



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos
(ERIS)

Maestría en Ingeniería Sanitaria

**DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE SÓLIDOS ACUMULADOS Y LA PRODUCCIÓN DE
SÓLIDOS *PER CÁPITA* EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN, UTILIZANDO BATIMETRÍA –
CASO DE PLANTA DE TRATAMIENTO AURORA II**

Ingeniero Civil Jorge Daniel Baca Chiroy

Asesorado por el Msc. Ing. Adán Pocasangre Collazos

Guatemala, mayo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE SÓLIDOS ACUMULADOS Y LA PRODUCCIÓN DE SÓLIDOS *PER CÁPITA* EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN, UTILIZANDO BATIMETRÍA – CASO DE PLANTA DE TRATAMIENTO AURORA II

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)

POR:

ING. JORGE DANIEL BACA CHIROY

ASESORADO POR EL DR. ING. ADÁN POCASANGRE COLLAZOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO (*MAGÍSTER SCIENTIFICAE*) EN INGENIERÍA SANITARIA

GUATEMALA, MAYO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

DIRECTOR ERIS

MSc. Ing. Pedro Saravia Celis

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL

EXAMINADOR	Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos
EXAMINADOR	Dr. Félix Douglas Aguilar Carrera
EXAMINADOR	MSc. Ing. Juan José Sandoval

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

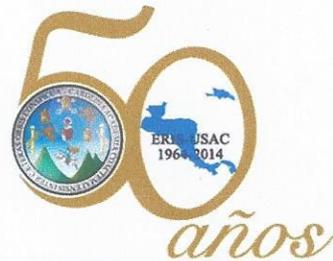
En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE SÓLIDOS ACUMULADOS Y LA PRODUCCIÓN DE SÓLIDOS *PER CÁPITA* EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN, UTILIZANDO BATIMETRIA – CASO DE PLANTA DE TRATAMIENTO AURORA II

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos – ERIS-, con fecha 19 de noviembre de 2015.



Ing. Jorge Daniel Baca Chiroy
construdesa@gmail.com
Carné No. 9516049



ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRAULICOS - ERIS -
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA - USAC -

Guatemala, 29 de abril 2019

Señores
Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS):

Respetuosamente les comunico que he revisado y aprobado, en mi calidad de Asesor y Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, el documento de Estudio Especial titulado:

DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE SÓLIDOS ACUMULADOS Y LA PRODUCCIÓN DE SÓLIDOS *PER CÁPITA* EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN, UTILIZANDO BATIMETRIA – CASO DE PLANTA DE TRATAMIENTO AURORA II

Presentado por el estudiante:

Ing. Jorge Daniel Baca Chiroy

Les manifiesto que el estudiante cumplió en forma satisfactoria con todos los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos - ERIS- y por la Universidad de San Carlos de Guatemala en la realización de su estudio.

Agradeciéndoles de antemano la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

M.Sc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos
Coordinador Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria

Msc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos
Coordinador Maestría Ingeniería Sanitaria
ERIS / USAC

USAC
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y
Recursos Hidráulicos
-ERIS-



ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRAULICOS - ERIS -
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA - USAC -

GUATEMALA, 21 DE MAYO 2019

El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: M.Sc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos, Dr. Ing. -Félix Alan Douglas Agilar Carrera, y, M.Sc. Ing. Juan José Sandoval, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria; M.Sc Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos y la revisión lingüística realizada por la Licenciada Jéssica Edith Melgarejo Monterroso, Colegiada No. 27003, al trabajo del estudiante Ing. Jorge Daniel Baca Chiroy, titulado: **DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE SÓLIDOS ACUMULADOS Y LA PRODUCCIÓN DE SÓLIDOS *PER CÁPITA* EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN, UTILIZANDO BATIMETRIA – CASO DE PLANTA DE TRATAMIENTO AURORA II.** En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala a veintiún días del mes de mayo de 2016.



Imprimase

“EDUCACIÓN Y ENSEÑANZA A TODOS”

M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por darme la fuerza en los momentos difíciles, gracias por todas las dificultades que me acercan a Ti y se vuelven bendiciones.
- Mi madre** Quien con amor, sabiduría, paciencia y buen ejemplo ha sabido guiar mi vida por la verdad y me ha enseñado el camino hacia Dios.
- Mi padre** Quien con su conocimiento y ejemplo me ha ayudado en los momentos difíciles a estar siempre cerca de la Iglesia.
- Mi esposa** Por estar a mi lado y ser la compañera de mi vida; tu ayuda, apoyo y esfuerzo me permiten los logros que son de mucha bendición para nosotros. Te amo.
- Mi hijo Jorge** Tu gentileza, atención y cariño, que me dan fuerzas, ánimo, alegría y mucha satisfacción, le doy gracias a Dios por tu vida.
- Mi hijo Alejandro** Tu instinto y carácter me dan fortaleza para seguir adelante, gracias por tu amor y gracias a Dios por tu vida.

Mis compañeros y amigos

Ricardo, Carolina, Eduardo, Ronny y Blanca, por su amistad, ayuda y compañerismo, que Dios les bendiga.

Mis catedráticos

Ings. Zenón Much, Adán Pocasangre, Félix Aguilar, Pedro Saravia, Joram Hil, Andy Williams, Jéser Nij, Julián Duarte y Malvina de León, por transmitirnos su conocimiento y experiencia.

Universidad de San Carlos de Guatemala

Casa de estudio que me ha permitido adquirir conocimientos y herramientas para mi formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XIII
JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	XV
OBJETIVOS.....	XVII
ANTECEDENTES.....	XIX
ALCANCES Y LIMITACIONES	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Clasificación de lagunas	4
1.1.1. Lagunas aeróbicas	5
1.1.2. Lagunas anaeróbicas	6
1.1.3. Lagunas facultativas	7
1.1.4. Lagunas de maduración	9
1.2. Lodos de procesos de tratamiento de aguas residuales	9
1.3. Acumulación de lodos en lagunas	10
1.4. Medición de la profundidad de lodos en lagunas.....	10
1.5. Remoción de lodos en lagunas	10
1.6. Producción de lodos en lagunas de estabilización	11
2. METODOLOGÍA.....	15
2.1. Área de estudio	15

2.2.	Determinación de volumen de sólidos.....	17
2.3.	Toma de muestra de lodo sedimentado	23
2.3.1.	Procedimiento de obtención de la muestra	23
2.3.2.	Análisis del Acuerdo Gubernativo 236-2006	24
2.3.3.	Norma de muestreo y análisis	24
3.	RESULTADOS.....	27
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	33
4.1.	Lodos en laguna facultativa.....	33
4.2.	Análisis de laguna de maduración	36
4.3.	Determinación del aporte de lodos <i>per cápita</i>	38
4.4.	Análisis de lodos	39
	CONCLUSIONES.....	41
	RECOMENDACIONES	43
	BIBLIOGRAFÍA.....	45
	APÉNDICES.....	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	La interacción de bacterias y algas en las zonas aeróbicas y anaeróbicas en una laguna facultativa de estabilización.....	5
2.	Diagrama de una laguna anaeróbica	7
3.	Diagrama de una laguna facultativa con la zona aeróbica	8
4.	Diagrama de una laguna facultativa en sus tres zonas	8
5.	Imagen de ubicación	16
6.	Esquema de lagunas y dirección de flujo	17
7.	Indica forma de marcar a cada metro sobre los ejes X y Y	19
8.	Indica las marcas en la laguna, para generar los ejes imaginarios y obtener las coordenadas X, Y y Z	21
9.	Indica en cada punto generado, la información de cada uno	22
10.	Indica la generación parcial de los datos en TOPOCAL	22
11.	Generación de curvas a nivel a cada 0.10 metros. Laguna facultativa	23
12.	Perfil longitudinal de laguna facultativa	28
13.	Generación de curvas a nivel a cada 0.10 metros. Laguna facultativa	29
14.	Zona de mayor acumulación de lodos.....	29
15.	Zona de mayor acumulación de lodos.....	30
16.	Vista en 3D de la laguna facultativa	31
17.	Planta de laguna facultativa. Curvas a nivel de sólidos sedimentados a cada 0.10 m	32

18.	Perfil de laguna facultativa. Curvas a nivel de sólidos sedimentados a cada 0.10 M	32
19.	Perfil longitudinal de laguna facultativa	34
20.	Perfil longitudinal de la laguna facultativa	35
21.	Sección longitudinal de laguna de maduración.....	36
22.	Planta de laguna de maduración. Curvas a nivel de sólidos a cada 0,10 m.....	38
23.	Perfil de laguna de maduración. Curvas a nivel de sólidos sedimentados a cada 0,10 m.....	38

TABLAS

I.	Etapas para la remoción de lodos en lagunas primarias. Adaptado de Francia, 1999.....	12
II.	Límites máximos permisibles para disposición de lodos.....	24
III.	Altura de lodo sedimentado en eje central.....	28
IV.	Longitud vs volumen de sólidos sedimentados.....	33
V.	Volúmenes de sedimentación vs longitud.....	34
VI.	Secciones transversales de laguna facultativa	34
VII.	Secciones transversales de laguna de maduración.....	37
VIII.	Parámetros de producción de lodos según varios autores	39
IX.	Análisis comparativo de resultados vs límites del Reglamento 236-2006.....	40

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H	Altura
A	Área de la laguna
Q	Caudal
Cm	Centímetros
Q	Caudal
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
Dot.	Dotación
Hab.	Habitantes
L	Litros
m	Metros
m²	Metros cuadrados
m³	Metros cúbicos
Msnm	Metros sobre el nivel del mar
mg / l	Miligramos por litro
OD	Oxígeno disuelto
P	Población
pH	Potencial de hidrógeno

GLOSARIO

Afluyente	Corriente de agua que abastece otro curso de agua o alimenta un sistema.
Aguas residuales	Son las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas, son generadas por actividades domésticas, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de estas.
Bacterias aeróbicas	Organismos unicelulares y microscópicos, que realizan todos sus procesos con presencia de oxígeno.
Bacterias anaeróbicas	Bacterias unicelulares y microscópicas que sobreviven sin la presencia de oxígeno.
Corto circuito	Líquido que tiene un valor del tiempo de retención hidráulico (real) en la unidad del tratamiento diferente al tiempo de retención teórico.
Decantación	Separación por acción de la gravedad, de dos o más cuerpos que no se pueden mezclar, cuando por lo menos uno de ellos es líquido.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	Indica la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos vivos para la utilización o la destrucción aeróbica de la materia orgánica.
Dotación	Cantidad de agua que se asigna a una unidad consumidora.
Efluente	Agua que sale de un medio de tratamiento, que ha sido sometida a operaciones y procesos.
ERIS	Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria.
Estabilización	Oxidación y sedimentación de las aguas residuales.
Fango	Lodo espeso que se sedimenta en las aguas estancadas.
Materia orgánica	Cualquier residuo vegetal o animal que al descomponerse se transforma en materiales importantes en la composición del suelo y en la producción de plantas. Es descompuesta por microorganismos.
Microorganismo	Organismo de tamaño microscópico.
Tratamiento de aguas residuales	Proceso que incorpora métodos físicos, químicos y biológicos, los cuales tratan y remueven contaminantes físicos, químicos y biológicos del agua del efluente de uso humano. El objetivo es

producir agua menos contaminada y reutilizable.

Oxígeno disuelto (OD)	Oxigeno disponible que contiene el agua.
Patógenos	Organismos causantes de enfermedades.
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales.
Tiempo de retención	Se define como el tiempo que tarda una partícula cualquiera del fluido en entrar y salir de una unidad con un volumen conocido.
Zona muerta	Aquella parte del volumen donde la velocidad de traslación de la masa líquida es cero y el tiempo de retención llega a ser teóricamente infinito.

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolla específicamente en determinar el volumen de los lodos acumulados en las lagunas facultativa y de maduración de la planta piloto de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), que se encuentra ubicada en la colonia Aurora II de la zona 12 de la capital de Guatemala.

El método para determinar el volumen sedimentado se obtuvo mediante la batimetría, la cual fue desarrollada con una cuadrícula imaginaria de un metro por un metro, trazada adecuadamente para poder obtener las alturas del lodo sedimentado en cada uno de los puntos definidos por la cuadrícula.

Los volúmenes obtenidos de lodo sedimentado se procesaron en programas de computación como los son, TOPOCAL y AutoCAD, con ellos se obtuvo las curvas de nivel del lodo sedimentado según las alturas obtenidas a cada metro en sentido horizontal y vertical, así mismo se obtuvo el volumen total acumulado. Se graficó creando secciones en los puntos de mayor acumulación para visualizar la sedimentación espacial de los lodos.

Con los datos obtenidos y conociendo los datos iniciales como lo son, población, dotación, tiempo de acumulación y caudal, se realizaron los cálculos para determinar la producción de lodos per cápita, y determinar un valor de aporte de aguas residuales domésticas en Guatemala con las características descritas en este trabajo y su comparación con datos de la bibliografía.

Así mismo analizar en laboratorio las características físicas del lodo procesado en las lagunas de estabilización.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad no existe una metodología definida en los sistemas de lagunas de estabilización para determinar la acumulación de lodos. Para el diseño se utilizan datos de bibliografías de otros países, en los cuales las condiciones son diferentes a las locales, sus costumbres, su nivel socioeconómico, etc., mismas que afectan en los volúmenes.

Es por ello que el interés de este estudio es determinar el volumen de lodos durante los 12 años de operación de las lagunas de estabilización, y obtener datos aproximados de generación de lodos *per cápita*, para compararlos con otros estudios y determinar valores reales y específicos para las condiciones locales.

JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Determinar el volumen real de los lodos acumulados en las lagunas de la planta de tratamiento Aurora II es de mucha importancia para comparar los resultados con los datos teóricos y concluir en información que pueda apoyar diseños futuros. También es importante para estimar la vida útil de las lagunas y programar una limpieza a las mismas, así como realizar un análisis de los lodos acumulados para compararlos con los datos teóricos.

El conocimiento obtenido podrá servir para hacer recomendaciones generales, para evitar problemas encontrados y contribuir a diseños y o procesos de operación y mantenimiento en sistemas similares.

OBJETIVOS

General

Determinar el volumen de sólidos acumulados durante la operación del sistema lagunar para determinar el volumen de sólidos *per cápita* anual, en las lagunas de estabilización de la Planta de Tratamiento Aurora II, por medio de la batimetría.

Específicos

1. Determinar la producción de lodos *per cápita* en las lagunas de estabilización.
2. Determinar la distribución espacial de los lodos.
3. Determinar las características del lodo generado en las lagunas de estabilización.
4. Determinar la vida útil de las lagunas, en relación al volumen de lodos y su capacidad máxima.

HIPÓTESIS

Se espera que la zona de mayor acumulación de lodos esté dentro del primer tercio de la longitud de la laguna, y que la producción de lodos *per cápita* esté dentro del rango de 0.03 – 0.05 m³/hab-año para aguas residuales domésticas.

ANTECEDENTES

“El sistema de lagunas de la Planta de Tratamiento Aurora II, de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS), fue construido en el año 2004, con un caudal de diseño de Q 0.5 lts/seg, equivalente a 43.2 m³/día.”¹ El sistema está conformado por una laguna facultativa primaria y una laguna de maduración con un tiempo de retención total de 35 días. La construcción inició en noviembre del año 2003 y finalizó en abril del año 2004.

Dentro de los registros en Guatemala, no se tiene información de sistemas de lagunas donde se hallan realizado estudios para determinar el comportamiento de la sedimentación en las mismas, ni determinación de la producción de lodos.

“El Dr. Stewart M. Oakley, en el año 2005, hizo un estudio en regiones de Centroamérica, lo cual da parámetros que son específicos de las áreas en estudio, siendo para este caso referencia y motivo de investigación para la determinación de valores propios.”² Entre las conclusiones generales de este estudio se establece que en la región de Honduras la producción varía entre 0.224-0.55 m³/1,000 m³ de aguas residuales.

¹ CASTELLANOS DUARTE, Ramón Antonio. *Rehabilitación del sistema lagunar de la planta piloto ingeniero Arturo Pazos Soso para su aprovechamiento con finas de riego*. p. 34..

² OAKLEY, Stewart M. *Lagunas de estabilización en Honduras. Manual de diseño, construcción, operación y mantenimiento, monitoreo y sostenibilidad*. p. 39.

“En el sistema lagunar, en el año 2011, se realizó un estudio para determinar los tiempos de retención hidráulica”³³, en dicho estudio se concluye la forma del comportamiento hidráulico de cada laguna, ello determina en parte a la distribución espacial de los lodos. Se determinó que ambas lagunas definen una condición de cortocircuitos, lo cual afecta la sedimentación esperada de lodos. Como conclusión se indicó que los tiempos de retención hidráulica tienen una diferencia de 3 días más en la laguna primaria respecto al diseño, y de 7 días más en la laguna de maduración.

También se determinó que la laguna primaria funciona en un 21% con flujo pistón y 79% con flujo mezclado, la laguna de maduración con 6% con flujo pistón y 84% con flujo mezclado.

El flujo tipo pistón es el ideal para la correcta distribución del caudal, con ello se puede garantizar que la sedimentación se realizará a todo lo ancho de las lagunas, y el tiempo de vida útil de las mismas será el esperado. Esto se puede lograr solamente con el constante mantenimiento y/o monitoreo de los sistemas, es fundamental la operación y el mantenimiento por personal calificado para realizar las actividades correspondientes para lograr el correcto funcionamiento de las unidades que conforman el sistema de tratamiento.

El inconveniente en ambas lagunas es que no cuentan con un dispositivo debidamente construido de distribución del flujo, generando cortocircuitos en el flujo. Así mismo, debido a la falta de mantenimiento del área, los taludes han afectado ciertas áreas, ya que en época de invierno han arrastrado suelo dentro de las lagunas, generando disminución del volumen e interrumpiendo el flujo.

³ GÓMEZ VILLAGRÁN, Laura Mabely. *Uso de trazadores para determinar los tiempos de retención en las lagunas de la planta piloto de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos* Ing. Arturo Pazos Sosa. p. 19.

ALCANCES Y LIMITACIONES

El estudio determina el volumen, la distribución espacial y la caracterización de los lodos sedimentados en las lagunas de estabilización, durante 12 años de operación desde que fueron construidas en el año 2004. A partir de los resultados se pudo determinar el valor de producción de lodos *per cápita* anual, este valor puede compararse con las referencias bibliográficas de autores conocidos, los cuales se han venido utilizando para los diseños de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lagunas de estabilización.

La información obtenida del volumen de lodos permite determinar la producción de lodos *per cápita*. Entre las limitaciones se tienen:

- El estudio se realizó en la planta piloto de la ERIS, la cual sirve como estudio para diferentes análisis, y el caudal no ha sido constante durante el tiempo de operación.
- La medición de las alturas se realizó con instrumentos topográficos no específicos para la actividad realizada, es posible que exista una variación aproximada de +/- 5cm debido al tipo de instrumento utilizado.
- El volumen de diseño es diferente al volumen construido, la pendiente de los taludes varía en cada lado de las lagunas, se utilizó el dato promedio de los taludes.

- La falta de mantenimiento a las lagunas ha permitido el arrastre de suelo natural y se ha sedimentado en ciertas partes, generando un mayor volumen de lodos.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio especial fue desarrollado en el sistema lagunar, conformado por dos lagunas, siendo estas una laguna facultativa y una de maduración, de la planta piloto de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulico (ERIS). Consiste en determinar el volumen de lodos sedimentados por medio de la realización de la batimetría y estimar la producción de lodos *per cápita* con base en el caudal de diseño.

Dentro del estudio se realiza un análisis del diseño de las lagunas, para determinar las condiciones y los resultados teóricos esperados, y compararlos con los resultados obtenidos en este estudio. Se detalla el método y procedimientos realizados para obtener los datos en campo, y la forma de operarlos para determinar los volúmenes.

Todo lo anterior servirá para determinar el volumen de lodos *per cápita*, a través del volumen encontrado en las lagunas a través de los 12 años de funcionamiento, considerando un caudal constante de diseño de $Q\ 0.5\ \text{lts/seg}$.

1. MARCO TEÓRICO

Dentro de los sistemas de tratamiento para aguas residuales que se conocen en el medio guatemalteco, se encuentran las lagunas de estabilización. Están construidas de tierra para el tratamiento de aguas residuales por medio de la interacción de la biomasa (principalmente bacterias y algas). La función real del proceso es estabilizar la materia orgánica y remover los patógenos de las aguas residuales realizando una descomposición biológica natural; normalmente se diseña el proceso para la remoción de DBO, sólidos suspendidos y coliformes fecales.

Son un sistema sencillo de diseñar, construir, operar y mantener, más que cualquier otro proceso de tratamiento. Sin embargo, su eficiencia es una de las más completas, es decir que el efluente de los sistemas lagunares es de mejor calidad que cualquier otro sistema.

Los resultados en estudios muestran claramente que las lagunas pueden tratar aguas residuales a un alto nivel, tanto en la remoción de patógenos como en la de compuestos orgánicos, requiriendo mínimos recursos para su diseño, construcción, operación y mantenimiento. En nuestro medio el diseño debe enfocarse fundamentalmente en la remoción de patógenos conjuntamente con la posible reutilización de los efluentes en agricultura o acuicultura como un recurso sostenible.

Además de la remoción de patógenos, la remoción de DBO_5 y SS puede ser tan alta como en cualquier otro proceso, si la laguna está diseñada y operada adecuadamente y si se considera que los sólidos en el efluente son

algas producidas en la laguna y no los sólidos suspendidos de las aguas residuales originales que entran en el sistema. Dentro de las ventajas es posible mencionar:

- Construcción

La construcción de un sistema lagunar es muy simple y mínimo, teniendo este: estructura de ingresos, interconexiones, estradas, salidas y revestimiento de taludes interiores.

- Inversión

El costo de un sistema lagunar es mucho menor que el de otros procesos. No requiere equipo sofisticado, puede obtenerse localmente y no se requiere de energía eléctrica para su funcionamiento.

- Manejo de lodos

Uno de los costos mayores en la operación de plantas de tratamiento de aguas residuales es el manejo de los lodos producidos. En las lagunas se producen menos lodos que en otros procesos, debido a que el tiempo que los lodos permanecen en la laguna son años, no horas ni días, estos se consolidan con el tiempo, ocupando menos volumen poco a poco⁴.

⁴ NELSON, K. *Sludge Accumulation, Characteristics, and Pathogen Inactivation in Four Primary Waste Stabilization Ponds in Central Mexico*. p. 49.

- Patógenos

En todos los procesos de tratamiento, los lodos estarán muy contaminados con huevos de helmintos, quistes de protozoarios y otros patógenos bacterianos y de los virus. En los sistemas de lagunas, el efluente contiene menos cantidad de patógenos que cualquier otro sistema, debido a la alta exposición del agua a la radiación solar, así como a las bajas concentraciones de patógenos en los lodos debido a su edad.

- Operación y mantenimiento

En las lagunas de estabilización el nivel de complejidad es muy bajo y, por ende, los requisitos de operación y mantenimiento son bajos comparados con cualquier otro proceso, lo cual redundará en bajo costo.

- Estabilidad y resiliencia de procesos

Los sistemas de lagunas de estabilización, debido al largo tiempo de retención hidráulica, tienen mucha más resiliencia a cargas altas orgánicas, hidráulicas y a concentraciones altas de compuestos tóxicos, lo que conduce a ser un sistema estable.

- Reúso

El valor agregado de las plantas de tratamiento de aguas residuales es el reúso de los efluentes, es decir que debe tratarse en la medida de lo posible de alcanzar el reúso (tomando todas las consideraciones posibles).

Como cualquier proceso o sistema, tiene desventajas:

- Área

La principal desventaja de los sistemas de lagunas de estabilización es el área que requiere el proceso. En este sistema el área de contacto con la radiación solar es de suma importancia, generando la necesidad de mucha área para su funcionamiento.

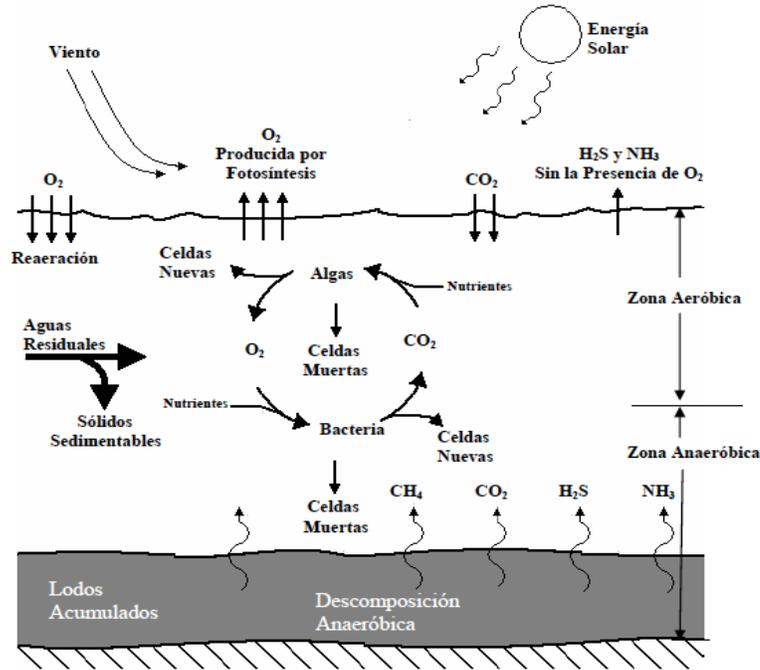
- Producción de algas

Pueden producir gran cantidad de algas, por lo que, si el efluente se descarga en un cuerpo receptor que no tiene las condiciones óptimas, incrementa la DBO.

1.1. Clasificación de lagunas

Dependiendo de la profundidad y, por consiguiente, de la presencia o no de oxígeno disuelto (OD) en el líquido contenido en la laguna, se clasifican como: aeróbicas, anaeróbicas, facultativas y de maduración.

Figura 1. **La interacción de bacterias y algas en las zonas aeróbicas y anaeróbicas en una laguna facultativa de estabilización**



Fuente: METCALF & EDDY, INC. *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. p. 35.

1.1.1. **Lagunas aeróbicas**

Son unidades grandes que soportan cargas orgánicas bajas, de poca profundidad (1,0 a 1,3 m. máxima), de tal forma que la luz solar pueda llegar hasta el fondo de las mismas. De esta forma se facilita el crecimiento de algas que producen oxígeno para las bacterias aerobias. Los microorganismos se encuentran en suspensión y prevalecen condiciones aeróbicas (con presencia de oxígeno).

El oxígeno es suministrado en forma natural por la fotosíntesis de las algas. La población biológica comprende bacterias y algas, principalmente protozoarios y rotíferos en menor medida. Las bacterias que realizan la conversión de la materia orgánica en las lagunas pertenecen a los géneros *Pseudomonas*, *Zoogloea*, *Achromobacter*, *Flavobacterias*, *Nocardia*, *Mycobacteria*, *Nitrosomas* y *Nitrobacter*.

Las algas constituyen la mejor fuente de oxígeno para mantener las condiciones aerobias, y los protozoarios y rotíferos ayudan a mejorar la calidad del efluente al alimentarse de las bacterias.

1.1.2. Lagunas anaeróbicas

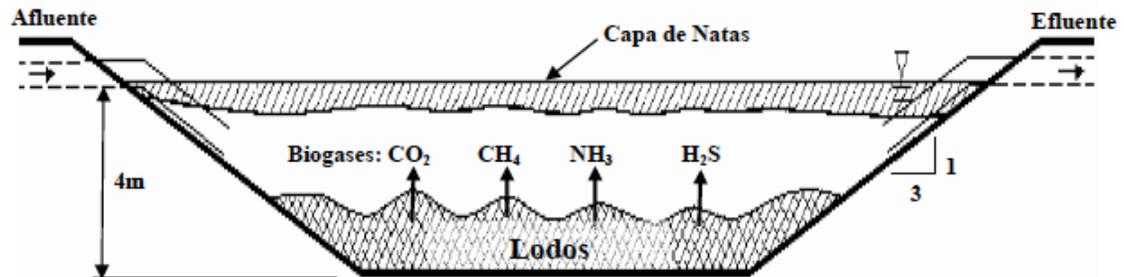
Son unidades grandes, se proyectan para altas cargas orgánicas y no contienen oxígeno disuelto, tienen una profundidad entre 3,0 a 5,0 m., con un período de retención hidráulica de 1 a 5 días⁵.

El propósito de una laguna anaeróbica es remover un porcentaje de la carga orgánica (DBO) y la mayoría de los sólidos suspendidos bajo condiciones anaeróbicas (sin presencia de oxígeno) por la acción de bacterias anaeróbicas, y por lo tanto disminuir el área requerida para el sistema total de lagunas.

Las bacterias anaeróbicas realizan un tratamiento de los desechos mediante una asimilación anaeróbica con la descomposición de materia orgánica y la producción de bióxido de carbono, metano y otros productos secundarios.

⁵ YÁNEZ COSSÍO, Fabián. *Lagunas de estabilización: teoría, diseño, evaluación y mantenimiento*. p. 73.

Figura 2. Diagrama de una laguna anaeróbica



Fuente: METCALF & EDDY, INC. *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización.* p. 40.

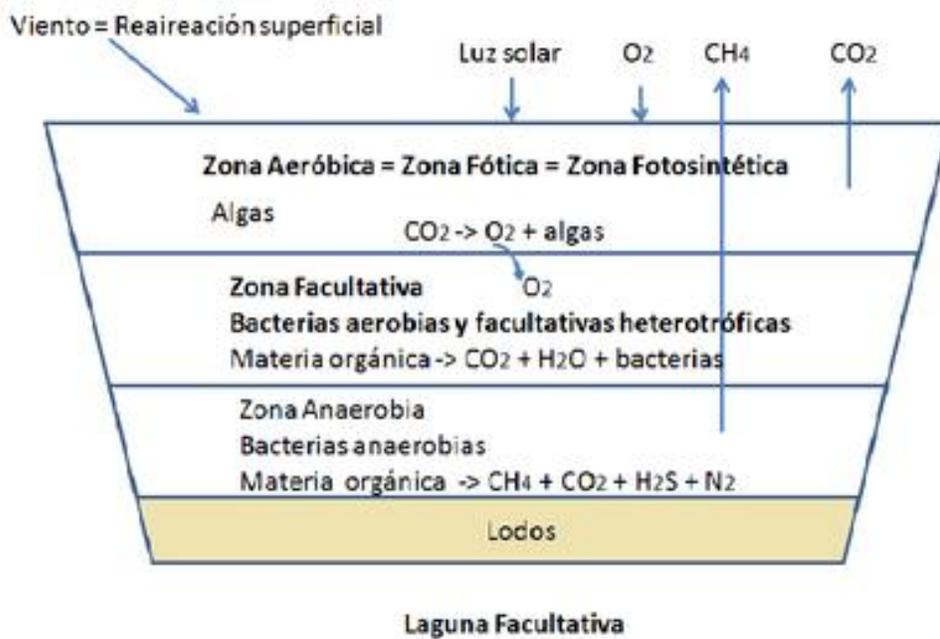
1.1.3. Lagunas facultativas

Son las lagunas que operan en su zona superior como lagunas aeróbicas (con presencia de oxígeno), en su zona inferior como lagunas anaeróbicas, y en su zona intermedia con la presencia de bacterias facultativas se crea un estrato particular llamado zona facultativa. Suelen medir de 1,0 a 2,0 m. de profundidad.

El propósito de las lagunas facultativas es remover la DBO bajo condiciones aeróbicas, aprovechando principalmente la simbiosis entre las algas y la bacteria.

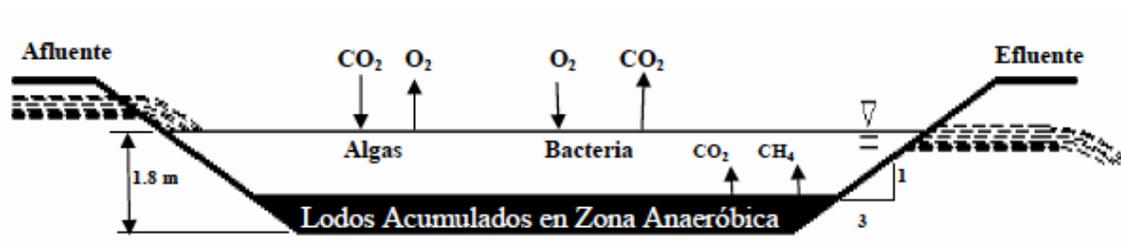
La laguna también contribuye a la remoción de patógenos a través del largo período de retención hidráulica, que permite la sedimentación de huevos de helmintos y la mortalidad de bacterias causado por el tiempo de retención hidráulica, por los rayos ultravioletas de la energía solar y el aumento en pH por las actividades de las algas.

Figura 3. Diagrama de una laguna facultativa con la zona aeróbica



Fuente: MÉNDEZ GUTIÉRRES, Miguel D. *Lagunas. Diseño, operación y control*. p. 43.

Figura 4. Diagrama de una laguna facultativa en sus tres zonas



Fuente: MÉNDEZ GUTIÉRRES, Miguel D. *Lagunas. Diseño, operación y control*. p. 44.

1.1.4. Lagunas de maduración

Se utilizan como una segunda etapa de tratamiento a continuación de las lagunas facultativas. Son de poca profundidad, misma que varía entre 1.0 a 1.5 m., presentando buena oxigenación.

Se diseñan para disminuir el número de organismos patógenos, ya que las bacterias y virus mueren en un tiempo razonable, mientras que los quistes y huevos de parásitos intestinales requieren más tiempo. También reducen la población de algas. Generalmente son el último paso del tratamiento antes de descargarlas a cuerpos receptores finales o de ser utilizadas en la agricultura.

Además de la desinfección, contribuyen notoriamente a la nitrificación del nitrógeno amoniacal, la eliminación de nutrientes, la clarificación del efluente y en consecuencia de un efluente bien oxigenado.

1.2. Lodos de procesos de tratamiento de aguas residuales

Los lodos son producidos durante los procesos de tratamiento de las aguas residuales. Esto ocurre durante el tiempo de retención hidráulica en las lagunas. La composición de los lodos depende de las características de las aguas y del tiempo de retención hidráulica de las mismas. Generalmente contienen una gran cantidad de material orgánico, vegetales, frutas, papel, etc., en estado inicial de descomposición. La consistencia se caracteriza por ser un fluido denso con un porcentaje de agua que varía entre el 90 % y 94 % de agua.

La función de las lagunas es estabilizar la materia orgánica, convirtiéndola en lodos. A través de dicho proceso se reduce la presencia de patógenos, olores desagradables y su potencial de putrefacción.

1.3. Acumulación de lodos en lagunas

La acumulación de lodos al fondo de una laguna puede afectar su funcionamiento, disminuyendo el volumen y por lo tanto el tiempo de retención hidráulica. Se debe calcular la acumulación en el diseño y se debe medir la acumulación en la operación y mantenimiento de una laguna para poder prepararse para la remoción de lodos. Es recomendable que se considere en el diseño dos lagunas en paralelo, para poder secar una y remover los lodos acumulados mientras una segunda está en operación.

1.4. Medición de la profundidad de lodos en lagunas

“Una forma de poder monitorear la acumulación de los lodos en las lagunas es efectuar mediciones periódicas (por lo menos una vez al año). Se mide la acumulación de lodos al sumergir un palo suficientemente largo para la profundidad de la laguna. En un extremo del palo se debe colocar una tela blanca absorbente, se introduce este en la laguna cuidando que permanezca en posición vertical, hasta que alcance el fondo, luego se retira y se mide la altura manchada con lodos”⁶. Es recomendable que el volumen no sobrepase el 25% del volumen de la laguna.

1.5. Remoción de lodos en lagunas

La forma más económica de remover los lodos en las lagunas es realizar una limpieza en seco, que consiste en vaciar la laguna y dejar que el sol seque los mismos. Debe realizarse en época seca. Estos pueden removerse cuando tengan una humedad menor al 30%. El tiempo de secado puede durar hasta dos meses, dependiendo del volumen y las condiciones climáticas. Los lodos

⁶ MARA, D. *Aguas residuales y tratamiento de efluentes cloacales*. p. 46.

pueden ser colocados en un relleno sanitario o reutilizados para el mejoramiento de suelos.

1.6. Producción de lodos en lagunas de estabilización

La remoción de lodos es una tarea significativa y obligatoria, y su realización debe ser bien planeada con estudios de ingeniería. Los sólidos suspendidos que se van sedimentando en las lagunas primarias (facultativas o anaerobias) se acumulan en el fondo como lodos, donde, poco a poco, a través de los años, la reducción del volumen puede afectar el funcionamiento del sistema y por lo tanto la reducción del tiempo de retención hidráulica. Generalmente los lodos deberán ser removidos con una frecuencia de 5 a 10 años en lagunas facultativas, y de 2 a 5 años en lagunas anaeróbicas.

A continuación, se presenta un cuadro donde se presentan etapas esenciales para la remoción de lodos en lagunas primarias.

Tabla I. **Etapas para la remoción de lodos en lagunas primarias.**
Adaptado de Francia, 1999

Etapa	Tarea
1	Estimación del volumen de lodos por los caudales, concentraciones de sólidos suspendidos y los años de operación del sistema de lagunas.
2	Medición del volumen de lodos a través de estudios de batimetría.
3	Caracterización físicoquímica y microbiológica de lodo.
4	Estimación, a través de datos meteorológicos, del tiempo requerido de secar los lodos antes de sacarlos de la laguna.
5	Plan de trabajo: Desvío del afluente a otra laguna. Impacto del desvío en el funcionamiento del sistema. Drenaje de laguna primaria. Secado de lodos. Método de sacar los lodos secados. Rellenado de la laguna limpiada. Disposición final de los lodos. Impactos ambientales del proyecto.

Fuente: OAKLEY, Stewart M. *Manual de diseño, Construcción, operación y mantenimiento, monitoreo y sostenibilidad.* p. 49.

En este caso, debe haber un enfoque en la etapa 2: medición del volumen de lodos a través de estudios de batimetría.

- Medición del volumen de lodos a través de estudios de batimetría

La batimetría es el conjunto de técnicas para la medición de la profundidad de fondos lacustres o marinos, es decir, realizar un levantamiento del relieve de superficies subacuáticas (en este caso, lagunas de estabilización), que como resultado muestran el relieve del fondo o terreno (acumulación de lodos).

La batimetría ha ido evolucionando mucho en topografía. Tiene sus orígenes en el pueblo egipcio, el cual, con el uso de piedras atadas a cuerdas, examinaban la profundidad del fondo y han ido evolucionando hasta la fecha,

en que haciendo uso del sistema de posicionamiento global (GPS) y técnicas sónicas utilizadas a la vez se hallan las coordenadas al instante.

Al igual que en los levantamientos convencionales, se hallará las coordenadas (X, Y, Z), de manera que puedan describirse los fondos y todas aquellas anomalías que en estos puedan existir.

Para este caso, el área de estudio es relativamente muy pequeña, y los recursos escasos para poder utilizar equipo especial. Debido a esto, se realizó una batimetría básica con equipo de topografía, la cual se describirá a continuación.

2. METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

La Planta de Tratamiento Aurora II, de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS), está ubicada al final de la Colonia Aurora II, zona 13 de la Ciudad capital, al final de la diagonal 26 numeral 20-56. Según información recabada, estas instalaciones fueron rehabilitadas en el año 2004.

Las coordenadas de ubicación son $14^{\circ} 34' 41''$ N y $90^{\circ} 32' 11''$ O. El sistema de tratamiento está conformado por dos lagunas, la primera es una laguna facultativa de 15.00 m de ancho por 45.0 m de largo, la cual recibe el caudal proveniente de un canal distribuidor de caudales, dentro del cual se deriva el caudal antes mencionado. Allí existe un dispositivo que sirve como una rejilla, la cual evita que ingresen a la laguna sólidos flotantes.

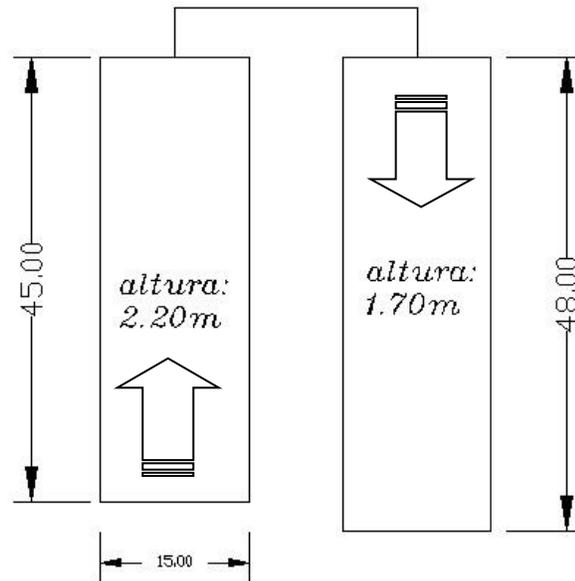
Figura 5. **Imagen de ubicación**



Fuente: Google Earth. Consulta: mayo 2017.

Posteriormente es conducido el caudal a un canal construido con tubo PVC Ø 4", el cual tiene ranuras a cierta altura, para que el agua salga del tubo por todas las ranuras y sea distribuida uniformemente a través de todo el ancho de la laguna, para aproximar una distribución tipo pistón. Al final de la laguna, tiene un tubo que recolecta el agua y la traslada a la segunda laguna, una laguna de maduración de 15,0 m de ancho por 48,0 de largo, la cual tiene un sistema igual de distribución de caudal.

Figura 6. **Esquema de lagunas y dirección de flujo**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa AutoCAD.

2.2. Determinación de volumen de sólidos

El objetivo principal es estimar el volumen de lodos acumulados y determinar la distribución espacial de los mismos. Para ello se realizará la batimetría, para obtener un levantamiento del relieve de la superficie subacuática, obteniendo las profundidades de agua y lodos, y con ello calcular los volúmenes acumulados.

- Realización de la batimetría:

Para obtener información necesaria y representativa, se optó por realizar una cuadrícula imaginaria sobre la superficie, de 1,0 x 1,0 m., para medir la profundidad en cada punto con el estatal. Para el caso de la laguna facultativa

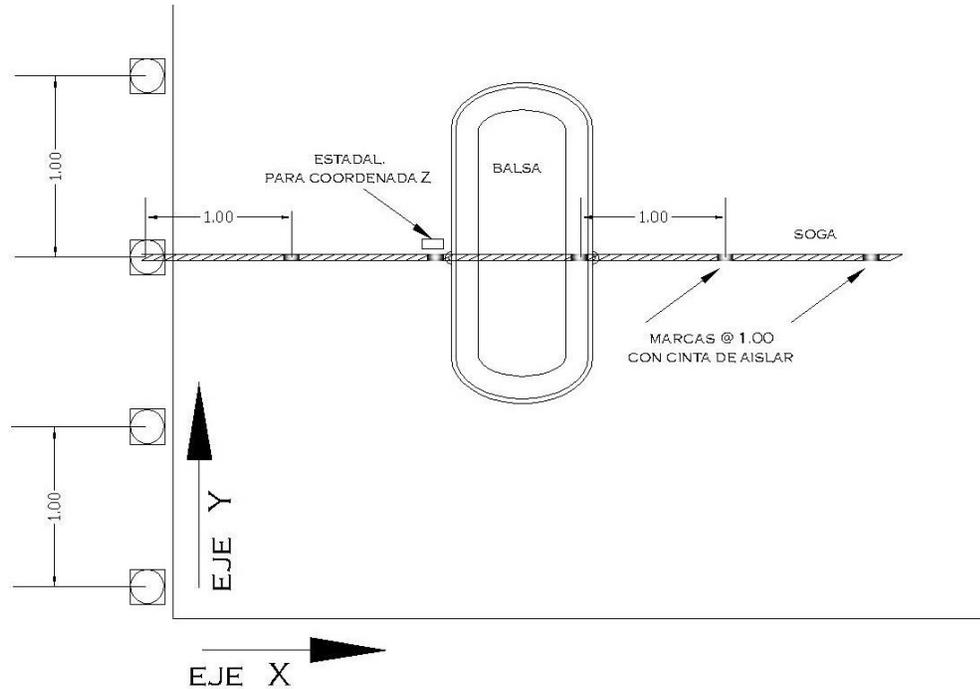
se tomaron 736 mediciones, y para la laguna de maduración fueron 768 mediciones, con un total de 1,504 puntos con coordenadas X, Y y Z.

- Equipo utilizado
 - Lancha
 - Teodolito
 - Trípode
 - Estadal
 - Cintas métricas
 - Sogas
 - Estacas de madera
 - Clavos de lámina
 - Metro
 - Libreta topográfica
 - Cámara fotográfica

- Procedimiento

Se marcaron los costados de la laguna facultativa, utilizando la cinta métrica, las marcas se realizaron a cada metro, en ambos lados, obteniendo: líneas transversales a cada metro para las coordenadas en el eje Y (ver figura 6).

Figura 7. Indica forma de marcar a cada metro sobre los ejes X y Y



Fuente: elaboración propia, empleando el programa AutoCAD.

Posteriormente, se procedió a marcar con cinta de aislar una soga de \varnothing ½" de espesor, para garantizar su resistencia y evitar mucha deformación, a cada metro, para que, sobre este, se fuera tomando los datos para la coordenada en el eje X. Desplazado sobre las marcas en los costados, eje Y (ver figura 6).

Con ello ya se tiene ubicado cada punto, con coordenadas en los ejes X y Y, como sigue (X, Y): Punto 1: 0,0 – Punto 2: 1,0 – Punto 3: 2,0... entre otros.

Para la obtención de la coordenada en el eje Z, se procedió a ubicar la lancha sobre cada punto, de la siguiente manera: sobre cada marca de los

costados (a cada metro), se ubicaba la soga previamente marcada con cinta de aislar, la cual iba pasando sobre dos argollas que tenía fija la balsa, para lograr que la balsa se moviera solamente sobre el eje X (soga marcada a cada metro con cinta de aislar); con lo cual se tomaban los datos de 15 puntos (eje X), sobre el primer metro (eje Y). El dato de la coordenada Z se obtuvo introduciendo el estadal sobre cada punto, y tomando el dato de nivelación en el teodolito. Como producto, se obtuvieron las tres coordenadas en cada punto, con lo cual se generaron los siguientes cuadros para cada laguna, con las tres coordenadas para cada punto.

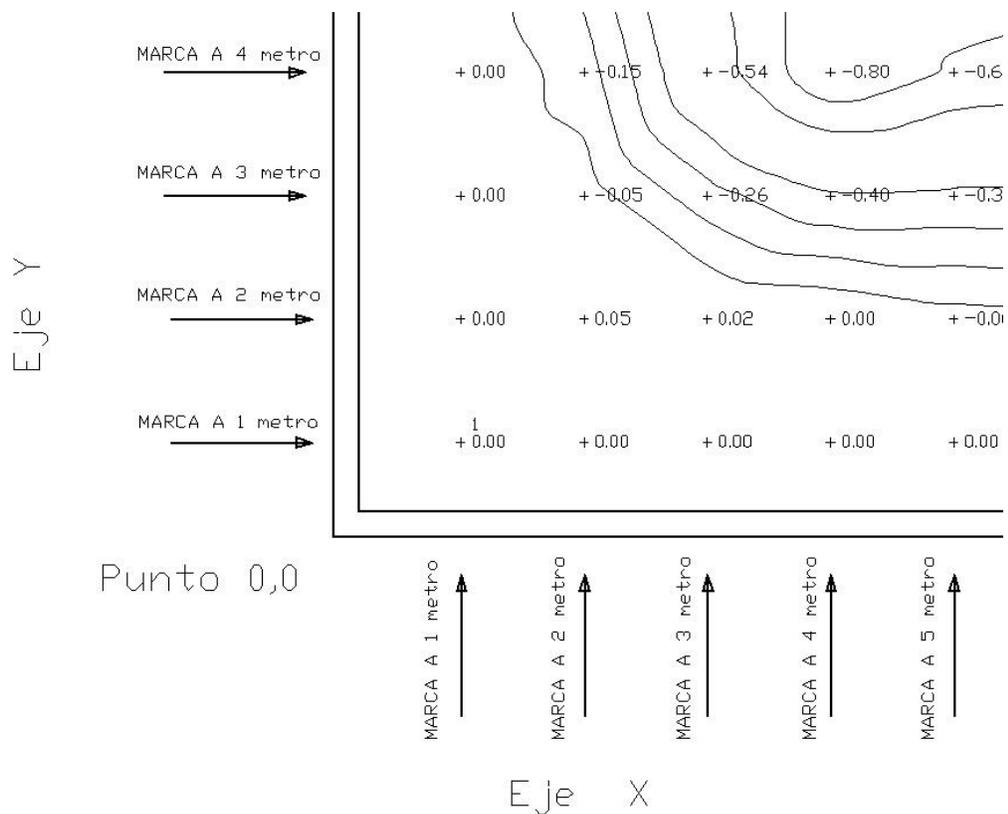
En los anexos se presentan las tablas con los puntos y las coordenadas en cada punto (X, Y y Z), las cuales se obtuvieron del levantamiento realizado. Estas son las que se ingresaron a los programas para producir los planos y analizarlos.

Posteriormente, con el software TOPOCAL (cálculo topográfico que puede descargarse gratis en www.topocal.com), se procedió a realizar el ploteo de cada punto, para generar las curvas de nivel. Se colocaron curvas maestras a 0,50 metros, y el resto de las curvas a cada 0,10 metros, para ambas lagunas. Posteriormente, se exportan los datos a AutoCAD Versión 2017, para la manipulación, cálculo de volúmenes y diseño de planos.

Al ingresar todos los puntos generados por la batimetría, es posible crear las curvas de nivel de los lodos sedimentados en las lagunas, como lo muestra la figura 7, en la cual se ven los datos de cada punto. El eje "Y" irá cambiando en el sentido longitudinal de las lagunas, mientras que el eje "X" cambiará en el sentido transversal de las lagunas, y la altura de los lodos será la coordenada del eje "Z", como se muestra a continuación.

En los anexos se presentan los cuadros de todos los puntos de las lagunas. El volumen calculado con AutoCAD es de 284,23 m³ de lodo sedimentado, obteniendo gráficamente lo siguiente:

Figura 8. **Indica las marcas en la laguna, para generar los ejes imaginarios y obtener las coordenadas X, Y y Z**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa AutoCAD.

Se puede observar la generación de las tres coordenadas obtenidas en cada punto, con lo cual se procede a operar y analizar.

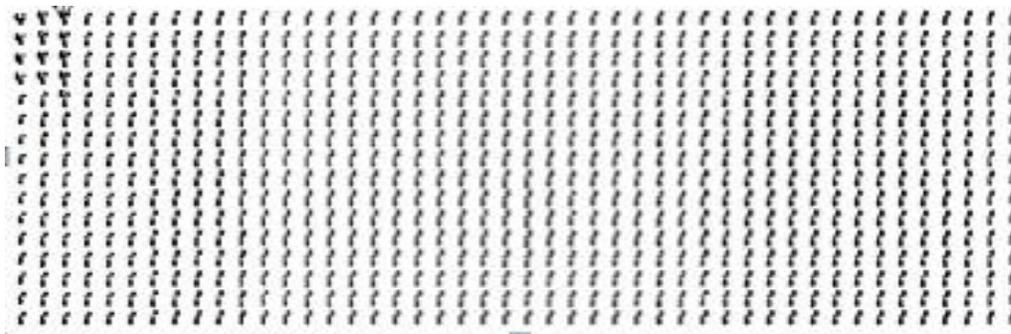
Figura 9. Indica en cada punto generado, la información de cada uno

Punto No.	Coordenada Z	Coordenada X	Coordenada Y
161	+0.00		
162	+ -0.57		
163	+ -1.18		
164	+ -1.39		
165	+ -1.57		
166	+ -1.59		
167	+ -1.58		
168	+ -1.56		
169	+ -1.58		
170	+ -1.61		
171	+ -1.60		
172	+ -1.51		
173	+ -1.24		
174	+ -0.74		
175	+ -0.43		
176	+ 0.00		
145	+0.00		
146	+ -0.74		
147	+ -1.60		
148	+ -1.60		
149	+ -1.59		
150	+ -1.59		
151	+ -1.55		
152	+ -1.54		
153	+ -1.56		
154	+ -1.28		
155	+ -1.57		
156	+ -1.23		
157	+ -0.84		
158	+ -0.31		
159	+ -0.14		
160	+ 0.00		
129	+0.00		
130	+ -0.54		
131	+ -1.19		
132	+ -1.28		
133	+ -1.34		
134	+ -1.54		
135	+ -1.55		
136	+ -1.55		
137	+ -1.55		
138	+ -1.56		
139	+ -1.55		
140	+ -1.45		
141	+ -1.17		
142	+ -0.86		
143	+ -0.30		
144	+ 0.00		
113	+0.00		
114	+ -0.34		
115	+ -1.70		
116	+ -0.93		
117	+ -1.10		
118	+ -1.50		
119	+ -1.55		
120	+ -1.55		
121	+ -1.54		
122	+ -1.54		
123	+ -1.53		
124	+ -1.54		
125	+ -1.53		
126	+ -1.40		
127	+ -0.45		
128	+ 0.00		
97	+0.00		
98	+ -0.35		
99	+ -1.70		
100	+ -0.86		
101	+ -1.55		
102	+ -1.17		
103	+ -1.20		
104	+ -1.22		
105	+ -1.21		
106	+ -1.21		
107	+ -1.21		
108	+ -1.23		
109	+ -1.22		
110	+ -1.05		
111	+ -0.35		
112	+ 0.00		
81	+0.00		
82	+ -0.35		
83	+ -1.62		
84	+ -0.77		
85	+ -1.80		
86	+ -0.83		
87	+ -0.84		
88	+ -0.89		
89	+ -0.87		
90	+ -0.85		
91	+ -0.89		
92	+ -0.92		
93	+ -0.91		
94	+ -0.70		
95	+ -0.25		
96	+ 0.00		
65	+0.00		
66	+ -0.25		
67	+ -1.58		
68	+ -0.79		
69	+ -1.75		
70	+ -0.75		
71	+ -0.82		
72	+ -0.83		
73	+ -0.79		
74	+ -0.75		
75	+ -0.62		
76	+ -0.71		
77	+ -0.72		
78	+ -0.64		
79	+ -0.17		
80	+ 0.00		
49	+0.00		
50	+ -0.15		
51	+ -1.54		
52	+ -0.80		
53	+ -1.69		
54	+ -0.67		
55	+ -0.79		
56	+ -0.74		
57	+ -0.70		
58	+ -0.65		
59	+ -0.24		
60	+ -0.50		
61	+ -0.53		
62	+ -0.57		
63	+ -0.09		
64	+ 0.00		
33	+0.00		
34	+ -0.05		
35	+ -1.26		
36	+ -0.40		
37	+ -1.38		
38	+ -0.38		
39	+ -0.44		
40	+ -0.45		
41	+ -0.48		
42	+ -0.52		
43	+ -0.40		
44	+ -0.49		
45	+ -0.53		
46	+ -0.41		
47	+ -0.06		
48	+ 0.00		
17	+0.00		
18	+ -1.00		
19	+ -1.00		
20	+ 0.00		
21	+ -1.06		
22	+ -0.88		
23	+ -0.89		
24	+ -0.13		
25	+ -0.25		
26	+ -0.38		
27	+ -0.46		
28	+ -0.48		
29	+ -0.58		
30	+ -0.24		
31	+ -0.04		
32	+ 0.00		
1	+ 0.00		
2	+ -1.00		
3	+ -1.00		
4	+ 0.00		
5	+ 0.00		
6	+ 0.00		
7	+ 0.00		
8	+ 0.00		
9	+ 0.00		
10	+ 0.00		
11	+ 0.00		
12	+ 0.00		
13	+ 0.00		
14	+ 0.00		
15	+ 0.00		
16	+ 0.00		

Fuente: elaboración propia, empleando el programa AutoCAD.

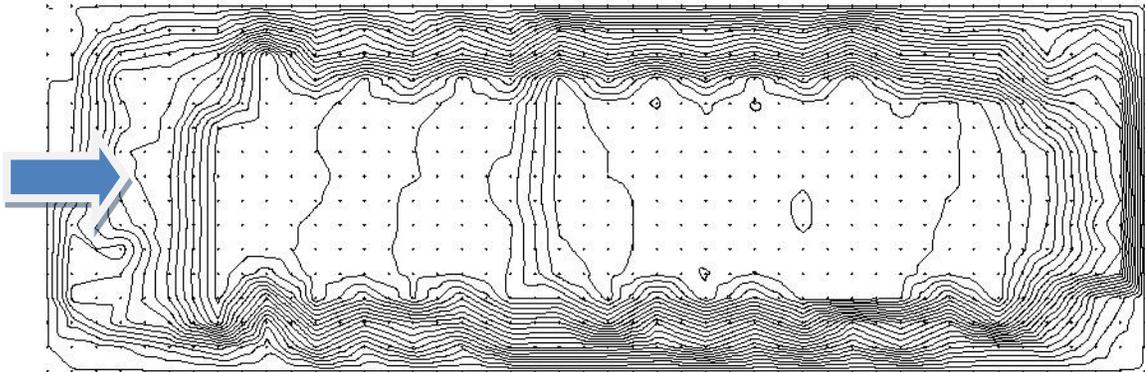
En la siguiente imagen se muestra la totalidad de puntos obtenidos y generados al realizar la batimetría, los cuales, operados, generan las curvas de nivel y se procede a calcular los volúmenes de sólidos sedimentados.

Figura 10. Indica la generación parcial de los datos en TOPOCAL



Fuente: elaboración propia, empleando el programa AutoCAD.

Figura 11. **Generación de curvas a nivel a cada 0.10 metros. Laguna facultativa**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa AutoCAD.

2.3. Toma de muestra de lodo sedimentado

Conociendo el volumen espacial de los lodos, se determinó sacar una muestra de los mismos en la parte de mayor acumulación, estando esta a 12 metros de la entrada del caudal.

2.3.1. Procedimiento de obtención de la muestra

Una vez determinado y localizado el punto de muestreo, se procedió a extraer una parte del mismo, introduciendo un tubo PVC Ø 4" con ambos extremos libres. Una vez introducido un extremo en los lodos (50cm), se colocó un tapón PVC en el extremo superior para evitar que los lodos ingresados al tubo salieran nuevamente. Este procedimiento se realizó 2 veces para obtener un volumen considerable. Una vez sacados los lodos para la muestra, se procedió a homogenizarlos y colocarlos al sol para su deshidratación. Una vez

deshidratados se realizó la toma de muestra para ser llevada al laboratorio. La muestra fue obtenida por personal del laboratorio encargado de realizar los análisis, con las indicaciones y requerimientos solicitados por ellos para garantizar una muestra inalterada y obtener resultados confiables.

2.3.2. Análisis del Acuerdo Gubernativo 236-2006

El artículo 42 del Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, establece los parámetros y límites máximos permisibles para lodos.

Tabla II. Límites máximos permisibles para disposición de lodos

Parámetro	Dimensional	Aplicación al suelo	Disposición en rellenos sanitarios	Confinamiento o aislamiento	
Arsénico As	mg/Kg	50	100	> 100	
Cadmio Cd	mg/Kg	50	100	> 100	
Mercurio Hg	mg/Kg	1 500	3 000	> 3 000	
Plomo Pb	mg/Kg	25	50	> 50	
Cromo Cr	mg/Kg	500	1 000	> 1 000	

Fuente: Acuerdo Gubernativo 236-2006 del Congreso de la República de Guatemala. Artículo 42 del Reglamento 236-2006. Guatemala, 2006.

2.3.3. Norma de muestreo y análisis

El laboratorio trabaja con un sistema de calidad bajo la norma Coguanor NGR/COPANT/ISO/IEC 17025, y cuenta con acreditación de parámetros

específicos por la Oficina Guatemalteca de Acreditación (OGA) del Ministerio de Economía. La muestra se digiere y posteriormente es determinada por espectrofotometría de absorción atómica.

3. RESULTADOS

Se procedió a revisar el diseño hidráulico de la laguna facultativa, para conocer las condiciones iniciales y parámetros de diseño.

- Resultados de diseño
 - Largo = 45 metros
 - Ancho = 15 metros
 - Profundidad = 2.20 metros
 - Relación de taludes = 1-2
 - Relación hidráulica 1-3
 - Área = 675 m²
 - Volumen = 742 m³
 - Tiempo de retención hidráulica = 17 días
 - Sólidos suspendidos por año= 19 m³/año
 - Volumen de lodos en 10 años de uso = 190 m³
 - Período de remoción de lodos al 25% = 10 años

El tiempo de operación de las lagunas es de 12 años continuos. En la laguna facultativa se obtuvieron 736 mediciones de altura, las cuales permiten calcular el volumen de sólidos sedimentados acumulado.

La siguiente tabla muestra el promedio de lodos sobre el eje central a lo largo de toda la laguna:

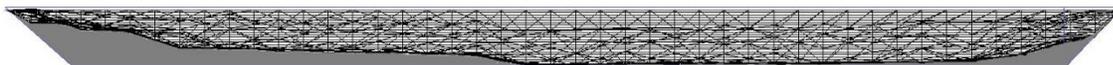
Tabla III. **Altura de lodo sedimentado en eje central**

Punto	X	Y	Altura lodos	Punto	X	Y	Altura lodos	Punto	X	Y	Altura lodos
7	7.00	0.00	0.00	248	8.00	15.00	0.59	487	7.00	30.00	0.02
24	8.00	1.00	0.00	263	7.00	16.00	0.58	504	8.00	31.00	0.01
39	7.00	2.00	0.00	280	8.00	17.00	0.59	519	7.00	32.00	0.02
56	8.00	3.00	0.00	295	7.00	18.00	0.57	536	8.00	33.00	0.05
71	7.00	4.00	0.40	312	8.00	19.00	0.53	551	7.00	34.00	0.05
88	8.00	5.00	0.46	327	7.00	20.00	0.35	568	8.00	35.00	0.07
103	7.00	6.00	0.54	344	8.00	21.00	0.22	583	7.00	36.00	0.08
120	8.00	7.00	0.66	359	7.00	22.00	0.11	600	8.00	37.00	0.10
135	7.00	8.00	0.66	376	8.00	23.00	0.05	615	7.00	38.00	0.13
152	8.00	9.00	0.64	391	7.00	24.00	0.02	632	8.00	39.00	0.16
167	7.00	10.00	0.64	408	8.00	25.00	0.03	647	7.00	40.00	0.29
184	8.00	11.00	0.73	423	7.00	26.00	0.05	664	8.00	41.00	0.35
199	7.00	12.00	0.76	440	8.00	27.00	0.06	679	7.00	42.00	0.00
216	8.00	13.00	0.65	455	7.00	28.00	0.05	696	8.00	43.00	0.00
231	7.00	14.00	0.60	472	8.00	29.00	0.03	711	7.00	44.00	0.00
248	8.00	15.00	0.59	487	7.00	30.00	0.02	728	8.00	45.00	0.00

Fuente: elaboración propia.

En los anexos se presentan los cuadros de todos los puntos de las lagunas.

Figura 12. **Perfil longitudinal de laguna facultativa**

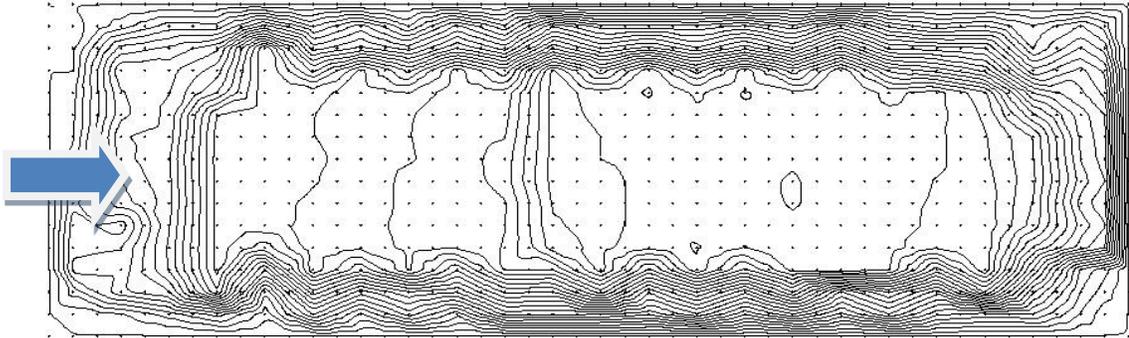


Fuente: elaboración propia.

El volumen calculado para la laguna primaria con el software AutoCAD es de 284,23 m³ de lodo sedimentado.

Para la laguna facultativa se generaron 736 mediciones de altura de agua y lodos, generando las curvas de nivel para obtener el volumen indicado anteriormente.

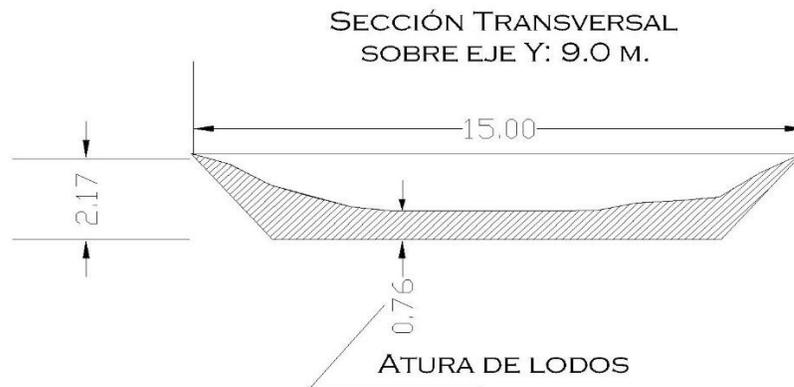
Figura 13. **Generación de curvas a nivel a cada 0.10 metros. Laguna facultativa**



Fuente: elaboración propia.

La siguiente figura muestra la altura máxima alcanzada en la zona de mayor acumulación de lodos, se obtuvo una altura de 76 centímetros de lodos a los 9,00 metros de longitud, equivalente al 20 % de la longitud total de la laguna.

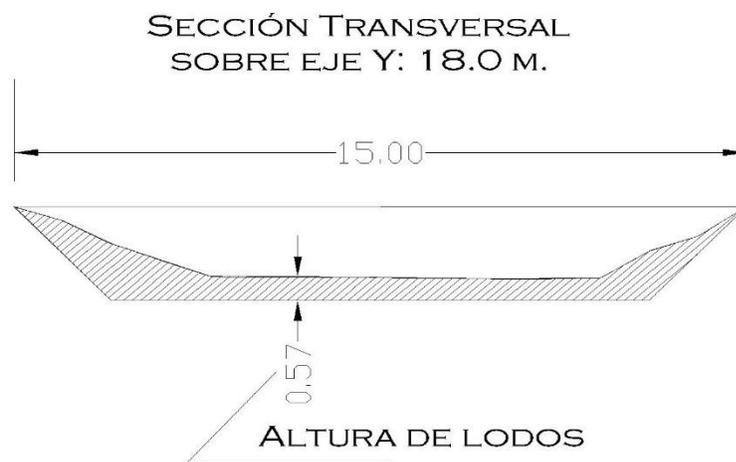
Figura 14. **Zona de mayor acumulación de lodos**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

La siguiente figura muestra la altura alcanzada en la zona posterior a la de mayor acumulación de lodos, se tiene una altura de 57 centímetros de lodos a los 18,00 metros de longitud, equivalente al 40 % de la longitud total de la laguna.

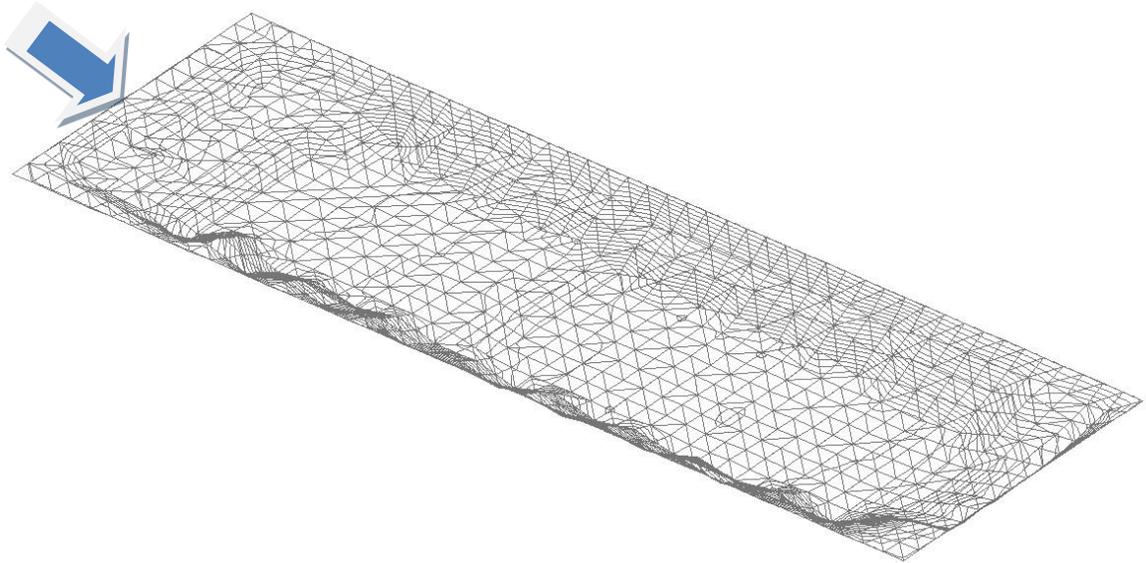
Figura 15. **Zona de mayor acumulación de lodos**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 16. **Vista en 3D de la laguna facultativa**

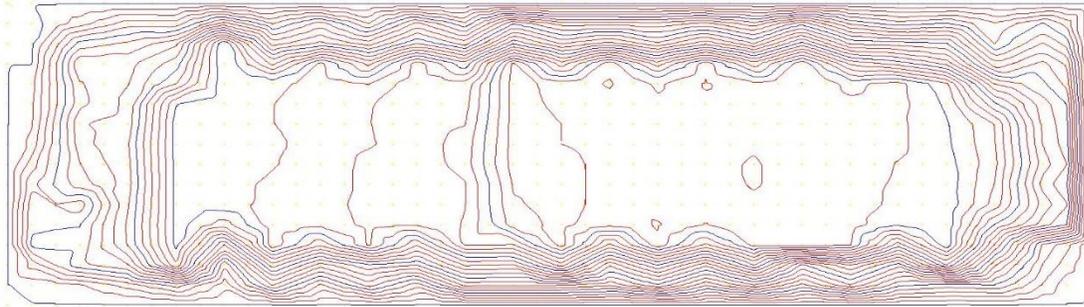
Entrada



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

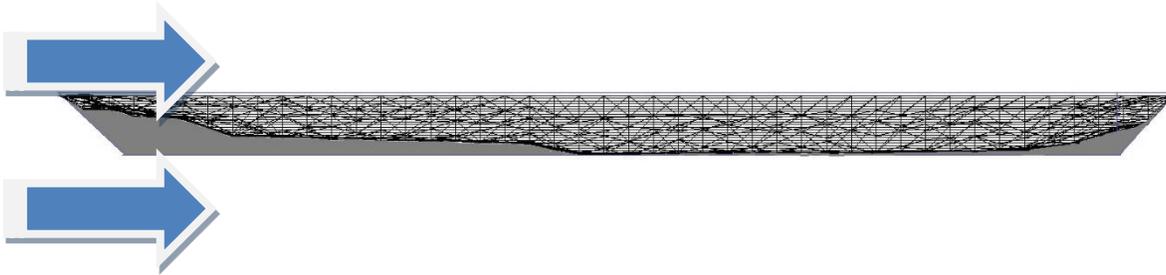
Con los resultados obtenidos, al generar las curvas a nivel es posible modelar la imagen.

Figura 17. **Planta de laguna facultativa. Curvas a nivel de sólidos sedimentados a cada 0.10 m**



Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Perfil de laguna facultativa. Curvas a nivel de sólidos sedimentados a cada 0.10 M**



Fuente: elaboración propia.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Lodos en laguna facultativa

Con la ayuda de los programas Topocal y AutoCAD, al ingresar los datos de la batimetría, se obtiene el volumen actual de lodos en la laguna facultativa, obteniendo el valor total de 284.23 m³ en toda la laguna durante los 12 años posteriores a su construcción y arranque. A continuación, se presentan los volúmenes acumulados respecto a la longitud de la laguna. Pueden observarse las zonas de mayor sedimentación.

Tabla IV. Longitud vs volumen de sólidos sedimentados

% Long. de Laguna	Longitud	Vol. Lodos Sedimentados	% del volumen total	% del volumen acumulado
25	12.0 m	119.40 m ³	42.01%	42.01%
50	23.0 m	90.95 m ³	32.00%	74.01%
75	33.0 m	35.00 m ³	12.31%	86.32%
100	45.0 m	38.65 m ³	13.68%	100.00%

Fuente: elaboración propia.

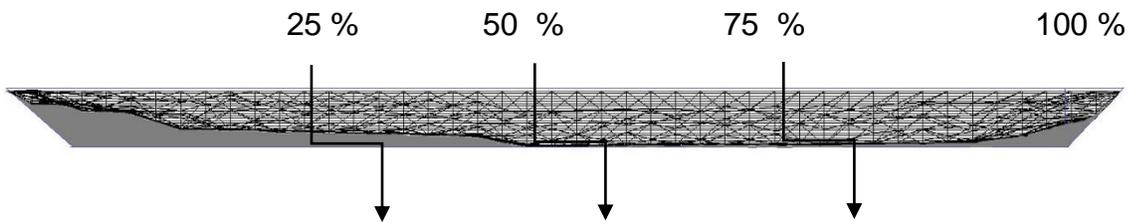
Como se puede observar, aproximadamente el 75 % del total del volumen se ha sedimentado en la primera mitad de la laguna, con un volumen total de 231,35 m³.

Tabla V. **Volúmenes de sedimentación vs longitud**

25% de longitud	Vol: 119.40 m ³
50% de longitud	Vol: 90.95 m ³
75% de longitud	Vol: 35.00 m ³
100% de longitud	Vol: 38.65 m ³

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Perfil longitudinal de laguna facultativa**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Tabla VI. **Secciones transversales de laguna facultativa**

Análisis de porcentajes de sedimentación en el sentido transversal.

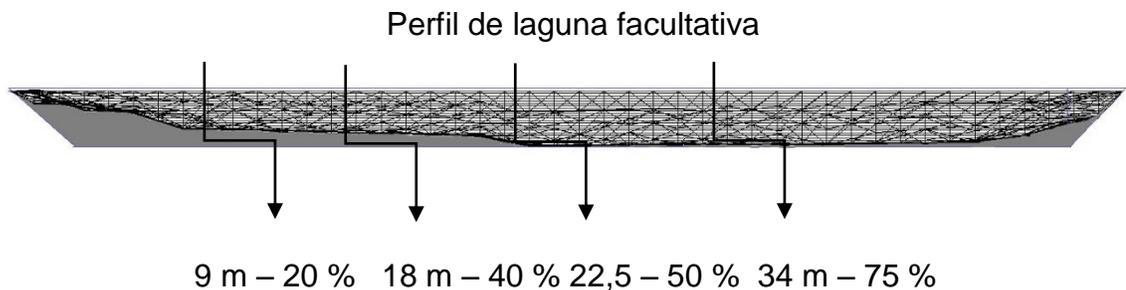
	Aproximadamente el 42 % del volumen total de los lodos (119,38 m ³) se sedimenta en el primer cuarto de la longitud total de la laguna. 25 %
	Aproximadamente el 32 % del volumen total de lodos (90.95m ³) se sedimenta en el segundo cuarto de la longitud total de la laguna, alcanzando un total acumulado de 74% del volumen total de lodos en la primera mitad.

Continuación de la tabla VI.

	<p>Al 50 % de la longitud, el porcentaje de sedimentación es apenas del 12 % del volumen total de lodos sedimentados.</p>
	<p>Al 75 % de la longitud de la laguna, el porcentaje de sedimentación es del 14 % del total de lodos sedimentados.</p>

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Perfil longitudinal de la laguna facultativa**



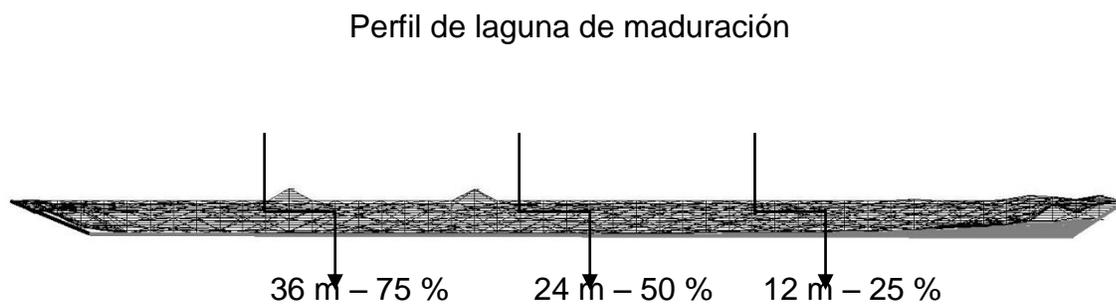
Fuente: elaboración propia.

Es posible observar que el mayor porcentaje de sedimentación ocurre en el primer cuarto de la laguna. En la figura 12 se puede ver que la altura alcanzada de lodos es de 76 centímetros, superando los 50 centímetros que se recomienda como altura máxima para su limpieza.

4.2. Análisis de laguna de maduración

Con la ayuda de la computadora y los programas de Topocal y AutoCAD, al ingresar los datos de la batimetría se obtiene el volumen actual de lodos en la laguna de maduración, siendo de 67.50 m³ en toda la laguna durante los 12 años de operación.

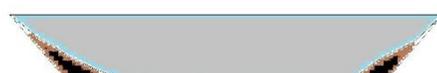
Figura 21. **Sección longitudinal de laguna de maduración**



Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Secciones transversales de laguna de maduración**

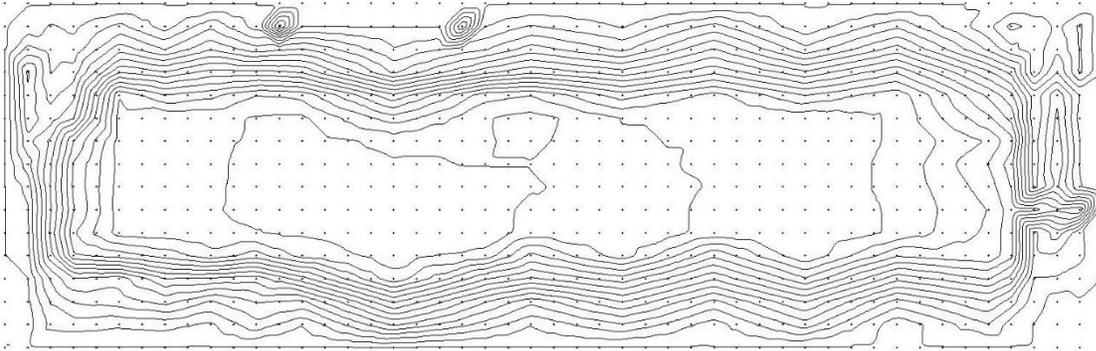
Análisis de porcentajes de sedimentación en sentido transversal

	<p>Se observa que el 50 % del volumen total de los lodos (33,75 m³) se sedimenta en un tercio de la longitud total de la laguna.</p>
	<p>En el segundo tercio se observa que el porcentaje de sedimentación es del 35 % del volumen total de lodos sedimentados (23,63m³), alcanzando un total acumulado de 85 % del volumen total de lodos.</p>
	<p>Al 75 % de la longitud el porcentaje de sedimentación es apenas del 15 % del volumen total de lodos sedimentados. (10,12 m³)</p>

Fuente: elaboración propia.

Es posible observar que el mayor porcentaje de lodos sedimentados ocurre en un tercio de la laguna. La altura máxima de lodos sedimentados es de 30 centímetros para la laguna de maduración.

Figura 22. **Planta de laguna de maduración. Curvas a nivel de sólidos a cada 0,10 m**



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Perfil de laguna de maduración. Curvas a nivel de sólidos sedimentados a cada 0,10 m**



Fuente: elaboración propia.

4.3. **Determinación del aporte de lodos *per cápita***

La población de diseño es de 393 habitantes y el lodo acumulado, según la batimetría, es de 351.73 m³ durante los 12 años de operación. Entonces se procede a calcular la producción de lodos *per cápita* de la siguiente manera:

$$Plp = \frac{351.73 \text{ m}^3}{393 \text{ hab}} = 0.8950 \frac{\text{m}^3}{\text{hab}} \div 12 \text{ años} = 0.0746 \cong 0.075 \frac{\text{m}^3}{\text{hab}} / \text{año}$$

Equivalente a:

$$Plp = 75.0 \frac{lbs}{hab} año$$

La producción de lodos obtenida es de 0,075 m³ por habitante durante un año. El valor es mayor al parámetro, que es de 0,03 – 0,04 m³/hab/año⁷ o 0,03 – 0,05 m³/hab/año.⁸ Si se utiliza el valor máximo de 0,05 m³/hab/año, se obtiene un valor esperado de lodos a los 12 años de 228,0 m³ y el valor a los 12 años obtenido de la batimetría es de 351,73 m³, la diferencia es mucho mayor, aproximadamente en un 53 %, valor que puede deberse a las variaciones de caudal del afluente de las lagunas, con lo cual se obtiene un nuevo valor de producción de lodos.

Tabla VIII. **Parámetros de producción de lodos según varios autores**

Producción de Lodos PER CÁPITA	
0.03 - 0.05 m ³ /hab/año	Gloyma (1,971)
0.03 - 0.04 m ³ /hab/año	Mara (1,976)
0.075 m ³ /hab/año	Daniel Baca (2,019)

Fuente: elaboración propia.

4.4. Análisis de lodos

Los lodos generados en sistemas de tratamiento por lagunas se caracterizan por estar altamente digeridos y mineralizados, es decir con contenido de sólidos volátiles inferiores al 40 %. La composición y cantidad dependen, entre otros factores, de la frecuencia y la manera de realizar el

⁷ MARA, D. *Agua residual y tratamiento de efluentes cloacales*. p. 35.

⁸ GLOYNA, Earnest. *Waste stabilization ponds*. p. 60.

vaciado. A medida que aumenta el tiempo de almacenamiento, mayor es el grado de estabilización alcanzado. Los parámetros a analizar son los requeridos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 para muestras de lodo. Además se analizaron coliformes fecales, coliformes totales y helmintos. Los resultados son favorables, presentados a continuación:

Tabla IX. **Análisis comparativo de resultados vs límites del Reglamento 236-2006**

Parámetro	Dimensional	Límite de detección	Resultado	Límite máximo 236-2006
Arsénico As	mg/Kg	2	3.44	50
Cadmio Cd	mg/Kg	4	N.D.	50
Mercurio Hg	mg/Kg	2	N.D	1500
Plomo Pb	mg/Kg	10	N.D	25
Cromo Cr	mg/Kg	6	N.D	500
Coliformes Totales	NMP/100ml	1.8	1.6×10^7	-
Coliformes Fecales	NMP/100ml	1.8	5.4×10^6	-
Helmintos	-	-	NSO	-

Fuente: elaboración propia.

Los resultados son los esperados para aguas residuales domésticas, los valores de los metales son bajos comparados con los límites del Reglamento 236-2006. En los anexos se presentan los resultados del laboratorio.

CONCLUSIONES

1. Se obtuvo el valor de los lodos sedimentados en las lagunas facultativa y de maduración. En ambas lagunas se puede observar gráficamente que la mayor sedimentación de lodos ocurre alrededor del 35% de la longitud de las lagunas, en el sentido del flujo.
2. El volumen total de sólidos sedimentados en la laguna facultativa es de 284,23m³ y en la laguna de maduración es de 67.50m³.
3. Analizando el volumen de la laguna facultativa dentro del tiempo de operación, que es de 12 años, se determina la producción de lodos *per cápita*, siendo de 0,075 m³/hab/año equivalente a 75 lts/hab/año.
4. La zona de sedimentación de los lodos ocurre en el primer tercio, se sedimenta aproximadamente el 75 % del volumen total de los lodos.
5. El análisis de los lodos es favorable, cumple con todos los parámetros que establece el Reglamento 236-2006 para su adecuada disposición.
6. Con base en los resultados es posible concluir que la vida útil de las lagunas está superada, el volumen de lodos ya superó la altura recomendable mayor a 50cm, es necesario programar su limpieza y reconstrucción.

RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios en unidades de tratamiento similares, para determinar los parámetros dependiendo el tipo de tecnología para el tratamiento.
2. Realizar batimetrías con tecnología digital para minimizar los errores en la obtención de datos.
3. Mejorar los aspectos constructivos en diseños futuros, para evitar mal funcionamiento del sistema. Por ejemplo:
 - Desarenadores
 - Reguladores de caudal
 - Canal de distribución
 - Taludes
4. Darle el periódico y adecuado mantenimiento a todo el sistema de tratamiento lagunar, para obtener los resultados esperados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 del Congreso de la República. *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. Guatemala 5 de mayo de 2006.
2. CASTELLANOS, Ramón; ROMERO, Manlia. Rehabilitación del sistema lagunar de la planta piloto Ing. Arturo Pasos Sosa y su aprovechamiento con fines de riego. ERIS, 2004.
3. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS) de Perú. *Sistema de lagunas de estabilización*. Perú: McGraw-Hill, 2010. 102 p.
4. CÓRDOVA V., Rocío. Guía para la operación y mantenimiento de lagunas de oxidación y estabilización. Ecuador: McGraw-Hill, 2011. 102 p.
5. GLOYNA, Earnest. *Waste stabilization ponds*. World Health Organization Monograph Series No. 60, Genova, 1971. 163 p.
6. GÓMEZ V, Laura M. *Uso de trazadores para determinar los tiempos de retención en las lagunas de la planta piloto de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos Ing. Arturo Pasos Sosa*. Estudio especial de Postgrado. 2011. 108 p.
7. MARA, D. *Aguas residuales y tratamiento de efluentes cloacales*. México: McGraw-Hill, 1976. 153 p.

8. MARTÍNEZ SUN, Jorge A. *Lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales*. México: McGraw-Hill, 1994. 242 p.
9. MENÉNDEZ, C.; DÍAZ, M. *Lagunas, diseño, operación y control*. España: Prentice Hall, 2006. 88 p.
10. METCALF & EDDY, INC. *Ingeniería de las aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. (Tomos I y II). México: McGraw-Hill, 1996. 184 p.
11. OAKLEY, Stewar M. *Manual de diseño, operación y mantenimiento para lagunas de estabilización en Honduras*. Fondo Hondureño de Inversión Social. Unidad de Generación de Empleo (FHIS/UGE) y Agencia de los Estados Unidos de América para el Desarrollo Internacional (USAID). 1997. 121 p.
12. ROMERO, Jairo A. *Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización*. Colombia: Alfaomega, 2000. 281 p.
13. SHWARTZ GUZMÁN, Fernando. *Remoción de *Streptococcus fecalis* en la planta de tratamiento de aguas residuales Aurora II*. ERIS, 2003. 181 p.
14. YÁNEZ COSSÍO, Fabián. *Lagunas de estabilización: teoría, diseño, evaluación y mantenimiento*. Ecuador: Monsalve, 1993. 79 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Tabla de altura de puntos, laguna facultativa

Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z
0	0.00	0.00	0.00	49	1.00	3.00	-0.15	98	2.00	6.00	-0.70
1	1.00	0.00	0.00	50	2.00	3.00	-0.54	99	3.00	6.00	-0.86
2	2.00	0.00	0.00	51	3.00	3.00	-0.80	100	4.00	6.00	-0.95
3	3.00	0.00	0.00	52	4.00	3.00	-0.69	101	5.00	6.00	-1.17
4	4.00	0.00	0.00	53	5.00	3.00	-0.67	102	6.00	6.00	-1.20
5	5.00	0.00	0.00	54	6.00	3.00	-0.79	103	7.00	6.00	-1.22
6	6.00	0.00	0.00	55	7.00	3.00	-0.76	104	8.00	6.00	-1.21
7	7.00	0.00	0.00	56	8.00	3.00	-0.70	105	9.00	6.00	-1.20
8	8.00	0.00	0.00	57	9.00	3.00	-0.65	106	10.00	6.00	-1.21
9	9.00	0.00	0.00	58	10.00	3.00	-0.34	107	11.00	6.00	-1.23
10	10.00	0.00	0.00	59	11.00	3.00	-0.50	108	12.00	6.00	-1.22
11	11.00	0.00	0.00	60	12.00	3.00	-0.53	109	13.00	6.00	-1.05
12	12.00	0.00	0.00	61	13.00	3.00	-0.57	110	14.00	6.00	-0.35
13	13.00	0.00	0.00	62	14.00	3.00	-0.09	111	15.00	6.00	0.00
14	14.00	0.00	0.00	63	15.00	3.00	0.00	112	0.00	7.00	0.00
15	15.00	0.00	0.00	64	0.00	4.00	0.00	113	1.00	7.00	-0.34
16	0.00	1.00	0.00	65	1.00	4.00	-0.25	114	2.00	7.00	-0.78
17	1.00	1.00	0.05	66	2.00	4.00	-0.58	115	3.00	7.00	-0.95
18	2.00	1.00	0.02	67	3.00	4.00	-0.79	116	4.00	7.00	-1.10
19	3.00	1.00	0.00	68	4.00	4.00	-0.75	117	5.00	7.00	-1.50
20	4.00	1.00	-0.06	69	5.00	4.00	-0.75	118	6.00	7.00	-1.55
21	5.00	1.00	-0.08	70	6.00	4.00	-0.82	119	7.00	7.00	-1.55
22	6.00	1.00	-0.09	71	7.00	4.00	-0.83	120	8.00	7.00	-1.54
23	7.00	1.00	-0.13	72	8.00	4.00	-0.79	121	9.00	7.00	-1.54
24	8.00	1.00	-0.25	73	9.00	4.00	-0.75	122	10.00	7.00	-1.53
25	9.00	1.00	-0.38	74	10.00	4.00	-0.62	123	11.00	7.00	-1.54
26	10.00	1.00	-0.46	75	11.00	4.00	-0.71	124	12.00	7.00	-1.53
27	11.00	1.00	-0.48	76	12.00	4.00	-0.72	125	13.00	7.00	-1.40
28	12.00	1.00	-0.52	77	13.00	4.00	-0.64	126	14.00	7.00	-0.45
29	13.00	1.00	-0.24	78	14.00	4.00	-0.17	127	15.00	7.00	0.00
30	14.00	1.00	-0.04	79	15.00	4.00	0.00	128	0.00	8.00	0.00
31	15.00	1.00	0.00	80	0.00	5.00	0.00	129	1.00	8.00	-0.54
32	0.00	2.00	0.00	81	1.00	5.00	-0.35	130	2.00	8.00	-1.19
33	1.00	2.00	-0.05	82	2.00	5.00	-0.62	131	3.00	8.00	-1.28
34	2.00	2.00	-0.26	83	3.00	5.00	-0.77	132	4.00	8.00	-1.34
35	3.00	2.00	-0.40	84	4.00	5.00	-0.80	133	5.00	8.00	-1.54
36	4.00	2.00	-0.38	85	5.00	5.00	-0.83	134	6.00	8.00	-1.55
37	5.00	2.00	-0.38	86	6.00	5.00	-0.84	135	7.00	8.00	-1.55
38	6.00	2.00	-0.44	87	7.00	5.00	-0.89	136	8.00	8.00	-1.55
39	7.00	2.00	-0.45	88	8.00	5.00	-0.87	137	9.00	8.00	-1.56
40	8.00	2.00	-0.48	89	9.00	5.00	-0.85	138	10.00	8.00	-1.55
41	9.00	2.00	-0.52	90	10.00	5.00	-0.89	139	11.00	8.00	-1.45
42	10.00	2.00	-0.40	91	11.00	5.00	-0.92	140	12.00	8.00	-1.17
43	11.00	2.00	-0.49	92	12.00	5.00	-0.91	141	13.00	8.00	-0.86
44	12.00	2.00	-0.53	93	13.00	5.00	-0.70	142	14.00	8.00	-0.30
45	13.00	2.00	-0.41	94	14.00	5.00	-0.25	143	15.00	8.00	0.00
46	14.00	2.00	-0.06	95	15.00	5.00	0.00	144	0.00	9.00	0.00
47	15.00	2.00	0.00	96	0.00	6.00	0.00	145	1.00	9.00	-0.74
48	0.00	3.00	0.00	97	1.00	6.00	-0.35	146	2.00	9.00	-1.60

Continuación del apéndice 1.

Punto	X	Y	Z		Punto	X	Y	Z		Punto	X	Y	Z
147	3.00	9.00	-1.60		195	3.00	12.00	-1.40		243	3.00	15.00	-1.27
148	4.00	9.00	-1.58		196	4.00	12.00	-1.61		244	4.00	15.00	-1.60
149	5.00	9.00	-1.58		197	5.00	12.00	-1.65		245	5.00	15.00	-1.69
150	6.00	9.00	-1.55		198	6.00	12.00	-1.63		246	6.00	15.00	-1.70
151	7.00	9.00	-1.54		199	7.00	12.00	-1.61		247	7.00	15.00	-1.69
152	8.00	9.00	-1.56		200	8.00	12.00	-1.61		248	8.00	15.00	-1.73
153	9.00	9.00	-1.58		201	9.00	12.00	-1.62		249	9.00	15.00	-1.74
154	10.00	9.00	-1.57		202	10.00	12.00	-1.64		250	10.00	15.00	-1.74
155	11.00	9.00	-1.35		203	11.00	12.00	-1.65		251	11.00	15.00	-1.73
156	12.00	9.00	-0.80		204	12.00	12.00	-1.50		252	12.00	15.00	-1.72
157	13.00	9.00	-0.31		205	13.00	12.00	-0.96		253	13.00	15.00	-0.99
158	14.00	9.00	-0.14		206	14.00	12.00	-0.50		254	14.00	15.00	-0.65
159	15.00	9.00	0.00		207	15.00	12.00	0.00		255	15.00	15.00	0.00
160	0.00	10.00	0.00		208	0.00	13.00	0.00		256	0.00	16.00	0.00
161	1.00	10.00	-0.57		209	1.00	13.00	-0.65		257	1.00	16.00	-0.52
162	2.00	10.00	-1.18		210	2.00	13.00	-0.93		258	2.00	16.00	-0.93
163	3.00	10.00	-1.39		211	3.00	13.00	-1.63		259	3.00	16.00	-1.52
164	4.00	10.00	-1.57		212	4.00	13.00	-1.65		260	4.00	16.00	-1.69
165	5.00	10.00	-1.59		213	5.00	13.00	-1.70		261	5.00	16.00	-1.74
166	6.00	10.00	-1.58		214	6.00	13.00	-1.65		262	6.00	16.00	-1.73
167	7.00	10.00	-1.56		215	7.00	13.00	-1.64		263	7.00	16.00	-1.72
168	8.00	10.00	-1.58		216	8.00	13.00	-1.62		264	8.00	16.00	-1.73
169	9.00	10.00	-1.60		217	9.00	13.00	-1.62		265	9.00	16.00	-1.74
170	10.00	10.00	-1.60		218	10.00	13.00	-1.65		266	10.00	16.00	-1.74
171	11.00	10.00	-1.51		219	11.00	13.00	-1.62		267	11.00	16.00	-1.72
172	12.00	10.00	-1.24		220	12.00	13.00	-1.32		268	12.00	16.00	-1.52
173	13.00	10.00	-0.74		221	13.00	13.00	-0.75		269	13.00	16.00	-0.95
174	14.00	10.00	-0.43		222	14.00	13.00	-0.28		270	14.00	16.00	-0.50
175	15.00	10.00	0.00		223	15.00	13.00	0.00		271	15.00	16.00	0.00
176	0.00	11.00	0.00		224	0.00	14.00	0.00		272	0.00	17.00	0.00
177	1.00	11.00	-0.39		225	1.00	14.00	-0.48		273	1.00	17.00	-0.73
178	2.00	11.00	-0.75		226	2.00	14.00	-0.84		274	2.00	17.00	-1.10
179	3.00	11.00	-1.17		227	3.00	14.00	-1.45		275	3.00	17.00	-1.76
180	4.00	11.00	-1.56		228	4.00	14.00	-1.63		276	4.00	17.00	-1.78
181	5.00	11.00	-1.60		229	5.00	14.00	-1.70		277	5.00	17.00	-1.78
182	6.00	11.00	-1.60		230	6.00	14.00	-1.68		278	6.00	17.00	-1.76
183	7.00	11.00	-1.58		231	7.00	14.00	-1.67		279	7.00	17.00	-1.75
184	8.00	11.00	-1.60		232	8.00	14.00	-1.68		280	8.00	17.00	-1.73
185	9.00	11.00	-1.61		233	9.00	14.00	-1.68		281	9.00	17.00	-1.74
186	10.00	11.00	-1.62		234	10.00	14.00	-1.70		282	10.00	17.00	-1.74
187	11.00	11.00	-1.67		235	11.00	14.00	-1.68		283	11.00	17.00	-1.71
188	12.00	11.00	-1.68		236	12.00	14.00	-1.52		284	12.00	17.00	-1.31
189	13.00	11.00	-1.17		237	13.00	14.00	-0.87		285	13.00	17.00	-0.91
190	14.00	11.00	-0.71		238	14.00	14.00	-0.47		286	14.00	17.00	-0.34
191	15.00	11.00	0.00		239	15.00	14.00	0.00		287	15.00	17.00	0.00
192	0.00	12.00	0.00		240	0.00	15.00	0.00		288	0.00	18.00	0.00
193	1.00	12.00	-0.52		241	1.00	15.00	-0.30		289	1.00	18.00	-0.58
194	2.00	12.00	-0.84		242	2.00	15.00	-0.75		290	2.00	18.00	-0.98

Continuación del apéndice 1.

Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z
291	3.00	18.00	-1.60	339	3.00	21.00	-2.22	387	3.00	24.00	-1.96
292	4.00	18.00	-1.76	340	4.00	21.00	-2.24	388	4.00	24.00	-2.18
293	5.00	18.00	-1.77	341	5.00	21.00	-2.24	389	5.00	24.00	-2.17
294	6.00	18.00	-1.78	342	6.00	21.00	-2.24	390	6.00	24.00	-2.19
295	7.00	18.00	-1.80	343	7.00	21.00	-2.24	391	7.00	24.00	-2.19
296	8.00	18.00	-1.79	344	8.00	21.00	-2.24	392	8.00	24.00	-2.20
297	9.00	18.00	-1.77	345	9.00	21.00	-2.21	393	9.00	24.00	-2.20
298	10.00	18.00	-1.77	346	10.00	21.00	-2.19	394	10.00	24.00	-2.20
299	11.00	18.00	-1.76	347	11.00	21.00	-2.15	395	11.00	24.00	-2.18
300	12.00	18.00	-1.56	348	12.00	21.00	-1.80	396	12.00	24.00	-1.97
301	13.00	18.00	-1.12	349	13.00	21.00	-1.30	397	13.00	24.00	-1.44
302	14.00	18.00	-0.59	350	14.00	21.00	-0.82	398	14.00	24.00	-0.77
303	15.00	18.00	0.00	351	15.00	21.00	0.00	399	15.00	24.00	0.00
304	0.00	19.00	0.00	352	0.00	22.00	0.00	400	0.00	25.00	0.00
305	1.00	19.00	-0.42	353	1.00	22.00	-0.87	401	1.00	25.00	-0.75
306	2.00	19.00	-0.85	354	2.00	22.00	-1.34	402	2.00	25.00	-1.34
307	3.00	19.00	-1.43	355	3.00	22.00	-1.99	403	3.00	25.00	-2.17
308	4.00	19.00	-1.73	356	4.00	22.00	-2.20	404	4.00	25.00	-2.21
309	5.00	19.00	-1.76	357	5.00	22.00	-2.21	405	5.00	25.00	-2.17
310	6.00	19.00	-1.80	358	6.00	22.00	-2.22	406	6.00	25.00	-2.17
311	7.00	19.00	-1.84	359	7.00	22.00	-2.22	407	7.00	25.00	-2.17
312	8.00	19.00	-1.85	360	8.00	22.00	-2.23	408	8.00	25.00	-2.17
313	9.00	19.00	-1.79	361	9.00	22.00	-2.22	409	9.00	25.00	-2.18
314	10.00	19.00	-1.80	362	10.00	22.00	-2.21	410	10.00	25.00	-2.17
315	11.00	19.00	-1.81	363	11.00	22.00	-2.19	411	11.00	25.00	-2.13
316	12.00	19.00	-1.81	364	12.00	22.00	-2.03	412	12.00	25.00	-1.68
317	13.00	19.00	-1.32	365	13.00	22.00	-1.53	413	13.00	25.00	-1.12
318	14.00	19.00	-0.84	366	14.00	22.00	-0.82	414	14.00	25.00	-0.73
319	15.00	19.00	0.00	367	15.00	22.00	0.00	415	15.00	25.00	0.00
320	0.00	20.00	0.00	368	0.00	23.00	0.00	416	0.00	26.00	0.00
321	1.00	20.00	-0.71	369	1.00	23.00	-0.75	417	1.00	26.00	-0.74
322	2.00	20.00	-1.17	370	2.00	23.00	-1.19	418	2.00	26.00	-1.23
323	3.00	20.00	-1.83	371	3.00	23.00	-1.75	419	3.00	26.00	-1.96
324	4.00	20.00	-1.99	372	4.00	23.00	-2.15	420	4.00	26.00	-2.15
325	5.00	20.00	-2.00	373	5.00	23.00	-2.17	421	5.00	26.00	-2.15
326	6.00	20.00	-2.02	374	6.00	23.00	-2.20	422	6.00	26.00	-2.16
327	7.00	20.00	-2.04	375	7.00	23.00	-2.20	423	7.00	26.00	-2.16
328	8.00	20.00	-2.05	376	8.00	23.00	-2.22	424	8.00	26.00	-2.16
329	9.00	20.00	-2.00	377	9.00	23.00	-2.22	425	9.00	26.00	-2.17
330	10.00	20.00	-2.00	378	10.00	23.00	-2.22	426	10.00	26.00	-2.17
331	11.00	20.00	-1.98	379	11.00	23.00	-2.23	427	11.00	26.00	-2.17
332	12.00	20.00	-1.81	380	12.00	23.00	-2.25	428	12.00	26.00	-1.93
333	13.00	20.00	-1.31	381	13.00	23.00	-1.76	429	13.00	26.00	-1.32
334	14.00	20.00	-0.83	382	14.00	23.00	-0.81	430	14.00	26.00	-0.86
335	15.00	20.00	0.00	383	15.00	23.00	0.00	431	15.00	26.00	0.00
336	0.00	21.00	0.00	384	0.00	24.00	0.00	432	0.00	27.00	0.00
337	1.00	21.00	-0.99	385	1.00	24.00	-0.75	433	1.00	27.00	-0.73
338	2.00	21.00	-1.49	386	2.00	24.00	-1.27	434	2.00	27.00	-1.12

Continuación del apéndice 1.

Punto	X	Y	Z		Punto	X	Y	Z		Punto	X	Y	Z
435	3.00	27.00	-1.75		483	3.00	30.00	-1.96		531	3.00	33.00	-2.18
436	4.00	27.00	-2.08		484	4.00	30.00	-2.17		532	4.00	33.00	-2.20
437	5.00	27.00	-2.12		485	5.00	30.00	-2.17		533	5.00	33.00	-2.18
438	6.00	27.00	-2.14		486	6.00	30.00	-2.18		534	6.00	33.00	-2.16
439	7.00	27.00	-2.14		487	7.00	30.00	-2.18		535	7.00	33.00	-2.17
440	8.00	27.00	-2.14		488	8.00	30.00	-2.19		536	8.00	33.00	-2.15
441	9.00	27.00	-2.15		489	9.00	30.00	-2.18		537	9.00	33.00	-2.15
442	10.00	27.00	-2.16		490	10.00	30.00	-2.16		538	10.00	33.00	-2.15
443	11.00	27.00	-2.21		491	11.00	30.00	-2.15		539	11.00	33.00	-2.11
444	12.00	27.00	-2.18		492	12.00	30.00	-1.96		540	12.00	33.00	-2.15
445	13.00	27.00	-1.51		493	13.00	30.00	-1.37		541	13.00	33.00	-0.98
446	14.00	27.00	-0.99		494	14.00	30.00	-0.76		542	14.00	33.00	-0.57
447	15.00	27.00	0.00		495	15.00	30.00	0.00		543	15.00	33.00	0.00
448	0.00	28.00	0.00		496	0.00	31.00	0.00		544	0.00	34.00	0.00
449	1.00	28.00	-0.78		497	1.00	31.00	-0.63		545	1.00	34.00	-0.77
450	2.00	28.00	-1.25		498	2.00	31.00	-1.10		546	2.00	34.00	-1.31
451	3.00	28.00	-1.96		499	3.00	31.00	-1.74		547	3.00	34.00	-1.93
452	4.00	28.00	-2.15		500	4.00	31.00	-2.12		548	4.00	34.00	-2.14
453	5.00	28.00	-2.15		501	5.00	31.00	-2.16		549	5.00	34.00	-2.15
454	6.00	28.00	-2.17		502	6.00	31.00	-2.16		550	6.00	34.00	-2.14
455	7.00	28.00	-2.16		503	7.00	31.00	-2.19		551	7.00	34.00	-2.15
456	8.00	28.00	-2.16		504	8.00	31.00	-2.21		552	8.00	34.00	-2.14
457	9.00	28.00	-2.15		505	9.00	31.00	-2.21		553	9.00	34.00	-2.14
458	10.00	28.00	-2.15		506	10.00	31.00	-2.18		554	10.00	34.00	-2.15
459	11.00	28.00	-2.16		507	11.00	31.00	-2.19		555	11.00	34.00	-2.13
460	12.00	28.00	-1.98		508	12.00	31.00	-2.14		556	12.00	34.00	-2.13
461	13.00	28.00	-1.32		509	13.00	31.00	-1.61		557	13.00	34.00	-1.15
462	14.00	28.00	-0.81		510	14.00	31.00	-0.90		558	14.00	34.00	-0.74
463	15.00	28.00	0.00		511	15.00	31.00	0.00		559	15.00	34.00	0.00
464	0.00	29.00	0.00		512	0.00	32.00	0.00		560	0.00	35.00	0.00
465	1.00	29.00	-0.83		513	1.00	32.00	-0.80		561	1.00	35.00	-0.58
466	2.00	29.00	-1.37		514	2.00	32.00	-1.32		562	2.00	35.00	-1.08
467	3.00	29.00	-2.17		515	3.00	32.00	-1.96		563	3.00	35.00	-1.68
468	4.00	29.00	-2.21		516	4.00	32.00	-2.16		564	4.00	35.00	-2.07
469	5.00	29.00	-2.18		517	5.00	32.00	-2.17		565	5.00	35.00	-2.12
470	6.00	29.00	-2.19		518	6.00	32.00	-2.16		566	6.00	35.00	-2.12
471	7.00	29.00	-2.17		519	7.00	32.00	-2.18		567	7.00	35.00	-2.13
472	8.00	29.00	-2.17		520	8.00	32.00	-2.18		568	8.00	35.00	-2.13
473	9.00	29.00	-2.14		521	9.00	32.00	-2.18		569	9.00	35.00	-2.13
474	10.00	29.00	-2.14		522	10.00	32.00	-2.17		570	10.00	35.00	-2.14
475	11.00	29.00	-2.10		523	11.00	32.00	-2.15		571	11.00	35.00	-2.15
476	12.00	29.00	-1.78		524	12.00	32.00	-2.15		572	12.00	35.00	-2.11
477	13.00	29.00	-1.13		525	13.00	32.00	-1.30		573	13.00	35.00	-1.31
478	14.00	29.00	-0.62		526	14.00	32.00	-0.74		574	14.00	35.00	-0.90
479	15.00	29.00	0.00		527	15.00	32.00	0.00		575	15.00	35.00	0.00
480	0.00	30.00	0.00		528	0.00	33.00	0.00		576	0.00	36.00	0.00
481	1.00	30.00	-0.73		529	1.00	33.00	-0.96		577	1.00	36.00	-0.51
482	2.00	30.00	-1.24		530	2.00	33.00	-1.54		578	2.00	36.00	-1.07

Continuación del apéndice 1.

Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z
579	3.00	36.00	-1.62	627	3.00	39.00	-1.37	675	3.00	42.00	-0.83
580	4.00	36.00	-2.11	628	4.00	39.00	-1.92	676	4.00	42.00	-1.11
581	5.00	36.00	-2.13	629	5.00	39.00	-1.98	677	5.00	42.00	-1.34
582	6.00	36.00	-2.12	630	6.00	39.00	-2.01	678	6.00	42.00	-1.49
583	7.00	36.00	-2.13	631	7.00	39.00	-2.02	679	7.00	42.00	-1.51
584	8.00	36.00	-2.12	632	8.00	39.00	-2.04	680	8.00	42.00	-1.54
585	9.00	36.00	-2.11	633	9.00	39.00	-2.06	681	9.00	42.00	-1.48
586	10.00	36.00	-2.11	634	10.00	39.00	-2.08	682	10.00	42.00	-1.51
587	11.00	36.00	-2.08	635	11.00	39.00	-2.08	683	11.00	42.00	-1.33
588	12.00	36.00	-1.83	636	12.00	39.00	-2.08	684	12.00	42.00	-0.79
589	13.00	36.00	-1.13	637	13.00	39.00	-1.61	685	13.00	42.00	-0.56
590	14.00	36.00	-0.72	638	14.00	39.00	-0.46	686	14.00	42.00	-0.35
591	15.00	36.00	0.00	639	15.00	39.00	0.00	687	15.00	42.00	0.00
592	0.00	37.00	0.00	640	0.00	40.00	0.00	688	0.00	43.00	0.00
593	1.00	37.00	-0.44	641	1.00	40.00	-0.41	689	1.00	43.00	-0.51
594	2.00	37.00	-1.05	642	2.00	40.00	-0.71	690	2.00	43.00	-0.71
595	3.00	37.00	-1.56	643	3.00	40.00	-1.05	691	3.00	43.00	-0.93
596	4.00	37.00	-2.14	644	4.00	40.00	-1.56	692	4.00	43.00	-1.02
597	5.00	37.00	-2.14	645	5.00	40.00	-1.75	693	5.00	43.00	-1.15
598	6.00	37.00	-2.12	646	6.00	40.00	-1.91	694	6.00	43.00	-1.18
599	7.00	37.00	-2.12	647	7.00	40.00	-1.92	695	7.00	43.00	-1.20
600	8.00	37.00	-2.10	648	8.00	40.00	-1.94	696	8.00	43.00	-1.25
601	9.00	37.00	-2.09	649	9.00	40.00	-1.93	697	9.00	43.00	-1.16
602	10.00	37.00	-2.08	650	10.00	40.00	-1.92	698	10.00	43.00	-1.26
603	11.00	37.00	-2.01	651	11.00	40.00	-1.79	699	11.00	43.00	-1.15
604	12.00	37.00	-1.55	652	12.00	40.00	-1.64	700	12.00	43.00	-0.38
605	13.00	37.00	-0.95	653	13.00	40.00	-1.22	701	13.00	43.00	-0.30
606	14.00	37.00	-0.53	654	14.00	40.00	-0.48	702	14.00	43.00	-0.19
607	15.00	37.00	0.00	655	15.00	40.00	0.00	703	15.00	43.00	0.00
608	0.00	38.00	0.00	656	0.00	41.00	0.00	704	0.00	44.00	0.00
609	1.00	38.00	-0.48	657	1.00	41.00	-0.31	705	1.00	44.00	-0.36
610	2.00	38.00	-1.03	658	2.00	41.00	-0.40	706	2.00	44.00	-0.56
611	3.00	38.00	-1.47	659	3.00	41.00	-0.72	707	3.00	44.00	-0.78
612	4.00	38.00	-2.03	660	4.00	41.00	-1.20	708	4.00	44.00	-0.87
613	5.00	38.00	-2.06	661	5.00	41.00	-1.52	709	5.00	44.00	-1.00
614	6.00	38.00	-2.07	662	6.00	41.00	-1.80	710	6.00	44.00	-1.03
615	7.00	38.00	-2.07	663	7.00	41.00	-1.81	711	7.00	44.00	-1.05
616	8.00	38.00	-2.07	664	8.00	41.00	-1.83	712	8.00	44.00	-1.10
617	9.00	38.00	-2.08	665	9.00	41.00	-1.80	713	9.00	44.00	-1.01
618	10.00	38.00	-2.08	666	10.00	41.00	-1.76	714	10.00	44.00	-1.11
619	11.00	38.00	-2.05	667	11.00	41.00	-1.50	715	11.00	44.00	-1.00
620	12.00	38.00	-1.82	668	12.00	41.00	-1.19	716	12.00	44.00	-0.23
621	13.00	38.00	-1.28	669	13.00	41.00	-0.82	717	13.00	44.00	-0.15
622	14.00	38.00	-0.50	670	14.00	41.00	-0.50	718	14.00	44.00	-0.04
623	15.00	38.00	0.00	671	15.00	41.00	0.00	719	15.00	44.00	0.00
624	0.00	39.00	0.00	672	0.00	42.00	0.00	720	0.00	45.00	0.00
625	1.00	39.00	-0.51	673	1.00	42.00	-0.41	721	1.00	45.00	0.00
626	2.00	39.00	-1.01	674	2.00	42.00	-0.56	722	2.00	45.00	0.00

Continuación del apéndice 1.

Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z
723	3.00	45.00	0.00	728	8.00	45.00	0.00	733	13.00	45.00	0.00
724	4.00	45.00	0.00	729	9.00	45.00	0.00	734	14.00	45.00	0.00
725	5.00	45.00	0.00	730	10.00	45.00	0.00	735	15.00	45.00	0.00
726	6.00	45.00	0.00	731	11.00	45.00	0.00				
727	7.00	45.00	0.00	732	12.00	45.00	0.00				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Tabla de altura de puntos, laguna de maduración**

Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z
0	0.00	0.00	0.00	31	15.00	1.00	0.00	62	14.00	3.00	-0.08
1	1.00	0.00	0.00	32	0.00	2.00	0.00	63	15.00	3.00	0.00
2	2.00	0.00	0.00	33	1.00	2.00	-0.13	64	0.00	4.00	0.00
3	3.00	0.00	0.00	34	2.00	2.00	-0.21	65	1.00	4.00	-0.14
4	4.00	0.00	0.00	35	3.00	2.00	-0.31	66	2.00	4.00	-0.33
5	5.00	0.00	0.00	36	4.00	2.00	-0.56	67	3.00	4.00	-0.47
6	6.00	0.00	0.00	37	5.00	2.00	-0.63	68	4.00	4.00	-1.01
7	7.00	0.00	0.00	38	6.00	2.00	-0.59	69	5.00	4.00	-1.22
8	8.00	0.00	0.00	39	7.00	2.00	-0.61	70	6.00	4.00	-1.17
9	9.00	0.00	0.00	40	8.00	2.00	-0.59	71	7.00	4.00	-1.18
10	10.00	0.00	0.00	41	9.00	2.00	-0.52	72	8.00	4.00	-1.17
11	11.00	0.00	0.00	42	10.00	2.00	-0.34	73	9.00	4.00	-1.12
12	12.00	0.00	0.00	43	11.00	2.00	-0.27	74	10.00	4.00	-0.93
13	13.00	0.00	0.00	44	12.00	2.00	-0.20	75	11.00	4.00	-0.84
14	14.00	0.00	0.00	45	13.00	2.00	-0.16	76	12.00	4.00	-0.52
15	15.00	0.00	0.00	46	14.00	2.00	-0.11	77	13.00	4.00	-0.30
16	0.00	1.00	0.00	47	15.00	2.00	0.00	78	14.00	4.00	-0.16
17	1.00	1.00	0.05	48	0.00	3.00	0.00	79	15.00	4.00	0.00
18	2.00	1.00	0.02	49	1.00	3.00	-0.15	80	0.00	5.00	0.00
19	3.00	1.00	0.00	50	2.00	3.00	-0.31	81	1.00	5.00	-0.12
20	4.00	1.00	-0.06	51	3.00	3.00	-0.50	82	2.00	5.00	-0.35
21	5.00	1.00	-0.08	52	4.00	3.00	-0.98	83	3.00	5.00	-0.44
22	6.00	1.00	-0.09	53	5.00	3.00	-1.09	84	4.00	5.00	-1.04
23	7.00	1.00	-0.13	54	6.00	3.00	-0.99	85	5.00	5.00	-1.34
24	8.00	1.00	-0.25	55	7.00	3.00	-1.02	86	6.00	5.00	-1.35
25	9.00	1.00	-0.38	56	8.00	3.00	-1.01	87	7.00	5.00	-1.34
26	10.00	1.00	-0.46	57	9.00	3.00	-0.90	88	8.00	5.00	-1.33
27	11.00	1.00	-0.48	58	10.00	3.00	-0.50	89	9.00	5.00	-1.34
28	12.00	1.00	-0.52	59	11.00	3.00	-0.37	90	10.00	5.00	-1.35
29	13.00	1.00	-0.24	60	12.00	3.00	-0.24	91	11.00	5.00	-1.30
30	14.00	1.00	-0.04	61	13.00	3.00	-0.13	92	12.00	5.00	-0.80

Continuación del apéndice 2.

Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z
93	13.00	5.00	-0.46	141	13.00	8.00	-0.40	189	13.00	11.00	-0.34
94	14.00	5.00	-0.23	142	14.00	8.00	-0.17	190	14.00	11.00	-0.05
95	15.00	5.00	0.00	143	15.00	8.00	0.00	191	15.00	11.00	0.00
96	0.00	6.00	0.00	144	0.00	9.00	0.00	192	0.00	12.00	0.00
97	1.00	6.00	-0.13	145	1.00	9.00	-0.08	193	1.00	12.00	-0.19
98	2.00	6.00	-0.40	146	2.00	9.00	-0.29	194	2.00	12.00	-0.40
99	3.00	6.00	-0.57	147	3.00	9.00	-0.68	195	3.00	12.00	-0.75
100	4.00	6.00	-1.09	148	4.00	9.00	-1.26	196	4.00	12.00	-1.25
101	5.00	6.00	-1.35	149	5.00	9.00	-1.38	197	5.00	12.00	-1.41
102	6.00	6.00	-1.37	150	6.00	9.00	-1.39	198	6.00	12.00	-1.42
103	7.00	6.00	-1.36	151	7.00	9.00	-1.38	199	7.00	12.00	-1.42
104	8.00	6.00	-1.36	152	8.00	9.00	-1.37	200	8.00	12.00	-1.45
105	9.00	6.00	-1.37	153	9.00	9.00	-1.39	201	9.00	12.00	-1.43
106	10.00	6.00	-1.37	154	10.00	9.00	-1.37	202	10.00	12.00	-1.42
107	11.00	6.00	-1.20	155	11.00	9.00	-1.17	203	11.00	12.00	-1.29
108	12.00	6.00	-0.76	156	12.00	9.00	-0.84	204	12.00	12.00	-0.82
109	13.00	6.00	-0.38	157	13.00	9.00	-0.49	205	13.00	12.00	-0.38
110	14.00	6.00	-0.14	158	14.00	9.00	-0.28	206	14.00	12.00	0.53
111	15.00	6.00	0.00	159	15.00	9.00	0.00	207	15.00	12.00	0.00
112	0.00	7.00	0.00	160	0.00	10.00	0.00	208	0.00	13.00	0.00
113	1.00	7.00	-0.14	161	1.00	10.00	-0.18	209	1.00	13.00	-0.11
114	2.00	7.00	-0.44	162	2.00	10.00	-0.35	210	2.00	13.00	-0.38
115	3.00	7.00	-0.70	163	3.00	10.00	-0.66	211	3.00	13.00	-0.86
116	4.00	7.00	-1.14	164	4.00	10.00	-1.21	212	4.00	13.00	-1.34
117	5.00	7.00	-1.35	165	5.00	10.00	-1.39	213	5.00	13.00	-1.41
118	6.00	7.00	-1.38	166	6.00	10.00	-1.41	214	6.00	13.00	-1.41
119	7.00	7.00	-1.38	167	7.00	10.00	-1.41	215	7.00	13.00	-1.41
120	8.00	7.00	-1.39	168	8.00	10.00	-1.41	216	8.00	13.00	-1.45
121	9.00	7.00	-1.40	169	9.00	10.00	-1.40	217	9.00	13.00	-1.44
122	10.00	7.00	-1.39	170	10.00	10.00	-1.39	218	10.00	13.00	-1.42
123	11.00	7.00	-1.10	171	11.00	10.00	-1.24	219	11.00	13.00	-1.27
124	12.00	7.00	-0.71	172	12.00	10.00	-0.84	220	12.00	13.00	-0.79
125	13.00	7.00	-0.30	173	13.00	10.00	-0.42	221	13.00	13.00	-0.41
126	14.00	7.00	-0.05	174	14.00	10.00	-0.17	222	14.00	13.00	0.00
127	15.00	7.00	0.00	175	15.00	10.00	0.00	223	15.00	13.00	0.00
128	0.00	8.00	0.00	176	0.00	11.00	0.00	224	0.00	14.00	0.00
129	1.00	8.00	-0.11	177	1.00	11.00	-0.27	225	1.00	14.00	-0.21
130	2.00	8.00	-0.37	178	2.00	11.00	-0.41	226	2.00	14.00	-0.52
131	3.00	8.00	-0.69	179	3.00	11.00	-0.64	227	3.00	14.00	-0.99
132	4.00	8.00	-1.20	180	4.00	11.00	-1.15	228	4.00	14.00	-1.36
133	5.00	8.00	-1.37	181	5.00	11.00	-1.40	229	5.00	14.00	-1.42
134	6.00	8.00	-1.39	182	6.00	11.00	-1.43	230	6.00	14.00	-1.42
135	7.00	8.00	-1.38	183	7.00	11.00	-1.43	231	7.00	14.00	-1.42
136	8.00	8.00	-1.38	184	8.00	11.00	-1.44	232	8.00	14.00	-1.44
137	9.00	8.00	-1.40	185	9.00	11.00	-1.41	233	9.00	14.00	-1.42
138	10.00	8.00	-1.38	186	10.00	11.00	-1.41	234	10.00	14.00	-1.35
139	11.00	8.00	-1.14	187	11.00	11.00	-1.30	235	11.00	14.00	-1.16
140	12.00	8.00	-0.78	188	12.00	11.00	-0.84	236	12.00	14.00	-0.66

Continuación del apéndice 2.

Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z
237	13.00	14.00	-0.34	285	13.00	17.00	-0.11	333	13.00	20.00	-0.25
238	14.00	14.00	0.00	286	14.00	17.00	0.00	334	14.00	20.00	0.50
239	15.00	14.00	0.00	287	15.00	17.00	0.00	335	15.00	20.00	0.00
240	0.00	15.00	0.00	288	0.00	18.00	0.00	336	0.00	21.00	0.00
241	1.00	15.00	-0.32	289	1.00	18.00	-0.46	337	1.00	21.00	-0.26
242	2.00	15.00	-0.65	290	2.00	18.00	-0.82	338	2.00	21.00	-0.51
243	3.00	15.00	-1.12	291	3.00	18.00	-1.26	339	3.00	21.00	-0.91
244	4.00	15.00	-1.39	292	4.00	18.00	-1.42	340	4.00	21.00	-1.37
245	5.00	15.00	-1.44	293	5.00	18.00	-1.46	341	5.00	21.00	-1.46
246	6.00	15.00	-1.43	294	6.00	18.00	-1.44	342	6.00	21.00	-1.45
247	7.00	15.00	-1.43	295	7.00	18.00	-1.44	343	7.00	21.00	-1.44
248	8.00	15.00	-1.43	296	8.00	18.00	-1.41	344	8.00	21.00	-1.40
249	9.00	15.00	-1.41	297	9.00	18.00	-1.38	345	9.00	21.00	-1.39
250	10.00	15.00	-1.28	298	10.00	18.00	-1.20	346	10.00	21.00	-1.39
251	11.00	15.00	-1.05	299	11.00	18.00	-0.93	347	11.00	21.00	-1.26
252	12.00	15.00	-0.54	300	12.00	18.00	-0.38	348	12.00	21.00	-0.67
253	13.00	15.00	-0.26	301	13.00	18.00	-0.16	349	13.00	21.00	-0.29
254	14.00	15.00	0.00	302	14.00	18.00	0.00	350	14.00	21.00	-0.10
255	15.00	15.00	0.00	303	15.00	18.00	0.00	351	15.00	21.00	0.00
256	0.00	16.00	0.00	304	0.00	19.00	0.00	352	0.00	22.00	0.00
257	1.00	16.00	-0.42	305	1.00	19.00	-0.39	353	1.00	22.00	-0.19
258	2.00	16.00	-0.79	306	2.00	19.00	-0.72	354	2.00	22.00	-0.42
259	3.00	16.00	-1.25	307	3.00	19.00	-1.15	355	3.00	22.00	-0.85
260	4.00	16.00	-1.41	308	4.00	19.00	-1.40	356	4.00	22.00	-1.22
261	5.00	16.00	-1.45	309	5.00	19.00	-1.46	357	5.00	22.00	-1.41
262	6.00	16.00	-1.43	310	6.00	19.00	-1.45	358	6.00	22.00	-1.41
263	7.00	16.00	-1.43	311	7.00	19.00	-1.44	359	7.00	22.00	-1.43
264	8.00	16.00	-1.42	312	8.00	19.00	-1.41	360	8.00	22.00	-1.40
265	9.00	16.00	-1.39	313	9.00	19.00	-1.38	361	9.00	22.00	-1.41
266	10.00	16.00	-1.21	314	10.00	19.00	-1.27	362	10.00	22.00	-1.42
267	11.00	16.00	-0.93	315	11.00	19.00	-1.04	363	11.00	22.00	-1.28
268	12.00	16.00	-0.41	316	12.00	19.00	-0.48	364	12.00	22.00	-0.73
269	13.00	16.00	-0.19	317	13.00	19.00	-0.20	365	13.00	22.00	-0.37
270	14.00	16.00	0.00	318	14.00	19.00	0.00	366	14.00	22.00	-0.16
271	15.00	16.00	0.00	319	15.00	19.00	0.00	367	15.00	22.00	0.00
272	0.00	17.00	0.00	320	0.00	20.00	0.00	368	0.00	23.00	0.00
273	1.00	17.00	-0.52	321	1.00	20.00	-0.33	369	1.00	23.00	-0.11
274	2.00	17.00	-0.92	322	2.00	20.00	-0.61	370	2.00	23.00	-0.33
275	3.00	17.00	-1.38	323	3.00	20.00	-1.03	371	3.00	23.00	-0.78
276	4.00	17.00	-1.43	324	4.00	20.00	-1.39	372	4.00	23.00	-1.07
277	5.00	17.00	-1.46	325	5.00	20.00	-1.46	373	5.00	23.00	-1.35
278	6.00	17.00	-1.44	326	6.00	20.00	-1.45	374	6.00	23.00	-1.37
279	7.00	17.00	-1.44	327	7.00	20.00	-1.44	375	7.00	23.00	-1.41
280	8.00	17.00	-1.41	328	8.00	20.00	-1.40	376	8.00	23.00	-1.40
281	9.00	17.00	-1.37	329	9.00	20.00	-1.39	377	9.00	23.00	-1.43
282	10.00	17.00	-1.14	330	10.00	20.00	-1.33	378	10.00	23.00	-1.44
283	11.00	17.00	-0.82	331	11.00	20.00	-1.15	379	11.00	23.00	-1.30
284	12.00	17.00	-0.28	332	12.00	20.00	-0.57	380	12.00	23.00	-0.78

Continuación del apéndice 2.

Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z
381	13.00	23.00	-0.45	429	13.00	26.00	-0.32	477	13.00	29.00	-0.44
382	14.00	23.00	-0.21	430	14.00	26.00	-0.12	478	14.00	29.00	-0.22
383	15.00	23.00	0.00	431	15.00	26.00	0.00	479	15.00	29.00	0.00
384	0.00	24.00	0.00	432	0.00	27.00	0.00	480	0.00	30.00	0.00
385	1.00	24.00	-0.16	433	1.00	27.00	-0.30	481	1.00	30.00	-0.11
386	2.00	24.00	-0.40	434	2.00	27.00	-0.61	482	2.00	30.00	-0.36
387	3.00	24.00	-0.83	435	3.00	27.00	-0.96	483	3.00	30.00	-0.70
388	4.00	24.00	-1.14	436	4.00	27.00	-1.36	484	4.00	30.00	-1.03
389	5.00	24.00	-1.36	437	5.00	27.00	-1.40	485	5.00	30.00	-1.30
390	6.00	24.00	-1.38	438	6.00	27.00	-1.40	486	6.00	30.00	-1.30
391	7.00	24.00	-1.40	439	7.00	27.00	-1.35	487	7.00	30.00	-1.31
392	8.00	24.00	-1.38	440	8.00	27.00	-1.33	488	8.00	30.00	-1.29
393	9.00	24.00	-1.40	441	9.00	27.00	-1.31	489	9.00	30.00	-1.30
394	10.00	24.00	-1.41	442	10.00	27.00	-1.30	490	10.00	30.00	-1.29
395	11.00	24.00	-1.24	443	11.00	27.00	-1.05	491	11.00	30.00	-1.19
396	12.00	24.00	-0.75	444	12.00	27.00	-0.64	492	12.00	30.00	-0.82
397	13.00	24.00	-0.41	445	13.00	27.00	-0.27	493	13.00	30.00	-0.53
398	14.00	24.00	-0.18	446	14.00	27.00	-0.09	494	14.00	30.00	-0.28
399	15.00	24.00	0.00	447	15.00	27.00	0.00	495	15.00	30.00	0.00
400	0.00	25.00	0.00	448	0.00	28.00	0.00	496	0.00	31.00	0.00
401	1.00	25.00	-0.21	449	1.00	28.00	-0.24	497	1.00	31.00	-0.05
402	2.00	25.00	-0.47	450	2.00	28.00	-0.53	498	2.00	31.00	-0.27
403	3.00	25.00	-0.87	451	3.00	28.00	-0.87	499	3.00	31.00	-0.61
404	4.00	25.00	-1.22	452	4.00	28.00	-1.25	500	4.00	31.00	-0.92
405	5.00	25.00	-1.38	453	5.00	28.00	-1.37	501	5.00	31.00	-1.27
406	6.00	25.00	-1.39	454	6.00	28.00	-1.37	502	6.00	31.00	-1.27
407	7.00	25.00	-1.38	455	7.00	28.00	-1.34	503	7.00	31.00	-1.29
408	8.00	25.00	-1.37	456	8.00	28.00	-1.32	504	8.00	31.00	-1.28
409	9.00	25.00	-1.37	457	9.00	28.00	-1.31	505	9.00	31.00	-1.29
410	10.00	25.00	-1.37	458	10.00	28.00	-1.30	506	10.00	31.00	-1.29
411	11.00	25.00	-1.18	459	11.00	28.00	-1.10	507	11.00	31.00	-1.24
412	12.00	25.00	-0.71	460	12.00	28.00	-0.70	508	12.00	31.00	-0.88
413	13.00	25.00	-0.36	461	13.00	28.00	-0.36	509	13.00	31.00	-0.61
414	14.00	25.00	-0.15	462	14.00	28.00	-0.15	510	14.00	31.00	-0.34
415	15.00	25.00	0.00	463	15.00	28.00	0.00	511	15.00	31.00	0.00
416	0.00	26.00	0.00	464	0.00	29.00	0.00	512	0.00	32.00	0.00
417	1.00	26.00	-0.25	465	1.00	29.00	-0.18	513	1.00	32.00	-0.13
418	2.00	26.00	-0.54	466	2.00	29.00	-0.44	514	2.00	32.00	-0.36
419	3.00	26.00	-0.92	467	3.00	29.00	-0.79	515	3.00	32.00	-0.71
420	4.00	26.00	-1.29	468	4.00	29.00	-1.14	516	4.00	32.00	-1.01
421	5.00	26.00	-1.39	469	5.00	29.00	-1.34	517	5.00	32.00	-1.28
422	6.00	26.00	-1.39	470	6.00	29.00	-1.34	518	6.00	32.00	-1.27
423	7.00	26.00	-1.37	471	7.00	29.00	-1.32	519	7.00	32.00	-1.29
424	8.00	26.00	-1.35	472	8.00	29.00	-1.31	520	8.00	32.00	-1.28
425	9.00	26.00	-1.34	473	9.00	29.00	-1.30	521	9.00	32.00	-1.29
426	10.00	26.00	-1.34	474	10.00	29.00	-1.30	522	10.00	32.00	-1.29
427	11.00	26.00	-1.11	475	11.00	29.00	-1.15	523	11.00	32.00	-1.18
428	12.00	26.00	-0.68	476	12.00	29.00	-0.76	524	12.00	32.00	-0.82

Continuación del apéndice 2.

Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z
525	13.00	32.00	-0.52	573	13.00	35.00	-0.23	621	13.00	38.00	-0.47
526	14.00	32.00	-0.26	574	14.00	35.00	-0.02	622	14.00	38.00	-0.22
527	15.00	32.00	0.00	575	15.00	35.00	0.00	623	15.00	38.00	0.00
528	0.00	33.00	0.00	576	0.00	36.00	0.00	624	0.00	39.00	0.00
529	1.00	33.00	-0.21	577	1.00	36.00	-0.25	625	1.00	39.00	0.08
530	2.00	33.00	-0.44	578	2.00	36.00	-0.50	626	2.00	39.00	-0.16
531	3.00	33.00	-0.80	579	3.00	36.00	-0.88	627	3.00	39.00	-0.53
532	4.00	33.00	-1.11	580	4.00	36.00	-1.20	628	4.00	39.00	-0.91
533	5.00	33.00	-1.28	581	5.00	36.00	-1.26	629	5.00	39.00	-1.18
534	6.00	33.00	-1.28	582	6.00	36.00	-1.26	630	6.00	39.00	-1.18
535	7.00	33.00	-1.28	583	7.00	36.00	-1.25	631	7.00	39.00	-1.18
536	8.00	33.00	-1.28	584	8.00	36.00	-1.25	632	8.00	39.00	-1.18
537	9.00	33.00	-1.29	585	9.00	36.00	-1.26	633	9.00	39.00	-1.18
538	10.00	33.00	-1.29	586	10.00	36.00	-1.26	634	10.00	39.00	-1.18
539	11.00	33.00	-1.12	587	11.00	36.00	-1.04	635	11.00	39.00	-1.17
540	12.00	33.00	-0.75	588	12.00	36.00	-0.69	636	12.00	39.00	-0.89
541	13.00	33.00	-0.42	589	13.00	36.00	-0.31	637	13.00	39.00	-0.55
542	14.00	33.00	-0.18	590	14.00	36.00	-0.09	638	14.00	39.00	-0.28
543	15.00	33.00	0.00	591	15.00	36.00	0.00	639	15.00	39.00	0.00
544	0.00	34.00	0.00	592	0.00	37.00	0.00	640	0.00	40.00	0.00
545	1.00	34.00	-0.28	593	1.00	37.00	-0.14	641	1.00	40.00	0.01
546	2.00	34.00	-0.53	594	2.00	37.00	-0.39	642	2.00	40.00	-0.22
547	3.00	34.00	-0.90	595	3.00	37.00	-0.76	643	3.00	40.00	-0.58
548	4.00	34.00	-1.20	596	4.00	37.00	-1.10	644	4.00	40.00	-0.93
549	5.00	34.00	-1.29	597	5.00	37.00	-1.24	645	5.00	40.00	-1.13
550	6.00	34.00	-1.28	598	6.00	37.00	-1.23	646	6.00	40.00	-1.14
551	7.00	34.00	-1.28	599	7.00	37.00	-1.23	647	7.00	40.00	-1.12
552	8.00	34.00	-1.27	600	8.00	37.00	-1.23	648	8.00	40.00	-1.11
553	9.00	34.00	-1.28	601	9.00	37.00	-1.23	649	9.00	40.00	-1.13
554	10.00	34.00	-1.28	602	10.00	37.00	-1.23	650	10.00	40.00	-1.09
555	11.00	34.00	-1.06	603	11.00	37.00	-1.09	651	11.00	40.00	-1.05
556	12.00	34.00	-0.69	604	12.00	37.00	-0.76	652	12.00	40.00	-0.77
557	13.00	34.00	-0.33	605	13.00	37.00	-0.39	653	13.00	40.00	-0.43
558	14.00	34.00	-0.10	606	14.00	37.00	-0.15	654	14.00	40.00	-0.19
559	15.00	34.00	0.00	607	15.00	37.00	0.00	655	15.00	40.00	0.00
560	0.00	35.00	0.00	608	0.00	38.00	0.00	656	0.00	41.00	0.00
561	1.00	35.00	-0.36	609	1.00	38.00	-0.03	657	1.00	41.00	-0.06
562	2.00	35.00	-0.61	610	2.00	38.00	-0.27	658	2.00	41.00	-0.28
563	3.00	35.00	-0.99	611	3.00	38.00	-0.65	659	3.00	41.00	-0.62
564	4.00	35.00	-1.29	612	4.00	38.00	-1.01	660	4.00	41.00	-0.95
565	5.00	35.00	-1.29	613	5.00	38.00	-1.21	661	5.00	41.00	-1.08
566	6.00	35.00	-1.28	614	6.00	38.00	-1.21	662	6.00	41.00	-1.09
567	7.00	35.00	-1.27	615	7.00	38.00	-1.20	663	7.00	41.00	-1.07
568	8.00	35.00	-1.27	616	8.00	38.00	-1.20	664	8.00	41.00	-1.04
569	9.00	35.00	-1.28	617	9.00	38.00	-1.21	665	9.00	41.00	-1.09
570	10.00	35.00	-1.28	618	10.00	38.00	-1.21	666	10.00	41.00	-1.00
571	11.00	35.00	-1.00	619	11.00	38.00	-1.13	667	11.00	41.00	-0.93
572	12.00	35.00	-0.62	620	12.00	38.00	-0.82	668	12.00	41.00	-0.66

Continuación del apéndice 2.

Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z
669	13.00	41.00	-0.32	717	13.00	44.00	0.07	765	13.00	47.00	0.21
670	14.00	41.00	-0.10	718	14.00	44.00	0.23	766	14.00	47.00	0.22
671	15.00	41.00	0.00	719	15.00	44.00	0.00	767	15.00	47.00	0.00
672	0.00	42.00	0.00	720	0.00	45.00	0.00	768	0.00	48.00	0.00
673	1.00	42.00	-0.13	721	1.00	45.00	0.00	769	1.00	48.00	0.00
674	2.00	42.00	-0.34	722	2.00	45.00	-0.05	770	2.00	48.00	0.00
675	3.00	42.00	-0.67	723	3.00	45.00	-0.10	771	3.00	48.00	0.00
676	4.00	42.00	-0.96	724	4.00	45.00	-0.18	772	4.00	48.00	0.00
677	5.00	42.00	-1.03	725	5.00	45.00	-0.17	773	5.00	48.00	0.00
678	6.00	42.00	-1.05	726	6.00	45.00	-0.83	774	6.00	48.00	0.00
679	7.00	42.00	-1.01	727	7.00	45.00	-0.16	775	7.00	48.00	0.00
680	8.00	42.00	-0.97	728	8.00	45.00	-0.14	776	8.00	48.00	0.00
681	9.00	42.00	-1.04	729	9.00	45.00	-0.15	777	9.00	48.00	0.00
682	10.00	42.00	-0.91	730	10.00	45.00	-0.11	778	10.00	48.00	0.00
683	11.00	42.00	-0.80	731	11.00	45.00	-0.14	779	11.00	48.00	0.00
684	12.00	42.00	-0.54	732	12.00	45.00	0.17	780	12.00	48.00	0.00
685	13.00	42.00	-0.20	733	13.00	45.00	0.16	781	13.00	48.00	0.00
686	14.00	42.00	-0.01	734	14.00	45.00	0.17	782	14.00	48.00	0.00
687	15.00	42.00	0.00	735	15.00	45.00	0.00	783	15.00	48.00	0.00
688	0.00	43.00	0.00	736	0.00	46.00	0.00				
689	1.00	43.00	-0.20	737	1.00	46.00	0.08				
690	2.00	43.00	-0.40	738	2.00	46.00	0.05				
691	3.00	43.00	-0.71	739	3.00	46.00	-0.09				
692	4.00	43.00	-0.98	740	4.00	46.00	-0.19				
693	5.00	43.00	-0.98	741	5.00	46.00	-0.35				
694	6.00	43.00	-1.00	742	6.00	46.00	-0.72				
695	7.00	43.00	-0.95	743	7.00	46.00	-0.42				
696	8.00	43.00	-0.90	744	8.00	46.00	-0.50				
697	9.00	43.00	-0.99	745	9.00	46.00	-0.46				
698	10.00	43.00	-0.82	746	10.00	46.00	-0.42				
699	11.00	43.00	-0.68	747	11.00	46.00	-0.38				
700	12.00	43.00	-0.42	748	12.00	46.00	-0.10				
701	13.00	43.00	-0.08	749	13.00	46.00	0.01				
702	14.00	43.00	0.08	750	14.00	46.00	0.08				
703	15.00	43.00	0.00	751	15.00	46.00	0.00				
704	0.00	44.00	0.00	752	0.00	47.00	0.00				
705	1.00	44.00	-0.05	753	1.00	47.00	0.05				
706	2.00	44.00	-0.25	754	2.00	47.00	0.00				
707	3.00	44.00	-0.56	755	3.00	47.00	-0.05				
708	4.00	44.00	-0.83	756	4.00	47.00	-0.13				
709	5.00	44.00	-0.83	757	5.00	47.00	-0.12				
710	6.00	44.00	-0.85	758	6.00	47.00	-0.78				
711	7.00	44.00	-0.80	759	7.00	47.00	-0.11				
712	8.00	44.00	-0.75	760	8.00	47.00	-0.09				
713	9.00	44.00	-0.84	761	9.00	47.00	-0.10				
714	10.00	44.00	-0.67	762	10.00	47.00	-0.06				
715	11.00	44.00	-0.53	763	11.00	47.00	-0.09				
716	12.00	44.00	-0.27	764	12.00	47.00	0.22				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Resultados de laboratorio fisicoquímico de lodos extraídos



LABORATORIO AMBIENTAL E INDUSTRIAL

17 avenida 2-39 zona 4 Mixco | Guatemala | Ofibodegas Zaragoza 2 | Bodega 2
502 + 2437 7224 | 2437 4455
laboratorio@ecosistemas.com.gt | info@ecosistemas.com.gt | www.ecosistemas.com.gt

Ref 302-17
Pág 1/2

REG 016 Resultados de Análisis

Muestra: 1 muestra de lodo
Análisis solicitado por: Ing. Daniel Baca
Dirección: 26 Av 20-56 Zona 13.
Procedencia de la muestra: Laguna primaria PTAR ERIS
Fecha de ingreso de muestra: 030217
Fecha de análisis: 030217-130217
Fecha del informe: 130217

Identificación de la muestra: Lodo Laguna de Oxidación Primaria Planta Aurora 2 Eris
Correlativo Ecosistemas: 7240
Coordenadas: 14°34'41.7"N 90°32'10.0"O

Parámetros analizados:

PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA
* Arsénico As	mg/kg	2	3.44	EPA 3051A. UNICAM AN40177_E10/03C
* Cadmio Cd	mg/kg	4	N.D.	EPA 3051A. SMWW 3111B
* Mercurio Hg	mg/kg	2	N.D.	EPA 3051A. UNICAM AN40181_E10/03C
* Plomo Pb	mg/kg	10	N.D.	EPA 3051A. SMWW 3111B
* Cromo Cr	mg/kg	6	N.D.	EPA 3051A. SMWW 3111 D
** Coliformes Totales	NMP/100ml	1.8	1.6 x 10 ⁷	NMP
** Coliformes Fecales	NMP/100ml	1.8	5.4 x 10 ⁶	NMP
** Helmintos	---	---	NSO ***	SMWW 9260B

Continuación del apéndice 3.



LABORATORIO AMBIENTAL E INDUSTRIAL

17 avenida 2-39 zona 4 Mixco | Guatemala | Ofibodegas Zaragoza 2 | Bodega 2
502 + 2437 7224 | 2437 4455
laboratorio@ecosistemas.com.gt | info@ecosistemas.com.gt | www.ecosistemas.com.gt

Ref 302-17
Pág 2/2

Notas:

*Captación de muestras: La muestra fue captada por personal de Ecosistemas en punto indicado por el cliente.
Es una muestra compuesta.*

Transporte y preservación de la muestra: Temperatura ambiente.

Metodología base: Espectrofotometría de Absorción Atómica. Standard Methods for the examination of water and wastewater APHA, AWWA, WEF 22 Ed. / EPA 3051A

Formalin-Ethyl Acetate Sedimentation Concentration. Lynne S. Garcia & David. A. Bruckner. Diagnostic Medical Parasitology. Third Edition American Society for Microbiology. Washington 2005. Chapter 27

N.D. No detectable. Debajo del límite de detección. NMP. Número más probable

Los resultados para metales se determinaron en base seca.

Los resultados obtenidos corresponden únicamente a la muestra recibida por el personal de Ecosistemas Proyectos Ambientales.

Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de Ecosistemas Proyectos Ambientales.

*** Análisis acreditado COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2005 según OGA LE 006-04**

**** Análisis referido.**

***** NSO= No se observan**

Ing. Oscar Páez
Gerente Técnico

VoBo Ing. Fernando Fuentes
Gerente de Calidad

Fuente: elaboración propia.

