

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

ESCUELA DE POST GRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

MENCIÓN EN GEOTECNIA



TESIS

**GEOTECNIA AMBIENTAL DE LA LAGUNA FACULTATIVA “EL
ESPINAR” – CIUDAD DE PUNO 2011.**

Presentado por:

ING. JUAN ALBERTO ORDOÑEZ HUARACHA

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE: MAGÍSTER EN
INGENIERÍA CIVIL, CON MENCIÓN EN GEOTECNIA.**

TACNA - PERU

2013

**GEOTECNIA AMBIENTAL DE LA LAGUNA FACULTATIVA “EL
ESPINAR” – CIUDAD DE PUNO 2011.**

Por:

JUAN ALBERTO ORDOÑEZ HUARACHA

Tesis presentada a la Escuela de Post Grado de la Universidad Privada de Tacna, como requisito parcial para optar el grado de Magister en

INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA

APROBADO POR:

Jurado Examinador

Dr. Noribal Jorge Zegarra Alvarado.
Presidente

Jurado Examinador

Dr. Oscar Segundo Angulo Salas.
Secretario

Jurado Examinador

Dr. Richard Lazo Ramos.
Vocal

Asesor

Mag. Roberto Alfaro Alejo

DEDICATORIA

A mi Madre. Esposa Gladys, a mis hijos Jakeline, Carlos, José y a mis hermanos Alfredo y Juan de Dios.

AGRADECIMIENTOS

A los profesores de la Maestría en Geotecnia de la Universidad Privada de Tacna por todas las enseñanzas proporcionadas en los cursos.

Al Mag. Roberto Alfaro Alejo y, por el acertado asesoramiento para la culminación de este trabajo anhelado,

Al jurado informante y examinador, del presente trabajo Mag. Nicanor Obando, Mag. Oscar Angulo y Mag. Dante Morales, por la exhaustiva revisión y aportes que mejoró considerablemente el producto final.

A la Empresa Municipal de Saneamiento Básico de Puno EMSAPUNO, mi centro de trabajo que me cobijó durante varios años, para poder realizar esta investigación, a mis colegas, Ing. Fernando Bravo, Ignacio Pastor Salas, Marcelino Galindo, Julio Tovar quienes me dieron, paciencia y apoyo para poder culminar este trabajo por la información y datos muy importantes que compartieron conmigo.

De igual modo al Dr. Calixto Yanqui Murillo, por la colaboración y asesoramiento, por el apoyo inicial, y estímulo para la realización de la presente tesis.

Al Mag. Miguel Romero, por el asesoramiento y aliento que implicaron, cuya participación fue trascendental para la culminación del trabajo.

A los amigos Alberto Pilares, Cesar Guerra, Alfredo Zegarra, Miguel Romero, Miriam Condori, Juan Huaracallo, Julio Huamán, David Supo, Edy Colquehuanca, Santiago Jara Vega, por todos los momentos de convivencia durante el desarrollo de la maestría y la realización de la Tesis.

ÍNDICE GENERAL

INDICE GENERAL.....	5
INDICE DE FIGURAS.....	9
INDICE DE TABLAS	9
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
CAPITULO 1.....	12
1 INTRODUCCIÓN	12
1.1 GENERALIDADES.....	12
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	14
1.4 ANTECEDENTES REFERENCIALES DE TRABAJOS REALIZADOS ANTES	14
1.4.1 A NIVEL REGIONAL Y LOCAL	14
1.4.2 NIVEL NACIONAL.....	16
1.4.3 A NIVEL MUNDIAL	18
1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1.6 HIPÓTESIS Y VARIABLE	19
1.6.1 HIPÓTESIS GENERAL.....	19
1.6.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	19
1.7 UTILIDAD Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
CAPÍTULO 2.....	21
2 MARCO TEÓRICO.....	21
2.1 DIQUES	21
2.1.1 PARTES QUE CONFORMAN EL DIQUE:.....	21
2.2 TIPOS Y CAUSAS DE FALLAS EN TALUDES.....	21
2.3 PARTES DEL DIQUE	22
2.4 CRITERIOS QUE SE DEBE DE CONSIDERAR PARA EL DISEÑO DEL DIQUE	23
2.5 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL DIQUE.....	24
2.5.1 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD:.....	24
2.5.2 MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE:.....	25
2.6 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.....	26
2.6.1 ORDINARY O FELLENIUS:	26
2.6.2 BISHOP SIMPLIFICADO:	26
2.6.3 JANBÚ SIMPLIFICADO:.....	26
2.6.4 SPENCER:	27

2.6.5	MORGENSTEM Y PRICE:	27
2.7	COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	27
2.8	FLUJO EN MEDIOS PERMEABLES SATURADOS.....	28
2.9	ECUACIONES DE ASENTAMIENTOS	29
2.10	LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN COMO SISTEMAS DE TRATAMIENTO	33
2.11	LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.	34
2.12	TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DEL LODO	35
2.13	MARCO LEGAL	36
2.13.1	Ley de recursos hídricos	36
2.13.2	Marco legal para el tratamiento de aguas residuales.....	37
2.13.3	Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental LEY N° 27446 ...	38
2.14	EL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES	39
2.15	VERTIDO A LAGOS.....	40
2.16	ACCIÓN DEL CEPIS/OPS	40
2.17	ESTRATIFICACIÓN TERMAL.....	41
2.18	EUTROFIZACIÓN	42
2.19	PARÁMETROS QUÍMICOS.....	43
CAPITULO 3	65
3	METODOLOGIA	65
3.1	METODO DE TRABAJO.....	65
3.1.1	Tipo de Investigación.....	65
3.1.2	Instrumentos.....	66
3.1.3	Técnicas de Investigación de Campo	66
3.1.4	Gabinete	67
3.1.5	Aplicación de los Software seleccionado para el estudio	67
3.1.6	Análisis De Estudio.....	67
3.1.7	TAMAÑO DE LA MUESTRA	68
3.2	UBICACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA	68
3.2.1	VÍAS DE ACCESO	68
3.2.2	CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA LAGO TITICACA.....	68
3.3	INVESTIGACIONES Y ENSAYOS DE LABORATORIO	70
3.3.1	ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO.....	70
3.3.2	ENSAYO DE PERMEABILIDAD	70
3.4	REGISTROS DE SONDAJES DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR SPT	70
3.5	REGISTROS DE INVESTIGACIÓN SUELOS – CALICATAS.....	70
3.6	CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	71
3.7	ENSAYOS ESPECIALES	71
3.7.1	ENSAYO DE CORTE DIRECTO	71

3.7.2 ENSAYO DE PERMEABILIDAD	71
3.8 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA.....	73
3.8.1 METODOLOGIA DE TRABAJO	73
3.9 REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE	74
3.10 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA.....	74
3.10.1 GEOLOGÍA REGIONAL	74
3.10.2 GEOMORFOLOGÍA.....	74
3.11 GEOLOGÍA LOCAL LUGAR DE UBICACIÓN DE LAGUNA ESTABILIZACIÓN EL ESPINAR:	76
3.12 DISEÑO DE DIQUES Y FONDOS DE LAGUNAS.....	77
3.13 DATOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO.....	77
3.14 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE ESPINAR.....	77
3.14.1 LAGUNA PRIMARIA	77
3.14.2 LAGUNA SECUNDARIA.....	78
3.14.3 ESTRUCTURAS DE SALIDA, RECOLECCIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL	78
3.14.4 EFICIENCIA APROXIMADA DEL SISTEMA DE LAGUNAS	78
3.15 CÁLCULOS DE LA EFICIENCIA DEL MODELO DE MEZCLA COMPLETA.....	79
3.15.1 LAGUNA PRIMARIA:.....	79
3.15.2 MUESTRA COMPUESTA:.....	79
3.15.3 LAGUNA SECUNDARIA:.....	80
3.15.4 MEDICIONES DEL CAUDAL	80
3.15.5 CARGA AFLUENTE.....	81
3.16 CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE LOS DIQUES.	83
3.16.1 ALTURA DEL TIRANTE DE AGUA (T).....	84
3.16.2 BORDE LIBRE (H _b).....	84
3.16.3 ALTURA DEL DIQUE:	87
3.17 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL DIQUE POR GEOESLOPE/W2007	87
3.17.1 SECCIONES GEOTÉCNICAS	87
3.17.2 CONDICIONES DE ESTABILIDAD	87
3.18 EVALUACION DE LA CARGA CONTAMINANTE EN EL EFLUENTE DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION "EL ESPINAR" PUNO.....	89
CAPITULO 4.....	91
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	91
4.1 RESULTADO 1	91
4.2 RESULTADO 2	92
4.3 RESULTADO 3	95
4.4 RESULTADO 4	96
5 DISCUSIÓN	97

5.1 DISCUSIÓN 1.....	97
5.2 DISCUSIÓN 2.....	97
5.3 DISCUSIÓN 3.....	98
5.4 DISCUSIÓN 4.....	98
CAPITULO 6.....	100
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	100
6.1 CONCLUSIONES	100
6.2 RECOMENDACIONES	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
ANEXOS.....	105

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Laguna facultativa “El Espinar”, ciudad de Puno	13
Figura N° 2: Tecnologías empleadas por las EPS's	17
Figura N° 3: Círculo de falla	25
Figura N° 4: Distribución de fuerzas en dovelas.....	26
Figura N° 5: Esfuerzo Trapezoidal.....	30
Figura N° 6: Incrementos de esfuerzo.....	31
Figura N° 7: Esquema contribuyentes de la eutrofización	40
Figura N° 8: Pasos del análisis de las fracciones de fosfato	57
Figura N° 9: Delimitación de Cuenca del Titicaca de Acuerdo a la R.M. 033-2008-AG.....	69
Figura N° 10: vista de la laguna espinar por Google Eath	78
Figura N° 11 Caudales horarios afluentes al sistema espinar	81

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Carga removida	15
Tabla 2: Porcentaje que pasa por la malla N° 200 (0.075mm)	23
Tabla 3: Descripciones del suelo Porcentaje que pasa la Malla N°200.	23
Tabla 4: Diámetro D10 y Máximo (mm)	24
Tabla 5: Parámetros De Material Para Calcular Asentamiento Elástico	31
Tabla 6: Resumen de las Canteras previstas de materiales	72
Tabla 7: Análisis colimetría y DBO PTAR.....	78
Tabla 8: estimación de cargas contaminantes.....	82
Tabla 9: cargas contaminantes	83
Tabla 10: clasificación del coeficiente K	85
Tabla 11: Factores de Seguridad Mínimos para Análisis de Estabilidad	93
Tabla 12: Escenario vacío lleno y desembalse rápido.....	93
Tabla 13: Resumen de los factores de seguridad	93
Tabla 14: Resumen de los Factores de Seguridad.....	94
Tabla 15: Eficiencias.....	95
Tabla 16: Eficiencia en aguas subterráneas.....	96
Tabla 17: Conductividad hidráulica	96

RESUMEN

La presente tesis tiene por finalidad realizar un análisis de la estabilidad del talud del Dique de la laguna el Espinar al distrito de Puno. En base a este análisis de estabilidad de taludes se pretende realizar una correcta evaluación de la zona en estudio. Para lograr este objetivo se ha modelado utilizando el programa de computación SLOPE/W. Además, se ha realizado trabajo de campo una vez concluido el análisis de la problemática procede a un análisis de las condiciones de operación del dique.

El programa SIGMA/W, el cual será utilizado para calcular las deformaciones causadas por los esfuerzos generados. Para ello se diseñará un modelo matemático rectangular, a base de elemento finito para un solo tipo de suelo. Para predecir el comportamiento de este material impermeable, nuestro estudio se hará a través de los siguientes modelos constitutivos: MODELO ELÁSTICO – PLÁSTICO (MOHR-COULOMB). La predicción de la magnitud y distribución de los asentos, a través del análisis de los esfuerzos totales o efectivos verticales y longitudinales.

Utilizado el programa SEEP/W, se estudiaron dos casos simples de flujo en Dique el flujo bajo el dique impermeable. El análisis se centra en el cálculo de caudales pasantes, geometría considerada y las propiedades hidrogeológicas de los suelos utilizados.

Los factores que más afectan a la bahía menor del Lago Titicaca, provienen de la acción directa del hombre, que produce el llamado efecto antrópico. Los principales problemas ocasionados El exceso de nitrógeno y fosforo debido a las aguas servidas, provoca la eutroficación, proceso en el que el agua se enriquece de estos compuestos estimulando el crecimiento de algas y bacterias en la superficie. Estas provocan la turbiedad del agua, al punto de no dejar pasar la luz e impedir la fotosíntesis para que subsista la vegetación acuática que se encuentra en el fondo, la cual es refugio de variadas especies de peces y crustáceos. Si bien aumenta la producción de oxígeno disuelto en la superficie por la fotosíntesis de las algas, éste no es capaz de llegar a las aguas más profundas, siendo liberado a la atmósfera o bien consumido por los "nuevos habitantes". De esta forma, se altera toda la cadena alimenticia, mientras que desde el punto de vista de los seres humanos la eutroficación es poco atractiva para realizar actividades recreativas y dañinas para la salud de las personas, porque disminuye la calidad del agua

ABSTRACT

This thesis aims to perform a stability analysis of the slope of the dike of the Lake District Espinar to Puno. Based on this slope stability analysis intended to make a correct assessment of the study area. To achieve this goal has been modeled using the computer program SLOPE / W also has done field work once the analysis of the issue proceeds to an analysis of the operating conditions of the dike.

The program SIGMA / W, which will be used to calculate the deformations caused by the stresses generated. For this design a rectangular mathematical model, based on finite element for a single type of soil. To predict the behavior of this material waterproof, our study will be done through the following constitutive models: MODEL ELASTIC - PLASTIC (Mohr-Coulomb). prediction of the magnitude and distribution of the seats, through the analysis of the total effort effective vertical or longitudinal.

Used the program SEEP / W, two cases were studied simple Dike flow under the dike flow impermeable. The analysis focuses on the calculation of flow interns considered geometry and hydrogeological properties of the soils used.

The factors that most affect the lower bay of Lake Titicaca, from direct action of man, which produces the so-called anthropic effect. The main problems arising Excess nitrogen and phosphorus because sewage, causing eutrophication, a process in which the water is enriched with these compounds stimulating the growth of algae and bacteria on the surface. These cause water turbidity, to the extent not let the light and prevent photosynthesis to surviving aquatic vegetation found in the background, which is home to many species of fish and crustaceans. While production increases dissolved oxygen in the surface by photosynthesis of algae, it is unable to reach the deeper water being released into the atmosphere or consumed by the "new people". In this way, it changes the entire food chain, while from the point of view of human beings eutrophication is unattractive for recreation and harmful to the health of people, because it decreases water quality

CAPITULO 1

1 INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

La ciudad de Puno es una población urbana que está ubicada dentro de la cuenca del Lago Titicaca, uno de los problemas ambientales que afronta es la eutrofización de la bahía menor del lago fundamentalmente por la producción de lodos y nutrientes de la laguna el espinar y el crecimiento urbano.

El dique de la laguna facultativa es en la actualidad la principal infraestructura de tierra, fue construido en el año 1972 presentara filtración en algunos puntos causado por el aumento en la presión de poros en el suelo al elevarse el nivel del espejo de la laguna en las épocas de estiaje, el talud por falta de mantenimiento presenta erosión.

El dique construido de tierra para almacenar las aguas residuales, con fines de tratamiento biológico Por lo tanto, constituye una de las obras de ingeniería de mayor importancia para la ciudad de Puno.

La probabilidad de falla y rotura del dique de gravedad, implica una altísima responsabilidad, tanto para los técnicos encargados de su diseño, operación y mantenimiento y control de calidad, que deben extremar al máximo sus esfuerzos por minimizar dicho riesgo, como para aquellas autoridades que deben asegurar que existan los recursos humanos y económicos imprescindibles para su atención. Con el objeto de alcanzar y mantener el mayor nivel de seguridad factible

El desafío técnico es proponer soluciones que hagan factible que reduzcan la contaminación de la bahía interior del lago, generando beneficios adicionales al proceso de depuración del recurso hídrico (Asencio, 2002).

La gestión de las aguas residuales sugiere una serie de procesos que buscan solucionar conflictos entre múltiples usuarios quienes, dependen de un recurso compartido. La oferta de agua para la ciudad de Puno proviene mayormente de la cuenca hidrográfica del Lago Titicaca y los excedentes de uso así como los efluentes vuelven a integrar el sistema. El gerenciamiento implica optimizar los usos de este recurso mediante el consumo racional con una calidad aceptable, esta gestión debe maximizar, con criterio de equidad, los beneficios económicos, sociales y ambientales. (Asencio, 2002).

Para ello, se realizó una revisión bibliográfica de temas referentes a la contaminación de ambientes acuáticos, se recopilaron datos de muestreo y análisis de la calidad del agua del Lago Titicaca. En base a ello se determinaron los parámetros físico, químico y bacteriológico

que se estudiarían, se seleccionaron los puntos de muestreo, se realizaron los análisis correspondientes, concluyendo con la interpretación de los resultados obtenidos.

El objetivo es analizar la estabilidad del talud para garantizar el proceso de tratamiento de las aguas residuales que viene operando en la actualidad. Durante trabajos de campo en estas áreas, se obtuvieron los datos de suelos y geológicos.

Figura N° 1: Laguna facultativa “El Espinar”, ciudad de Puno.



Fuente: Google Earth.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- ¿En qué medida influye el agua y los lodos del efluente de la laguna facultativa el espinar en la calidad del Agua de la bahía menor del lago Titicaca de la ciudad de Puno?
- ¿Existe el peligro de la falla de estabilidad del dique de la laguna facultativa el espinar?
- ¿En la laguna facultativa el espinar el efluente está dentro de los Límites Máximos Permisibles y de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA)?
- ¿Las Actividades de la laguna espinar, generan contaminación en las aguas subterráneas?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Este trabajo de investigación se justifica plenamente siendo uno de los problemas ambientales de la ciudad de Puno que resolver se va a determinar la calidad del agua que entrega a la bahía menor del lago Titicaca como cuerpo receptor, la infraestructura existente del dique debido a la vida útil de 40 años de su construcción como se encuentra su estabilidad y su conservación.

Este trabajo va a determinar la calidad del agua del efluente de la laguna El Espinar y la estabilidad del dique de la laguna El Sub Suelo de la laguna El Espinar que está formado principalmente por suelo orgánico y limo arcilloso.

1.4 ANTECEDENTES REFERENCIALES DE TRABAJOS REALIZADOS ANTES

No hay trabajos similares desarrollados anteriormente la presente es un aporte para recuperar la infraestructura.

1.4.1 A NIVEL REGIONAL Y LOCAL

El proyecto PENUMA-TITICACA realiza la “ENCUESTA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUALES LÍQUIDOS EN LA CUENCA DEL TITICACA (TDPS – PERÚ)” noviembre 2011 llegando a las siguientes conclusiones:

- a. Las encuestas de los sistemas de tratamiento de aguas residuales se desarrollaron en 34 poblaciones ubicadas en la cuenca del lago Titicaca, parte Peruana que corresponde al TDPS-Perú, según el Censo de Población 2007 INEI la población asciende a uno 533 854 habitantes, concentrados, la mayor parte en las poblaciones de Juliaca y Puno que representan 64,5 % de la población total considerada en este estudio. 26 de las 34 poblaciones encuestadas cuentan con sistemas de tratamiento, lagunas de oxidación en su gran mayoría. Las poblaciones de Ajoyani, Asillo, Ayaviri y Desaguadero no las utilizan, sumándose al resto de los centros urbanos que evacúan sus aguas residuales en forma directa a los cuerpos receptores, para un total de 12 poblaciones consideradas en estado crítico en relación a sus descargas.
- b. Las condiciones ambientales en el entorno de los sistemas de tratamiento y disposición final se encuentran en buenas condiciones: 6 (23,1%), regular 18 (69,2%) y malas 2 (7,7%); el uso de tecnologías para el cumplimiento de los requerimientos y reúso son adecuadas en 13 (50 %) de sistemas de tratamiento, mientras que en otras 50 % son incapaces de tratar eficientemente las aguas residuales, por las características y la capacidad de los sistemas de tratamiento, donde influye un diseño inapropiado.

- c. El estado técnico constructivo de 6 (23,1 %) de los sistemas de tratamiento se consideran en buen estado, 18 (69,2 %) en estado regular y 2 (7.7 %) en estados malos- El funcionamiento de los sistemas de tratamiento y disposición final de las aguas residuales se calificó de: 4 (15 %) son satisfactorios, 19 (73 %) aceptables y 3 (12 %) no satisfactorios. En solamente seis sistemas de tratamiento (17 %) se cumplen con las regulaciones y procedimientos operacionales básicos y disposición final de las aguas residuales, que incluyen la limpieza de los componentes y mantenimiento del sistema, en el resto no se realizan (83 %).
- d. La carga dispuesta, o sea descontando la carga removida resultante de la eficiencia de los sistemas donde los hay, se pueden ver en la tabla siguiente:

Tabla 1: Carga removida

NOMBRE DE LA FUENTE	MUNICIPIO	POBLACIÓN	CARGA DISPUESTA DBO (TON/AÑO)	% ACUMULADO.
JULIACA	PROV. DE SAN ROMÁN	216,716.00	2159	43.91
PUNO	PROV. DE PUNO	125,663.00	578	55.66
AYAVIRI	PROV. DE MELGAR	18,881.00	289	61.54
RINCONADA	DIST. DE ANANEA	15,000.00	230	66.21
DESAGUADERO	DIST. DESAGUADERO	14,365.00	220	70.69
PUTINA	PROV. DE PUTINA	14,318.00	219	75.14
YUNGUYO	PROV. DE YUNGUYO	11,934.00	183	78.86
ILAVE	PROV. DE EL COLLAO	22,153.00	136	81.62
HUANCANÉ	PROV. DE HUANCANÉ	7,332.00	112	83.91
AZÁNGARO	PROV. DE AZÁNGARO	16,035.00	79	85.51
LAMPA	PROV. DE LAMPA	4,949.00	76	87.05
CRUCERO	DIST. DE CRUCERO	4,570.00	70	88.47
NUÑO A	DIST. DE NUÑO A	5,057.00	59	89.67
SANTA LUCIA	DIST. DE SANTA LUCIA	5,045.00	54	90.77
SAN ANTÓN	DIST. SAN ANTÓN	3,379.00	52	91.82
ASILLO	DIST. DE ASILLO	3,226.00	49	92.82
SANTA ROSA	DIST. DE SANTA ROSA	2,856.00	44	93.71
MOHO	PROV. DE MOHO	4,720.00	42	94.56
JULI	PROV. DE CHUCUITO	8,157.00	39	95.35
ZEPITA	DIST. DE ZEPITA	2,381.00	37	96.09
CABANILLAS	DIST. DE CABANILLAS	2,288.00	23	96.57
ANTAUTA	DIST. DE ANTAUTA	2,212.00	21	96.99
CARLOS GUTIÉRREZ	DIST. DE POTONI	2,000.00	20	97.4

PUCARÁ	DIST. DE PUCARÁ	2,126.00	19	97.79
MUÑANI	DIST. DE MUÑANI	2,436.00	16	98.12
CHUCUITO	DIST. DE CHUCUITO	1,146.00	15	98.42
ACORA	DIST. DE ACORA	3,710.00	14	98.7
TARACO	DIST. DE TARACO	1,387.00	11	98.94
AJOYANI	DIST. DE AJOYANI	1,130.00	11	99.16
J.D.CH.	DIST. DE JDCH	3,332.00	10	99.37
CHUPA	PROV. DE AZÁNGARO	1,771.00	10	99.57
CABANILLA	DIST. DE CABANILLA	895.00	8	99.73
POMATA	DIST. DE POMATA	1,777.00	8	99.89
ARAPA	DIST. DE ARAPA	907.00	5	99.99

Fuente: PENUMA, 2011

La carga dispuesta, parámetro de mayor importancia en el sentido de elaborar planes remediales para su reducción, tiene un 55 % entre Juliaca y Puno. Desde Juliaca a Azángaro alrededor de un 85 % de la carga contaminante en DBO₅. (PENUMA, 2011).

1.4.2 NIVEL NACIONAL

La SUNASS, en ejercicio de su función supervisora y fiscalizadora de las empresas prestadoras de servicios de saneamiento (EPS), cuenta con un inventario de las plantas de tratamiento de aguas residuales al 2007, su estado de operación y mantenimiento y la calidad del servicio que prestan. Esa información ha sido recopilada en las inspecciones de campo que los ingenieros especialistas en supervisión y fiscalización de la SUNASS han llevado a cabo en las empresas reguladas e información complementaria remitida por las EPS en el año 2007.

Sobre esa base se ha identificado que en las EPS los principales problemas en la gestión de las aguas residuales son: a) El déficit de cobertura de tratamiento y b) la ineficiencia operativa de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Las causas directas e indirectas de este problema, así como las consecuencias que acarrea, se sintetizan en el gráfico 1 y se listan a continuación:

a. Principales causas:

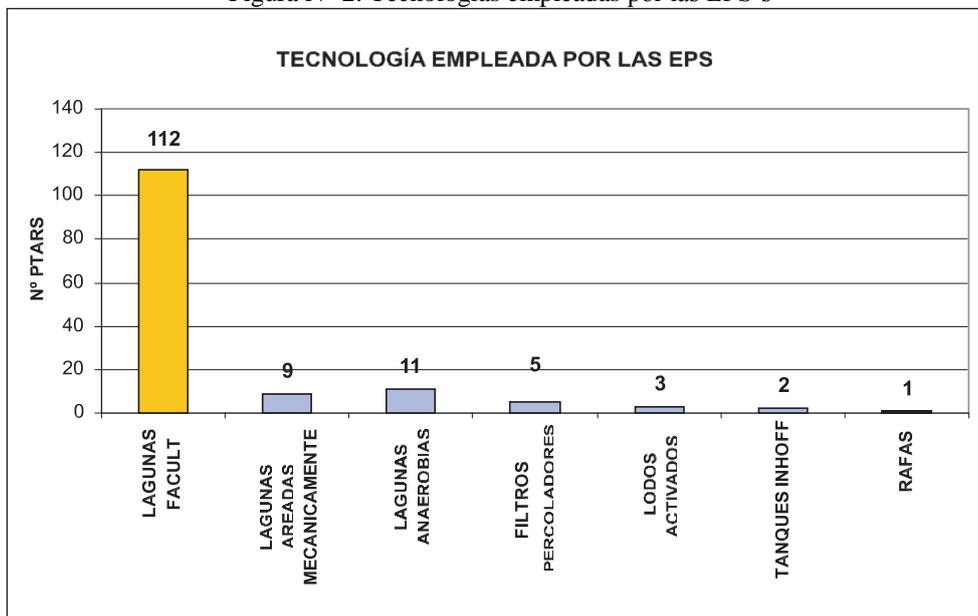
- Insuficiente investigación y desarrollo tecnológico en el Perú.
- Acción parcial y desarticulada de las organizaciones del sector.
- Insuficientes recursos destinados a la operación y mantenimiento de las PTAR.
- Déficit de financiamiento para el tratamiento de las aguas residuales.

b. Principales consecuencias:

- Incumplimiento de los objetivos de calidad de las PTAR.
- Bajo volumen de aguas residuales tratadas.

El desarrollo amplio de estas causas del problema y sus consecuencias se efectúa en los subsiguientes numerales. El inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales en las EPS de SUNASS de 2007 muestra que de las 143 PTAR, 92% se compone de lagunas de estabilización en sus diferentes variedades de comportamiento biológico (anaerobias, facultativas o aireadas), siendo las lagunas facultativas las más empleadas, 78% en 112 PTAR, como se muestra en la siguiente figura.

Figura N° 2: Tecnologías empleadas por las EPS's



Fuente: Información recopilada por la SUNASS de las EPS en septiembre de 2007)

A nivel nacional la SUNASS ha realizado el inventario de lagunas, a fines de 2007, el 63,6% de la población urbana total tuvo servicio de alcantarillado administrado por empresas prestadoras de servicios de saneamiento (EPS); el resto fue administrado directamente por las municipalidades o a través de operadores especializados (OES) en pequeñas ciudades, comités de agua o simplemente no cuenta con dicho servicio.

Durante ese año los sistemas de alcantarillado recolectaron aproximadamente 747,3 millones de metros cúbicos de aguas residuales, producto de las descargas de los usuarios conectados al servicio¹. De ese volumen, sólo 29,1% ingresaron a un sistema de tratamiento de aguas residuales, muchos de los cuales con deficiencias operativas y de mantenimiento, y el resto se descargó directamente a un cuerpo de agua (mar, ríos o lagos), se infiltró en el suelo o se usó clandestinamente para fines

agrícolas. Es decir, al menos 530,0 millones de metros cúbicos de aguas residuales pasaron a contaminar los cuerpos de agua superficial que se usan para la agricultura, pesca, recreación e incluso para el abastecimiento de agua potable. Si a ello se suma la contaminación por fuentes mineras e industriales, se constituye un escenario que pone en peligro la salud pública, genera deterioro de ecosistemas, produce limitaciones para la agro exportación e incrementa los costos de tratamiento del agua para fines de abastecimiento poblacional ODES se ha ejecutado lagunas en poblaciones pequeñas. (SUNASS-PRO AGUA GTZ, 2008).

1.4.3 A NIVEL MUNDIAL

La rotura de las presas de El Cobre (Chile, 1965), Buffalo Creek (Estados Unidos, 1972), Mochilcochi (Japón, 1978) y Stava (Italia, 1985), es sólo una muestra de la tragedia que puede generarse al fallar. A la luz de estas desgracias en diferentes partes del mundo, los investigadores se han interesado en estudiar el comportamiento de las presas de residuos mineros una balsa minera.

Los métodos de disposición final de residuos dependen de varios factores:

- La composición química de los residuos, que determina su potencial contaminante para el medio ambiente.
- El estado físico de los residuos.
- El espacio disponible para la disposición de los residuos. (COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO DE PRESAS DE RESIDUOS BAJO ACCIONES ESTÁTICAS Y DINÁMICAS, Rey Candelaria).

Según se tiene conocimiento, la primera instalación de lagunas de estabilización diseñada para tratar aguas residuales domésticas estuvo localizado en Dakota del Norte, EE.UU. y fue construida en 1948 después de recibir la aprobación de las autoridades de salud pública. Desde entonces, una gran cantidad de instalaciones han sido construidas en muchos países del mundo. (Yáñez, 1993).

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar en qué medida influye el agua y los lodos del efluente de la laguna facultativa El Espinar en la calidad del agua de la bahía menor del lago Titicaca de la ciudad de Puno.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos de esta investigación son los siguientes:

- Analizar el peligro de la falla de estabilidad del dique de la laguna facultativa El Espinar.
- Verificar en la laguna facultativa El Espinar si el efluente está dentro de los Límites Máximos Permisibles y de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA)
- Determinar si en las actividades de la laguna El Espinar, generan contaminación en las aguas subterráneas.

1.6 HIPÓTESIS Y VARIABLE

1.6.1 HIPÓTESIS GENERAL.

El agua y los lodos del efluente de la laguna facultativa el espinar, influyen significativamente en la calidad del Agua de la bahía menor del lago Titicaca de la ciudad de Puno.

1.6.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.

- No existe el peligro de la falla de estabilidad del dique de la Laguna facultativa El Espinar.
- En la laguna facultativa El Espinar el efluente no está dentro de los Límites Máximos Permisibles y ECAS.
- Las actividades de la Laguna El Espinar generan contaminación significativa en las aguas subterráneas, por falta de material impermeable.

1.7 UTILIDAD Y APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Debido a que el área de estudio está ubicado en la ciudad de Puno vía principal de ingreso de Moquegua, y conecta con las ciudades más importantes del departamento y el vecino país de Bolivia.

En las plantas de tratamiento de aguas residuales es la encargada de tratar las aguas residuales de la ciudad y produce lodos que es un problema ambiental por la emanación de malos olores.

La ciudad de Puno, según los datos recolectados de INEI (2005), cuenta con 130,062 personas que viven dentro de la ciudad y esta población está sujeta a incrementar.

El agua contaminada constituye un grave peligro para todo ser viviente y los residuos sólidos, por lo que su tratamiento cobra vital importancia. Desde el punto de vista de la salud pública, tratar las aguas residuales no es sólo estabilizar los desechos biodegradables, sino también evaluar los riesgos que presentan para la salud el uso de esta agua, ya sea con fines agrícolas, industriales, recreativos, piscícolas, etc.

El principal peligro para la vida humana y propiedades de flujos es la salud pública y debemos minimizar los impactos ambientales.

El sistema de lagunas de oxidación de Espinar trata las aguas residuales generadas en la ciudad de Puno y fue diseñada para tratar 100 l/s en la actualidad viene tratando hasta 220 l/s, aproximadamente y brinda servicio a un 75 % de la población, que se estima en la actualidad cercana a 140 000 habitantes, de acuerdo a datos actuales suministrados por EMSAPUNO S.A.

Las lagunas facultativas fueron construidas en el año 1972, en ese entonces servían a un 40-45% de la población. Entre los años 1995-1996 EMSAPUNO S.A. con financiamiento del Programa Nacional de Agua Potable y Alcantarillado (PRONAP), rehabilitó el sistema ampliando su capacidad de tratamiento hasta cubrir cerca del 70% del total de aguas servidas de la ciudad de Puno. (Expediente Limpieza laguna, 2008).

CAPÍTULO 2

2 MARCO TEÓRICO

2.1 DIQUES

En ingeniería se denomina dique o terraplén a una barrera fabricada con piedra, hormigón o materiales de tierra, que se construye habitualmente en una cerrada con la finalidad de embalsar el agua para su posterior aprovechamiento en el tratamiento de aguas residuales, para elevar su nivel con el objetivo de derivarla a un periodo de retención.

2.1.1 PARTES QUE CONFORMAN EL DIQUE:

- a. **CORONA:** Parte superior de la estructura, generalmente revestida para prevenir el secado del corazón impermeable y proporcionar una vía para el tránsito de vehículos.
- b. **ALTURA:** Diferencia entre las elevaciones de la corona y el punto más bajo de La cimentación.
- c. **BORDE LIBRE:** Distancia vertical entre el nivel de la corona y el de las aguas máximo extraordinarias (NAME); este último se alcanza cuando el vertedor trabaja a su capacidad límite de descarga. El bordo libre debe de proteger a un dique, con cierto margen de seguridad, de los efectos del oleaje generado por el viento o sismos y tomar en cuenta el asentamiento máximo de la corona.
- d. **NAMO:** Nivel de aguas máximas ordinarias. Coincide con la elevación de la cresta del vertedor en el caso de una estructura que derrama libremente; si se tienen compuertas, es el nivel superior de estas.
- e. **TALUDES EXTERIORES:** Están relacionados a la clasificación de suelos que se va a usar en la construcción, especialmente suelos impermeables. El talud elegido es estrictamente conservador, y dependen del tipo de cortina y de la naturaleza de los materiales.

2.2 TIPOS Y CAUSAS DE FALLAS EN TALUDES

A una superficie de terreno inclinado se le llama talud, pueden ser producto de cortes o terraplenes para diferentes obras, como pueden ser, presas de tierra, vías terrestres, plataformas industriales, puertos, etc.; también pueden tener un origen natural, y en este caso se les conoce como laderas.

En los taludes por ser inclinados, la fuerza de gravedad juega un factor importante en su estabilidad, porque existe una componente sobre la masa del suelo que induce a que éste se deslice sobre una superficie de falla cuando se supera la resistencia al corte. Los tipos de fallas en taludes son muy variados, en laderas se encuentran: fallas por deslizamiento

superficial, que se deben a fenómenos cerca de la superficie por la falta de presión normal confinante con desplazamientos muy lentos semejantes a un flujo viscoso; fallas por erosión provocadas por agentes erosivos como lo son el viento y el agua; Fallas por licuación cuando la presencia de agua y un movimiento vibratorio reducen la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, prácticamente a cero. Sin embargo una de las fallas más preocupantes en los diferentes tipos de taludes es la falla por movimiento del cuerpo del talud o deslizamiento de tierras, dividiéndose en: fallas por rotación y fallas por traslación, las primeras se suceden a través de una superficie de falla curva y la segundas a través de un plano débil ligeramente inclinado en el cuerpo del talud o en la cimentación.

Las fallas de talud de deslizamiento de tierras por rotación se consideran prácticamente circularmente cilíndrica y se pueden clasificar como:

- falla de pie de talud
- falla superficial
- falla de base o profunda.

2.3 PARTES DEL DIQUE

- a. **NÚCLEO IMPERMEABLE:** Pantalla impermeable de la cortina construida con suelo compactado este núcleo puede estar al centro y ser vertical o inclinado, o bien, localizado próximo al paramento de aguas arriba. Dichas alternativas van a depender de los materiales del lugar.
- b. **RESPALDOS:** Partes de la cortina construidas con materiales permeables (enrocamiento, gravas o arenas), o bien, suelos limosos o arcillosos colocados aguas abajo pero confinados por filtros.
- c. **FILTROS:** Elementos de la sección formados con arena limpia, bien graduada, destinados a coleccionar las filtraciones a través del núcleo y protegerlo de una posible erosión interna; puede requerirse un filtro vertical al centro, unido a otro en la base, aguas abajo: cuando el respaldo de aguas arriba debe de construirse con un material de permeabilidad relativamente baja, suelen intercalarse capas filtrantes horizontales.
- d. **PROTECCIONES:** Para evitar la erosión causada por oleaje por el talud de aguas arriba o por lluvias en el de aguas abajo, los paramentos respectivos se forman con materiales capaces de resistir dicha acción. Aguas arriba es conveniente usar una capa de enrocamiento, pero la carencia de las rocas en el lugar puede obligar el uso de losas de suelo cemento, concreto o de recubrimientos asfálticos. Aguas abajo es frecuente cubrir con una capa de suelo y césped.

2.4 CRITERIOS QUE SE DEBE DE CONSIDERAR PARA EL DISEÑO DEL DIQUE

Para el diseño del dique se utilizó el reglamento del cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos siguiendo los siguientes pasos:

- Determinamos la curva granulométrica del material que se utilizará en el núcleo del dique.
- Se corrige la curva granulométrica del material considerado para el cuerpo del dique.
- Utilizando el material hasta la Malla N°4 (4.75 mm)
- Se obtiene el factor de corrección dividiendo 100 entre el porcentaje que pasa la Malla N°4.

$$FC = \frac{100}{40.70} = 2.45$$

- Multiplicamos cada porcentaje que pasa por el factor de corrección ajustando la curva.
- Ver la categoría a la que pertenece la curva corregida observando el porcentaje acumulado que pasa la Malla N°200 y comparando con el siguiente cuadro.

Tabla 2: Porcentaje que pasa por la malla N° 200 (0.075mm)

CATEGORIA	PORCENTAJE
1	> 85%
2	40% – 85%
3	15% – 39%
4	< 15%

Fuente: Briones URP, 2008

- Determinamos el D15 máximo de la siguiente tabla, se clasificará de acuerdo a la categoría que pertenece.

Tabla 3: Descripciones del suelo Porcentaje que pasa la Malla N°200.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN DEL SUELO Y PORCENTAJE MÁS FINO MALLA N°200	FORMULA
1	Limos, finos y arcillas; más del 85% más Fino.	$D_{15} = 9 \times d_{85}$
2	Arenas limos arcillas; 40 a 85% fino.	$D_{15} = 0.7mm$
3	Limo y arena arcillosa y gruesos; 15 a 39% Fino.	
4	Arenas y gravas.	$D_{15} = 45 \times d_{85}$

Fuente: Briones URP, 2008

- h. Calculamos el D15 mín.
- i. Observamos que si el porcentaje de la Malla N° 20 < 5% (si está dentro del huso se ajusta la curva para que la primera línea del huso pase por ese punto). Para filtros se acepta como máximo 5% del material que pasa la Malla N° 200.
- j. Calculamos el coeficiente de uniformidad (Cu) para evitar la segregación del filtro durante el proceso de transporte o colocado en el cuerpo de la presa.
- k. Para las curvas del huso se considera como máximo el material hasta la malla equivalente a 75 mm.
- l. Tabla para límites de segregación, sirve para considerar los límites de la parte superior de la curva del huso. (Briones Jorge, 2008)

Tabla 4: Diámetro D10 y Máximo (mm)

Mínimo D10 (mm)	Máximo D90 (mm)
< 0.50	20
0.5 – 1.0	25
1.0 – 2.0	30
2.0 – 5.0	40
5.0 – 10	50
10 – 50	60

Fuente: Briones URP, 2008

2.5 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL DIQUE

Analizar la estabilidad del dique en sus tres etapas (construcción, operación, desembalse rápido), en condiciones Estática y Seudo-estática.

2.5.1 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD:

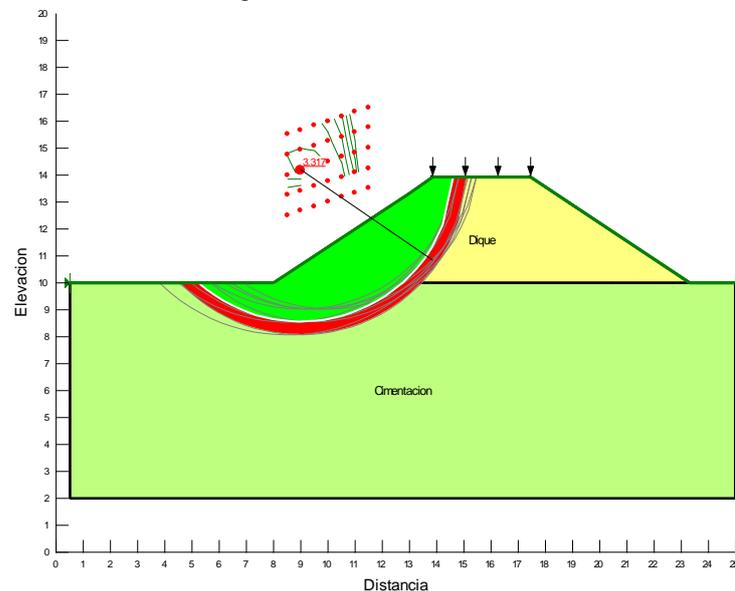
El análisis se realizó por el método de equilibrio límite, este método es el más utilizado en la práctica para el cálculo de estabilidad de taludes y se basan fundamentalmente en una consideración de equilibrio plástico límite. Se han desarrollado una gran variedad de métodos, los cuales en su mayoría se basan en dividir la potencial masa de deslizamiento en un cierto número de dovelas o rebanadas, tal como se ilustra en la figura. Las fuerzas que actúan sobre cada dovela deben encontrarse en equilibrio, tanto para cada dovela, como para la totalidad de la

masa deslizante. Algunos métodos consideran sólo equilibrio de fuerzas, otros sólo de momento y otros satisfacen ambas fuerzas.

2.5.2 MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE:

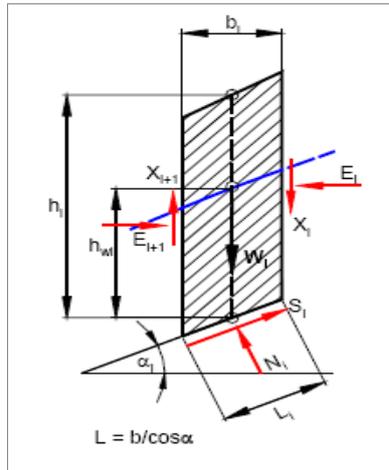
El suelo sigue una ley de comportamiento Mohr-Coulomb: $\tau=c+\sigma'n\cdot\tan(\phi')$ y la resistencia se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de deslizamiento, El Factor de Seguridad (FS) de la componente cohesiva y friccional del material es igual para todos los suelos involucrados en la superficie de deslizamiento y es el mismo para todas las dovelas, Se debe verificar el equilibrio de cada dovela como para toda la masa de suelo potencialmente deslizando, Los métodos de equilibrio límite más comunes son: Fellenius, Bishop Simplificado, Janbu Simplificado, Janbu Generalizado, Spencer, Morgenstern- Price, GLE, Corps of Engineers y Lowe-Karafiath. De los métodos indicados, el más preciso es el de Morgenstern-Price, pero su comprensión y aplicación es laboriosa. En cambio, el de Bishop Simplificado, obtiene muy poca diferencia con los métodos precisos. Whitman & Bailey (1967) analizaron en detalle el Método Simplificado de Bishop, concluyendo que el error cometido al utilizar este método frente a otros más rigurosos es inferior al 7%, siendo en general menor a un 2%.

Figura N° 3: Círculo de falla



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4: Distribución de fuerzas en dovelas



Fuente: Briones URP, 2008

2.6 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

2.6.1 ORDINARY O FELLENIUS:

Este método no tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas a fin de convertir el problema estáticamente determinado y no satisface equilibrio de fuerza, tanto para la masa deslizada como para dovelas individuales. Sin embargo, este método es muy utilizado por su procedimiento simple. Muy impreciso para taludes planos con alta presión de poros. Factores de seguridad bajos.

2.6.2 BISHOP SIMPLIFICADO:

Este método supone la superficie de deslizamiento circular. Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. La solución es indeterminada, por lo que requiere un proceso iterativo. Proporciona resultados similares a los métodos precisos.

2.6.3 JANBÚ SIMPLIFICADO:

Considera superficies no necesariamente circulares. Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobre determinada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos.

2.6.4 SPENCER:

Es aplicable en todo tipo de superficies de falla. Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.

2.6.5 MORGENSTEM Y PRICE:

Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. El método es muy similar al método Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria. (Briones Jorge, 2008).

2.7 COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

La cantidad de métodos que se utilizan, los cuales dan resultados diferentes y en ocasiones contradictorios son una muestra de la incertidumbre que caracteriza los análisis de estabilidad. Los métodos más utilizados por los ingenieros geotécnicos en todo el mundo son los simplificados de Bishop y de Janbú, los cuales en su concepción teórica no satisfacen equilibrios de fuerzas o de momentos. Los valores de factores de seguridad que se obtienen por estos dos métodos generalmente, difieren en forma importante de resultados utilizando procedimientos que satisfacen el equilibrio, como son los métodos de Spencer y de Morgenstern-Price.

Aunque una comparación directa entre los diversos métodos no es siempre posible, los factores de seguridad determinados con el método de Bishop difieren por aproximadamente el 5% con respecto a soluciones más precisas, mientras el método simplificado de Janbú generalmente, subestima el factor de seguridad hasta valores del 30%, aunque en algunos casos los sobrestima hasta valores del 5%. Esta aseveración fue documentada por Fredlund y Krahn (1977). Los métodos que satisfacen en forma más completa el equilibrio son más complejos y requieren de un mejor nivel de comprensión del sistema de análisis. En los métodos más complejos y precisos se presentan con frecuencia problemas numéricos que conducen a valores no realísticos de FS. Por las razones anteriores se prefieren métodos más sencillos pero más fáciles de manejar como son los métodos simplificados de Bishop o de Janbú. (Briones Jorge, 2008)

2.8 FLUJO EN MEDIOS PERMEABLES SATURADOS.

La ley de conservación de la masa y la ley de Darcy. La conservación de la masa establece que para un volumen de control representativo al interior de la masa de fluido, la diferencia entre el flujo másico entrante y saliente es igual a la variación de la masa de fluido almacenada dentro de éste. Por su parte, la ley de Darcy proporciona una relación funcional entre la velocidad aparente del flujo y la carga hidráulica H .

$$v_i = -K_i \frac{\partial H}{\partial t}$$

Dónde:

v_i : Velocidad aparente del flujo en la dirección i .

K_i : Conductividad Hidráulica en la dirección i , propiedad que depende del fluido y del medio

Ecuación de flujo transciende en medio poroso saturado.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k, \frac{\partial H}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(K, \frac{\partial H}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial H}{\partial t}$$

a. Líneas de flujo

Por definición, se consideran como líneas de flujo aquellas líneas que en todos sus puntos son tangentes al vector velocidad, por lo cual, representan las diferentes trayectorias de las partículas del fluido

$$\frac{\partial \Psi}{\partial x} .dx + \frac{\partial \Psi}{\partial y} dy = 0$$

Así, las curvas $\psi(x, y) = \text{cte.}$ son en todos sus puntos tangentes al vector velocidad y, por lo tanto, definen cada línea de flujo. La función ψ recibe el nombre de “función de flujo”.

b. Líneas Equipotenciales.

Las líneas equipotenciales y las líneas de flujo son ortogonales. La representación gráfica de una familia de líneas de flujo y sus correspondientes líneas equipotenciales es conocida como una red de flujo.

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{V_x}{V_y}$$

2.9 ECUACIONES DE ASENTAMIENTOS

a. Esfuerzo

En un suelo, el esfuerzo puede imaginarse como la fuerza existente en el esqueleto mineral por unidad de área del suelo.

b. Deformación

La deformación se refiere a la variación relativa de la forma o dimensiones de un cuerpo cuando está sometido a esfuerzo.

- Deformación unitaria por tensión es la razón del aumento de longitud a la longitud inicial.

$$\frac{\lambda l}{l_o} = \frac{l - l_o}{l_o}$$

l_o = longitud inicial

l = longitud final

$$\frac{\lambda l}{l_o} \text{ Deformación unitaria}$$

- Deformación unitaria por compresión es la razón de la disminución de la longitud a la longitud original

c. módulo elástico

El esfuerzo es directamente proporcional a la deformación, o es una función lineal de ella (si no se sobrepasa el límite elástico). Esta relación lineal entre esfuerzo y deformación unitaria constituye la ley de Hooke.

d. Compresibilidad

Posiblemente el problema más grave que entraña un suelo de cimentación fino y compresible, es el que refiere a los asentamientos que en él pueden producirse al recibir la sobrecarga que representan los terraplenes. Por lo que estos pueden causar:

- Asentamiento variable, ya que la presión bajo el centro es mayor que bajo los hombros.
- Aparición de asentamientos diferenciales en el sentido longitudinal, por heterogeneidades en la cedencia del terreno de cimentación; estos producen

perjuicios en la funcionalidad del camino, en el pavimento, en el drenaje superficial, etc.

- Disminución de la altura del terraplén, el cual puede ser peligroso especialmente en este caso.
- Agrietamiento en la corona del terraplén, especialmente cuando es muy ancha.

e. Incremento del esfuerzo bajo un dique

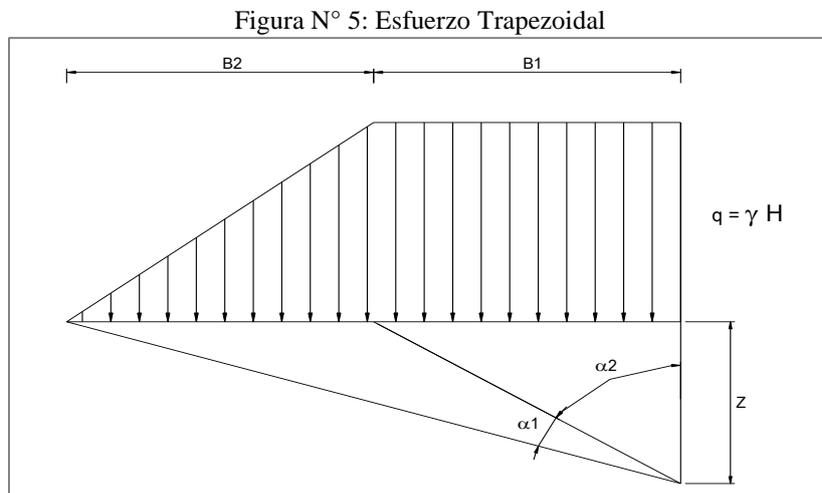
$$m = \frac{B}{Z},$$

$$m = \frac{L}{Z}$$

$$Ap = \frac{q_0}{\pi} \left[\left(\frac{B_1 + B_2}{B_2} \right) (\alpha_1 + \alpha_2) - \frac{B_1}{B_2} \alpha_2 \right]$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \left(\frac{B_1 + B_2}{Z} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{B_1}{Z} \right)$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \left(\frac{B_1}{Z} \right)$$



Fuente: Cimentaciones Braja M. Das

f. Cálculo de asentamiento elástico basado en la teoría de la elasticidad:

Se calcula en base a la teoría de la elasticidad y aplicando la Ley de Hooke.

$$S_e = \int_0^h E_z dz = \frac{1}{E_s} \int_0^H (\Delta p_z - u \Delta p_y - u \Delta p_x) dz$$

S_e = Asentamiento Elástico

E_s = Modulo de Elasticidad del Suelo.

H = Espesor del Estrato del Suelo.

u = Relación de Poisson

$\Delta p_x, \Delta p_y, \Delta p_z$ = Incremento de esfuerzo.

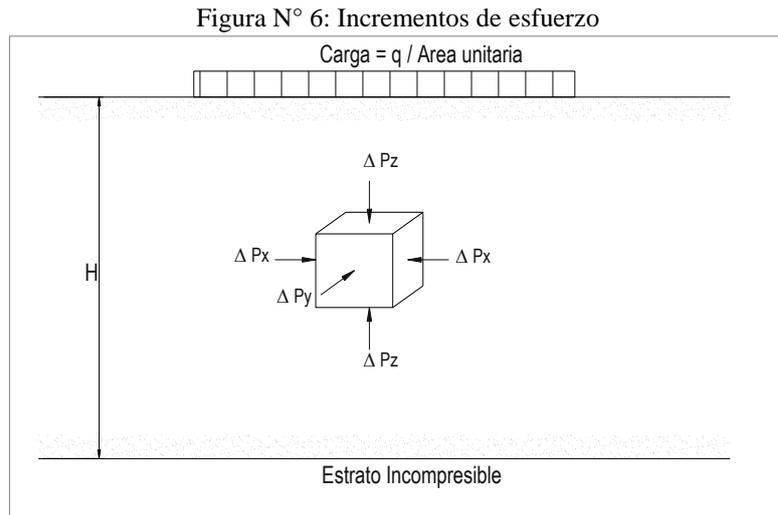


Tabla 5: Parámetros De Material Para Calcular Asentamiento Elástico

Tipo de Suelo	Módulo de Elasticidad, E_s		Módulo de Poisson μ_s
	Lb/Pulg ²		MN/m ²
Arena Suelta	1500 – 3500	10.35 – 24.15	0.20 – 0.40
Arena Densa Media	2500 – 4000	17.25 – 27.60	0.25 – 0.40
Arena Densa	5000 – 8000	34.50 – 55.20	0.30 – 0.45
Arena Limosa	1500 – 2500	10.35 – 17.25	0.20 – 0.40
Arena y Grava	10000 – 25000	69 – 172.5	0.15 – 0.35
Arcilla Suave	600 – 3000	4.10 – 20.70	
Arcilla Media	3000- 6000	20.70 -41.4	0.20 – 0.50
Arcilla Firme	6000- 14000	41.40 – 96.60	

g. Asentamiento por consolidación

Generalmente se produce en suelos arcillosos saturados, donde:

Arcilla Normal Consolidada

$$S_c = \frac{C_c H_c}{1+e_0} \log\left(\frac{p_{0+\Delta p}}{p_0}\right)$$

Arcilla Preconsolidada

$$S_c = \frac{C_s H_c}{1+e_0} \log\left(\frac{p_{0+\Delta p}}{p_0}\right)$$

Arcilla Preconsolidada con $p_0 < p_c < p_0 + \Delta p_{prom}$

$$S_c = \frac{C_s H_c}{1+e_0} \log\left(\frac{p_c}{p_0}\right) + \frac{C_s H_c}{1+e_0} \log\left(\frac{p_{0+\Delta p}}{p_0}\right)$$

Dónde:

p_0 = Presión Efectiva promedio sobre el estrato de arcilla antes de la Construcción.

Δp_{prom} = Incremento Promedio de la Presión sobre Arcilla.

p_c = Presión de consolidación

e_0 = Relación de Vacíos inicial del Estrato de Arcilla.

C_c = Índice de Compresión.

C_s = Índice de Expansibilidad

H_c = Espesor de la Arcilla.

$$\Delta P_{prom} = \frac{1}{6}(\Delta P_t + 4\Delta P_m + \Delta P_b)$$

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}$$

$$C_s = \frac{e_3 - e_4}{\log\left(\frac{P_4}{P_3}\right)}$$

h. Tasa de consolidación:

Se determina con las siguientes fórmulas:

$$T_u = \frac{\pi}{4} \left(\frac{11\%}{100} \right)^2$$

$$0 < u \leq 60\%$$

$$T_v = 1.781 - 0.933 \log(100 - u\%)$$

$$u > 60\%$$

$$T_u = \frac{\frac{\pi}{4} \left(\frac{U\%}{100} \right)^2}{\left(1 - \left(\frac{U\%}{100} \right)^{5.6} \right)^{0.357}}$$

$$0 < u \leq 100\%$$

$$T_u = \frac{C_v T}{H^2}$$

Dónde:

C_v = Coeficiente de Consolidación.

T_u = Factor de tiempo adimensional.

H = Longitud de la trayectoria Máxima de Drenaje.

T = Tiempo que demora en consolidar un suelo.

2.10 LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN COMO SISTEMAS DE TRATAMIENTO

Una laguna de estabilización es una estructura diseñada para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, utilizando procesos físicos, químicos y biológicos, por medio de la interacción de la biomasa (algas, bacterias, protozoarios, etc.), la materia orgánica del desecho y otros procesos naturales.

Las lagunas de estabilización transforman la materia orgánica muerta (putrescible) en materia orgánica viva y estable que continúa presente en el protoplasma de las algas que en ellas proliferan. Las lagunas de estabilización no tratan el agua residual sino que la estabilizan. El efluente de una laguna de estas características puede incluso contener mucha más materia orgánica que el afluente; sin embargo, la diferencia radical estriba en que la materia orgánica del efluente no ejerce una DBO por ser materia orgánica viva (Sáenz, 1968)

2.11 LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.

Las lagunas de estabilización son sistemas de tratamiento biológico donde la estabilización de la materia orgánica es realizada por la oxidación bacteriológica y/o reducción fotosintética de las algas. Pueden ser anaeróbicas, facultativas, aeróbicas, aireadas o de maduración.

En las lagunas anaeróbicas predominan los procesos anaeróbicos, siendo el grado de tratamiento obtenido equivalente al tratamiento primario.

Las lagunas facultativas son lagunas de baja profundidad, anaeróbicas al fondo y aeróbicas en la parte superior. Las condiciones aeróbicas, se consiguen gracias al oxígeno generado por las algas presentes en la laguna.

Las bacterias presentes en las lagunas (anaeróbicas y facultativas) metabolizan la materia orgánica presente (disuelta, coloidal y en suspensión) produciendo CO₂. Las algas metabolizan el CO₂ en materia celular. Los sólidos en suspensión se depositan en el fondo formando una capa anaeróbica (opera como un digestor anaeróbico). El efluente tratado carga una gran cantidad de algas (materia orgánica).

En las lagunas aireadas, el oxígeno es introducido por medio de equipos mecánicos de aireación. Siempre siguen lagunas de sedimentación a las lagunas aireadas.

Las lagunas de estabilización presentan las siguientes ventajas sobre otros procesos:

- Mayor remoción de microorganismos.
- No necesita de operadores calificados.
- Bajo costo de operación (energía, mantenimiento, productos químicos).
- Costo de inversión bajo (depende de disponibilidad de áreas).

Los factores que afectan la operación de las lagunas son:

- **NATURALES:**
 - acción del viento
 - temperatura
 - lluvia
 - radiación solar
 - evaporación (aumento de salinidad)
 - infiltración
- **FÍSICOS:**
 - área de superficie
 - profundidad

- QUÍMICOS:
 - pH :problemas con descargas industriales
 - compuestos tóxicos (desagües industriales)
 - O2

2.12 TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DEL LODO

El lodo es un subproducto generado en una Estación de Tratamiento de Desagües.

Normalmente presenta un alto contenido de humedad (95 a 99,5 % de agua). Contiene también parte de los sólidos presentes en desagüe (en suspensión, disueltos) y aquellos generados en proceso de tratamiento.

Normalmente, presentan características inadecuadas a la disposición final.

El objetivo del tratamiento del lodo es adecuarlo a las condiciones necesarias para la disposición final.

La edad del lodo representa el tiempo promedio de permanencia de la masa biológica en el sistema.

Básicamente, se expresa como:

$$T = \frac{\text{Masa de lodo en el sistema}}{\text{Lodo removido en el sistema}}$$

El lodo removido del sistema corresponde al exceso de lodo más el lodo que es removido junto con el efluente final.

$$T = \frac{SSTA \times V}{SSe \times Qe + SSe_{fl} \times Q}$$

Dónde:

SSe : Sólidos en suspensión en el exceso de lodo (kg. /m³)

Qe : Caudal de exceso de lodo removido (m³/d)

SSe_{fl} : Sólidos en suspensión en el efluente final (kg/m³)

Q : Caudal (m³/d)

La parcela de lodo removida con el efluente final (desde que la concentración de SS en el efluente sea baja) puede ser despreciada, y la ecuación pasa a:

$$T = \frac{SSTA \times V}{SSe \times Qe}$$

Cuanto más grande la edad del lodo, más estabilizado estará el exceso de lodo removido del sistema.

Los valores usuales de edad del lodo son:

- Para lodos activados (convencional): $T = \sim 3$ días
- Para aireación prolongada: $T \geq \sim 18$ días

2.13 MARCO LEGAL

Para aplicar este marco legal, la Ley crea dos tipos de autoridad: la de aguas, dedicada principalmente a los aspectos que tienen que ver con el aprovechamiento del recurso, y la sanitaria, que se preocupa por la preservación de su calidad.

2.13.1 Ley de recursos hídricos

a. Autoridad Nacional del Agua (ANA).

- Uso sostenible del agua.
- Cambio Climático.

b. Ministerio del Ambiente (MINAM)

En este escenario, en mayo de 2008 mediante Decreto Legislativo N° 1013, se crea el Ministerio del Ambiente (MINAM) como ente rector de la política ambiental nacional, cuyo objeto es la conservación y uso sostenible de los recursos naturales, prevenir y revertir su degradación y la del ambiente, supervisar, fiscalizar y sancionar el incumplimiento de la normatividad ambiental. Para ejercer estas funciones, el Concejo Nacional del Ambiente.

c. LMP

Asimismo, la Ley establece que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la vigilancia y sanción por el incumplimiento de los LMP en los residuos líquidos domésticos que se vierten al sistema de alcantarillado, en coordinación con las autoridades sectoriales, y que el tratamiento de las aguas residuales o servidas de origen industrial puede ser efectuado directamente por el generador, a través de terceros debidamente autorizados o a través de las entidades responsables de los servicios de saneamiento, con sujeción al marco legal vigente sobre la materia, es decir, a los LMP cuyos valores se Por su parte, los Límites Máximos Permisibles (LMP) se definen como la concentración de los parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan un efluente, que al ser excedido causa o puede causar daños para la salud, bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible

legalmente por la respectiva autoridad competente.(SUNASS-PROAGUA GTZ-2008)

d. ECAS

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) se definen como la concentración de los parámetros físicos, químicos y biológicos en el agua en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni del ambiente. El ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales, las políticas públicas y en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental. Es por ello que el diseño de las PTAR parte de la definición del ECA para el tipo de uso que se le otorga al cuerpo de agua que recibirá sus efluentes.

La metodología empleada para determinar el índice de tratamiento de aguas residuales deberá cambiar en el futuro para considerar la Carga Orgánica Máxima Diaria como capacidad máxima de tratamiento, en lugar del Caudal de Diseño de la PTAR. Sin embargo, ello demandará que las EPS lleguen a efectuar no solo un control frecuente de la calidad de los afluentes y efluentes de sus plantas, sino también de la calidad de los desagües crudos vertidos directamente a los cuerpos receptores, de tal manera que pueda ser establecida la relación entre la carga orgánica removida y la carga orgánica recolectada por los sistemas de alcantarillado en el punto de vertido o de entrega a las PTAR. .(SUNASS-PROAGUA GTZ-2008)

2.13.2 Marco legal para el tratamiento de aguas residuales.

Resolución Jefatural N°274-2010-ANA, medidas para la implementación del Programa de Adecuación de Vertimientos y Reúso de Agua Residual - PAVER, del 30 de abril de 2010.

Decreto Supremo N°007-2010-AG, Declaran de Interés Nacional la protección de la calidad del agua de las fuentes naturales de agua y sus bienes asociados (del 16 de julio de 2010).

Categorías Echas Agua D. 002-2008-MINAMOS 023-2009-MINAM.

a. CATEGORÍA 1: Poblacional y Recreacional.

- **Sub Categoría A:** Superficiales destinadas a la producción de agua potable.
 - A1: pueden ser potabilizadas con desinfección.
 - A2: pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.

- A3: pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.
- **Sub Categoría B:** superficiales destinadas para recreación.
 - B1: Contacto primario.
 - B2: Contacto secundario.
- b. CATEGORÍA 2: Actividades Marino Costeras.
 - **Sub Categoría C1:** Extracción y cultivo de mariscos bivalvos.
 - **Sub Categoría C2:** extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas.
 - **Sub Categoría C3:** Otras actividades
- c. CATEGORÍA 3: Riego de vegetales y bebida de animales.
 - I: Vegetales de tallo bajo.
 - II: Vegetales de tallo alto.
 - III: Bebida de animales.
- d. CATEGORÍA 4: Conservación del ambiente acuático.
 - I: Lagunas y lagos
 - II: Ríos de la costa y sierra de la selva
 - III: Ecosistemas marino costeros Estuarios Marinos (500 m de la línea paralela de baja marea hasta los límites territoriales)

2.13.3 Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental LEY N° 27446

La finalidad de los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) es la de prevenir los impactos ambientales, que pueda provocar el desarrollo de las actividades de la implementación de un proyecto público o privado. Para lo cual, se debe tener previamente identificados y evaluados estos posibles impactos ambientales.

Para identificar y evaluar los impactos ambientales, se cuenta con diferentes instrumentos conocidos como métodos, los cuales comúnmente se agrupan de cuatro: listas de verificación de impactos, matrices de impactos, flujogramas de impactos y superposición cartográfica de impactos. Pueden haber distintos tipos de métodos, pero estos cuatro son los más conocidos y se pueden aplicar tipo de proyecto. Luego las demás metodologías se diseñan ad hoc a cada proyecto, e incluso pueden mezclarse y usar más de una metodología, dependiendo del tamaño del proyecto y la sensibilidad del entorno ambiental.

Es necesario mencionar, que todo Estudio de Impacto Ambiental, debe tener presente y describir el método considerado para la evaluación de impacto ambiental de determinado proyecto.

Sin embargo si existen métodos cuantitativos, los cuales pueden realizar proyecciones y poner en práctica modelos matemáticos para cada tipo de proyecto.

Por otra parte, para constituir el Plan de Manejo Ambiental (PMA), las medidas se deben agrupar por contenido temáticos o programas, entre los cuales los más comunes son: programa de mitigación ambiental, programa de monitoreo ambiental, programa de contingencias y programa de cierre de operaciones. Podría haber otros programas complementarios, como por ejemplo de capacitación, de manejo de residuos, entre otros.

EL PMA es el documento técnico, en el cual la empresa titular del proyecto, se compromete formalmente (una vez aprobado el EIA) a poner en practico sus compromisos ambientales.

Es necesario mencionar, que todo Estudio de Impacto Ambiental, debe tener presente y describir las medidas de mitigación y manejo ambiental, para cada una de las actividades que se identificaron en la etapa de construcción, operación y cierre.

Así mismo se precisa, que los PMA es el componente más importante de los EIA, toda vez que se constituirán en el único instrumento que tiene establecidos todas las medidas a tomar, para evitar y minimizar los impactos ambientales.(CADPERU,2013)

2.14 EL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES

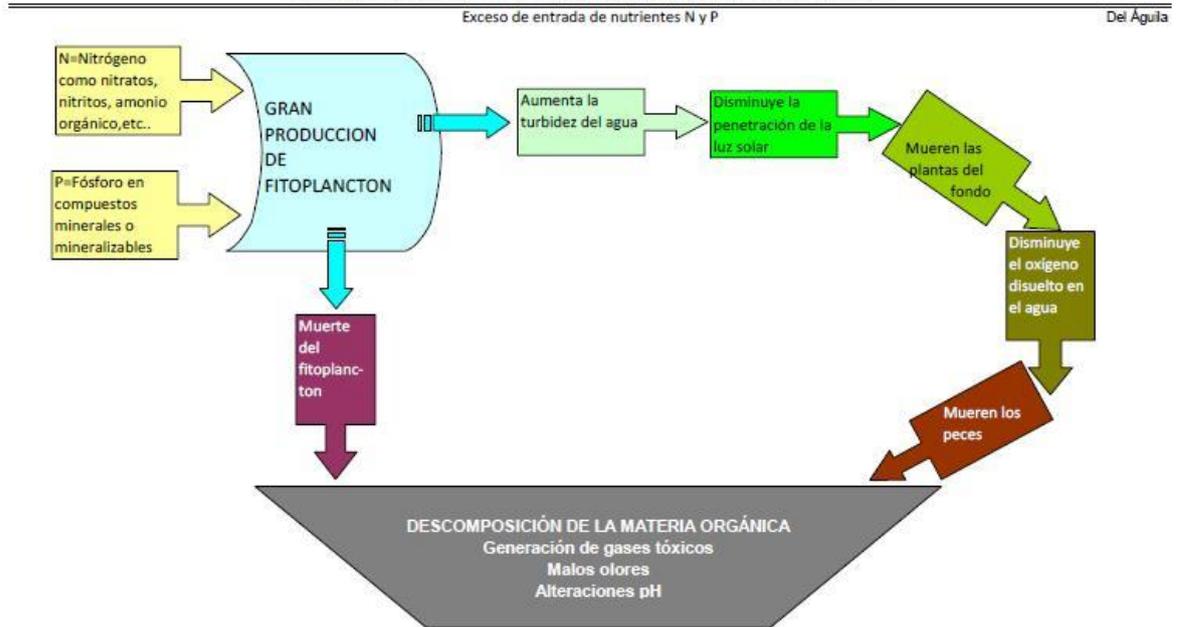
La normatividad exige que previamente al uso de las aguas residuales para fines agrícolas para ello se deba contar con una autorización sanitaria.

Si nos atenemos a los ECA establecidos en el Reglamento de la Ley General de Aguas según el tipo de uso, (aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales)

La presencia de algas macrófitas se debe al exceso de nutrientes (N y P) en el afluente de las lagunas, cuyo crecimiento excesivo en la superficie restringe el intercambio de (O gases y CO) e impide el paso de la radiación solar necesaria para la fotosíntesis, consecuentemente se generan condiciones anóxicas en la laguna, lo que afecta la eficiencia de remoción de DBO sulfurado (H S) y ocasiona malos olores por la formación de hidrógeno. (José Asencio 2002)

Figura N° 7: Esquema contribuyentes de la eutrofización

ESQUEMA DE EUTROFIZACIÓN DE UN LAGO



Fuente: <https://www.google.com.pe/search?q=Esquema+contribuyentes+de+la+eutrofizaci%C3%B3n&rlz>

2.15 VERTIDO A LAGOS

La eutrofización produce un exceso de algas y macrofitas en cuerpos de agua y esto puede ocasionar problemas en el suministro de agua potable por alteración de sus propiedades organolépticas (olor, sabor), corrosión del equipo hidroeeléctrico y distintos trastornos en los procesos de tratamiento del agua por disminución del contenido de oxígeno, acumulación de amoníaco en la columna de agua y suspensión de ciertos metales (Fe, Mn) en sedimentos bajo condiciones anóxicas. En los embalses eutroficados, los altos niveles de sustancias orgánicas combinados con la aplicación de cloro para el suministro de agua potable podrían generar sustancias nocivas para la salud.

2.16 ACCIÓN DEL CEPIS/OPS

Considerando las implicaciones de la situación arriba mencionada para los usos de los lagos y embalses en la Región de América Latina y el Caribe, el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), centro especializado de la División de Salud Ambiental (HEP) de la Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS) convocó a una reunión regional en diciembre 1981, en Sao Paulo, Brasil, a fin de analizar las metodologías para la evaluación de la eutrofización y las estrategias, para que éstas se incluyan en el proceso de planificación.

En la reunión se revisaron los modelos simplificados disponibles, desarrollados con datos de lagos predominantemente templados y se concluyó que debido a las diferencias

fundamentales entre lagos templados y lagos cálidos tropicales, estos modelos no eran aplicables a la mayoría de los cuerpos de agua de la Región. De esta forma se inició el Programa Regional para el Desarrollo de Metodologías Simplificadas para la Evaluación de la Eutroficación en Lagos Cálidos Tropicales.

El agua de lagos pequeños tiende a estar bien mezclada como consecuencia de la turbulencia inducida por el viento. Los lagos de mayor profundidad tienden a estratificarse durante el verano; sin embargo, en muchos de ellos se producen dos inversiones anuales de estratificación, lo cual permite el mezclado de la zona superior e inferior. (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente)

2.17 ESTRATIFICACIÓN TERMAL

Los lagos con profundidades de 5m o superiores presentan estratificaciones durante parte del año. La estratificación se desarrolla en la primavera como consecuencia del aumento de temperatura que se produce en la superficie por efecto de la radiación solar y atmosférica. La estratificación ocurre en ausencia de viento, con formación de estratos de 30 a 50 cm de profundidad, el cual está limitado por la termoclina. Sobre ella hay mezcla y la temperatura del agua se incrementa notablemente, en estas condiciones las algas móviles buscan los estratos más fríos o mayor profundidad, lo cual altera el proceso de fotosíntesis.

Debido a que la densidad del agua desciende con la temperatura, se desarrolla una situación hidrodinámicamente estable en la que el líquido más ligero se sitúa por encima del más pesado. Se desarrolla una estructura térmica vertical con un estrato superior bien mezclado (epilimnion), que se sitúa por encima de una zona de rápido descenso de la temperatura (termoclina), situada a su vez sobre un estrato de agua más fría y densa (hipolimnion). Al final de la primavera, el epilimnion es de escaso espesor y la temperatura no es muy superior a la del resto del lago. Durante el verano, el epilimnion crece en espesor y aumenta de temperatura como consecuencia del calentamiento superficial y el mezclado inducido por el viento. Durante el otoño, el enfriamiento en superficie y la agitación del viento rebajan la temperatura del epilimnion, pero su grosor sigue aumentando. Cuando el epilimnion alcanza la temperatura de 4°C, se produce la inversión de estratos otoñal, mezclándose todo el contenido del lago al descender el estrato superior hasta el fondo del mismo. En zonas de clima frío, durante el invierno se produce una pequeña inversión de estratos, con temperaturas inferiores a 4°C en superficie pero con menor densidad que las aguas más profundas. En este caso, también se produce una inversión en primavera.

La profundidad a la que se anula el oxígeno disuelto se llama oxipausa, y su posición depende de la actividad fotosintética, el consumo de oxígeno por las bacterias, la temperatura y el grado de mezcla inducido por el viento (Correa, 2008).

El principal mecanismo de mezcla en una laguna es el viento y en ausencia de éste, pueden actuar mecanismos de mezcla por corrientes térmicas conectivas.

Las corrientes de densidad y la extracción selectiva son fenómenos asociados a la estratificación. Las corrientes de densidad se asocian a cursos de agua entrantes, que fluyen por el fondo del lago hasta alcanzar el punto en que se igualan las densidades, momento a partir del cual se distribuyen horizontalmente. Una de las consecuencias que provocan es la rápida distribución de los caudales entrantes en todo el lago. La extracción selectiva se produce en los puntos de extracción en los que se extrae el agua del estrato situado a la misma altura que la estructura de salida. A pesar de que las distancias horizontales son de varias veces la profundidad vertical, en los lagos estratificados se observa una sorprendente homogeneidad horizontal de las temperaturas que contrasta con los bruscos cambios de temperatura que se observan a lo largo de una columna de agua. Esta homogeneidad horizontal se debe a la presencia de corrientes de densidad, que disipan cualquier heterogeneidad horizontal y acaban por eliminarla.

El conocimiento de la estratificación es importante para la adecuada ubicación de las estructuras de entrada y salida a la laguna y para la adopción de medidas que promuevan la desestratificación. La ubicación de la entrada en una laguna debe ser de tal modo que el efluente transfiera lo máximo de momento a la masa líquida.

Chiang y Gloyna estudiaron la influencia de la temperatura ambiental en la termoclina. Se encontró que a mayores temperaturas, menor la profundidad del estrato aeróbico. A altas temperaturas, el aporte de DBO de los depósitos de fondo es mayor a la vez que las altas concentraciones de algas en las capas superficiales disminuyen la penetración de la luz limitando de esta manera la fotosíntesis con la profundidad. (José Asencio 2002)

2.18 EUTROFIZACIÓN

Es un proceso de evolución natural en el tiempo, en el que el agua se enriquece de nutrientes, en particular N y P. El resultado es el crecimiento rápido y excesivo de la vegetación, algas y plantas acuáticas. Esta proliferación de plantas tiende a agotar los niveles de OD, a medida que la materia orgánica se descompone, también afectan el paso de la luz y, por lo tanto, el proceso de fotosíntesis, desplazando y eliminando poblaciones piscícolas; eliminan agua por aumentar el proceso de evapotranspiración, obstruyen canales, dificultan la navegación y se constituyen en el hábitat favorable para poblaciones de mosquitos e invertebrados portadores de diversas enfermedades como malaria, schistomiasis o biliarzia, entre otras.

La eutrofización se acelera mediante la adición de nutrientes por parte del hombre. La muerte y sedimentación de las plantas provoca el aumento de la DOS, lo cual reduce los

niveles de OD. Sus efectos que son perniciosos para la vida acuática, se deben a las grandes variaciones de los niveles de OD entre día y noche como consecuencia de la fotosíntesis y de la respiración. La hipótesis de que la proliferación de algas se produce cuando las concentraciones de N y P inorgánicos superan las barreras respectivas de 0,3 mg/L y 0,01 mg/L es un criterio que se emplea con la hipótesis de mezcla completa.

2.19 PARÁMETROS QUÍMICOS

a. ACIDEZ

La acidez de un agua es su capacidad cuantitativa de reaccionar con una base fuerte hasta un determinado pH. El valor medido puede variar significativamente con el pH de punto final usado en la determinación. La acidez es una medida de una propiedad agregativa del agua y puede ser interpretada en términos de sustancias específicas solo cuando la composición química de la muestra es conocida. Ácidos minerales fuertes, ácidos débiles tales como el carbónico y el acético, sales hidrolizables como los sulfatos de hierro o aluminio pueden contribuir a la acidez medida de acuerdo con el método de determinación.

Los ácidos contribuyen a la corrosión e influyen en la velocidad de las reacciones químicas, especialización química y procesos biológicos. La medición también refleja un cambio en la calidad de la fuente de agua. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ,1998)

b. ALCALINIDAD

La alcalinidad de un agua es su capacidad de neutralizar ácidos. Esta es la suma de todas las bases titulables. El valor medido puede variar significativa según el pH del punto final usado. La alcalinidad es una medida de una propiedad agregativa del agua y puede ser interpretada en términos de sustancias específicas solo si es conocida la composición química de la muestra. La alcalinidad es significativa en muchos usos y tratamientos de aguas naturales y aguas residuales. Debido a que la alcalinidad de muchas fuentes de agua es una función primaria del contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, esta es tomada como una indicación de la concentración de estos constituyentes. Los valores medidos también puede incluir la contribución de boratos, fosfatos, silicatos y otras bases si estas están presentes. La alcalinidad en exceso con respecto a la concentración de metales alcalinos térreos es significativa en la determinación de la aptitud de aplicación de un agua para riego. Las mediciones de alcalinidad son usadas en la interpretación y control de procesos de tratamiento de aguas y aguas residuales. Las aguas residuales domésticas crudas tienen una alcalinidad menor, o ligeramente mayor, que la fuente de abastecimiento de agua. Los digestores

anaeróbicos operando correctamente típicamente tienen sobrenadantes alcalinos en el rango de 2000 a 4000 mg de CaCO_3/l (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ,1998)

c. ALUMINIO

El aluminio (Al) es el segundo elemento en el grupo IIIA de la tabla periódica, el mismo tiene un número atómico de 13, un peso atómico de 26,98 y una valencia de 3. Su abundancia en la corteza terrestre es de 8,1; en los suelos es de 0,9 a 6,5 %; en los cursos de agua es de 400 $\mu\text{g}/\text{l}$. Para agua de bebida en los EE.UU. es de 54 $\mu\text{g}/\text{l}$ y en el agua subterránea $< 0,1 \mu\text{g}/\text{l}$. El aluminio existe en la corteza terrestre en combinación con el silicio y el oxígeno para formar feldspatos, micas y arcillas minerales. Los minerales más importantes son la bauxita y el corindón, el cual es usado como un abrasivo. El aluminio y sus aleaciones son usados para la fabricación de intercambiadores de calor, partes de aviación, materiales de construcción, contenedores, etc. El sulfato de aluminio y potasio (alumbre) es usado en los procesos de tratamiento de agua para flocular las partículas en suspensión, pero esto puede dar lugar a un de aluminio en el agua tratada.

La existencia de aluminio en el agua natural es controlada por el pH y por partículas minerales suspendidas muy finas. El catión Al^{+3} predomina a pH menor que 4. Por encima del pH neutro la forma predominante es $\text{Al}(\text{OH})$

El aluminio es un elemento no esencial para las plantas y animales. Concentraciones que excedan de 1,5 mg/l constituyen un peligro tóxico en el medio ambiente marino y niveles por debajo de 200 $\mu\text{g}/\text{l}$ presenta un riesgo mínimo. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación recomienda como nivel máximo para aguas de riego un valor de 5 mg/l. La posibilidad de un vínculo entre elevados niveles en el tejido cerebral y la enfermedad de Alzheimer ha sido considerada. El estándar MCL secundario propuesto para el agua de bebida es de 0,05 mg/l. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ,1998)

d. ARSENICO

El arsénico (As) es el tercer elemento del grupo VA de la tabla periódica, tiene un número atómico de 33, un peso atómico de 74,92 y valencias de 3 y 5. La abundancia promedio de As en la corteza terrestre es de 1,8 ppm; en suelos esta es de 5,5 a 13 ppm; en cursos de agua esta es menor de 2 $\mu\text{g}/\text{l}$ y en aguas subterráneas esta es generalmente menor que 100 $\mu\text{g}/\text{l}$. Este elemento existe naturalmente en sulfuros minerales tales como la pirita. El arsénico es usado en aleaciones con plomo, en almacenamiento de baterías

y en municiones. Los compuestos de arsénico son ampliamente usados en pesticidas y en preservantes de maderas.

El arsénico no es esencial para las plantas, pero es un elemento esencial, al nivel de trazas, para varias especies animales. La forma predominante a un pH entre 3 y 7 es H_2AsO_4^- ; a un pH entre 7 y 11 predomina la forma HAsO_4^{2-} y bajo condiciones reductoras se encuentra como HAsO_2 (aq) (o H_2AsO_3). El arsénico acuoso en la forma de arsenito, arseniato y compuestos orgánicos arsenicales puede ser el resultado de la disolución mineral, descargas industriales o aplicación de pesticidas. La forma química del arsénico depende de su fuente (arsénico inorgánico de minerales, descargas industriales y pesticidas; arsénico de descargas industriales, pesticidas y acción biológica sobre arsénico inorgánico). Envenenamiento severo puede producirse por la ingestión de cantidades tan pequeñas como 100 mg de trióxido de arsénico; efectos crónicos pueden resultar de la acumulación de compuestos de arsénico en el cuerpo a bajos niveles de ingreso. También han sido imputadas propiedades cancerígenas a los compuestos de arsénico. La toxicidad del arsénico depende de su forma química. El arsenito es mucho más tóxico que el arseniato. Para la protección de la vida acuática, la concentración promedio de As^{3+} en el agua no debe exceder de 72 $\mu\text{g/l}$. y la concentración máxima no debe exceder de 140 $\mu\text{g/l}$. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación recomienda un nivel máximo para agua de riego de 100 $\mu\text{g/l}$. El estándar primario MCL para agua de bebida de la U. S. EPA es de 0,05 mg/l. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ,1998)

e. **CALCIO**

El calcio (Ca) es el tercer elemento del grupo IIA de la tabla periódica, tiene un número atómico de 20, un peso atómico de 40,08 y una valencia de 2. La abundancia promedio del Ca en la corteza terrestre es del 4,9 %; en los suelos es de 0,07 a 1,7 %; en los cursos de agua su concentración es de aproximadamente 15 mg/l y en las aguas subterráneas es de 1 a > 500 mg/l. Las formas más comunes de calcio son el carbonato de calcio (calcita) y el carbonato de calcio y magnesio (dolomita). Los compuestos de calcio son ampliamente usados en la industria farmacéutica, fotográfica, construcción, sales anticongelantes, pigmentos, fertilizantes y yesería. La solubilidad del carbonato de calcio es controlada por el pH y el CO_2 disuelto. El equilibrio de CO_2 , HCO_3^- y CO_3^{2-} es el principal mecanismo regulador en aguas dulces. La dureza está basada en la concentración de sales de calcio y magnesio y con frecuencia es usada como una

medida de la calidad del agua potable. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ,1998)

El calcio es necesario para la nutrición de plantas y animales y es un componente esencial de huesos, caparazones y estructuras de plantas. La presencia de calcio en fuentes de agua resulta del pasaje de esta sobre depósitos de piedra caliza, dolomita, yeso y yacimientos yecíferos. Pequeñas concentraciones de carbonato de calcio combaten la corrosión de conducciones metálicas por formación de una película protectora. Debido a que la precipitación de calcita en cañerías e intercambiadores de calor puede causar daños a los mismos, la cantidad de calcio en aguas domésticas e industriales frecuentemente es controlada por ablandamiento de agua (por ej. Intercambio iónico, ósmosis inversa). La saturación de carbonato de calcio y la dureza son discutidas en las secciones 2330 y 2340, respectivamente.

El calcio contribuye a la dureza total del agua. Son usados tratamientos químicos, ósmosis inversa, electrodiálisis o intercambio iónico para reducir el contenido de calcio y la dureza asociada. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ,1998)

f. **COLORO (RESIDUAL)**

La cloración de suministros de agua y de aguas contaminadas sirve principalmente para destruir o desactivar microorganismos causantes de enfermedades. Un segundo beneficio, particularmente en el tratamiento de aguas de bebida, radica en la mejora general de la calidad del agua como resultado de la reacción del cloro con el amonio, hierro, manganeso, sulfuros y algunas sustancias orgánicas.

La cloración puede producir efectos adversos. Si están presentes en un suministro de agua fenoles y otros compuestos orgánicos, pueden ser intensificadas sus características de olor y sabor. Pueden ser formados compuestos organoclorados potencialmente cancerígenos tales como el cloroformo. El cloro combinado formado en la cloración de aguas conteniendo amonio o aminas afecta adversamente algunas formas de vida acuáticas. Para lograr el objetivo primario de la cloración y minimizar cualquier efecto adverso es esencial el uso de los procedimientos analíticos adecuados con el previo conocimiento de las limitaciones de la determinación analítica. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ,1998)

g. **COLOR**

El color de un agua puede ser resultado de la presencia de iones metálicos naturales (hierro y manganeso), de humus y turbas, de plancton, de restos vegetales y de residuos industriales. El color es removido para hacer el agua apropiada para usos generales y

aplicaciones industriales. Las aguas residuales industriales coloreadas pueden requerir la remoción del color antes de la descarga en los cursos de agua.

El término “color” es usado aquí significando color verdadero, esto es, el color del agua una vez removida su turbiedad. El término “color aparente” engloba no solo el color debido a las sustancias en solución, sino también el debido a las materias en suspensión. El color aparente es determinado en la muestra original sin filtración ni centrifugación. En algunas aguas residuales altamente coloreadas el color es principalmente atribuido a material coloidal o en suspensión. En estos casos deben ser determinados tanto el color verdadero como el color aparente. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ,1998)

h. CONDUCTIVIDAD

La conductividad, k , es una medida de la capacidad de una solución acuosa de transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración total, movilidad y valencia, y de la temperatura de medición. Las soluciones de la mayoría de los compuestos inorgánicos son relativamente buenos conductores. Por el contrario, las moléculas de los compuestos orgánicos que no se disocian en solución acuosa conducen muy pobremente una corriente, si es que lo hacen.

La conductancia G , es definida como la inversa de la resistencia R :

$$G = \frac{1}{R}$$

Dónde:

R : Es la resistencia en ohm

G : Es la conductancia en ohm-1 (algunas veces escrita como mho).

La conductancia de una solución es medida entre dos electrodos espacialmente fijos e inertes. Para evitar la polarización de la superficie de los electrodos la medición de conductancia es efectuada con una señal de corriente alterna. La conductancia de una solución, G , es directamente proporcional al área superficial de electrodo, A , en cm^2 , e inversamente proporcional a la distancia entre los electrodos, L , en cm. La constante de proporcionalidad, k , tal que:

$$G = \frac{K \times A}{L}$$

Es llamada “conductividad” (preferente a “conductancia específica”). Esta es una propiedad característica de la solución entre los electrodos. Las unidades de k son $1/\text{ohm} - \text{cm}$ o mho por centímetro. La conductividad es usualmente informada en micromhos por centímetro ($\mu\text{mho}/\text{cm}$).

En el Sistema Internacional de Unidades (SI) la inversa del ohm es el siemens (S) y la conductividad es informada como milisiemens por metro (mS/m); $1 \text{ mS}/\text{m} = 10 \mu\text{mhos}/\text{cm}$ y $1 \mu\text{S}/\text{cm} = 1 \mu\text{mho}/\text{cm}$. Para informar resultados en las unidades SI de mS/m dividir $\mu\text{mho}/\text{cm}$ por 10.

Para comparar conductividades, los valores de k son informados relativos a electrodos con $A = 1 \text{ cm}^2$ y $L = 1 \text{ cm}$. Ha sido medida la conductancia absoluta, G_s , de soluciones estándar de cloruro de potasio entre electrodos de geometría precisa.

La conductividad equivalente, Λ , de una solución es la conductividad por unidad de concentración. A medida que la concentración disminuye hacia cero, Λ aumenta hasta alcanzar un valor constante, designado como Λ_0 . Cuando k esta en unidades de micromho por centímetro es necesario convertir la concentración a unidades de equivalentes por centímetro cúbico; por lo tanto:

$$\Lambda = \frac{0.001 \times K}{\text{concentracion}}$$

Dónde:

Λ , k y concentración son $\text{mho} - \text{cm}^2/\text{equivalente}$, $\mu\text{mho}/\text{cm}$ y $\text{equivalente}/\text{l}$ respectivamente.

En la práctica, las soluciones de KCl más diluidas que 0,001 M no mantienen conductividades estables debido a la absorción de CO_2 atmosférico. Proteger estas soluciones diluidas de la atmósfera. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ,1998)

i. DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO)

La determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es una prueba empírica en la cual procedimientos estandarizados de laboratorio son usados para determinar los requerimientos relativos de oxígeno de aguas de desecho, efluentes y líquidos contaminados. La prueba tiene muy amplia aplicación en la evaluación de afluentes descargados a plantas de tratamiento y en la evaluación de la eficiencia de remoción de la DBO de dichos sistemas de tratamiento. El ensayo mide el oxígeno molecular utilizado durante un período de incubación específico para la degradación

bioquímica del material orgánico (demanda carbonosa) y el oxígeno utilizado para oxidar el material inorgánico tal como sulfuros y hierro ferroso. También se puede medir la cantidad de oxígeno utilizado para oxidar las formas reducidas de nitrógeno (demanda nitrogenada) a menos que la oxidación sea prevenida por un inhibidor. Los procedimientos de siembra y dilución proporcionan una estimación de la DBO a pH entre 6,5 y 7,5.

Aquí se describen los procedimientos de medición de oxígeno consumido en la prueba de un período de 5 días (DBO 5 – días o DBO5 – Método 5210B), el oxígeno consumido luego de 60 a 90 días de (DBO Ultima o UDBO – Método 5210C) y el consumo continuo de oxígeno (Método respirométrico – 5210D). Existen muchas otras variaciones de la medición de demanda de oxígeno, incluyendo aquellas que usan períodos de incubación más cortos o más largos y ensayos para determinar la velocidad de consumo de oxígeno. Condiciones alternativas de siembra, dilución e incubación pueden ser elegidas para simular las condiciones del curso de agua receptor, por lo tanto proporcionan una estimación del efecto ambiental de aguas de desecho y efluentes.

La DBO – Ultima mide el oxígeno requerido para la total degradación del material orgánico (demanda carbonosa última) y/ o el oxígeno necesario para oxidar los compuestos reducidos de nitrógeno (demanda nitrogenada última). Los Valores de U-DBO y la descripción de la cinética apropiada son necesarios en los modelos de estudios de calidad de agua tales como la relación U-DBO: DBO₅ para relacionar la capacidad de asimilación de los cursos de agua a los requerimientos regulatorios, definición de la cinética de desoxigenación de ríos estuarios o lagos, los valores de DBO última carbonosa (UC-DBO) de ingresos de corrientes para modelos de calibración. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ,1998)

j. **DBO CARBONOSA VS DBO NITROGENADA**

Un número de factores, por ejemplo, las partículas solubles versus las partículas orgánicas, los sólidos sedimentables y en suspensión, compuestos oxidados o reducidos de hierro y azufre, o la falta de mezclado pueden afectar la exactitud y precisión de las mediciones de DBO. En la actualidad, no hay una manera de incluir ajustes o correcciones que tengan en cuenta el efecto de estos factores.

La oxidación de formas reducidas de nitrógeno, tales como amonio y nitrógeno orgánico, puede ser efectuada por microorganismos y ejercer una demanda nitrogenada. La demanda nitrogenada históricamente ha sido considerada como una interferencia en la determinación de DBO, como claramente es evidenciado por la inclusión de amonio en el agua de dilución. La interferencia de la demanda nitrogenada puede ahora ser

prevenida por un inhibidor químico. Si no es usado un inhibidor químico, la demanda de oxígeno medida es la suma de la demanda carbonosa y de la demanda nitrogenada.

Mediciones que incluyen la demanda nitrogenada generalmente no son útiles para la evaluación de la demanda de oxígeno asociada con material orgánico. La demanda nitrogenada puede ser estimada directamente del nitrógeno amoniacal (Sección 4500 – NH_3); y la demanda carbonosa puede ser estimada restando el equivalente teórico de la oxidación del nitrógeno reducido de los resultados de una prueba sin inhibidor. De todas maneras, el método es engorroso y está sujeto a considerable error. La inhibición química de la demanda nitrogenada proporciona una medición más directa y confiable de la demanda carbonosa.

La extensión de la oxidación de los compuestos nitrogenados durante el período de incubación de 5 días depende de la concentración y tipo de microorganismos capaces de efectuar esta oxidación. Dichos microorganismos usualmente no están presentes en efluentes primarios crudos o sedimentados en número suficiente para oxidar suficiente cantidad de formas reducidas de nitrógeno en la prueba de DBO-5. Muchos efluentes de plantas de tratamiento biológico contienen suficiente número de organismos nitrificantes como para causar la nitrificación en la prueba de DBO. Debido a la oxidación de los compuestos nitrogenados que puede ocurrir en dichas muestras, la inhibición de la nitrificación es recomendada para muestras de efluentes secundarios, para muestras sembradas con efluente secundario y para muestras de aguas contaminadas. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998)

k. **REQUERIMIENTOS DE DILUCION:**

La concentración de DBO en la mayoría de las aguas de desecho excede la concentración de oxígeno disuelto (OD) disponible en una muestra saturada de aire. Por lo tanto, es necesario diluir la muestra antes de la incubación para equilibrar en forma adecuada la demanda y el suministro de oxígeno. Debido a que el crecimiento bacteriano requiere nutrientes tales como nitrógeno, fósforo y trazas de metales, estos son añadidos al agua de dilución, la cual es tamponada para asegurar que el pH de la muestra incubada se mantenga en un intervalo adecuado para el crecimiento bacteriano. La completa estabilización de una muestra puede requerir un período de incubación demasiado largo para fines prácticos; por lo tanto se ha aceptado como período de incubación estándar un período de 5 días.

Si el agua de dilución es de mala calidad, la DBO del agua de dilución aparecerá como DBO de la muestra. Este efecto se verá ampliado por el factor de dilución. Puede resultar en una desviación o error positivo. Los métodos que se indican más adelante

(5210B y 5210C) contienen tanto un control del agua de dilución como un blanco de agua de dilución. Se verifica además si la calidad de las aguas de dilución sembradas, es aceptable midiendo su consumo de oxígeno a partir de una mezcla orgánica conocida, usualmente ácido glutámico y glucosa.

La fuente de agua usada para preparar el agua de dilución no está restringida y puede ser agua destilada, agua de un grifo, de un curso de agua libre de sustancias bioinhibidoras y orgánicas biodegradables tales como cloro o metales pesados. El agua destilada puede contener amonio o materia orgánica volátil, las aguas de ionizadas frecuentemente están contaminadas con sustancias orgánicas solubles lixiviadas del lecho de la resina. La utilización de aparatos de destilación revestidos con cobre o de accesorios de cobre conectados a las líneas de producción de agua destilada pueden producir agua conteniendo cantidades excesivas de cobre (ver Sección 3500 – Cu). (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998)

1. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es definida como la cantidad de un oxidante específico que reacciona con la muestra bajo condiciones controladas. La cantidad de oxidante consumido es expresada en términos de oxígeno equivalente. Debido a que es único en sus propiedades químicas, el ion dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) es el oxidante especificado en los métodos 5220 B, C y D; este es reducido a ion crómico (Cr^{+3}) en esta prueba. Tanto los componentes orgánicos como los inorgánicos de una muestra están sujetos a la oxidación, pero en la mayoría de los casos predominan los componentes orgánicos y son de mayor interés. Si se desea medir sólo los componentes orgánicos o solo los inorgánicos, se deben efectuar pasos adicionales no descriptos aquí para distinguir una forma de otra. La DQO es una prueba definida, la extensión de la oxidación de la muestra puede ser afectada por el tiempo de digestión, la concentración del reactivo y la concentración de DQO de la muestra.

La DQO frecuentemente es usada como una forma de medir los contaminantes de un agua residual o de un agua natural. Otros valores analíticos relacionados son la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), el Carbono Orgánico Total (COT) y la Demanda Total de Oxígeno (DTO). En muchos casos es posible correlacionar dos o más de estos valores para una dada muestra. La DBO es una medida del oxígeno por microorganismos bajo condiciones específicas. El COT es una medida del carbono orgánico de una muestra, la DTO es una medida de la cantidad de oxígeno consumida por todos los elementos de una muestra cuando se ha alcanzado la oxidación completa (total).

En el análisis de DQO se producen desechos peligrosos de mercurio, cromo hexavalente, ácido sulfúrico, plata y otros ácidos. Los métodos 5220 C y D reducen estos problemas de desechos pero pueden ser menos exactos y menos representativos. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998)

m. SELECCIÓN DEL METODO

El método de reflujo abierto (B) es apropiado para un amplio rango de desechos donde es preferible un gran tamaño de muestra. Los métodos de reflujo cerrado (C y D) son más económicos en el uso de reactivos de sales metálicas y generan menores cantidades de desechos peligrosos, pero requieren la homogeneización de muestras que contienen sólidos suspendidos para obtener resultados reproducibles. Están disponibles comercialmente ampollas y tubos de cultivo con cantidades premedidas de reactivos. Son críticas las mediciones de los volúmenes de muestras como así también de los reactivos y sus concentraciones. En consecuencia, antes de su uso es necesario obtener del fabricante las especificaciones de los límites de error para los reactivos premezclados.

Determinar los valores de DQO $> 50 \text{ mg O}_2/\text{l}$ utilizando los procedimientos 5220 B, 4.a. C.4, o D.4; Usar el procedimiento 5220B.4b para determinar, con menor exactitud, valores de DQO entre 5 y $50 \text{ mg O}_2/\text{l}$. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998)

n. INTERFERENCIAS Y LIMITACIONES:

La oxidación de la mayoría de los compuestos orgánicos es de un 95 a 100 % del valor teórico. La piridina y compuestos relacionados resisten la oxidación y compuestos orgánicos volátiles reaccionan en proporción al contacto que tengan con el oxidante. Los compuestos alifáticos de cadena lineal son más efectivamente oxidados en presencia de catalizador sulfato de plata.

La interferencia más común es el ion cloruro. El cloruro reacciona con el ion plata precipitando como cloruro de plata y entonces inhibe la actividad catalítica de la plata. El bromuro, el yoduro y otros reactivos que inactivan el ion plata pueden interferir en forma similar. Dichas interferencias son negativas en el sentido que tienden a restringir la acción oxidante del ion dicromato. De todas maneras, bajo las rigurosas condiciones del procedimiento de digestión para el análisis de DQO, los cloruros, bromuros y yoduros pueden reaccionar con el dicromato para producir la forma elemental del halógeno y el ion crómico. Resultando entonces en un error positivo. Las dificultades causadas por la presencia de cloruros pueden ser superadas en gran medida, aunque no totalmente, acomplejándolo con sulfato mercúrico (HgSO_4) antes del procedimiento de

reflujo. Aun cuando se especifica 1 g de HgSO_4 por cada 50 ml de muestras, es posible utilizar una cantidad menor cuando se sabe que la concentración de cloruros es inferior a 2000 mg/l siempre y cuando se mantenga la proporción de 10:1 de HgSO_4 : Cl^- . No usar este método para muestras conteniendo más de 2.000 mg/l de Cl^- . Están disponibles técnicas diseñadas para la determinación de COD en aguas saladas^{1,2}.

La interferencia de los haluros puede ser removida por precipitación con ion plata y filtración antes de la digestión. Este tratamiento puede introducir un error sustancial debido a la oclusión del filtro y pérdida de materia con DQO en muestras heterogéneas.

El amonio y sus derivados, en el desecho o generados por la materia orgánica conteniendo nitrógeno, no son oxidados. De todas maneras, el cloro elemental reacciona con estos compuestos. Por lo tanto, es difícil la corrección de las interferencias del cloruro.

Los nitritos (NO_2^-) ejercen una DQO de 1,1 mg de O_2 / mg de NO_2^- -N. Pero debido a que las concentraciones de NO_2^- rara vez exceden de 1 o 2 mg de N- NO_2^- /l, su interferencia es considerada insignificante y usualmente es ignorada. Para eliminar una interferencia significativa debida al NO_2^- , añadir 10 mg de ácido sulfámico por cada mg de N- NO_2^- presente en el volumen de muestra usado. Agregar la misma cantidad de ácido sulfámico al vaso de reflujo que contiene el blanco de agua destilada.

Las especies inorgánicas reducidas tales como el hierro ferroso, el sulfuro, el manganeso al estado manganoso, etc., son oxidados cuantitativamente bajo las condiciones del ensayo. Para muestras conteniendo cantidades significativas de estas especies puede asumirse una oxidación estequiométrica a partir de la concentración inicial conocida de las especies que interfieren y es posible efectuar correcciones en el valor de DQO obtenido.

Las sales de plata, cromo hexavalente y mercurio usadas en la determinación de DQO producen desechos peligrosos. El mayor problema está en el uso de mercurio. Si la contribución de los cloruros al valor de DQO es despreciable, el uso de HgSO_4 puede ser omitido. Cantidades menores de muestra (ver Sección 5220 C y D) reducen el volumen de desecho. La recuperación del material de desecho debe ser factible si lo solicita la Autoridad de regulación. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998)

o. DETERGENTES (SURFACTANTES)

Los surfactantes ingresan en las aguas y aguas residuales principalmente por la descarga de residuos acuosos del lavado doméstico e industrial de ropa y otras operaciones de limpieza. Un surfactante combina en una única molécula un grupo fuertemente

hidrofóbico con otro fuertemente hidrofílico. Dichas moléculas tienden a congregarse en las interfaces entre el medio acuoso y las otras fases del sistema tales como aire, líquidos oleosos y partículas, impartiendo por lo tanto propiedades tales como formación de espuma, emulsificación y suspensión de partículas.

El grupo hidrofóbico del surfactante es por lo general un radical hidrocarburo (R) conteniendo entre 10 y 20 átomos de carbono. Los grupos hidrofílicos son de dos tipos, los que se ionizan en el agua y los que no lo hacen. Los surfactantes iónicos se subdividen en dos categorías, diferenciadas por la carga. Un ion surfactante aniónico tiene carga negativa, por ejemplo, el $(\text{RSO}_3)^- \text{Na}^+$, y uno catiónico tiene carga positiva, por ejemplo $(\text{RMe}_3\text{N})^+ \text{Cl}^-$. Los surfactantes que no se ionizan (no iónicos) comúnmente contienen un grupo hidrofílico de polioxietileno $(\text{ROCH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{.....OCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$, frecuentemente abreviado como REn, donde n es el número promedio de unidades $-\text{OCH}_2\text{CH}_2-$ en el grupo hidrofílico). También existen híbridos de estos tipos.

En los Estados Unidos los surfactantes iónicos representan unas dos terceras partes de los surfactantes totales utilizados y los no iónicos la tercera parte restante. Los surfactantes catiónicos representan menos de una décima parte de los iónicos y son generalmente usados para la desinfección, fabricación de suavizantes y diversos fines cosméticos más que por sus propiedades detergentes. A los niveles de uso actual de agua y detergente, el contenido de surfactantes en las aguas residuales domésticas sin tratar se encuentra en el intervalo de 1 a 20 mg/l. La mayoría de los surfactantes de las aguas residuales domésticas están disueltos en equilibrio con cantidades proporcionales de partículas adsorbidas.

Las concentraciones de barro primario oscilan entre 1 a 20 mg de surfactante aniónico adsorbido por gramo de peso seco. En aguas ambientales (o naturales) la concentración de surfactante generalmente es inferior a 0,1 mg/l, excepto en las proximidades de una desembocadura u otra fuente puntual de entrada. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998)

p. DUREZA

Originalmente, la dureza del agua se entendió como una medida de su capacidad para precipitar el jabón. El jabón es precipitado preferentemente por los iones calcio y magnesio. Otros cationes polivalentes también pueden hacerlo, pero éstos suelen estar presentes en formas complejas, frecuentemente con componentes orgánicos, y su influencia en la dureza del agua puede ser mínima y difícil de determinar. De acuerdo con los criterios actuales, la dureza total se define como la suma de las concentraciones

de calcio y magnesio, ambos expresados como carbonato de calcio, en miligramos por litro.

Cuando la dureza es numéricamente mayor que la suma de alcalinidades de carbonato y bicarbonato, esta cantidad de dureza equivalente a la alcalinidad total se denomina “dureza de carbonato”; la cantidad de dureza que excede a ésta se llama “dureza no carbonatada”. Cuando la dureza es numéricamente igual o menor que la suma de alcalinidades de carbonato y bicarbonato, toda la dureza es de carbonato, estando ausente la de bicarbonato. La dureza varía entre cero y cientos de miligramos por litro, dependiendo de la fuente y del tratamiento que haya sido sometida el agua. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998)

q. FOSFORO

El fósforo existe en las aguas naturales y en las aguas residuales casi exclusivamente como fosfatos. Estos son clasificados como ortofosfatos, fosfatos condensados (piro, meta y otros polifosfatos) y los fosfatos unidos orgánicamente. Estos pueden existir en solución, en partículas o detritos o en los cuerpos de organismos acuáticos.

Estas formas de fosfatos surgen de una variedad de fuentes. Pequeñas cantidades de ortofosfato o de ciertos fosfatos condensados son añadidos a algunas fuentes de agua durante su tratamiento. Grandes cantidades de los mismos compuestos cuando el agua es usada para limpieza de ropas u otro tipo de limpieza, debido a que estos son componentes principales de muchos preparados comerciales de limpieza. Los fosfatos son extensamente usados en el tratamiento de aguas de calderas. Los fosfatos aplicados en la agricultura o en terrenos residenciales cultivados como fertilizantes son arrastrados a las aguas superficiales con las lluvias y, en menor proporción, con la nieve derretida. Los fosfatos orgánicos son formados principalmente por procesos biológicos. Ellos son aportados al alcantarillado por los residuos corporales y restos de alimentos y también pueden ser formados a partir de los ortofosfatos en los procesos de tratamiento biológico o por recibir la carga biológica del agua.

El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos y puede ser el nutriente que limite la productividad primaria de un cuerpo de agua. En condiciones en que el fosfato es el nutriente limitante del crecimiento, la descarga de aguas residuales industriales crudas o tratadas, drenajes agrícolas o ciertos efluentes industriales a dicha agua pueden estimular el crecimiento de micro y macroorganismos en cantidades molestas.

Los fosfatos también pueden existir en sedimentos de fondos y en barros biológicos, tanto en formas inorgánicas precipitadas como también incorporados a compuestos orgánicos. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ,1998)

r. DEFINICION DE TERMINOS

El análisis de fósforo incluye dos pasos en el procedimiento general:

- Conversión de la forma de fósforo de interés a ortofosfato disuelto.
- Determinación colorimétrica del ortofosfato disuelto. La separación del fósforo en sus diversas formas es definida analíticamente, pero la diferenciación analítica debe ser seleccionada de manera tal que pueda ser usada para propósitos interpretativos.

La filtración a través de membrana filtrante de 0,45 μm de diámetro de poro separa las formas de fósforo disuelto de las formas suspendidas. No se pretende que esta filtración a través de filtros de 0,45 μm produzca una verdadera separación de formas de fósforo disueltas y suspendidas; esta es meramente una técnica analítica conveniente y reproducible diseñada para efectuar una separación gruesa.

Se elige la separación por membrana en lugar de una separación más intensa debido a la mayor probabilidad de obtener una separación de tamaños de partículas consistente. La prefiltración a través de filtro de fibra de vidrio puede ser usada para aumentar la velocidad de filtración.

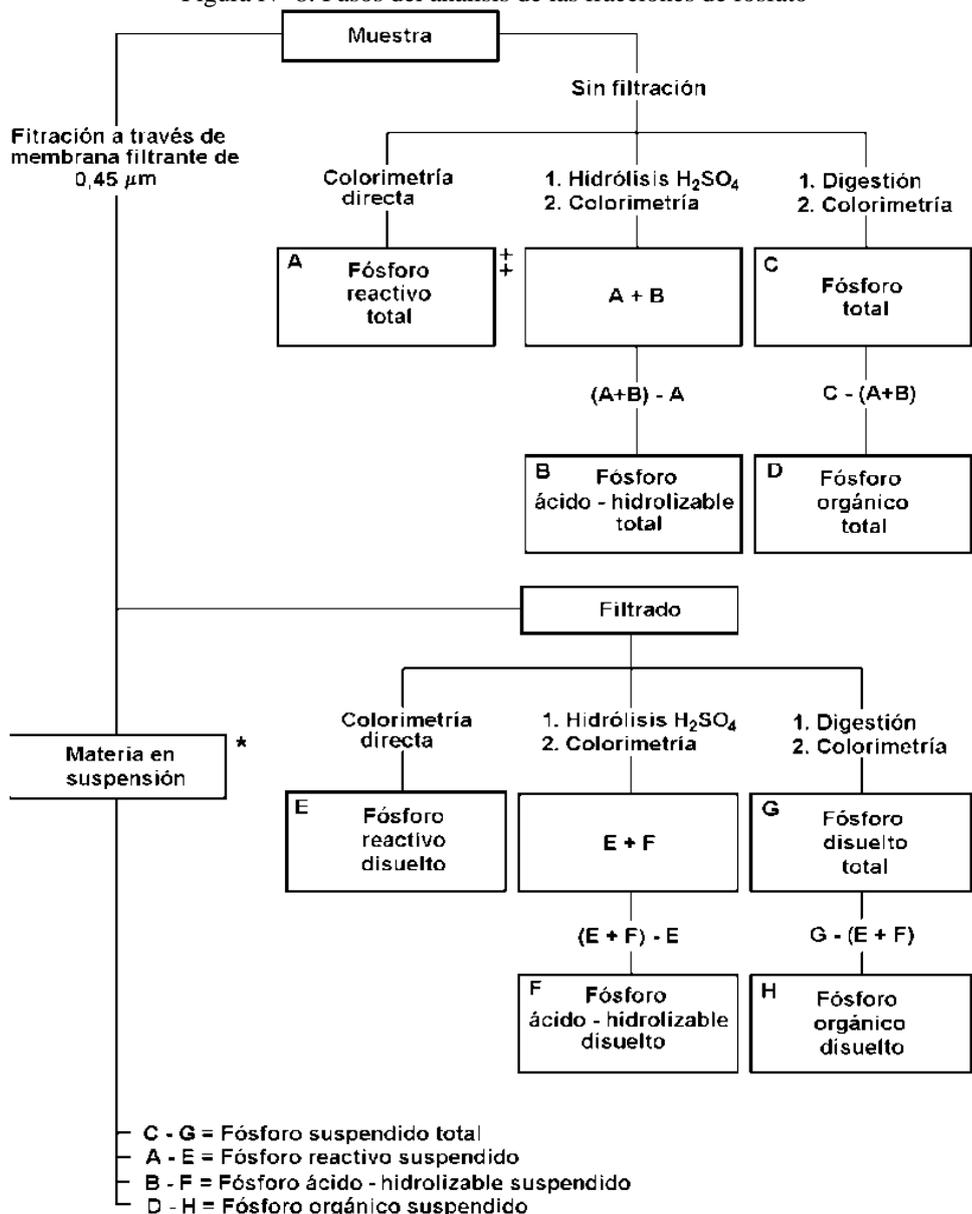
Los fosfatos que responden a los ensayos colorimétricos sin hidrólisis preliminar o digestión oxidante de la muestra son llamados “fósforo reactivo”. Aunque el fósforo reactivo es fundamentalmente una medición de ortofosfato, es inevitable una pequeña fracción de algún fosfato condensado presente, hidrolizado normalmente durante el procedimiento. El fósforo reactivo existe tanto en la forma disuelta como en la suspendida.

La hidrólisis ácida a la temperatura de ebullición del agua convierte los fosfatos disueltos, condensados y en partículas en ortofosfato disuelto. La hidrólisis inevitablemente libera algo de fosfato de los compuestos orgánicos, pero ello puede ser reducido a un mínimo por medio de una cuidadosa selección de la concentración de ácido y de la temperatura y tiempo de hidrólisis. Para esta fracción se prefiere el término “fósforo ácido – hidrolizable” en lugar de “fosfato condensado”.

Las fracciones de fosfato convertidas en ortofosfato solo por destrucción oxidante de la materia orgánica presente son consideradas fósforo “orgánico” o “unido orgánicamente”. La intensidad de la oxidación requerida para esta conversión depende de la forma del fósforo orgánico presente y, hasta cierto punto, de su cantidad. Al igual que el fósforo reactivo y el fósforo ácido – hidrolizable, el fósforo orgánico se encuentra tanto en la fracción disuelta como en la fracción suspendida.

El fósforo total como así también las fracciones de fósforo suspendido y disuelto pueden ser divididos en los tres tipos químicos que han sido descriptos: Fósforo reactivo, fósforo ácido – hidrolizable y fósforo orgánico. La figura 4500 – P: I muestra los pasos para el análisis de las fracciones individuales de fósforo. Como se indica, las determinaciones usualmente son realizadas sobre muestra sin filtrar y filtrada, Las fracciones suspendidas generalmente son determinadas por diferencia, sin embargo, las mismas pueden ser determinadas directamente por digestión del material retenido sobre un filtro de fibra de vidrio.

Figura N° 8: Pasos del análisis de las fracciones de fosfato



Fuente: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998

Es necesario determinar el fósforo en el filtro de membrana conteniendo materia en suspensión, cuando se desea mayor precisión que la obtenida por diferencia. Digerir con HNO₃ y luego con ácido perclórico. Luego realizar la colorimetría.

La determinación del fósforo total en muestras muy saladas puede ser difícil debido a la precipitación de grandes cantidades de sal como resultado de las técnicas de digestión que reducen drásticamente el volumen de la muestra. Para análisis de fósforo total en estas muestras, determinar directamente el fósforo disuelto total y el suspendido total y sumar los resultados.

En la determinación de fósforo reactivo disuelto total o suspendido total se pueden obtener resultados anómalos en muestras que contengan gran cantidad de sedimento en suspensión. Muy a menudo, los resultados dependen en gran parte del grado de agitación y mezcla a que se someten las muestras durante el análisis debido a una desorción de ortofosfato a partir de las partículas suspendidas, que depende del tiempo. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ,1998)

s. NITROGENO AMONIAICAL

Los dos factores principales que influyen en la selección del método para determinar el nitrógeno amoniacal son la concentración y la presencia de interferencias. En general, la determinación manual directa de bajas concentraciones de nitrógeno amoniacal está limitada a aguas de bebida, aguas superficiales limpias, aguas subterráneas y efluentes de aguas residuales nitrificados de buena calidad. En otras instancias, y donde están presentes interferencias o cuando es necesario mayor precisión, se requiere un paso preliminar de destilación (B).

Asimismo se describen un método titulométrico (C), un método de electrodo selectivo de amonio (D), un método de electrodo selectivo de amonio usando una adición conocida (E), un método del fenato (F) y dos versiones automatizadas del método del fenato (G y H). Los métodos D, E, F, G y H pueden ser usados tanto con o sin destilación de la muestra. Los datos presentados en las tablas 4500 – NH₃: I y III pueden ser de utilidad en la selección del método de análisis apropiado.

El método de nesslerización ha sido tomado como un método estándar, debido a que el mismo considerado como un método clásico para la medición de calidad de agua durante más de un siglo. El uso de mercurio en este ensayo avala su descarte por los problemas que presenta su eliminación.

Los procedimientos de destilación y titulación son usados especialmente para concentraciones de N-NH₃ mayores que 5 mg/l. Usar ácido bórico como absorbente a continuación de la destilación si el destilado va a ser titulado.

El método de electrodo selectivo de amonio es aplicable en un rango de 0,03 a 1400 mg de N-NH₃/l. Para el método del fenato, cuando están presentes interferencias, destilar usando ácido sulfúrico (H₂SO₄) como absorbente.

El método automatizado de fenato es aplicable en un rango de 0,02 a 2,0 mg de N-NH₃/l. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998)

t. INTERFERENCIAS:

La glicina, la urea, el ácido glutámico, los cianatos y la acetamida se hidrolizan muy lentamente en soluciones en reposo pero, de estos, solo la urea y los cianatos se hidrolizan durante la destilación a un pH = 9,5. Las cantidades de hidrólisis son del orden del 7 % para la urea a ese pH y aproximadamente el 5 % para los cianatos. Compuestos alcalinos volátiles tales como la hidrazina y aminas pueden influenciar los resultados del método de titulación. El cloro residual reacciona con el amonio; removerlo mediante pretratamiento de la muestra. Si es probable que una muestra contenga cloro residual, inmediatamente después de su recolección debe ser tratada con un agente de cloro como se indica en 4500 – NH₃. B-3d. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998)

u. NITROGENO DE NITRATOS

La determinación de nitratos (NO₃⁻) es difícil debido al procedimiento relativamente complejo requerido, la alta probabilidad de que puedan estar presentes constituyentes interferentes y los limitados rangos de concentración de varias técnicas.

Una técnica ultravioleta (UV) (Método B) que mide la absorbancia de NO₃⁻ es apropiada para aguas no contaminadas filtradas (bajo contenido de materia orgánica).

Filtrar una muestra; si es necesario, luego seleccionar el método apropiado para su rango de concentración y probables interferencias. El nitrato puede ser determinado por cromatografía de iones (Sección 4110) o por electroforesis capilar de ion (Sección 4140). Los rangos aplicables de otros métodos son: Método de electrodo de nitrato (D) de 0,14 a 1400 mg de N-NO₃⁻/l; Método de reducción con cadmio (E) de 0,01 a 1,0 mg de N-NO₃⁻/l; Métodos automatizados de reducción con cadmio (F a I) de 0,001 a 10 mg de N-NO₃⁻/l. Para mayores concentraciones de N-NO₃⁻ – diluir las muestras hasta el rango del método seleccionado.

Los métodos colorimétricos (B, E) requieren una muestra ópticamente clara. Filtrar las muestras turbias a través de membrana filtrante de 0,45 µm de poro. Verificar el medio filtrante por contaminación de nitratos. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998)

v. ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS:

Iniciar la determinación de NO₃⁻ – rápidamente después del muestreo. Si es necesario el almacenamiento, almacenar hasta 2 días a 4°C; muestras desinfectadas son mucho más

estables sin preservación con ácido. Para períodos más largos de almacenamiento de muestras no cloradas, preservar con 2 ml de H₂SO₄ concentrado/l y almacenar a 4°C. NOTA: Cuando una muestra es preservada con ácido, los NO₃ – y NO₂ – no pueden ser determinados como especies individuales. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ,1998)

w. NITROGENO ORGANICO

Los métodos de Kjeldahl (B y C) determinan el nitrógeno en el estado trivalente. Los mismos fallan para tener en cuenta el nitrógeno en las formas azida, azina, azo, hidrazona, nitrato, nitrito, nitrilo, nitro, nitroso, oxima y semicarbazona. El “nitrógeno Kjeldahl” es la suma del nitrógeno orgánico y el nitrógeno amoniacal.

El mayor factor que influye en la selección de un método Kjeldahl macro o semi micro para determinar el nitrógeno orgánico es su concentración. El método macro Kjeldahl es aplicable para muestras conteniendo tanto bajas o altas concentraciones de nitrógeno orgánico pero para bajas concentraciones requiere de un volumen relativamente grande de muestra. En el método semi micro Kjeldahl, el cual es aplicable a muestras conteniendo alta concentración de nitrógeno orgánico, el volumen de muestra debe ser elegido de manera de contener nitrógeno orgánico más amoniacal en el rango de 0,2 a 2 mg.

El método de digestión en block (D) es un método micro con un paso automatizado de análisis, capaz de mediciones de nitrógeno orgánico tan bajas como 0,1 mg/l cuando los blancos son cuidadosamente controlado. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ,1998)

x. OXIGENO DISUELTO

Los niveles de oxígeno disuelto (OD) en el agua natural y en aguas residuales dependen de la actividad física, química y biológica en el cuerpo de agua. El análisis de OD es una prueba clave en el control de contaminación y de procesos de tratamiento de aguas residuales.

Se describen dos métodos para el análisis de OD: El método de Winkler o método volumétrico y sus modificaciones y el método electrométrico usando electrodo de membrana. El método yodométrico¹ es un procedimiento titulométrico basado en la propiedad oxidante del OD mientras que el procedimiento de electrodo de membrana está basado en la velocidad de difusión del oxígeno molecular a través de la membrana². La elección del procedimiento depende de las interferencias presentes, la exactitud deseada y de la conveniencia o posibilidades. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ,1998)

y. PH

La medición del pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes utilizadas en el análisis químico del agua. Prácticamente todas las fases del tratamiento del agua para suministro y residual, por ej. Neutralización ácido – base, ablandamiento, precipitación, coagulación, desinfección y control de la corrosión, dependen del pH. El pH es usado en las mediciones de alcalinidad y de dióxido de carbono y en muchos otros equilibrios ácidos – base. A una determinada temperatura, la intensidad del carácter ácido o básico de una solución está indicada por el pH o la actividad del ion hidrógeno. La alcalinidad y la acidez son las capacidades de neutralización de ácidos y bases de un agua y normalmente son expresados como miligramos de CaCO₃ por litro. La capacidad buffer es la cantidad de ácido o base fuerte, usualmente expresada en moles por litro, necesaria para cambiar el valor del pH de un litro de muestra en una unidad. El pH fue definido por Sorenson¹ como $-\log [H^+]$; es el factor de “intensidad” de acidez. El agua pura está muy ligeramente ionizada y en el equilibrio, el producto iónico es:

$$\begin{aligned} [H^+][OH^-] &= K_w \\ &= 1,01 \times 10^{-14} \text{ a } 25 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (1) y} \\ [H^+] &= [OH^-] = 1,005 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

Dónde:

[H +] = Actividad de los iones hidrógeno, en moles/litro.

[OH -] = Actividad de los iones hidroxilo, en moles/litro

K_w = Producto iónico del agua.

Debido a las interacciones iónicas en todas las soluciones, excepto las muy diluidas, es necesario utilizar la “actividad” de un ion y no su concentración molar. La utilización del término pH supone que está siendo considerada la actividad del ion hidrógeno, a_{H+}. La equivalencia aproximada a la molaridad [H+] puede ser supuesta solo en soluciones muy diluidas (fuerza iónica < 0,1).

Es conveniente una escala logarítmica para la expresión de un amplio rango de actividades iónicas. La ecuación (1) puesta en forma logarítmica y corregida para expresar la actividad es:

$$\begin{aligned} (-\log_{10} a_{H^+}) + (-\log_{10} a_{OH^-}) &= 14 \\ \text{pH} + \text{pOH} &= \text{pK}_w \end{aligned}$$

Dónde:

$$\text{pH} = -\log_{10} a_{\text{H}^+}$$

$$\text{pOH} = -\log_{10} a_{\text{OH}^-}$$

La ecuación establece que a medida que aumenta el pH correspondientemente el pOH disminuye en la misma proporción y viceversa, debido a que el pK_w es constante a una determinada temperatura. A 25°C, el pH 7,0 es neutro, las actividades de los iones hidrógeno e hidroxilo son iguales y cada una corresponde a una actividad aproximada de 10^{-7} moles/l. El punto neutro depende de la temperatura y es de 7,5 para 0 °C y de 6,5 a 60 °C.

El valor del pH de una solución muy diluida es aproximadamente el mismo que el logaritmo negativo común de la concentración de ion hidrógeno. Las aguas naturales usualmente tienen valores de pH en el rango de 4 a 9 y la mayoría son ligeramente básicas debido a la presencia de bicarbonatos y carbonatos de metales alcalinos y alcalinos térreos. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998)

z. PLOMO

El plomo (Pb) es el quinto elemento del grupo IVA de la tabla periódica, el mismo tiene un número atómico de 82, un peso atómico de 207,19 y valencias de 2 y 4. La abundancia promedio del plomo en la corteza terrestre es de 13 ppm; en suelos esta varía de 2,6 a 25 ppm; en las corrientes de agua, la misma es de 3 $\mu\text{g}/\text{l}$ y en aguas subterráneas generalmente es $< 0,1$ mg/l. El plomo es obtenido principalmente a partir de la galena (PbS). El plomo es usado baterías, municiones, soldaduras, tuberías, pigmentos, insecticidas y aleaciones. El plomo también fue usado durante muchos años en gasolinas como un agente antidetonante en forma de tetraetil plomo.

La especie acuosa común es el ion Pb^{2+} y carbonatos e hidróxidos complejos. El plomo en una fuente de agua puede provenir de descargas industriales, minería, y de fundiciones y de la disolución de tuberías o guarniciones de cañerías. Aguas de grifo que son inherentemente no corrosivas o que no son adecuadamente tratadas pueden contener plomo resultante del ataque sobre cañerías de servicio de plomo, coberturas internas de plomo, conexiones de plomo o soldaduras de juntas de plomo.

El plomo es un elemento no esencial para las plantas y animales. El mismo es tóxico por ingestión y es un veneno acumulativo. La Administración de Drogas y Alimentos regula el contenido de plomo en alimentos y pinturas domiciliarias. De acuerdo a la norma de plomo – cobre, el nivel de acción percentil 90-avo de la U.S. EPA para el agua de

bebida es de 15 µg/l. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ,1998)

aa. POTASIO

El potasio (K) es el cuarto elemento en el grupo IA de la tabla periódica. El mismo tiene un número atómico de 19, un peso atómico de 39,10 y una valencia de 1. La abundancia promedio del K en la corteza terrestre es de 1,84 %; en los suelos el mismo varía de 0,1 a 2,6 %; en los cursos de agua es de 2,3 mg/l y en las aguas subterráneas el mismo varía desde 0,5 a 10 mg/l. El potasio esta comúnmente asociado con minerales aluminio - silicatos tales como los feldespatos. El ⁴⁰K es un isótopo radiactivo naturalmente existente con una vida media de 1,3 x 10⁹ años. Los compuestos de potasio son usados en vidrios, fertilizantes, polvos de hornear, bebidas suaves, explosivos, electroplatinado y pigmentos. El potasio es un elemento esencial para la nutrición tanto de plantas como de animales y está presente en las aguas subterráneas como resultado de la disolución de minerales, de la descomposición de restos de plantas y de desagües de la agricultura. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ,1998)

bb. SULFATO

El sulfato (SO₄-2) está ampliamente distribuido en la naturaleza y puede estar presente en las aguas naturales en concentraciones que varían desde unos pocos a varios cientos de miligramos por litro. Aguas residuales que drenan de minas pueden contribuir con grandes cantidades de SO₄-2 a través de la oxidación de la pirita. Los sulfatos de sodio y magnesio ejercen una acción catártica. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ,1998)

cc. TEMPERATURA

Las lecturas de temperatura son usadas en el cálculo de varias formas de alcalinidad, en estudios de saturación y estabilidad con respecto al carbonato de calcio, en el cálculo de salinidad y en operaciones generales de laboratorio. En estudios limnológicos, frecuentemente se requiere la temperatura como una función de la profundidad. Elevadas temperaturas resultantes de descargas de aguas calientes pueden tener un impacto ecológico significativo. La identificación de una fuente de suministro de agua, tal como pozos profundos, con frecuencia es posible por mediciones solo de temperatura. Plantas industriales con frecuencia requieren datos de temperatura del agua para procesos utilizados o para cálculos de transmisión de calor. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ,1998)

dd. TURBIEDAD

La claridad del agua es importante en la producción de productos destinados para el consumo humano y en muchas operaciones de manufacturación. Productores de bebidas, procesadores de alimentos y plantas de tratamiento de agua potable proveniente de una fuente superficial de agua comúnmente se basan en procesos de separación partícula - fluido tales como sedimentación y filtración para incrementar la claridad y asegurar un producto aceptable. La claridad de un cuerpo natural de agua es un determinante importante de su condición y productividad.

La turbiedad de un agua es causada por material suspendido y coloidal, tal como arcillas, cieno, material orgánico e inorgánico finamente dividido, plancton y otros microorganismos. La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que causa que la luz sea dispersada y absorbida en lugar de ser transmitida sin cambio de dirección o fluctuación de nivel a través de la muestra. Una correlación de la turbiedad con el peso o concentración numérica de partículas de materia suspendida es difícil debido a que el tamaño, forma e índice de refracción de las partículas afectan las propiedades de dispersión de luz de la suspensión. Cuando están presentes en concentraciones significativas, partículas consistentes de materiales absorbentes de luz, tales como carbón activado, causan una interferencia negativa. En bajas concentraciones estas partículas tienden a tener una influencia positiva debido a su contribución a la turbiedad. La presencia en forma disuelta de sustancias causantes de color que absorben luz puede causar una interferencia negativa. Algunos instrumentos comerciales pueden tener la capacidad de ya sea efectuar correcciones por una ligera interferencia de color o compensar ópticamente el efecto del color. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 1998)

CAPITULO 3

3 METODOLOGIA

3.1 METODO DE TRABAJO

3.1.1 Tipo de Investigación

Se desarrolló la metodología Descriptiva y Experimental mediante muestras representativas apoyada en software para analizar los datos.

La investigación fue realizada en las Lagunas de Espinar en Puno, y comprendió la evaluación del dique la laguna de estabilización existente, determinar las características de las aguas residuales del ingreso a la Planta de Tratamiento el efluente de la laguna facultativa y la infiltración. Para ello, se definieron los parámetros a estudiar

- Parámetro físico- químico.

La caracterización fisicoquímica y de unidades, se realizaron al “Agua a Tratar” y al “Agua Tratada”, basados en los “Métodos Normalizados Estandarizados Internacionales”, como el de los Métodos estándar para la exanimación del agua y de las aguas residuales (Standard Methods forthe Examination of Water and Wastewater) señalados en el siguiente enmarcado:

Determinación	Métodos
Fisicoquímico.- Se tienen a los siguientes parámetros: Aspecto, Olor, Sabor, Color, pH, Temperatura, Turbiedad, Conductividad Eléctrica, Sólidos Totales Disueltos, Salinidad y Alcalinidad Total	APHA/AWWA/WPCF, (2007)
Nitrógeno	APHA/AWWA/WPCF, (2007)

- APHA: American Public Health Association (Asociación Americana De La Salud Pública)
- AWWA: American Water Works Association (Asociación Americana De Los Trabajos De Agua)
- WPCF: Water Pollution Control Federation (Federación Del Control De La Contaminación De Agua)
- Ensayos de laboratorio

Ensayos estándar de mecánica de suelos de muestras alteradas obtenidas de las calicatas y sondajes se determinó las características físicas mecánicas de los materiales se efectuaron los siguientes ensayos:

- Análisis Granulométrico ASTM D 422.
- Límite Líquido ASTM D 423.
- Límite Plástico ASTM D 424.
- Clasificación SUCS ASTM D 2487.
- Ensayos de Contenido de Humedad Natural ASTM 2216.
- Corte Directo ASTM D-3080, AASHTO T236

3.1.2 Instrumentos

Para el levantamiento de información de las características geométricas se ha empleado los Instrumentos de topografía estación total nivel de ingeniero y GPS.

Se efectuaron en el campo las determinaciones del valor de pH, conductividad y temperatura, en cada una de las muestras puntuales obtenidas de los diferentes puntos de muestreo. Al efecto se contó con los siguientes equipos: medidor de pH, conductímetro y termómetro analógico

3.1.3 Técnicas de Investigación de Campo

Utilización de métodos de muestreo de suelos (Muestreo del suelo en diferente calicatas muy próximo a la laguna en la zona del proyecto para determinar el contenido de Humedad, Límite Líquido – Límite plástico e Índice de plasticidad, Análisis Granulométrico por tamizado (ASTM D422), Registro de Estratigrafía.

- Toma de muestras

Se procedió a tomar las muestras del agua residual cruda en la cámara de rejillas, y a medir el tirante de agua. La laguna facultativa fue muestreada en el buzón del efluente.

Se utilizaron botellas de muestreo tipo NANSSEN – NISKIN, especiales para el muestreo, de 1,7 litros de capacidad. Para el transporte se utilizaron botellas de plástico según la Serie de Manuales de Metodología (GEMS) de CEPIS – OPS – OMS.

- Preservación de muestras

Al final de las jornadas de muestreo se procedió a componer las muestras tomadas, teniendo el cuidado de no contaminarlas. Mientras que en el caso de las lagunas se mezclaron iguales volúmenes de muestras.

Luego de la composición, los frascos fueron etiquetados. Los frascos correspondientes al análisis de nutrientes fueron preservados con ácido.

– Embalaje

Luego de la identificación, los frascos fueron embalados convenientemente, para evitar el choque entre ellos y su consecuente rotura.

3.1.4 Gabinete

Cálculos de gabinete a realizar (Análisis de muestras de aguas y suelos: características físico, químicas, características microbiológicas, contenido de Humedad, Limite Liquido – limite plástico e índice de plasticidad, Análisis Granulométrico por tamizado (ASTM D422),

Elaboración de planos como resultados (Plano topográfico, plano de sección transversal Dique, plano de perfil longitudinal.

Uso de software hojas de cálculo Excel, Word, Auto CAD.

3.1.5 Aplicación de los Software seleccionado para el estudio

También fue necesario estudiar el programa GEOSLOPE (SLOPE/W), (SIGMA/W), (SEEP/W), (uso y manejo), en particular para aplicar del modelo constitutivo Elástico- Plástico.

El propósito general de la investigación fue determinar las características de las aguas residuales del afluente, efluente y las propiedades mecánicas del dique de la Laguna Facultativa el Espinar existente. Para ello, se definieron los parámetros a estudiar:

La metodología empleada para cumplir con los objetivos, ha seguido unas pautas que se pueden agrupar en cuatro puntos.

- Selección del área de estudio.
- Recolección de los datos de campo e información necesaria.
- Análisis de los datos.
- Creación de la simulación de la estabilidad del talud y filtración deformaciones.

3.1.6 Análisis De Estudio

Se utilizará fundamentalmente toda la información analizada en el laboratorio de la EPS EMSA Puno para el resultado de los análisis del Afluente y Efluente de las Aguas Residuales y compararlas con los parámetros permisibles para determinar si Cumple con los Estándares de calidad LMP y ECAS; también se utilizará la

información de los resultados del Laboratorio de Suelos para determinar los diferentes tipos de suelos y las características mecánicas.

3.1.7 TAMAÑO DE LA MUESTRA

Comprende la Laguna Espinar de la ciudad de Puno, ubicado en la zona Este de la ciudad de Puno, colindante con el barrio chanu chanu de la ciudad a 100 de la zona urbana, a orillas de la bahía menor del Lago Titicaca, entre las cotas 3808 a 3811.96 está compuesta por dos lagunas de estabilización en serie; la primera laguna del tipo primaria, es de forma irregular tiene una extensión de 13.4 ha; y la segunda del tipo secundaria y también de forma irregular tiene 7.9 ha. Ambas lagunas están separadas por un dique de 4.00 metros de ancho en la coronación de área 23 ha

Los lugares de muestreo fueron seleccionados con base a criterio de, una serie de puntos, denominados de base, distribuidos sobre toda el área con el objetivo de establecer de un modo global y obtener las propiedades mecánicas del suelo, dique, características de las aguas residuales; establecer una serie de puntos denominados de impacto, ubicados en la bahía interna del lago para poder establecer la evolución de las características de calidad del agua del lago.

3.2 UBICACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA

La zona de estudio, políticamente se encuentra ubicada dentro del siguiente ámbito:

- Departamento : PUNO
- Provincia : PUNO
- Distrito : PUNO
- Cuenca : Bahía Interior Lago Titicaca

3.2.1 VÍAS DE ACCESO

La principal vía de acceso es la avenida el ejército, avenida primavera y el jirón 7 de junio.

3.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA LAGO TITICACA

La Cuenca del Lago Titicaca, se ubicada en la parte central y meridional de la meseta de Collao, en el altiplano del Perú y Bolivia, nace en la separación de las cadenas montañosas de los Andes al Sur - Este del Perú

La cuenca del Lago Titicaca se encuentra delimitado por el divisorio continental y de la cordillera de Carabaya, que separan el sistema de la cuenca del río Madre de Dios en el Norte. En el Sur, la serranía interestelar intermedia del río Desaguadero y

el lago Titicaca lado boliviano. En la parte Este, el límite natural del sistema es la cordillera Oriental o Real, donde podemos distinguir de Norte a Sur, las cuenca vecina de la Amazonía peruana y boliviana. Por último, al Oeste el sistema limita con la cordillera Occidental de los Andes.

En la cuenca del lago Titicaca territorialmente se cuentan con 13 provincias del departamento de Puno, con 91 centros urbanos principales.(Proyecto PNUMA – TITICACA)

La cuenca del lago Titicaca, presenta 5 niveles de clasificación hidrológica de sus cuencas hidrográficas, los mismos tienen la siguiente distribución: 1, 1, 6, 43 y 92 respectivamente. De acuerdo Resolución Ministerial N° 033 - 2008-AG “Aprueban Metodología de Codificación de Unidades Geográficas de Pfafstetter, Memoria Descriptiva y el Plano de Delimitación y Codificación de las Unidades Hidrográficas del Perú”.

Figura N° 9: Delimitación de Cuenca del Titicaca de Acuerdo a la R.M. 033-2008-AG



Fuente: PENUMA

El Sistema Titicaca Desaguadero Popo y Salar de Coipasa TDPS, es una cuenca endorreica, cuya área se encuentra ubicada entre Perú (35% aprox.), Bolivia (60% aprox.) y Chile (5% aprox.). está delimitada geográficamente entre las coordenadas 14°03' y 20°00' de latitud Sur y entre 66°21' y 71°07' de longitud Oeste, el Lago Titicaca y el río Desaguadero se encuentran dentro del Sistema TDPS como elementos hidrológicos principales. (Proyecto PNUMA – TITICACA Noviembre – 2011)

3.3 INVESTIGACIONES Y ENSAYOS DE LABORATORIO

Para determinar las características físico-mecánicas más representativas de la cimentación y del material del dique se ha empleado diversos métodos de investigación de campo. Uno de los métodos utilizados se basa en la determinación de densidad in situ por el método de cono de arena. También se realizó excavaciones de calicatas, para elaborar el perfil estratigráfico del suelo y la correspondiente toma de muestras de suelo y del material para el cuerpo del dique para llevar a cabo las pruebas de laboratorio y determinar los parámetros geotécnicos, los ensayos de SPT, así como el grado de saturación en los diferentes estratos presentes.

3.3.1 ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO

Para determinar las características volumétricas y de consistencia para el material del dique y la cimentación se ejecutaron ensayos in-situ de determinación de densidad por el método de cono de arena. Se han efectuado ensayos especiales de compactación tipo Proctor Modificado, con muestras obtenidas del área de excavación de las lagunas de oxidación.

3.3.2 ENSAYO DE PERMEABILIDAD

Se llevaron a cabo 4 ensayos de permeabilidad en el área asignada a la laguna de facultativa. Los ensayos efectuados in-situ fueron del tipo de recuperación por debajo del nivel freático en el área de la laguna. Se utilizó el procedimiento de ensayo indicado por el U.S. Bureau of Reclamation.

3.4 REGISTROS DE SONDAJES DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR SPT

Se ha realizado los ensayos de penetración estándar SPT, lo que permitirá tener una idea de los niveles y valores de la capacidad de resistencia del material actual, se ejecutaron 2 ensayos de penetración estándar SPT (ASTM D-1586) a los cuales se les denominó SPT-1 y SPT-2. En algunos casos los ensayos SPT fueron profundizados mediante el ensayo de Cono de Peck, para complementar la información del subsuelo a partir de la cota de rechazo.

3.5 REGISTROS DE INVESTIGACIÓN SUELOS – CALICATAS

De acuerdo a los materiales identificados en las excavaciones de las calicatas se ha elaborado un registro de sondajes donde se indica las características físicas encontradas en los suelos como color, humedad, compacidad clasificación, plasticidad, simbología gráfica. La exploración de campo se realizó mediante la excavación de 6 calicatas cuyas profundidades variaron entre 1 y 3 m, tal como se detalla en los registros correspondientes.

Se registró el perfil del suelo en cada una de las calicatas y sondajes, habiéndose hecho la clasificación de campo de los suelos encontrados de acuerdo con los lineamientos de la Norma ASTM D 2488 Práctica Recomendada para la Identificación y Descripción de Suelos (Procedimiento Visual Manual). También se obtuvieron muestras representativas de los suelos, tanto alteradas, como inalteradas, las que fueron enviadas al laboratorio para los análisis correspondientes, adecuadamente acondicionadas e identificadas.

3.6 CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Los ensayos de laboratorio efectuados a las muestras de los estratos encontrados en las excavaciones, considerados como representativos del área, han determinado la clasificación de suelos permitiendo elaborar la sección de los suelos encontrados en el terreno. En general los materiales encontrados en el suelo de cimentación y el material de fino y grueso, están descritos a continuación:

- GM = Grava bien graduado
- CH = Arcilla densa
- OH = Arcilla Orgánica
- SC-SM = Arena limo- arcillosa
- SM = Arena Limosa
- CL = Acilla ligera

3.7 ENSAYOS ESPECIALES

Para los ensayos especiales del lodo encontrados y sus características de ser material contaminante se ha solicitado los análisis físico y químico y bacteriológico para su correspondiente evaluación.

3.7.1 ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Para fines del presente estudio se ha realizado ensayos de corte directo tipo drenado con muestra inalterada a una densidad del valor de la densidad relativa y verificado mediante pruebas de campo, este ensayo de corte directo nos permitirá obtener los parámetros mecánicos tales como la cohesión del material y el ángulo de fricción interna estos datos no permitirá realizar el análisis de estabilidad y hallar los factores de seguridad de los taludes encontrados y proyectados, en el modelo matemático de equilibrio limite.

3.7.2 ENSAYO DE PERMEABILIDAD

Mediante este ensayo conoceremos el grado de filtración de la cimentación.

a. CANTERAS DE PRÉSTAMO

Todos los materiales pueden proveerse mediante explotación, y/o clasificación de materiales aluviales de la cantera de salcedo, universidad, 2 de mayo es muy arcilloso de alta plasticidad es favorable para realizar la impermeabilización. Ubicadas al oeste de la ciudad.

Tabla 6: Resumen de las Canteras previstas de materiales

CANTERA	UBICACIÓN	DISTANCIA AL EJE DEL DIQUE (Km)	CLASIFICACIÓN SUCS
Nº1	Salcedo	3.6	CL
Nº2	Universidad	4.9	SM, CH
Nº3	Dos de Mayo	6.0	CL
Nº4	Cutimbo	27	Gw

Fuente: Elaboración propia

b. ARCILLA ARENOSA:

El dique se ha proyectado en forma inclinada con arcilla arenosa de la cantera situados en la zona sur de salcedo a 3,2 km del emplazamiento. El material es CL tiene las siguientes características mecánicas Contenido de Humedad 23.83%, Límite Líquido (LL) 26.33%, Límite Plástico (LP) 17.58%, Índice Plástico (IP) 8.75%

La permeabilidad y la resistencia de este material, compactado adecuadamente, han sido consideradas, en base a estudios suficientes para la impermeabilización segura.

El espesor de la base se ha adoptado 0.20 mts., partiendo de la condición de asegurar un margen de seguridad suficiente para la resistencia a la filtración tanto del dique como en el contacto.

Los taludes del dique son 1:2 (V:H) para el talud aguas arriba, y de 1:2 (V:H) para el talud aguas abajo, el talud cuenta con enrocado.

c. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS

Conocidos los resultados de los ensayos de laboratorio se compararon éstos con las características de los suelos observadas en el campo, habiéndose realizado las respectivas compatibilizaciones en los casos necesarios. En base a estos resultados se han elaborado los registros definitivos de suelos de los sondeos: calicatas y ensayos SPT, así mismo, se han obtenido los perfiles estratigráficos del terreno.

De acuerdo a los perfiles de suelos obtenidos mediante los ensayos SPT-1, SPT-2 está conformado por una variedad de arcillas medianamente plásticas, arcillas muy plásticas, arenas arcillosas, arenas limosas, encontrándose las arcillas muy blandas y las arenas muy sueltas. a partir de los 6 m, aproximadamente, hay tendencia a mejorar la compacidad de los suelos.

3.8 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

Trabajos desarrollados en campo los ensayos efectuados en laboratorios especializados, universidad nacional del altiplano y la municipalidad provincial de puno. Con el fin de obtener información y características físico – mecánicas del suelo de la laguna de estabilización El Espinar.

3.8.1 METODOLOGIA DE TRABAJO

La metodología para los trabajos de campo ha sido lo siguiente:

- Reconocimiento general del área de estudio.
- Levantamiento geológico local de las áreas que incluye el proyecto
- Excavación de calicatas cuya profundidad ha sido definida en función de la estructura a cimentar.
- Registro del perfil del suelo en cada calicata excavada.
- Muestreo de los suelos encontrados, obteniéndose muestras tanto disturbadas como no disturbadas.
- Ensayos in-situ de permeabilidad.
- Ensayos de penetración dinámica: ensayo de penetración estándar (ASTM-D1586) y Cono de Peck.

Las muestras de suelos, tanto disturbadas como no disturbadas y de agregados y roca obtenidas durante la investigación de campo, fueron adecuadamente acondicionadas, identificadas y remitidas a los laboratorios respectivos para los análisis correspondientes los ensayos estándar de laboratorio, tales como: granulometría, límites de consistencia, contenido de humedad, compactación, densidad y gravedad específica. Los análisis químicos se ejecutaron en la Universidad Nacional Agraria La Molina en el laboratorio de EMSAPUNO SA. Universidad nacional del altiplano.

3.9 REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

Se han revisado algunos estudios y trabajos que sobre el particular se han efectuado anteriormente en la zona. Se ha tenido en cuenta también los resultados de varios estudios de suelos realizados en Puno.

También se revisó el Boletín N° 42 – SERIE A: Carta Geológica Nacional (1993) del INGEMMET sobre la Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al Oeste del Lago Titicaca – Sur del Perú y la Hoja Topográfica 32-v a escala 1/100,000 del Instituto Geográfico Nacional.

3.10 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

La interpretación de las características geológicas del área de estudio de fue complementada con información de las calicatas y ensayos SPT. Adicionalmente se exploró e identificó las canteras.

3.10.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Regionalmente se encuentra emplazada dentro de la unidad geomorfológica denominada Altiplano, con altitudes del orden de 3.808 a 4.030 msnm aproximadamente.

En el área del proyecto, la columna estratigráfica comprende unidades litológicas cuyas edades van desde el Cretáceo hasta el Terciario, cubiertos parcialmente por depósitos del Cuaternario. El Cretáceo está representado por las Formaciones Caliza Ayavacas (K-ay). El Terciario representado por el Grupo Puno (TPu), Grupo Tacaza (TTa). El Cuaternario comprende depósitos aluviales (Q-al), lacustre reciente (Q-lacr) y bofedales (Q-bo). Las estructuras proyectadas que conforman el esquema del proyecto, estarán emplazadas tanto en unidades rocosas del Cretáceo-Terciario, así como en depósitos cuaternarios.

Los materiales impermeables están mayormente relacionados con los depósitos lacustres recientes y antiguos del Lago Titicaca, las canteras de rocas se relacionan con los afloramientos del Grupo Puno y Formación Caliza Ayavacas.

3.10.2 GEOMORFOLOGÍA

Las unidades geomorfológicas locales están representadas por dos accidentes morfológicos:

a. COSTA LACUSTRE DE PUNO

Comprende una faja de terreno con pendiente mínimo 0.05%, hasta la orilla del lago Titicaca y el pie de los flancos de los cerros vecinos. Esta unidad está

formada por depósitos lacustres recientes y aluviales, constituidos por capas de limo, arena y arcilla, cubiertas por abundante vegetación.

b. LADERAS DE CERROS

Los cerros que circundan a la ciudad de Puno en forma de anfiteatro por rocas del Grupo Tacaza, Grupo Puno, Formación Caliza Ayavacas y Formación Arenisca Angostura cubiertas por depósitos coluviales del Cuaternario. por numerosas quebradas laterales que drenan hacia el lago Titicaca; los lechos de estas quebradas están rellenos por depósitos aluviales, constituidos por suelos limo-arenosos con cantos, bloques y bolones, de bordes subangulosos a subredondeados.

c. ESTRATIGRAFÍA

Localmente, en el área del proyecto, se han identificado unidades litoestratigráficas cuyas edades van desde el Cretáceo (Neocomiano-Albiano) hasta el Terciario (Plioceno), cubiertos parcialmente por depósitos inconsolidados del Cuaternario.

El Cretáceo está representado por las Formaciones Caliza Ayavacas (K-ay). El Terciario representado por el Grupo Puno (TPu), Grupo Tacaza (TTa). El Cuaternario por los depósitos aluviales (Q-al), lacustres recientes (Q-lacr), y bofedales (Q-bo).

d. CRETÁCEO

Formación Caliza Ayavacas (K-ay): Esta unidad aflora en el cerro Chejoña (alrededores de la localidad de Salcedo), en el cerro Huaynapucara, etc. Consiste de una secuencia de calizas masivas, de color gris, con intercalaciones delgadas de limolitas marrón rojizas, interesando las limolitas marrón rojizas. En los cerros que circundan el sector de Salcedo.

e. TERCIARIO

Grupo Puno (TPu): Amplios afloramientos de esta unidad se exponen al costado derecho del tramo carretero Puno-Desaguadero, entre la entrada a la localidad de Aziruni y el km 10 de la mencionada vía; también aflora en el tramo entre el cerro Chejoña-Isla Espinar hasta el cerro Azoquine. Esta unidad consiste principalmente de bancos de conglomerados y areniscas arcósicas de color marrón. Los bancos de conglomerados están constituidos de clastos de areniscas y cuarcitas, subredondeados a redondeados, englobados en una matriz arenisco-calcárea. En el cerro Chejoña y Azoquine la relación de esta unidad con las Formación Caliza Ayavacas marca un contacto fallado.

Grupo Tacaza (TTa): Aflora en los cerros: Negro Peque, cancharani. Esta unidad consiste principalmente de una gruesa acumulación de rocas volcánico-andesitas.

f. DEPÓSITOS CUATERNARIOS

Aluviales (Q-al): Están distribuidos a lo largo de los las quebradas laterales que drenan al lago Titicaca como: Jaylluhuaya, Aziruni-Salcedo, Huayna pucara, etc. Estos depósitos consisten mayormente de suelos limo-areno-arcillosos englobando gravas y cantos con algunos bloques subangulosos a subredondeados. En los alrededores de Salcedo existen canteras de arcillas relacionadas con los depósitos lagunares antiguos del Lago Titicaca que actualmente se explotan para fabricar ladrillos.

Coluviales (Q-co): Son suelos provenientes de la erosión de laderas, con poco transporte; consisten de cantos y gravas en matriz areno-limosa y arcillo-limosa compacta a medianamente compacta. Se encuentran cubriendo las laderas de los cerros.

Lacustre Reciente (Q-lacr): Se les encuentra formando las superficies circundantes o riberas del lago Titicaca; estos depósitos en la zona del proyecto consisten de una secuencia de capas de limos, arenas y arcillas con algunos porcentajes de gravas, cantos y bloques, generalmente presentan una cobertura vegetal se observa en la Lagunas existente.

Bofedales (Q-bo): Suelos saturados con vegetación, con abundante materia orgánica en descomposición, en proceso de carbonización (turboso). Se les encuentra distribuidos en las orillas del lago Titicaca, particularmente en el tramo comprendido efluente de la laguna el espinar, cubriendo a los depósitos lacustres arcillo limosos recientes.

3.11 GEOLOGÍA LOCAL LUGAR DE UBICACIÓN DE LAGUNA ESTABILIZACIÓN EL ESPINAR:

La laguna existente el espinar se encuentra en la unidad geomorfológica denominada localmente como la Costa Lacustre de Puno y comprende mayormente los depósitos lacustres recientes del Lago Titicaca (Q-lacr), constituidos por una secuencia de limos, arenas y arcillas, cubiertos en parte por una capa vegetal que en algunos casos se encuentran formando bofedales. En base a los resultados del mapeo geológico de superficie, complementados con la información proveniente de las calicatas se puede afirmar que los suelos interesados, presentan en general buenas condiciones ingeniero-geológicas.

3.12 DISEÑO DE DIQUES Y FONDOS DE LAGUNAS

Las consideraciones básicas de mayor relevancia que se han tomado en cuenta para el diseño de diques y fondos son las siguientes:

En las capas superficiales, el suelo de la zona de trabajo presenta alto contenido de material orgánico y en profundidades de hasta 10 m. presenta un alto rango de plasticidad. Esta característica del suelo, no conlleva a problemas de estabilidad, razón por la cual se ha efectuado el análisis de diversas alternativas, que permitan superar esta limitación.

En general, los diques tienen las características de presas pequeñas, con alturas promedio de 4 m., el tipo de dique, adoptado para el proyecto, está constituido de la manera siguiente: cimentación con materiales GW y GC, el núcleo y los espaldones de material GC, la impermeabilización con material CL, las zonas sometidas al oleaje se conformaran con mampostería de piedra labrada y en la corona se colocara material de afirmado en un espesor de 0,20 m.

La geometría y disposición de los materiales de los diques responde al análisis de comprobación de la estabilidad, tomándose en consideración las diversas condiciones de los esfuerzos, siendo uno de los parámetros más importantes, la variación del nivel del agua en el lago.

3.13 DATOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Según el informe Memoria de 2009 de EMSA Puno S.A.

La cartera de clientes al cierre del ejercicio 2009 es 36,192 conexiones de agua potable y 33,424 conexiones de alcantarillado, teniendo una cobertura promedio del servicio de agua potable e 81.50% y 75.64 en el servicio de alcantarillado.

3.14 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE ESPINAR

El sistema lo componen:

- Pre tratamiento cámara de rejas, un desarenador y un canal parshall.
- Laguna primaria anaeróbica de extensión de 13.4 ha
- Laguna secundaria facultativa de extensión de 7.9 ha

3.14.1 LAGUNA PRIMARIA

Con una forma geométrica irregular la laguna presenta un área de 13.4 ha, sus dimensiones aproximadas promedio son: largo de 425 m, ancho de 328 m y una profundidad de 2.30 m. El flujo de ingreso del caudal es por medio de 7 ingresos de forma irregular sedimentando en mayor porcentaje en las primeras entradas. en la

práctica, han influido en crear flujos (cortos-circuitos) lo cual disminuye su tiempo de eficiencia.

3.14.2 LAGUNA SECUNDARIA

También, de forma irregular con un área de 7.9 ha, con dimensiones promedios de: largo 240 m, ancho 323 m y profundidad de 2.30 m. Cuenta con tres estructuras de salida.

3.14.3 ESTRUCTURAS DE SALIDA, RECOLECCIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL

La laguna secundaria cuenta con tres vertedores de salida que descargan las aguas residuales tratadas a una tubería de recolección de 21" de diámetro, que conduce las aguas, en ese sitio, a la bahía interior de Puno.

Figura N° 10: vista de la laguna espinar por Google Eath



Fuente: Google Eath.

3.14.4 EFICIENCIA APROXIMADA DEL SISTEMA DE LAGUNAS

Tabla 7: Análisis colimetría y DBO PTAR

Análisis de Colimetría y Demanda Bioquímica de Oxígeno en Aguas Residuales 2009

Indicador	Und. Medida	Puno	Ilave	Juli	Desaguadero	
Coliformes Totales	Afluente	UFC/100 ml	170 000 000	177 000 000	157 000 000	172 000 000
	Efluente	UFC/100 ml	537 000	405 000	553 000	482 000
Coliformes Fecales	Afluente	UFC/100 ml	55 700 000	71 100 000	62 000 000	78 200 000
	Efluente	UFC/100 ml	224 000	225 000	202 000	215 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Afluente	mg/L	273.52	259.80	255.00	205.00
	Efluente	mg/L	72.80	61.76	66.62	55.54

Fuente: Memoria EMSA Puno S. A 2009

Las remociones es de 273.52 mg/l y el efluente de 72.80 mg/l

3.15 CÁLCULOS DE LA EFICIENCIA DEL MODELO DE MEZCLA COMPLETA

3.15.1 LAGUNA PRIMARIA:

Temperatura = 13 grados Celsius

Constante cinética para laguna anaeróbica:

$$K'a (35 \text{ grados}) = 0.60 \text{ 1/d}$$

Corrección de temperatura:

$$(K'a_T) = K'a (35 \text{ C}) 1.085^{(T-35)}$$

$$(K'a \text{ 13 grados}) = 0.10 \text{ 1/d}$$

3.15.2 MUESTRA COMPUESTA:

$$B = \frac{\text{Volumen de Muestra a Formar}}{\text{N de mediciones} \times Q_p}$$

Dónde:

B : Factor del Volumen de Muestra por Unidad de Flujo

Q_p : Caudal Promedio

V_t : Q_t X B

V_t : Volumen de la Muestra al Tiempo T

Q_t : Caudal en el tiempo l/s

Resulta de mezclar de las muestras individuales en un solo deposito, según se vaya tomando. Se recomienda que las muestras individuales se combinen en volúmenes proporcionales al volumen del gasto; silas fluctuaciones del caudal son poco significativas las muestras se conforman a volúmenes constantes; el volumen final puede ser de 2 a 5 litros

Este tipo de muestra permiten una mayor representatividad de las características del líquido, neutralizando sus posibles fluctuaciones (CEPIS, 1996).

3.15.3 LAGUNA SECUNDARIA:

Temperatura = 13 grados Celsius

Constante cinética para laguna anaeróbica:

$$K'(35 \text{ grados}) = 1.2 \text{ 1/d}$$

Corrección de temperatura:

$$(K'T) = K' (35 \text{ C}) 1.085^{(T-35)}$$

$$(K'13 \text{ grados}) = 0.20 \text{ 1/d}$$

Modelo de mezcla completa:

$$Lp = \frac{Lo}{1 + Ka \times R}$$

Donde:

Lo : DBO de entrada = 70 mg/l (salida calculada de la laguna primaria)

R : Tiempo de retención en días = 16.50 días

Ka : Constante de remoción de DBO global para lagunas facultativas

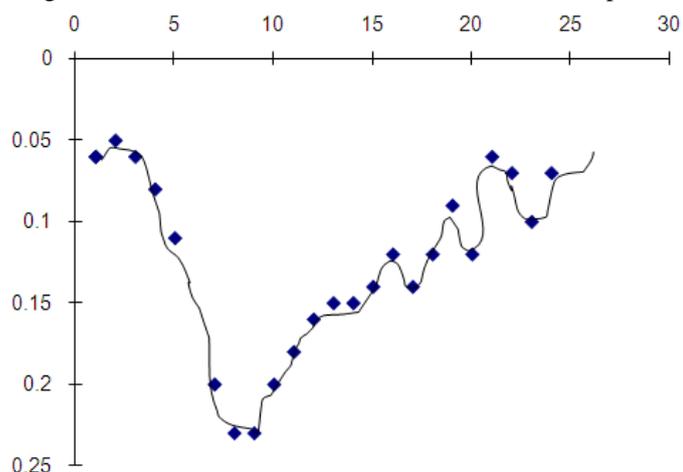
Lp : DBO efluente mg/l

El cálculo una vez hecha la corrección de temperatura da un valor de DBO para el efluente de = 18 mg/l. Esta es la concentración en DBO esperada en la salida de la segunda laguna.

3.15.4 MEDICIONES DEL CAUDAL

A partir de un diseño de muestreo y análisis físico, químico y microbiológico los participantes se dividieron en dos Grupos de trabajo para llevar a cabo mediciones de caudal y un muestreo y caracterización de 24 horas en las aguas residuales afluentes al sistema de lagunas de Espinar, el cual recibe algo más del 70 % de las aguas domesticas generadas en Puno, ciudad de unos 140 000 mil habitantes.

Figura N° 11 Caudales horarios afluentes al sistema espinar



Fuente: PENUMA

Como se nota en los resultados el pico de caudal se manifiesta entre 6 y 11 de la mañana, después la tendencia es a disminuir siendo los valores mínimos en horas de la madrugada. Igual tendencia se manifiesta en los valores de concentración de DBO, DQO, Nt y Pt obtenidos en las muestras compuestas y proporcionales al caudal. (Joaquín Gutierrez, Fernando Bravo e Ignacio Pastor ,2010).

El caudal medio estimado es de 133 l/s con un máximo horario de 230 l/s.

3.15.5 CARGA AFLUENTE

La carga afluente para cualquier parámetro se estima por la expresión siguiente:

Carga en Kg/horas = Q medio m³/s (en el periodo) X DBO gr/m³ (muestra compuesta) X 3600 (para llevar segundos a horas) X número de horas, dividiendo entre mil para llevar los gramos a kilogramos.

Los resultados de laboratorios pueden verse en el Anexo.

$$\text{Carga Kg/h} = (\text{Q} \times \text{DBO} \times 3600 \times \text{No horas}) / 1000$$

Periodo de 6 am a 12 pm (muestra compuesta 1)

$$\text{Carga en DBO Kg/horas} = (0.206 \times 382 \times 3600 \times 6) / 1000 = 1925 \text{ kg DBO/ 6 horas.}$$

$$\text{Carga (6 am a 12 pm)} = 1650 \text{ kg DBO}$$

Periodo de 12 pm a 6 pm (muestra compuesta 2)

$$\text{Carga en DBO Kg/horas} = (0.144 \times 376 \times 3600 \times 6) / 1000 = 1145 \text{ kg/ 6 horas DBO}$$

$$\text{Carga (12 pm a 6 pm)} = 1145 \text{ kg DBO}$$

Periodo de 6 pm a 12 am (muestra compuesta 3)

Carga en DBO Kg/horas = $(0.092 \times 372 \times 3600 \times 6) / 1000 = 1145 \text{ kg/ 6 horas DBO}$

Carga (6 pm a 12 am) = 740 kg DBO

Periodo de 12 am a 6 am (muestra compuesta 3)

Carga en DBO Kg/horas = $(0.090 \times 218 \times 3600 \times 6) / 1000 = 1145 \text{ kg/ 6 horas DBO}$

Carga (12 am a 6 am) = 423 kg DBO

La carga diaria se estimó mediante la suma de las cargas en todos los periodos medidos.

Carga total en un día = 4030 kg/DBO

Aplicando igual forma de cálculo y tomando los resultados analíticos de cada parámetro obtenido en la muestra compuesta correspondiente llegamos a la Tabla de resultados de las cargas afluentes al sistema de Espinar, ver Tabla 6.

Tabla: Resultados de la estimación de las cargas afluentes al sistema de Espinar. Kg/h y Kg/d.

Tabla 8: estimación de cargas contaminantes

PERIODO	DBO	DQO	NT	PT
6 am – 12 pm	1650	2722	178	33
12 pm – 6 pm	1145	2702	124	31
6 pm – 12 am	740	1640	80	12
12 am – 6 am	423	780	78	14
Total kg/d	4030	7844	459	90
Habitantes	90 000	90 000	90 000	90 000
Percapita g/hab/d	44.77	87.15	5.10	1.00

Fuente: EMSAPUNO Laboratorio Control de Calidad

Los resultados obtenidos se encuentran entre los rangos esperados de acuerdo a la literatura internacional sobre el tema. En el caso del nitrógeno los valores obtenidos son relativamente bajos a los esperados entre 7-11 gr Nt /hab/d, en este caso el Nt no se pudo analizar en el Laboratorio Central de EMSA y se utilizó como valor estimado la suman del N-NO₂, N-NO₃ y N-NH₄ multiplicado por tres, luego el per cápita de

nitrógeno debe ser considerado con reserva. El valor esperado se encuentra entre 8-10 gr Nt /hab/d.

Para una eficiencia actual cercana al 70% las cargas del sistema Espinar a la Bahía Interior de Puno son las siguientes:

Tabla 9: cargas contaminantes

	ENTRADA KG/D	SALIDA ESTIMADO KG/D	SALIDA TON/ AÑO
DBO	4030	2821	1030
DQO	7844	5491	2004
Nt	459	230	84
Pt	90	45	16

Fuente: EMSAPUNO Laboratorio Control de Calidad

Nota: El Nitrógeno como se comentó antes puede ser entre un 40-50% mayor, cuestión importante a dilucidar en breve tiempo (Fuente: Joaquín Gutierrez, Fernando Bravo e Ignacio Pastor - 2010).

3.16 CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE LOS DIQUES.

El ancho mínimo de la corona debe ser aquel con que se obtenga una pendiente segura de filtración a través del dique para poder bajar la carga hidráulica cuando la laguna se encuentre llena.

Debido a las dificultades prácticas para obtener este factor. El BUREAU OF RECLAMATION sugiere la siguiente fórmula empírica para la determinación del ancho de la corona para el dique de tierra.

$$B = 3 + \frac{H}{5}$$

Dónde:

B : Ancho de corona en m.

H : Altura del dique m.

Para nuestro caso $H = 3.90 \text{ m} \rightarrow B = 3.00 + 0.78 \rightarrow B = 3.78$

Ancho de corona $B = 3.78 \text{ m}$.

Este ancho será el mínimo aceptable para el coronamiento del dique.

3.16.1 ALTURA DEL TIRANTE DE AGUA (T)

La altura del tirante de agua viene dado por el diseño hidráulico el cual establece tirantes constantes para cada caso de la funcionabilidad de la laguna.

Laguna Primaria $T = 2.46$

3.16.2 BORDE LIBRE (Hbl)

El borde es la distancia vertical entre la corona del terraplén y la superficie de agua del dique en un nivel máximo. En este concepto se incluye:

H_v : Amplitud del oleaje generado por el viento (m)

H_r : Altura de rodamiento de las olas sobre el talud aguas arriba

H : Asentamiento máximo de la corona

h_s : Altura del oleaje debido a sismos

H_s : Margen de seguridad

De modo:

$$H_{bl} = H_v + H_r + H + h_s + H_s$$

H_v : Para el cálculo de la altura de ola debido al viento se tiene la fórmula:

$$H_v = 0.00086 \times V^{1.1} \times F^{0.45}$$

Dónde:

V: velocidad promedio para 10 minutos en m/s

$$V = 10 \text{ m/s}$$

F: máxima distancia desde el dique hasta el otro extremo del embalse (m).

$$F = 450 \text{ m (Laguna Primaria)}$$

$$F = 350 \text{ m (Laguna Secundaria)}$$

$$H_v = 0.00086 * 101.1 * 4500.45 = 0.17 \text{ m.}$$

H_r : El ascenso del oleaje sobre el talud aguas arriba en el dique depende de las características del oleaje generado y de la inclinación y rugosidad de la superficie expuesta.

La altura del rodamiento de la ola H_r para taludes usuales en diques de tierra y enrocado (1.5:1 a 4:1) varia de $0.33 H_v$ a H_r dependiendo de la rugosidad de la superficie del dique.

Se sugiere una superficie semi rugosa por donde deslizará las olas por lo tanto se estima:

$$H_r = 0.40 H_v$$

$$H_r = 0.40 \times 0.17 = 0.007 \text{ m}$$

H: El asentamiento máximo de la corona es función de la compresibilidad de la propia masa y de la cimentación y la altura del terraplén según se puede apreciar en:

$$\Delta H = K H^2$$

El valor de K se puede obtener de la siguiente tabla:

Tabla 10: clasificación del coeficiente K

	CLASIFICACION	VALOR K (CM^{-1})
Arcillas y limos de alta compresibilidad	CH, MH	0.40×10^{-4}
Arcillas y limos de baja compresibilidad	CL, ML	0.25×10^{-4}
Arenas con lino y arcilla	SC	0.20×10^{-4}
Arenas limosas y arenas con pocos finos	SP, SW	0.12×10^{-4}
Mezcla con gravas con arenas y finas	GC, GM y GP	0.08×10^{-4}

Fuente: Figueiredo Ferraz

El núcleo del dique está formado por GC - GM

H: altura del dique

$$H = 3.90 = 390 \text{ cm.}$$

$$\Delta H = 0.08 \times 10^{-4} \times (390)^2 = 1.22 \text{ cm}$$

$$\Delta H = 1.22 \text{ cm}$$

hs: la altura del oleaje debido al sismo.

$$h_s = \frac{K \times \tau \sqrt{g \times H \times n}}{2\pi}$$

Esta es la fórmula de SEICHI

Dónde:

K : Coeficiente sísmico de diseño en base al nivel máximo de agua

$K=0.25$ (coeficiente equivalente a un sismo grado VII en la escala de Mercalli modificado)

τ : Ciclo del terremoto 0.6s.

g : Aceleración de la gravedad

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$h_s = \frac{1 \times 0.25 \times 0.6 \sqrt{9.81 \times 3.90}}{2 \times 3.1416}$$

$$h_s = 0.14 \text{ m}$$

h_s : El margen de seguridad se recomienda que se tome igual o mayor que:

Altura de ola:

$$H_v = 0.17 \text{ m}$$

El borde libre será:

$$H_{bl} = H_v + H_r + \Delta H + h_s + H_s$$

$$H_{bl} = 17 + 0.7 + 1.22 + 14 + 14$$

$$H_{bl} = 46.92 \text{ cm}$$

Se ha optado como borde libre:

$$H_{bl} = 0.5 \text{ m}$$

3.16.3 ALTURA DEL DIQUE:

Viene dado por el tirante de agua más el borde libre.

$$H_{dique} = T + H_{bl}$$

$$H_{dique} = 3.40 + 0.50$$

$$H_{dique} = 3.90$$

3.17 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL DIQUE POR GEOESLOPE/W2007

Se ha efectuado la evaluación de la estabilidad del talud de la sección geotécnica representativa del dique y/o terraplenes de acuerdo a los parámetros de resistencia de los materiales. Se ha considerado evaluar la estabilidad de los taludes para tres condiciones de operación de los reservorios:

- a. Reservorio vacío.
- b. Reservorio lleno y flujo establecido y
- c. desembalse rápido.

Adicionalmente, para los casos (a) y (b) se evaluará la estabilidad pseudo-estática utilizando un coeficiente sísmico, $k = 0.20$, congruente con la sismicidad de la zona.

Las propiedades índices y parámetros de resistencia de los suelos constituyentes de la cimentación y canteras, han sido tomados del estudio geotécnico.

Para los análisis de estabilidad de taludes se han utilizado el método de Bishop Simplificado, métodos incorporados en el programa de cómputo GEO SOLOPE/W 2007. Este programa utiliza un método aleatorio de búsqueda para determinar los mecanismos de falla críticos, tanto de forma circular como de forma general.

3.17.1 SECCIONES GEOTÉCNICAS

Se han considerado para los análisis de estabilidad las secciones geotécnicas del plano indicado dado que son las secciones con mayor altura de talud y mayor carga hidráulica.

3.17.2 CONDICIONES DE ESTABILIDAD

Pueden mencionarse las siguientes reglas prácticas en relación con las condiciones de estabilidad de talud:

- La estabilidad de un talud dado, generalmente será mayor cuando el talud se encuentra sumergido que cuando no lo está.
- La estabilidad de un talud sumergido disminuirá durante un desembalse rápido.

– Los análisis de estabilidad de taludes de los terraplenes de las plantas de tratamiento, han sido realizados en esfuerzos efectivos, adoptando parámetros de resistencia drenados (c' , Φ') y asignando las presiones de poros. Se analizaron las condiciones de operación siguiente:

a. Escenario vacío

Se ha considerado la estabilidad a largo plazo con el terraplén en estado seco. Los resultados de los análisis de estabilidad para esta condición se presentan a continuación:

Talud

FS: Factor de seguridad 2.79

b. Escenario lleno

Se ha considerado la estabilidad a largo plazo, el nivel freático en la cotas: 3811.46 metros para las distintas secciones del talud analizados son las correspondientes aguas abajo de los niveles freáticos. Se adopta para la condición de flujo establecido en las secciones analizadas, superficies de saturación conservadoras. Los resultados de los análisis de estabilidad para esta condición se presentan a continuación:

Talud

FS: Factor de seguridad 3.455

c. Escenario desembalse rápido

Se han considerado los taludes parcialmente sumergidos en la cota 3811.46 y 3808.06 metros para las distintas secciones. Se asume el desembalse rápido de los taludes hasta el pie de los mismos en un tiempo relativamente corto, tal que la disipación de las sobrepresiones inerciales no se producen. Se adopta para la condición de desembalse rápido en las secciones analizadas, un valor de la relación de presión de poros promedio 31.36 kpa,

Talud

FS: Factor de seguridad 2.961

3.18 EVALUACION DE LA CARGA CONTAMINANTE EN EL EFLUENTE DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION "EL ESPINAR" PUNO

La población urbana total de servicio de alcantarillado administrado por empresas prestadoras de servicios de saneamiento (EPS) EMSAPUNO SA. el sistema de alcantarillado aproximadamente 40351.828 metros cúbicos por día de aguas residuales, producto de las descargas de los usuarios conectados al servicio. La Demanda Bioquímica de Oxígeno, (DBO5) es de 129551.16 tn/año, Demanda Química de Oxígeno, (DQO) 101095.86 tn/año, Nitritos 44.1 tn/año, Nitratos 34425.6 tn/año, Nitrógeno Total 7387.8 tn/año, Fosforo Total 2997.0 tn/año, Sólidos Totales Disueltos, (STD) 307175.9 tn/año, Sólidos Totales Disueltos, (STD) 307175.9 tn/año, Sólidos Suspendedos Totales, (SST) 109579.4 tn/año, Coliformes Termotolerantes (Fecales) 4.2418E+18 UFC/año.

Las deficiencias operativas y de mantenimiento, permitió descargar directamente a un cuerpo receptor del lago Titicaca, constituyendo un escenario que pone en peligro la salud pública, genera deterioro de ecosistemas por falta de un diseño adecuadamente que facilite el retiro del lodo sedimentado.

Las aguas residuales, están compuestas por materias orgánicas e inorgánicas que sin tratamiento apropiado constituyen un elevado riesgo para la salud pública y para el ambiente conjunto de sustancias que se ingieren directa de agua por fuentes contaminadas o indirecta a través de alimentos de consumo crudo de tallo bajo regados por aguas residuales o de tallo alto sin tratarlo insuficientemente tratadas, sin tomar las debidas restricciones, representan un elevado riesgo de infección parasítica (giardiasis, amebiasis, teniasis, ascariasis), vírica (hepatitis, diarreas por rotavirus) y bacteriana (cólera, tifoidea, EDAS en general). cuando las aguas residuales sin tratar son vertidas a los cuerpos de agua, el hábitat de la vida acuática se ve afectada por la acumulación de sólidos, el oxígeno disminuirá por la descomposición aerobia de la materia orgánica, y los organismos acuáticos pueden perjudicarse aún más por la presencia de sustancias tóxicas, lo que puede extenderse hasta los organismos superiores por la bioacumulación en la cadena alimentaria. la descarga entra en aguas del lago Titicaca bahía interior, su contenido de nutrientes puede ocasionar la eutrofización, con molesta vegetación que puede afectar la pesca y las áreas recreativas. Los desechos sólidos generados en el tratamiento de las aguas servidas (arenas y lodos) pueden contaminar el suelo y las aguas

Los impactos directos incluyen la disminución de molestias y de los peligros para la salud pública en el área colindante a las PTAR, mejoramiento de la calidad y aumento del uso beneficioso de las aguas receptoras con respecto a la descarga de aguas residuales crudas. Los impactos indirectos incluyen la conservación de áreas al servicio del desarrollo, mayor productividad en acuicultura, pesquería, incremento de la actividad

turística y recreativa, y menores demandas sobre otras fuentes de agua como resultado de la reutilización del efluente.

Sobre el particular, la firma de tratados internacionales como el Tratado de Libre Comercio (TLC) con Estados Unidos, Canadá, Unión Europea, China y otros países desarrollados plantea un reto al sector saneamiento, no sólo para lograr mayores coberturas en la prestación de los servicios de agua potable y alcantarillado en zonas urbanas, sino también para tratar eficientemente las aguas residuales recolectadas y darles uso con fines productivos.

Entre los que destaca la captura de metano en el caso de las PTAR, cuyo flujo de fondos puede ser incorporado cuantitativamente en el análisis del costo-efectividad de las alternativas tecnológicas en proyectos de tratamiento de aguas servidas. En esta misma línea, se pueden valorizar los gastos evitados en recuperación de la salud, así como los menores costos del tratamiento de agua para uso doméstico e industrial y mayores rentas de la pesca, el turismo, la recreación y los ingresos generados por la venta de lodo tratado como mejorador de suelos.

CAPITULO 4

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADO 1

Se ha comprobado que el agua y los lodos del efluente de la laguna facultativa Espinar influyen en la calidad del Agua de la bahía menor del lago Titicaca de la ciudad de Puno.

La población de la ciudad de Puno se ha incrementado siendo su diseño inicial para 100 l/s en año 1972 en el presente año la población es 135,000 habitantes de y los usuarios en el año 2011 es 27,000 usuarios el caudal varia de 180 a 220 l/s.

pH. Los resultados de las mediciones de campo, los cuales han dado un valor de pH entre 7,47 a 8,34 para el Afluente, promedio 7.79 y de 7,36 a 8,45 para el efluente, Promedio 8.45. Durante el estudio los valores del pH se mantuvieron alcalinos.

Temperatura. Los valores de campo representa las variaciones de temperatura del Alcantarillado, en el Afluente se observa en Junio $13.10^{\circ}C$ y máximo en Enero $17.60^{\circ}C$ siendo el promedio $15.05^{\circ}C$. En el Efluente en Junio $13.40^{\circ}C$ y Máximo en Noviembre $17.90^{\circ}C$, siendo el Promedio $18.05^{\circ}C$ correspondiendo al mes de junio, el mes más frío.

Conductividad. En el afluente, la conductividad registrada fue 1375 y 2254 $\mu S/cm$, en tanto que el promedio fue de 1865.35 $\mu S/cm$. En el efluente, la conductividad varió entre 1375 y 2254 $\mu S/cm$, en tanto que el promedio fue de 1881.58 $\mu S/cm$.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). La DBO del afluente (desagüe crudo) llegó a 212,00 mg/L el valor mínimo y máximo fue de 312,53 mg/L y Promedio fue de 268.22 mg/L. y del efluente llegó a 45,47 mg/L el valor mínimo y máximo fue de 122,47 mg/L y Promedio fue de 88,06 mg/L.

Sólidos Suspendidos. En el afluente, el contenido de sólidos suspendidos varió de 221 a 558 mg/L, y en promedio tuvo un valor de 440,17 mg/L.

En el efluente los sólidos suspendidos variaron entre 221 y 496 mg/L, mientras que el promedio tuvo un valor de 364,38 mg/L.

Nitrógeno Total. En el afluente, los niveles de nitrógeno Kjeldahl fueron altos, variaron entre 14 y 89,00 mg/L N, con un promedio de 51,81 mg/L N.

En el efluente primario (laguna facultativa), los niveles de nitrógeno Kjeldahl variaron entre 3 y 63,00 mg/L N, con un promedio de 39,66 mg/L N.

Nitrógeno Amoniacal. En el afluente, los niveles de nitrógeno amoniacal variaron entre 30,00 y 79,00 mg/L NH₃, con un promedio de 46,25 mg/L NH₃. En el efluente secundario, los niveles de nitrógeno amoniacal variaron entre 16,60 y 58,00 mg/L NH₃, con un promedio de 33,44 mg/L NH₃.

Fósforo Total. El Fósforo es considerado el nutriente limitante en términos de eutrofización de lagos y por lo tanto, el factor de mayor importancia en el estudio de la contaminación de la bahía interior de Puno. En el afluente, los niveles de fósforo total variaron entre 3,91 y 15,16 mg/L P, con un promedio de 10,06 mg/L P. En el efluente primario, los niveles de fósforo total variaron entre 0,59 y 11,13 mg/L P, con un promedio de 7,21 mg/L P.

Fósforo (Orto). En el afluente, los niveles de fósforo (orto) variaron entre 12,00 y 46,50 mg/L PO₄, con un promedio de 30,86 mg/L PO₄. En el efluente primario, los niveles de fósforo (orto) variaron entre 1,80 y 34,14 mg/L PO₄, con un promedio de 22,12 mg/L PO₄.

Parámetros Microbiológicos

Coliformes Totales. En el afluente, la cantidad de coliformes totales varió entre 1,8E + 07 y 9,8E + 07 (NMP/100 ml). La media fue de 5,13E + 07 (NMP/100 ml). En el efluente primario, la cantidad de coliformes totales varió entre 0,8E + 05 y 5,0E + 06 (NMP/100 ml). La media fue de 4,8E + 06 (NMP/100 ml).

Coliformes Termotolerantes. En el afluente, la cantidad de coliformes termotolerantes varió entre 0,3E + 05 y 1,80E + 06 (NMP/100 ml). La media fue de 1,80E + 06 (NMP/100 ml). En el efluente secundario, la cantidad de coliformes termotolerantes varió entre 3,0E + 04 y 1,8E + 06 (NMP/100 mL). La media fue de 1,8E + 06 (NMP/100 mL).

4.2 RESULTADO 2

Se verificó que el talud está dentro de los factores de seguridad No existe el peligro de la falla de estabilidad del dique de la Laguna facultativa el Espinar.

Para el cálculo del Factor de Seguridad se moduló con el software SLOPE/W del programa GEO-STUDIO 2007, el análisis es por el método del bishop simplificado, este método considera el problema bidimensional La gran utilización que tiene actualmente los métodos nos permitió calcular el coeficiente de seguridad y visualizar la superficie de rotura. Permitiendo considerar la acción de presiones intersticiales, la existencia de cargas externas actuando en el talud, la existencia de materiales de diferentes características y, en muchos casos, son aplicables a superficies de rotura de cualquier forma.

ENTRADA DE DATOS

En el software se ingresa las propiedades mecánicas del suelo:

Tabla 11: Factores de Seguridad Mínimos para Análisis de Estabilidad

CONDICIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD AGUAS ARRIBA
Solicitaciones Mínimas RNE	1.25
Estado de Operación.	-
Solicitaciones estacas y Sísmicas.	1.5

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones

Tabla 12: Escenario vacío lleno y desembalse rápido

Escenario Vacío		Escenario Lleno y flujo		Desembalse rápido	
Aguas arriba		El Material del Suelo		El Material del Dique	
Estático	Presión de Poros	Descripción	Valor		
2.79	1.562	Ángulo de fricción	$\phi = 7^\circ$	Ángulo de fricción	$\phi = 24.67^\circ$
		Cohesión	$c = 26.28KPa$	Cohesión	$c = 39.13KPa$
		Peso Especifico	$\gamma = 16.77Kn/m3$	Peso Especifico	$\gamma = 19.82Kn/m3$

Elaboración propia

Tabla 13: Resumen de los factores de seguridad

Escenario Vacío		Escenario Lleno y flujo		Desembalse rápido	
Aguas arriba		Aguas abajo		Aguas arriba	
Estático	Presión de Poros	Estático	Presión de Poros	Estático	Presión de Poros
2.79	1.562	3.455	8.19 51.38	2.961	11.66 31.36

Elaboración propia

El análisis de iteraciones en los valores del factor de seguridad es superior a 1

Por lo que para fines de diseño se usará el Programa GEO-LOPE (SIGMA elementos finitos), para las verificaciones respectivas tanto de diseño de asentamientos, distribución de presiones, etc. Para lo cual se asume los siguientes valores de diseño:

En suelo de cimentación en su estratigrafía presenta una serie de capas que ciertamente no se diferencian mucho en sus propiedades por lo que se asume principalmente dos capas diferenciadas

Tabla 14: Resumen de los Factores de Seguridad

DENOMINACION	Módulo de Young	Coefficiente de Poisson
DIQUE	14000 Kpa	0.25
SUELO	2200 Kpa	0.20
Sobrecarga	Peso propio + Sobrecarga : 40 Kpa	

Elaboración propia

De donde se puede observar la curva de asentamientos que el terraplén sufrirá. Debajo del terraplén se tendrá un asentamiento aproximado de 0.009 m, y así sucesivamente se tiene en todas las otras partes del suelo de Cimentación.

Según los resultados se puede ver la distribución de esfuerzos verticales los cuales sufrirá el suelo de cimentación. Teniendo como Esfuerzo Máximo de 45 Kpa en la parte debajo del Dique.

Estos asentamientos serán menores en las capas superiores cercanas a la cresta del Dique ya que el esfuerzo adicional es pequeño debido a la altura del suelo que tienen que soportar, muestra el cambio asociado en la tensión vertical en el suelo

Círculos de Mohr:

Hemos visto en los gráficos de Desplazamiento en Y vs. Altura del dique que, tanto en el modelo elasto-plástico, los puntos que se ha tomado en cuenta los cambios de asentamiento estos corresponden a 5 puntos para mayor ilustración se ha extraído en la ubicación correspondiente al tope de la fundación a partir de donde ocurren los desplazamientos reales debido a los esfuerzos efectivos o totales

4.3 RESULTADO 3

Se constató en la laguna facultativa el Espinar no está dentro de los Límites Máximos Permisibles y ECAS.

De acuerdo a la norma de los LMP y ECAS se tiene los siguientes resultados.

Tabla 15: Eficiencias

EFLUENTE	mg/L	LMP	ECA TIPO IV lagunas lagos
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	88,06	100	<5
Nitrógeno Amoniacal	33,44		< 0.02
PH (unidad)	8.45	6,5-8,5	6,5-8,5
Sólidos Suspendidos	440,17	150	< = 25
Nitrógeno Total	39,66		1.6
Nitrógeno Amoniacal	33,44		<0.02
Fósforo Total	7,21		0.4
Coliformes Totales (NMP/100 mL).	4,8E + 06		2000
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL).	1,8E + 06	1.0+E04	1000

Fuente: Elaboracion Propia.

4.4 RESULTADO 4

Se determinó que las actividades de la Laguna el Espinar generan contaminación significativas en las aguas subterráneas

Tabla 16: Eficiencia en aguas subterráneas

	LAGUNA PRIMARIA	CALICATA PIE DEL DIQUE	CALICATA 01	CALICATA 02	CALICATA 03
PH	8.26	8.07	7.19	6.99	7.14
TEMPERATURA, (°C)	13.60	13.20	16.6	16.8	15.4
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA, ($\mu\text{S}/\text{cm}$ o mS/cm)	1865	1826	3.53	2	2.58
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES, (mg/L SST)	498	223	159	114	143
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO, (mg/L DBO5)	564	341	12	15.5	9
NITRÓGENO TOTAL, ($\text{mg Nt}/\text{L}$)	65.12	58.26	127.05	122.18	125.28
FOSFORO como Ortofosfato,	35.48	31.16	78.3	66.2	77.10
FOSFORO TOTAL	11.57	10.16	25.53	21.59	25.14
COLIFORMES TERMOTOLERANTES, (UFC/100 mL)	3.98E+06	3.85E+06	3.00E+4	2.00E+04	1.00E+04

Fuente: Elaboración propia

Siendo conductividades hidráulicas en el problema de flujo a través del dique de tierra se estudian los efectos de incluir la zona no saturada en el análisis mediante el uso de SEEP/W.

Tabla 17: Conductividad hidráulica

Node	Water Flux (m^3/sec)	Cumulative Water Flux (m^3)	X-Velocity Magnitude (m/sec)	Y-Velocity Magnitude (m/sec)	XY-Velocity Magnitude (m/sec)	X-Gradient	Y-Gradient	XY-Gradient
36	1.78E-05	0	1.88E-06	5.21E-06	5.54E-06	0.3613	-0.505	0.6206

Fuente: Elaboración propia

5 DISCUSIÓN

5.1 DISCUSIÓN 1

Considerando al Lago Titicaca como un ecosistema de vital importancia que sostiene de manera integral, a gran parte de la población del altiplano, se encuentran importantes recursos acuáticos, que son afectados por la contaminación. Los efectos de contaminación son altamente significativos por falta de mantenimiento preventivo y sub dimensionamiento que esta la laguna siendo de origen antrópica la contaminación asociada a la materia orgánica contenida directamente en las aguas residuales.

El pH, es un parámetro indirecto del tratamiento que sigue el agua residual. Cuando se produce un incremento de pH, la causa puede atribuirse a una mayor presencia del oxígeno disuelto, resultado de la actividad algal. Según Yáñez (1995)

Nitrógeno Total, El análisis del Nitrógeno Total, mediante el método de Kjeldahl nos demuestra que:

Las lagunas no constituyen un tratamiento eficiente para la remoción de “N” y “P”.

En los sistemas acuáticos, para conseguir la eliminación de nitrógeno por asimilación de las plantas, es necesario recoger y retirar la vegetación (Metcalf & Eddy, 1991).

Para Yáñez, con una relación DBO/N/P de 100/5/1, los requerimientos de una laguna de estabilización están ampliamente satisfechos.

Coliformes Fecales, Se ha postulado que los mecanismos de destrucción bacteriana son varios. Entre los factores mencionados se encuentran: la sedimentación, el antagonismo con otros organismos (algas), la temperatura, la radiación solar y el incremento de pH (Yáñez, 1995).

5.2 DISCUSIÓN 2

Con los software geoslope y sigma los métodos más avanzados y actualizados que recoge la necesidad de compatibilizar en los desplazamientos y obtiene una distribución más realista estableciendo la relación esfuerzo deformación primero establece la distribución de esfuerzos empleando los análisis de elementos finitos para luego usar los esfuerzos en el análisis de estabilidad de taludes con lo que se verifico la estabilidad del talud está dentro de los factores de seguridad No existe el peligro de la falla de estabilidad del dique de la Laguna facultativa el Espinar que sería un peligro para el ecosistema. Difiere del análisis convencional que consiste calcular el factor de seguridad de determinadas superficie de falla utilizando fórmulas de equilibrio limite, las cuales buscan un equilibrio de fuerzas y /o momentos en la falla dividida en rebanadas, lo cual no siempre representa lo que ocurre en realidad, debido a que representan las fuerzas esfuerzos que apuntan a proveer un equilibrio

de fuerzas en cada rebanada y el factor de seguridad sea igual para cada uno de estas. Lo que implica no es posible obtener distribuciones de esfuerzo realista a lo largo de la superficie de falla.

5.3 DISCUSIÓN 3

Se constató en la laguna facultativa El Espinar no está dentro de los Límites Máximos Permisibles y ECAS. La abundancia de la lenteja verde de agua y de otras plantas acuáticas son bioindicadores de lo altamente contaminado. Al crecer esta vegetación cubre el espejo de agua debido a la alta concentración de fosfatos y nitratos que abundan en el lago. Estas plantas, que durante años se mantuvieron sobre la superficie y que eran retiradas de manera mecánica, finalmente han provocado la desaparición de la flora y la fauna lacustre. (La República, 2012)

5.4 DISCUSIÓN 4

Con los software SEEP de elementos finitos del geoslope se ha comprobado la infiltración la actividades de la Laguna el Espinar generan contaminación significativa en las aguas subterráneas el estudio de filtraciones, el modelo clásico utiliza para la comprobación analítica la geometría y propiedades hidrogeológicas simples solo consideran la zona saturada del flujo, las nuevas herramientas computacionales que permiten simular tanto la zona saturada como no saturada del flujo lo que hace más complejo y por consiguiente más confiables este tipo, de análisis, se ha evaluado las filtraciones del dique difiere del método tradicional de soluciones de nueva metodología numérica con la herramienta de simulación del caso representativo real que permite conocer la infiltración en pie del dique. Uno de los principales factores de origen antrópico, geológico y climático que pueden originar contaminación por nitratos (NO_3) y nitritos (NO_2) y que más influyen en la composición del agua de la laguna el espinar. Se analiza la contaminación por estos compuestos nitrogenados de la laguna de puno por debajo de 125.28 Nitrógeno total, (mg Nt/L) siendo superior a al ECA tipo IV agua superficial de 1.6 (mg Nt/L) y no existe normatividad para las aguas subterráneas

Durante el represamiento de la materia orgánica en la zona no saturada (incluyendo el suelo) y posteriormente en la zona de saturación, esta sufre toda una serie de transformaciones en forma escalonada, influenciada por la acción de bacterias y microbios que habitan esta zona, las albúminas compuestas se transforman en aminoácidos, posteriormente en amonio (NH_4), luego en nitritos (NO_2) y al final en nitratos (NO_3). La aparición de los nitritos y nitratos en el agua subterránea por la infiltración de las aguas residuales de origen químico, provocado por el tratamiento de aguas residuales por falta de una capa impermeable.

El consumo de aguas contaminadas por nitratos y nitritos, son perjudiciales para el consumo, debido a que por la acción de estos compuestos con bacterias intestinales, pueden formarse Nitrosaminas, las cuales a causa de su posible acción cancerogénica, resultan peligrosas al hombre.

El agua del lago Titicaca es dulce es un recurso sumamente vital para la población el turismo y el país que existe la necesidad de preservarlo. siendo la reserva del recurso hídrico más importante de la región para afrontar la demanda por el crecimiento demográfico, la urbanización, la contaminación, la industrialización, lo que potencia nuevas demandas sobre los recursos hídricos existentes, a lo que se suman los conflictos asociados a los cambios climáticos, de ahí que el rehúso creciente de aguas residuales se debe utilizar para la agricultura, la recarga de aguas subterráneas, áreas verdes y otros usos tiendan a aumentar paulatinamente.

En comparación al DS.003-2008 MINAM los Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR en la demanda bioquímica de oxígeno de LPM de efluentes para vertidos a cuerpos de agua es 100 mg/l, en la laguna facultativa de Juliaca la demanda bioquímica de oxígeno promedio afluente fue de 307.08 mg/l y efluente 240.07 mg/l, la laguna de Juliaca supera el 140.07% por encima de la norma, la laguna facultativa de Puno el efluente Promedio fue de 88,06 mg/L. 11.94 % por debajo de la Norma.

CAPITULO 6

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Se ha confirmado que el agua y los lodos del efluente de la laguna facultativa el espinar, influyen significativamente en la calidad del Agua de la bahía menor del lago Titicaca de la ciudad de Puno.

Se ha Comprobado que no existe el peligro de la falla de estabilidad del dique de la laguna facultativa El Espinar porque es una infraestructura que por falta de mantenimiento el talud se ha erosionado por el intemperismo además se debe de retirar las gramas que se genera evitando la proliferación de vectores que incrementan la contaminación.

Se constató que en la laguna facultativa El Espinar el efluente no está dentro de los Límites Máximos Permisibles y ECAS

Se ha verificado que las actividades de la laguna Espinar, generan contaminación significativo en la aguas subterráneas por falta de material impermeable.

6.2 RECOMENDACIONES

Para mejorar la eficiencia de tratamiento de aguas residuales y mitigar los pasivos ambientales como son la emanación de malos olores para mitigar se debe realizar el mantenimiento permanente retirando los lodos con tecnología vigente como la draga y deshidratador de lodos,

El lodo que produce la laguna el espinar mediante tratamiento por compostaje se puede emplear en mejorar el suelo y el paisaje con áreas verdes de plantas nativas.

Se recomienda realizar los estudios geotécnicos para evitar la falla de la estabilidad de los taludes, estudiando la geometría, resistencia al corte de los materiales, condiciones de carga, presión intersticial, asentamientos y método de operación.

De acuerdo al d DS N° 007 - 2010 - AG (del 16.07.10) Declaran de Interés Nacional la protección de la calidad del agua de las fuentes naturales de agua y sus bienes asociados contaminación Artículo 4 - Proyectos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales deberán Los Gobiernos Regionales, Locales y las EPS priorizar la formulación y ejecución de proyectos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Poblacionales en sus respectivas jurisdicciones, se recomienda a las EPS presentar proyectos para mitigar y remediar el problema del medio ambiente y la salud

Las lagunas son las primeras infraestructura de tratamiento de aguas residuales con el trascurrir del tiempo la tecnología se ha perfeccionado se recomienda dividir en celdas y la

conversión a laguna de aireación prolongada basada en la mezcla una laguna bien aireada con difusores de membrana de burbuja fina con el fin de aprovechar los beneficios de la transferencia de oxígeno eficiente que mantiene los sólidos orgánicos biodegradables en suspensión, donde están en contacto constante con el oxígeno disuelto y las bacterias, en lugar de establecerse en el fondo de la laguna como lodos con lo se lograra su optimización actualización tecnológica para tratar amoníaco, fósforo y patógenos los costos de energía se debe aprovechar la tecnología limpia de los paneles solares aprovechando la radiación solar que se encuentra en la zona sur del Perú.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. TERZAGHI K. y PECK R.B. (1967), "Soil Mechanics in Engineering Practice", John Wiley, New York. I Edit. El Ateneo.
2. DAS, B. M. (2001). "*Principios de Ingeniería de Cimentaciones*", Thomsom Editores.
3. BOWLES, Joseph (1986) Manual Para Laboratorio de suelos en Ingeniería Civil, McGRAW-Hill latinoamericano S.A.
4. DAS BRAJA M. (2010) Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Edit. Thomson Learning. México
5. LAMBE, Wiliam T. y WHITMAN, Robert V. (1989). Mecánica de Suelos Edit. Limusa México
6. VILLÓN BEJAR, Máximo Gerardo (2004), Drenaje.- 1ra edición.- Cartago Instituto Tecnológico de Costa Rica. Centro de Información Tecnológica.
7. TOMLINSON M.V. (1996) Cimentación Diseño y Construcción Edit. Trillas México
8. SALAS J.A. y ALPAÑES J.L.de Just (1975) Geotecnia y Cimentaciones I II
9. DAS BRAJA M. (1994) Principios of Geotechnical Engineering. Edit. International Thomson Publishing
10. CRESPO VILLALAZ C. (1980) Mecánica de Suelos y Cimentaciones Edit. Limusa México
11. Boreau Of Reclamación (1967) Diseño de Presas Pequeñas Edit. Continental S.A. México
12. VILLASEÑOR C. Jesús (1979) Proyecto de Obras Hidráulicas, Edit. Universidad Autónoma Chapingo.
13. BOHNKE B. y POPPINGHAUS K.(1991) Manual de Disposición de Aguas Residuales I II Impreso en el CEPIS Lima Perú
14. WATERLOO Hydrologeologic Inc. (2008). "Groundwater Modeling", Canada, <http://www.waterloohydrogeologic.com>
15. MACKENZIE L. Davis, (2010), Water and Wastewater Engineering, McGraw Hill Professional.
16. ASCENCIOS G. J. Saúl (2002), Gestión Ambiental de las Aguas Residuales de Puno. UNFV.
17. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1989) Métodos Normalizados Para el análisis de agua potable y Residuales Ediciones Díaz de Santos S.A.
18. LATÍN COLSULT ESTATICA SABESP RODOLFO RETAMOZO ()

19. DELGADO V. Manuel (1999) Ingeniería de Cimentaciones; Edit. Alfa omega Grupo Editor Colombia.
20. WHITLOW R. (2000) Fundamentos de Mecánica de Suelos, Edit. Continental S.A. México.
21. PENUMA (2011) Encuesta de los sistemas de Tratamiento y disposición final de Residuos Líquidos en la cuenca del Titicaca (tdps – Perú)
22. CELIGÜETA LIZARZA (2008) Juan Tomás M Método de los Elementos Finitos para Análisis Estructural
http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Manual%20Pequeñas%20Pr esas%20V1-v1_01.pdf
23. YOMURA Deise VOGT Vanessa (2011) Introdução ao Geostudio Geoslope. http://www.cesec.ufpr.br/docente/andrea/TC066/Aula_sobre_GeoSlope.pdf
24. SIVACUGAN Ny DAS, B. M. (2010) Geotechnical Engineering
http://books.google.com.pe/books?id=ng2LAuFIT7kC&pg=PA89&lpg=PA89&dq=geoslope+seep/w+2007&source=bl&ots=Kq5YXaR4Op&sig=DooU_VuIWWjS6Qhpg5MqythhuVw&hl=es&sa=X&ei=kyZJUZCPEtTK4AOp84DoDq&sqi=2&ved=0CHcQ6AEwCQ#v=onepage&q=geoslope%20seep%20w%202007&f=false
25. GEO-SLOPE International Ltd (2007) Stress-Deformation Modeling with SIGMA/W, <http://www.ottegroup.com/manuals/SIGMAW%202007%20engineering%20book.pdf>
26. CALGARY, Alberta, (2007) Seepage Modeling with SEEP/W
<http://www.ottegroup.com/manuals/SEEPW%202007%20engineering%20book.pdf>
27. MICRO REGION PUNO Geología Cap. IV
http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/rnn_microregion_puno/capIV.pdf
28. La República 2012 <http://www.larepublica.pe/05-08-2012/titicaca-el-lago-que-apesta>
29. LA EUTROFICACION <http://aguaymascosas.blogspot.com/2011/12/la-eutrofizacion.html>
30. Standard Methods for the Examination of Water and [Wastewater](http://www.standardmethods.org/)
<http://www.standardmethods.org/>
31. EVALUACIÓN Y MONITOREO DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE SANTA FÉ DE ANTIOQUIA, COLOMBIA
<http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/50/1/EvalMonitStmaLagunasStfeAnt.pdf>
32. URP Briones, 2008
http://cybertesis.urp.edu.pe/urp/2008/briones_ja/pdf/briones_ja-TH.4.pdf

33. Lagoon Sludge http://www.triplepointwater.com/lagoon-sludge-impacts-treatment/#.WPjUhWk1_cc
34. Diesel Dredges <http://www.mudcatdredge.com/diesel-dredges/>
35. CEPIS, Propuesta Metodológica de Evaluación de Lagunas de Estabilización, 1996

ANEXOS