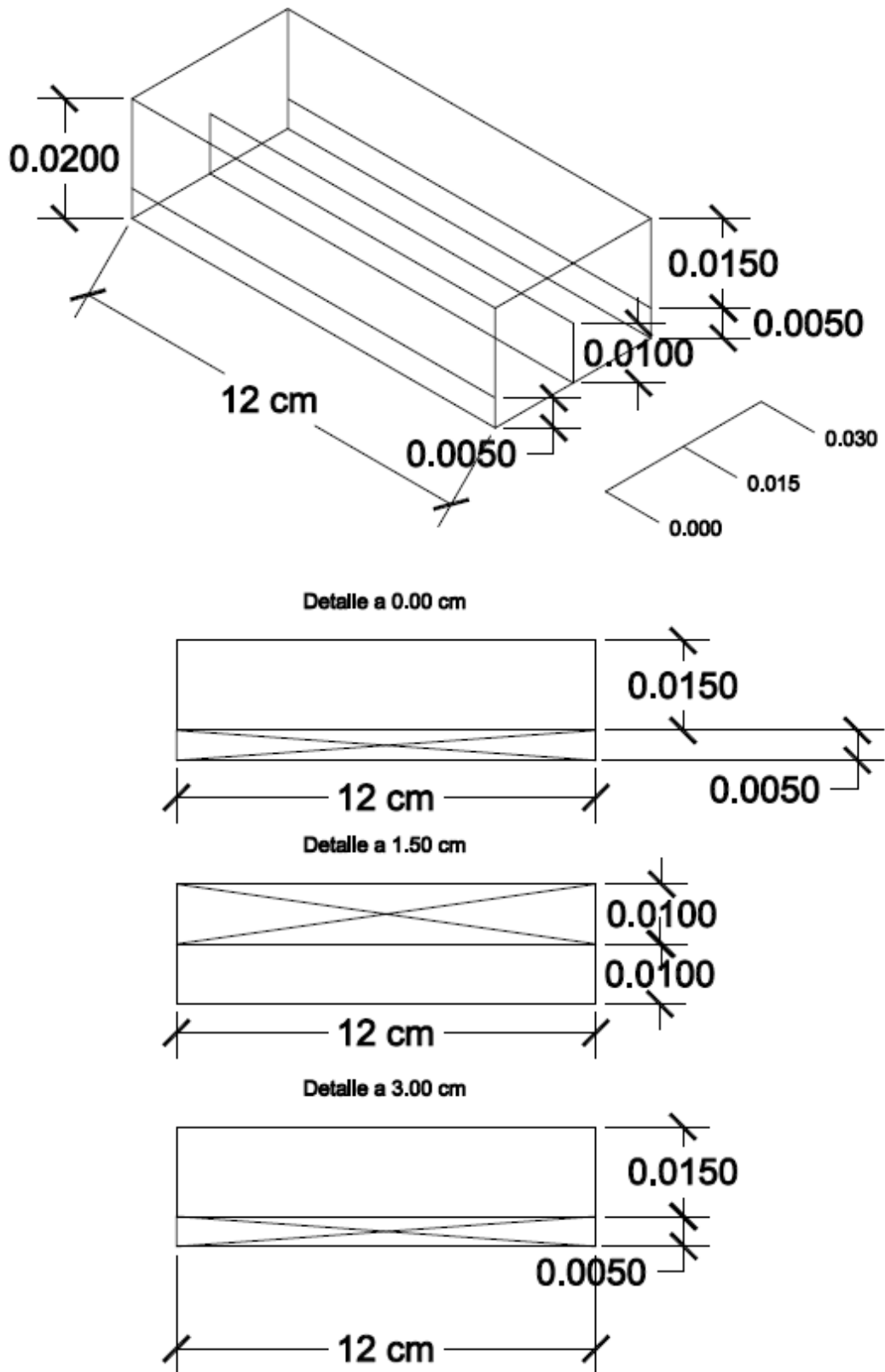
T.G. N° 11. Esquema de Entradas – Laguna Facultativa a Escala Piloto



## ENTRADA\_2

Fuente: Elaboración Propia

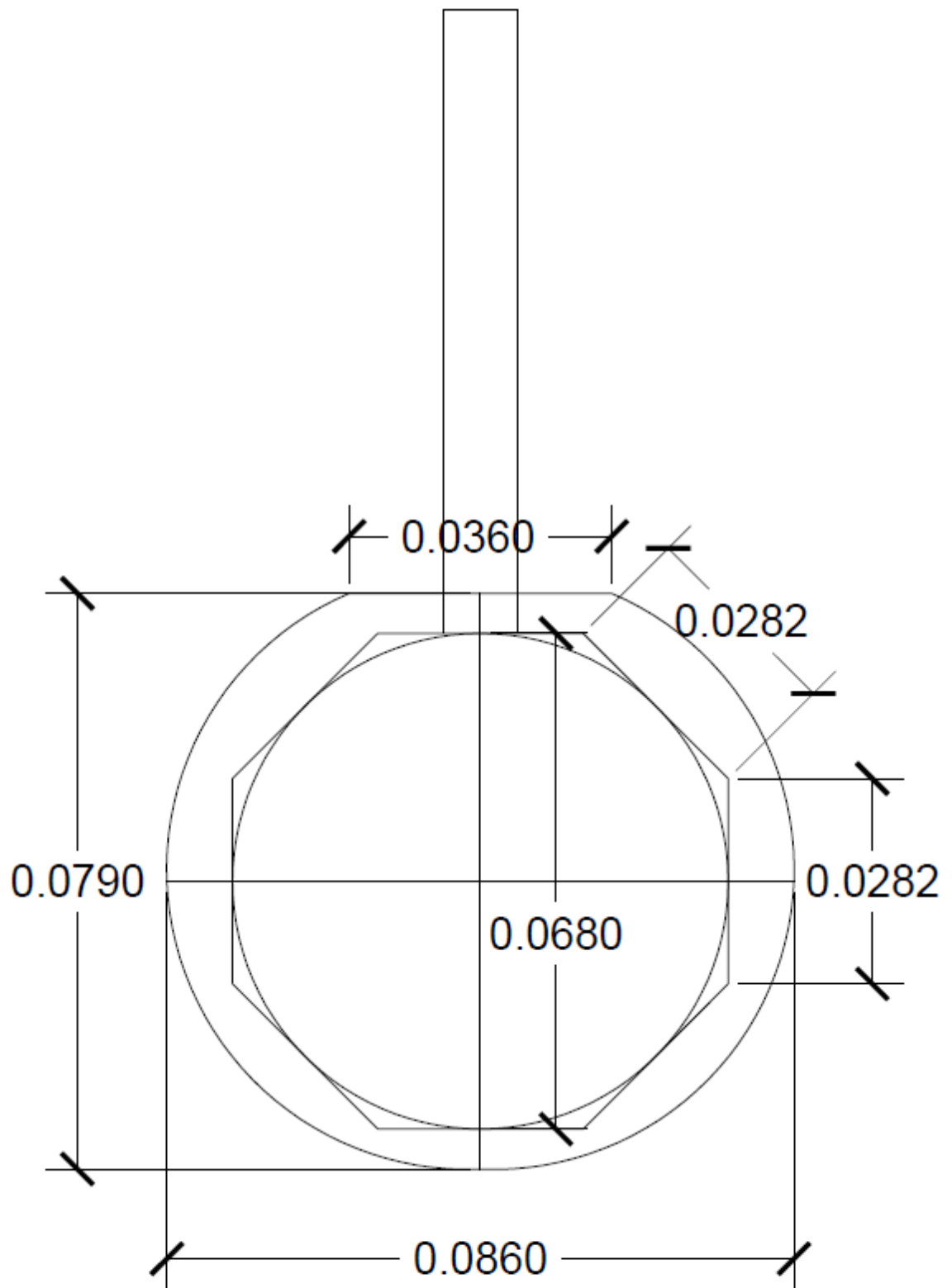
**T.G. N° 12. Esquema de Salida – Laguna Anaeróbica a Escala Piloto**



**SALIDA\_1**

Fuente: Elaboración Propia

T.G. N° 13. Esquema de Salidas – Laguna Facultativa a Escala Piloto



SALIDA\_2

Fuente: Elaboración Propia

**T.G. N° 14. Cálculo del Tiempo de Retención Teórico y Cantidad de Trazador –  
Lagunas Anaeróbicas**

**Cálculo del tiempo de retención teórico (NaCl)**

$$\bar{t} = \frac{V}{Q}$$

V= 0.4479 m<sup>3</sup>  
 Q= 6.88222E-06 m<sup>3</sup>/s  
 $\bar{t} = 65081.75982 = 0.753$  días

**Cálculo de la cantidad de trazador a utilizar (NaCl)**

$$P = \frac{V \times K \times Co}{I \times 10^3}$$

K= 1.65                      Co= 50 mg/L                      I= 0.9

P= 0.04105813 kg                      41.058 g

Fuente: Elaboración propia

**T.G. N° 15. Cálculo del Tiempo de Retención Teórico y Cantidad de Trazador –  
Lagunas Facultativas**

**Cálculo del tiempo de retención teórico (NaCl)**

$$\bar{t} = \frac{V}{Q}$$

V= 0.9058 m<sup>3</sup>  
 Q= 4.13448E-06 m<sup>3</sup>/s  
 $\bar{t} = 219092.6364 = 2.536$  días

**Cálculo de la cantidad de trazador a utilizar (NaCl)**

$$P = \frac{V \times K \times Co}{I \times 10^3}$$

K= 1.65                      Co= 50 mg/L                      I= 0.9

P= 0.08303483 kg                      83.035 g

Fuente: Elaboración propia

## T.G. N° 16. Utilidad Neta por hectárea de Sandía

COSTOS DE PRODUCCION POR HECTAREA DE SANDIA				
CULTIVO	SANDIA	DPTO. - PROV.	LA LIBERTAD - VIRÚ	
VARIEDAD	BLACK FILE	SIST. RIEGO	GRAVEDAD	
PERIOD. VEGETATIVO	5 MESES	EPOCA SIEMBRA	TODO EL AÑO	
NPK	100-135-165	RENDIMIENTO t/ha	40	
DISTANCIAMIENTO	3 m x 2 m	TIPO DE CAMBIO	2.7	
NIVEL TECNOLÓGICO	MEDIO	FECHA DE ELABORACION	Ene-12	
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	TOTAL
<b>PREPARACION Y RIEGO</b>				
PIQUETE Y QUEMA	JORNAL	2	S/. 20.00	S/. 40.00
RAYADO REMOJO	HORA/MAQ.	1	S/. 80.00	S/. 80.00
REMOJO	JORNAL	2	S/. 20.00	S/. 40.00
ARADURA	HORA/MAQ.	2	S/. 130.00	S/. 260.00
RASTRA	HORA/MAQ.	1	S/. 130.00	S/. 130.00
SURCADO Y BORDEADO	HORA/MAQ.	1	S/. 180.00	S/. 180.00
ARREGLO ACEQUIAS Y DESAGUES	JORNAL	2	S/. 20.00	S/. 40.00
				S/. 770.00
<b>SIEMBRA DIRECTA</b>				
SEMILLAS	KG	1.25	S/. 225.00	S/. 281.25
SIEMBRA	JORNALES	4	S/. 20.00	S/. 80.00
REPLANTE	JORNALES	0.5	S/. 20.00	S/. 10.00
				S/. 371.25
<b>FUNGICIDAS BACTERICIDAS</b>				
ACROBAT	KG	2	S/. 45.00	S/. 90.00
RIDOMIL	KG	2	S/. 78.00	S/. 156.00
				S/. 246.00
<b>INSECTICIDAS</b>				
SUPERMETRINA	LT	5	S/. 80.00	S/. 400.00
TRISER	LT	0.5	S/. 750.00	S/. 375.00
ABSOLUTE	LT	0.5	S/. 750.00	S/. 375.00
JADE	KG	1	S/. 240.00	S/. 240.00
				S/. 1,390.00
<b>FOLIARES Y BIOSTIMULANTES</b>				
sales de potasio	KG	2	S/. 35.00	S/. 70.00
bayfolan super		2	S/. 35.00	S/. 70.00
calcio boro		2	S/. 45.00	S/. 90.00
atonic		2	S/. 180.00	S/. 360.00
aminofol	KG	2	S/. 250.00	S/. 500.00
				<b>S/. 1,090.00</b>
<b>FERTILIZACION SOLUBLE Y GRANULADA</b>				
CLORURO DE POTASIO	KG	350	S/. 1.83	S/. 641.69
FOSFATO DIAMONICO	LT	250	S/. 1.61	S/. 401.65
SULFATO DE MAGNECIO	KG	100	S/. 2.51	S/. 251.34
GUANO DE ISLA	KG	1000	S/. 0.92	S/. 920.00
		1035		<b>S/. 2,214.68</b>
RENTA DE TERRENO	HA	1	S/. 500.00	S/. 500.00
				<b>S/. 500.00</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (I)</b>				<b>S/. 6,581.93</b>
<b>A. ASISTENCIA TÉCNICA</b>				
5% del costo directo				329.10
<b>B. GASTOS ADMINISTRATIVOS</b>				
5% del costo directo				329.10
<b>INTERES</b>				
(1.4%+0.8 = 2.2/2 = 1.1%/mes) 5 meses (Aprox)				362.01
<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS II</b>				<b>1020.20</b>
<b>TOTAL COSTO POR HECTAREA</b>				<b>7602.13</b>
precio de venta	S/./kg	1	0.49	
ingresos brutos	S/.			<b>19600.00</b>
Utilidad Bruta	S/.			<b>11997.87</b>

Fuente: Gerencia Regional de Agricultura – La Libertad, 2012

## T.G. N° 17. Utilidad Neta por hectárea de Alfalfa

### COSTO REFERENCIAL DE PRODUCCIÓN POR HECTÁREA CULTIVO : PASTOS

Partida: 04.00

VALLE : CHANCAY-L  
CULTIVO : ALFALFA  
VARIEDAD : CRIOLLA

SUPERFICIE: 1Ha  
ÉPOCA DE ALMACIGO :  
COSTOS A LA FECHA : Abr-12

TIPO DE  
CAMBIO \$ : S/. 2.65  
FECHA: Abr-12

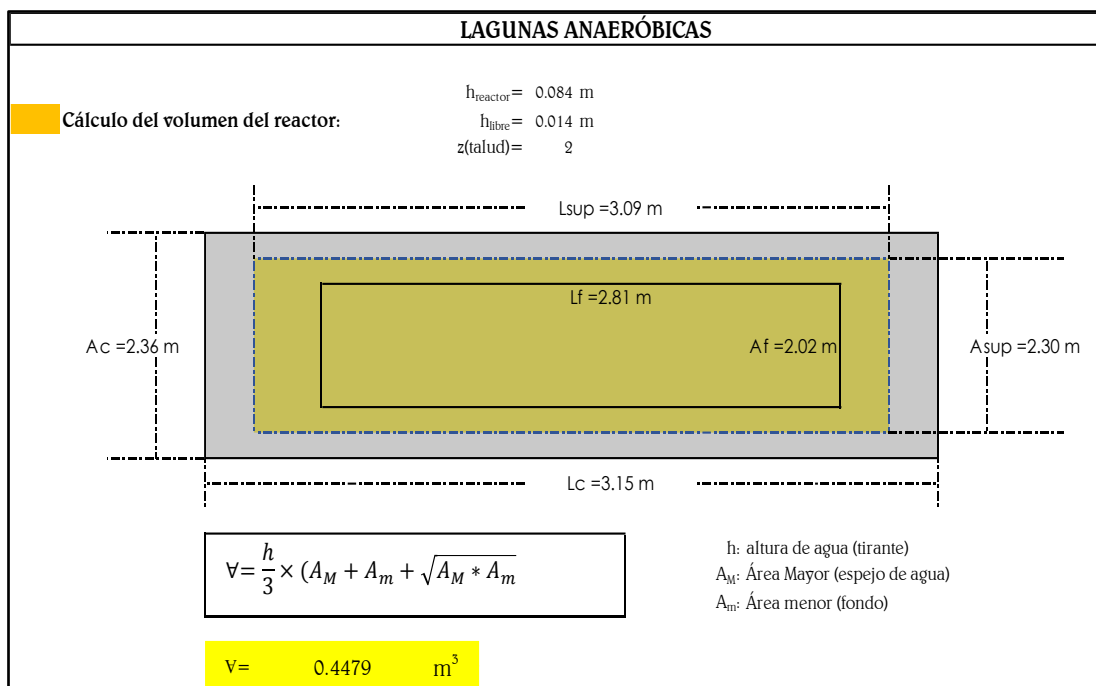
NIVEL TECNOLÓGICO: Medio  
RENDIMIENTO (Kg/ Ha): 120000.00

Nº	ACTIVIDADES	Unidad	Cantidad 1 ha	Valor Unitario S/.	Valor Total x ha S/.	Valor Total x ha \$
	<b>A. COSTOS DIRECTOS</b>				<b>3,037.71</b>	<b>1,146.31</b>
	<b>A. MANO DE OBRA</b>				<b>2,080.00</b>	<b>784.91</b>
	<b>a. Labores Agrícolas</b>					
	Limpieza de acequias y arreglo bordos	Jornal	4.00	20.00	80.00	30.19
	Deshierbos	Jornal	8.00	20.00	160.00	60.38
	Riegos	Jornal	12.00	20.00	240.00	90.57
	Fertilización	Jornal	4.00	20.00	80.00	30.19
	Control fitosanitario	Jornal	2.00	20.00	40.00	15.09
	<b>b. Cosecha</b>					
	Corte	Jornal	30.00	20.00	600.00	226.42
	Traslado y terciado	Jornal	40.00	20.00	800.00	301.89
	Guardián	Jornal	4.00	20.00	80.00	30.19
	<b>C. INSUMOS</b>				<b>937.71</b>	<b>353.85</b>
	<b>1. Agua</b>	M <sup>3</sup>	12,000.00	0.02	208.33	78.62
	<b>2. Fertilizantes:</b>					
	Urea	Kg	100.00	1.42	142.00	53.58
	Superfosfato triple de Ca.	Kg	109.00	4.40	479.60	180.98
	<b>3. Pesticidas</b>					
	Perfeckthion	Lt	2.00	48.00	96.00	36.23
	Agriindex	Lt	0.30	39.27	11.78	4.45
	<b>D. OTROS GASTOS</b>				<b>20.00</b>	<b>7.55</b>
	Motopulverizadora	Días	2.00	10.00	20.00	7.55
	<b>B. COSTOS INDIRECTOS</b>				<b>546.79</b>	<b>206.34</b>
	Gastos Generales	% de CD		0.05	151.89	57.32
	Gastos Administrativos	% de CD		0.10	303.77	114.63
	Gatos Varios	% de CD		0.03	91.13	34.39
<b>RESUMEN DE COSTO REFERENCIAL DE INSTALACION POR HA. DE ALFALFA - MANTENIMIENTO Y PRODUCCION</b>						
	<b>I. COSTOS DIRECTOS</b>				3,037.71	1,146.31
	<b>II. COSTOS INDIRECTOS</b>				546.79	206.34
	<b>COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN</b>				<b>3,584.50</b>	<b>1,352.64</b>
	Rendimiento esperado de producto ( Kg. / Ha )		<b>120,000</b>			
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>S/.</b>	<b>\$</b>			
	Costo de Producción por Ha	3,584.50	1,352.64			
	Costo de Producción por Kg.	0.03	0.01			
	Precio de Venta por Kg.	0.17	0.06			
	Valor de la cosecha por Ha	20,400.00	7,698.11			
	Utilidad Neta	16,815.50	6,345.47			
	Relación Beneficio / Costo	5.69				

Fuente: Gobierno Regional de La Libertad, 2017

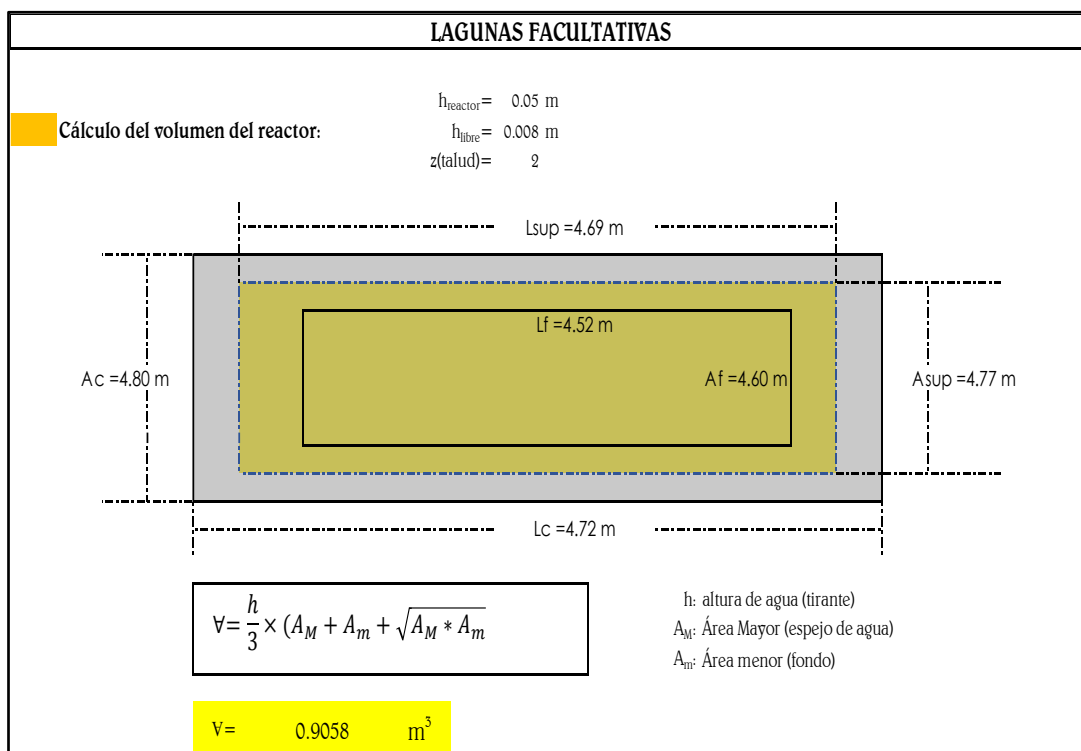
## ANEXO N° 03. GRÁFICOS

**Gráfico N° 1. Determinación del Volumen del Reactor en Lagunas a Escala Piloto –  
Lagunas Anaeróbicas**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfico N° 2. Gráfico N° 1. Determinación del Volumen del Reactor en Lagunas a  
Escala Piloto – Lagunas Facultativas**



**Fuente: Elaboración propia**

## ANEXO N° 04. REPORTE FOTOGRÁFICO

**Fotografía N° 1. Toma de datos del BM N° 9326, cerca al cerco perimétrico**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 2. Toma de la referencia del BM**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 3. Visación de puntos desde la Estación N° 2**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 4. Toma de puntos de la periferia de las lagunas**



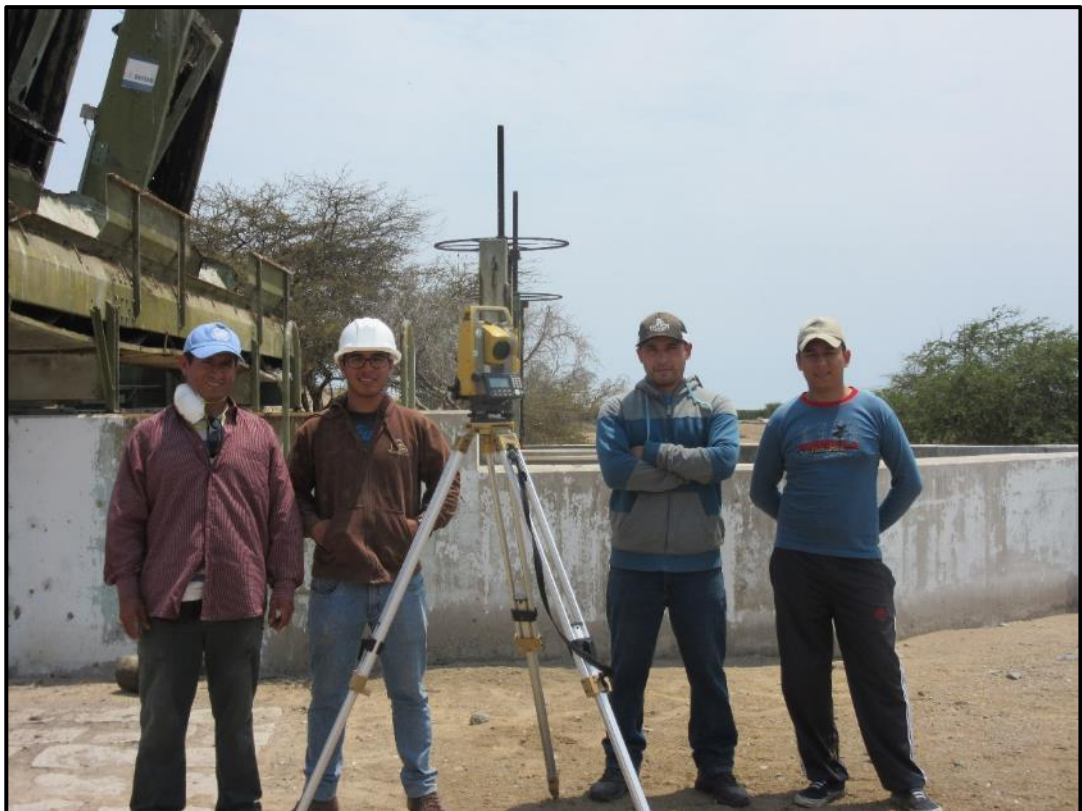
Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 5. Toma de puntos desde dos extremos**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 6. Equipo de trabajo – levantamiento topográfico**



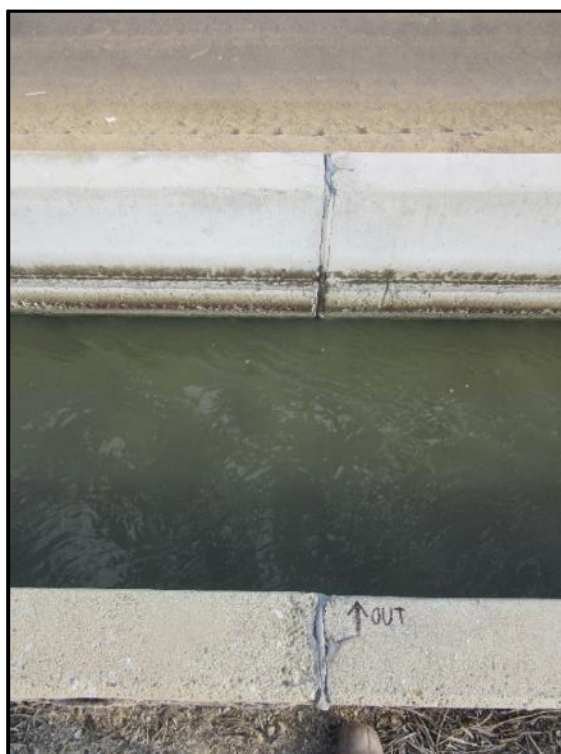
Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 7. Determinación de la longitud de control – Aforo en Entradas de Lagunas de Estabilización**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 8. Término de tramo de longitud de control – Aforo en Entradas de Lagunas de Estabilización**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 9. Determinación del tirante de los canales – Aforo en Entradas de Lagunas de Estabilización**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 10. Comienzo del ensayo con los flotadores – Aforo en Entradas de Lagunas de Estabilización**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 11. Trazo y Replanteo para Construcción de Lagunas a Escala Piloto**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 12. Primera alternativa de diseño de lagunas a escala piloto**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 13. Construcción de segunda alternativa y definitiva de lagunas de estabilización**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 14. Excavación puntual de 0.50 m para instalación de postes de eucalipto – techado de modelo a escala piloto**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 15. Construcción de taludes – laguna facultativa a escala piloto**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 16. Construcción de rampas de acceso en modelo a escala**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 17. Instalación de estructuras de entrada – laguna anaeróbica a escala piloto**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 18. Curado de laguna facultativa a escala piloto**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 19. Prueba hidráulica – laguna anaeróbica a escala piloto**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 20. Estructuras de entrada abastecidas por baldes – laguna anaeróbica a escala piloto**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 21. Fabricación de las Pantallas Deflectoras con planchas galvanizadas – Lagunas de Estabilización a Escala Piloto**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 22. Disposición de las Pantallas Deflectoras en Lagunas Anaeróbicas a Escala Piloto**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 23. Disposición de las Pantallas Deflectoras en Lagunas Facultativas a Escala Piloto**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 24. Comprobación de las distancias de colocación de Pantallas Deflectoras en Lagunas a Escala Piloto**



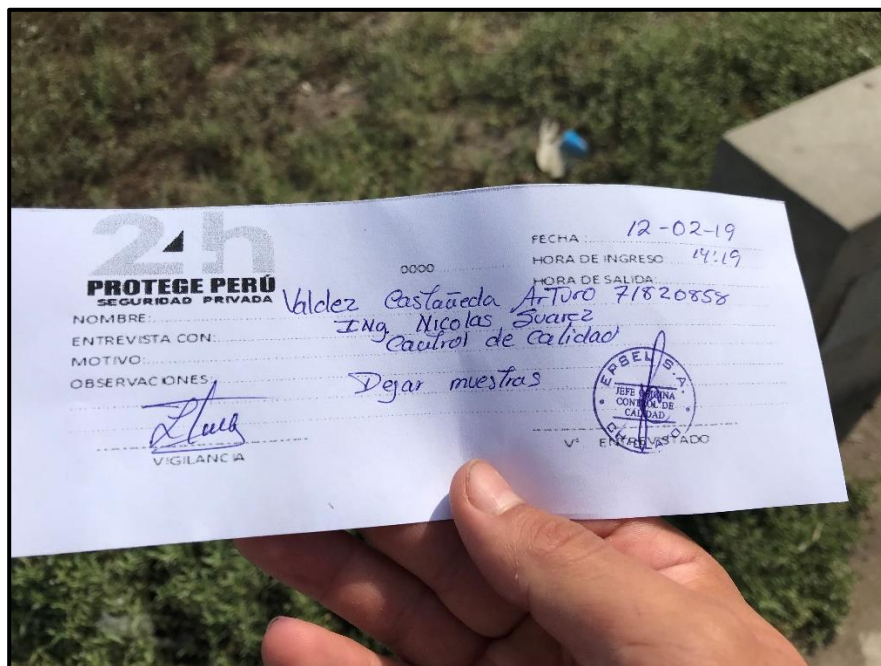
Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 25. Realización de ensayos en Laboratorio de Físicoquímica y Bacteriología de EPSEL S.A. – Chiclayo**



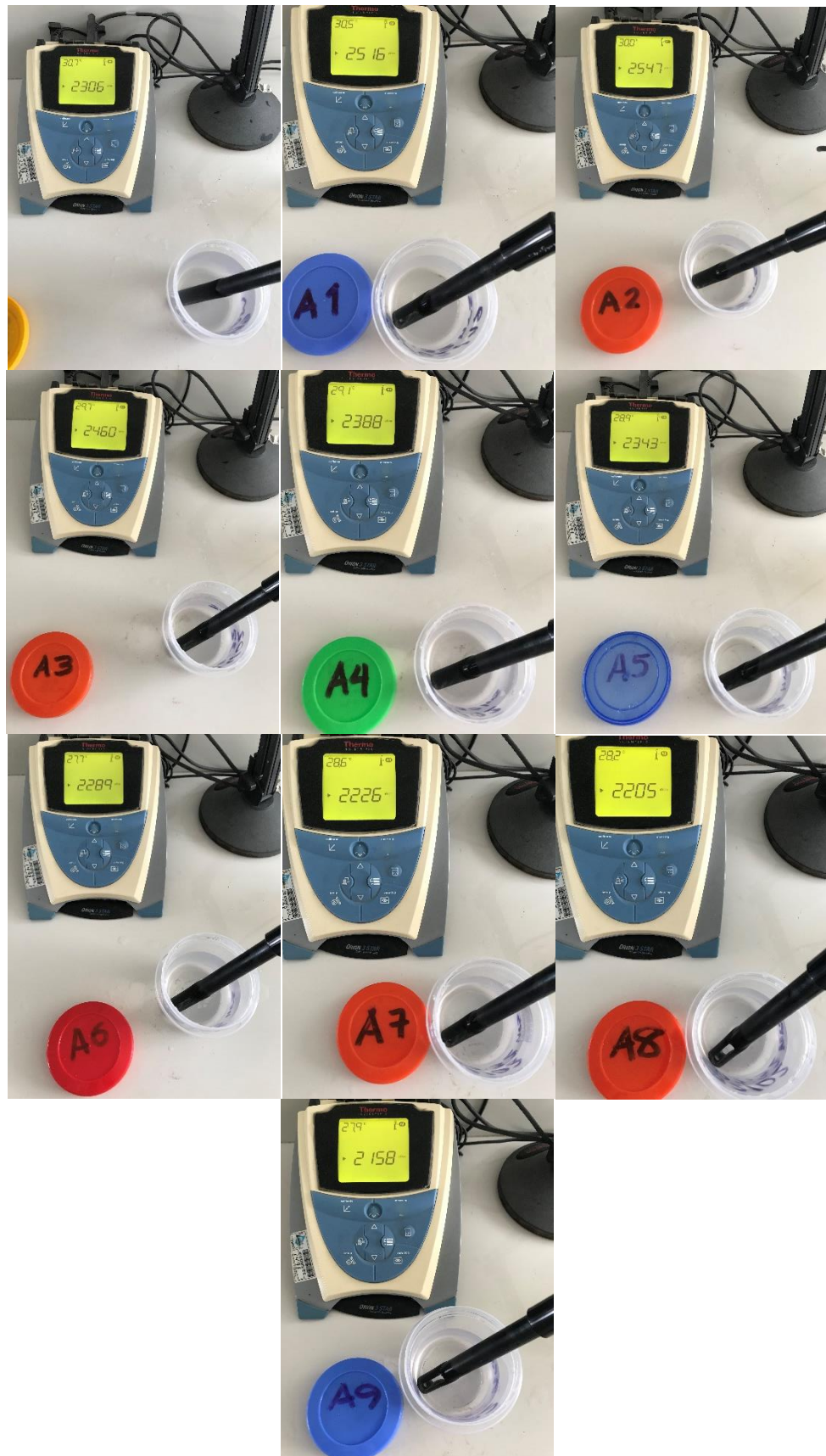
Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 26. Evidencia del apoyo de EPSEL S.A. para realizar los ensayos de trazadores**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 27. Resultados Ensayos de Trazadores en Lagunas a Escala Piloto – Laguna Anaeróbica Original**



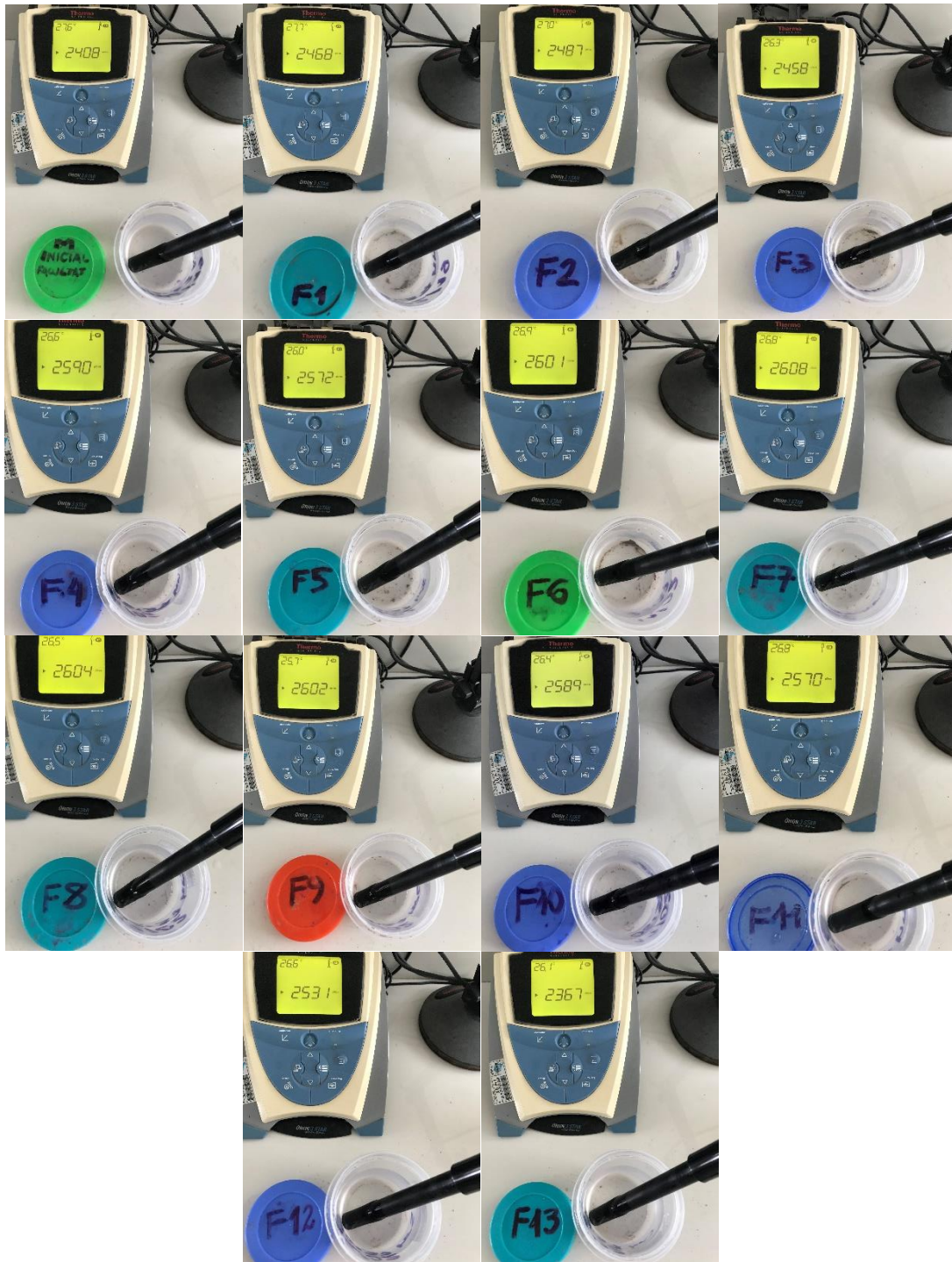
Fuente: Elaboración Propia

**Fotografía N° 28. Resultados Ensayos de Trazadores en Lagunas a Escala Piloto – Laguna Anaeróbica con Deflectores**



Fuente: Elaboración Propia

**Fotografía N° 29. Resultados Ensayos de Trazadores en Lagunas a Escala Piloto – Laguna Facultativa Original**



Fuente: Elaboración Propia

**Fotografía N° 30. Resultados Ensayos de Trazadores en Lagunas a Escala Piloto – Laguna Facultativa con Deflectores – Parte 1**



Fuente: Elaboración Propia

**Fotografía N° 31. Resultados Ensayos de Trazadores en Lagunas a Escala Piloto – Laguna Facultativa con Deflectores – Parte 2**



Fuente: Elaboración Propia