**UNIVERSIDAD DE PLAYA ANCHA**
**FACULTAD DE INGENIERÍA**
**DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE**
**INGENIERÍA AMBIENTAL**

# ESTUDIO TÉCNICO – AMBIENTAL DE LA CAPACIDAD DEGRADADORA DE LOS PRODUCTOS BACTERIANOS QUE SE OFRECEN EN EL MERCADO Y SU INFLUENCIA EN EL TRATAMIENTO DE PURINES DE CERDO EN LA EMPRESA AGRÍCOLA AASA LTDA.

**Proyecto de Título II para optar al Grado Académico de Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y al Título Profesional de Ingeniero Ambiental.**

**Sebastián Alejandro Salgado González.**
**René Rodrigo López Herreros.**

**Profesores Guías: Ximena Cristina Espinoza Ortiz.**
**Víctor Andrés Garcés Escalante.**

**Valparaíso, Chile.**
**2013.**

*"La teoría es asesinada tarde o temprano por la experiencia"*

**Albert Einstein.**

## AGRADECIMIENTOS.

Queremos agradecer a:

Nuestra prestigiosa universidad y a todos los profesores que contribuyeron en nuestra formación personal y profesional por habernos acogido y prestado su apoyo a lo largo de nuestra carrera, especialmente a nuestros profesores guías Ximena Espinoza Ortiz y Víctor Garcés Escalante, por haber confiado en nosotros y nuestras capacidades.

A la empresa agrícola AASA Ltda, en especial a su sucursal Aguas Claras, por el apoyo prestado, ya que sin ellos la realización de esta investigación no hubiera sido posible.

A las empresas NATUFEED, DSM, OIKOS VERSAL, BIOMAX e INDUREES por facilitarnos sus productos e información valiosa para nuestra investigación.

Al Sr. Elías Arredondo, encargado de laboratorio de microbiología, por su paciencia y gran disposición para ayudarnos en los análisis químicos realizados.

Finalmente agradecemos especialmente a nuestro grupo de estudio con quienes conformados lazos de amistad, que son parte importante de nuestra etapa de estudiantil y de nuestras vidas.

## RESUMEN.

El tratamiento anaerobio utilizado en los purines de cerdos resulta uno de los más convenientes por su fácil operación, baja producción de lodos, generación de biogás que puede ser aprovechado y por su eficiencia en la remoción de parámetros ambientales. Estos sistemas por lo general se hacen más eficientes con la adición de productos bacterianos que contribuyen a un mejor funcionamiento.

Para desarrollar el estudio, se realizaron pruebas de laboratorio a 5 productos bacterianos en las que se simuló el funcionamiento de un biodigestor anaerobio que se construirá en el plantel Aguas Claras, de la empresa Agrícola AASA Ltda. con la finalidad de dar información a la empresa sobre qué producto es el más conveniente para su proceso de tratamiento anaerobio, debido a esto se desarrolló un experimento aplicando un diseño factorial 3x6 donde los factores fueron el **producto bacteriano**, con 6 niveles (BIOWISH, BCP-80, MICROSOURCE, Bec-201, OIKOS Versal y un blanco) y la **temperatura** con 3 niveles (18ºC, 25ºC y 32ºC). Los productos fueron sometidos a 3 temperaturas distintas a fin de simular las estaciones del año, de esta forma ver como se comportaban los productos en el tratamiento de purines de cerdo, es por esto que se realizaron análisis de los parámetros físico-químicos DQO, NT, PT, ST, SST, SV y además se determinó el sedimento que acumulaban las unidades experimentales (variables de salida).

Además se determinó estadísticamente mediante un análisis de varianza para el modelo factorial que la mayor interacción la provocó el aumento de la temperatura siendo este factor el más importante en el tratamiento anaerobio, no así el factor productos bacterianos que sólo aportó con pequeños cambios en las variables de salida.

Luego de la fase experimental se determinaron los porcentajes de remoción de los parámetros físico-químico en estudio sobre el purín tratado, con lo que se observó que a la temperatura de 18°C la unidad experimental sin producto bacteriano fue más estable en la remoción de los parámetros, por lo que se infiere que las bacterias que contienen los productos se inhiben a esta temperatura. También se determinó que MICROSOURCE arrojó los mejores resultados de toda la investigación pero sólo en el nivel 32ºC del factor temperatura siendo el más eficiente en la remoción de DQO (73,78%) NT (51,63%), PT (62,49%), SST (94,82%), ST (67,18%), SV (79,87%) y $SO_4^{-2}$ (-4,97%). En general considerando las 3 temperaturas estudiadas el producto BCP-80 logro mayor estabilidad, ya que se mantuvo dentro de las mejores remociones logrando diferencias entre 1 a 4 puntos porcentuales con respecto a los mejores % de remoción.

También se realizó un análisis de los riesgos ambientales en el sistema de tratamiento anaerobio utilizando el producto que arrojó eficiencias altas (BCP-80) y el que actualmente utiliza la empresa (Bec-201), lo que demostró que la aplicación de BCP-80 disminuye los riesgos pero no en su totalidad, ya que los parámetros DQO, NT, y SST siguen siendo altos en comparación con las normas de descarga de residuos líquidos lo que representa un riesgo ambiental significativo.

Finalmente se recomendó realizar un estudio en planta piloto del comportamiento de los productos bacterianos incluyendo las lagunas de estabilización, además de investigar temperaturas de operación del biodigestor superiores a 32 °C.

## ABSTRACT.

The anaerobic treatment used in the pig slurry turns out to be one of the most suitable for his easy operation, low production of muds, generation of biogas that can be taken advantage and for his efficiency in the removal of environmental parameters. These systems in general become more efficient by the addition of bacterial products that they contribute to a better functioning.

Laborator tests were realized to 5 bacterial products in which there was simulated the functioning of an anaerobic biodigester that one will construct in the nursery Clear Waters, of the Agricultural company AASA Ltda. with the purpose of giving information to the company on which product is the most suitable for his process of anaerobic treatment, due to this an experiment developed applying a design factorial 3x6 where the factors were the **bacterial product**, with 6 levels (BIOWISH, BCP-80, MICROSOURCE, BEC-201, OIKOS VERSAL and a white) and the **temperature** with 3 levels (18ºC, 25ºC and 32ºC). The products were submitted to 3 different temperatures in order to simulate the stations of the year, Of this form to see since they were enduring the products in the treatment pig slurry, it is for this that there carried out analysis of the parameters physicist - chemist COD, TN, TP, TS, TSS, VS and in addition there decided the sediment that there were accumulating the experimental units (variables of exit).

One determined statistically by means of an analysis of variance for the model factorial that the major interaction her provoked the increase of the temperature being this most important factor in the anaerobic treatment, not like that the factor products bacterial that alone I contribute with small changes in the variables of exit.

After the experimental phase physicist - chemist decided the percentages of removal of the parameters in study on the treated slurry, with what was observed that to the temperature of 18°C the experimental unit without bacterial product was stabler in the removal of the parameters, by what there is inferred that the bacteria that contain the products keep out to this one results of the whole temperature. Also one determined that MICROSOURCE threw the best investigation but only in the level 32ºC of the factor temperature being the most efficient in COD's removal (73,78 %) TN (51,63 %), TP (62,49 %), TSS (94,82 %), TS (67,18 %), VS (79,87 %) and SO4-2 (-4,97 %). In general considering to be 3 studied temperatures the product BCP-80 major achievement stability, since it was kept inside the best removals achieving differences between 1 to 4 percentage points with regard to the best % of removal.

Also there was realized an analysis of the environmental risks in the system of anaerobic treatment using the product that I throw high efficiencies (BCP-80) and that nowadays there uses the company (BEC-201), which demonstrated that the application of BCP-80 diminishes the risks but not in its entirety, since the parameters COD, TN, and TSS continue being high places in comparison with the procedure of unload of liquid residues what represents an environmental significant risk.

Finally one recommended realizing a study in pilot plant of the behavior of the bacterial products including the lagoons of stabilization, beside investigating temperatures of operation of the biodigester superior to 32 °C.

# INTRODUCCIÓN.

La producción de carne de cerdo en Chile ha tenido en los últimos años un desarrollo que llegó a representar en el año 2011 el 38,0% en el total de carnes chilenas, ascendiendo a 527.857 toneladas, lo que se tradujo en un aumento del 5,9% con relación al año anterior. Las exportaciones el año 2011 terminaron con un total de 443.155 millones de dólares, lo que significó un aumento de 26% en el valor exportado. La razón de este crecimiento económico de la industria se debe fundamentalmente al consumo interno y al aumento de la exportación[1]. Chile es catalogado como el tercer exportador de carne de cerdo a nivel mundial, por lo que lo que es uno de los líderes de producción porcina.

En los últimos años los productores de cerdo han firmado acuerdos de producción limpia (APL), principalmente debido a que sus procesos productivos generan una gran cantidad de impactos ambientales que están asociados principalmente a la enorme cantidad de residuos líquidos llamados purines (mezcla de excretas y agua de lavado), que se generan en sus procesos productivos. Es por este motivo que muchas empresas han entendido que su crecimiento debe estar basado en un desarrollo sustentable.

La intensificación de las actividades porcinas y el crecimiento productivo de la última década, ha hecho que estos residuos se conviertan en un tema a tener en cuenta. Sin embargo en Chile no existe una normativa específica para tratar purines, no obstante, si las empresas infringen alguna de las normativas ambientales vigentes, generarán problemas al medio ambiente y problemas sanitarios en la industria, como la propagación de vectores, organismos patógenos y olores molestos, como consecuencia de ésto se verán en la obligación de reparar, mitigar o subsanar el daño causado.

[1] www.asprocer.cl/index/planilla1.asp?id_seccion=2&id_subsecciones=77

Para el caso de esta investigación se abordará la problemática de las altas concentraciones en los parámetros físico-químicos de los purines de la empresa Agrícola AASA. Ltda. en especial los generados en su plantel Aguas Claras ubicado en la ciudad de Los Andes, los cuales son tratados en un sistema anaerobio facultativo donde se adiciona un producto bacteriano llamado BEC-201 para aumentar la eficiencia de remoción de los parámetros en el tratamiento. La empresa una vez que realiza el tratamiento a los purines los envía a distintos predios agrícolas para ser utilizados como biofertilizante, todo esto de acuerdo a un instrumento legal llamado Plan de Aplicación de Purines (PAP) dispuesto por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), que fija límites al nitrógeno del purín cuando es aplicado a los cultivos.

Esta investigación también responde a que la empresa se encuentra incorporando tecnología de punta, aprobado como MDL (mecanismos para un desarrollo limpio - Protocolo de Kyoto año 2005), que consiste en una mejora de su planta de tratamiento, a través de la construcción de un biodigestor anaerobio (Laguna anaerobia cubierta), donde se espera lograr una mayor eficiencia del tratamiento de los purines, obtener un proceso estable y retener los gases de efecto invernadero producidos por la digestión anaerobia de los purines. De esta manera se dará cumplimiento al APL firmado por la empresa y adicionalmente al MDL, estableciendo en un futuro la comercialización de los derechos de emisión de carbono.

Teniendo en cuenta que el proceso de tratamiento será convertido a anaerobio estricto, a través de este trabajo se investigarán 5 productos bacterianos con la finalidad de entregar información a la empresa que contribuya a la toma de decisiones sobre qué producto es el más conveniente para el sistema de tratamiento proyectado, ya que no existe claridad del efecto que produce la adición de éstos al sistema de tratamiento anaerobio.

# TABLA DE CONTENIDOS.

**RESUMEN.** ..... **i**
**ABSTRACT.** ..... **iii**
**INTRODUCCIÓN.** ..... **v**
**CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES.** ..... **1**
1.1. Antecedentes de la empresa Agrícola AASA Ltda. ..... 1
1.1.1. Descripción general. ..... 1
1.1.2. Descripción del plantel Aguas Claras. ..... 2
1.1.3. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de purines. ..... 5
1.1.4. Producción, composición y caracterización de los purines. ..... 8
1.1.5. Gestión medio ambiental de purines. ..... 9
1.2. Hipótesis de trabajo. ..... 12
1.3. Objetivos. ..... 12
1.3.1. Objetivo general. ..... 12
1.3.2. Objetivos específicos. ..... 12
**CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO.** ..... **13**
2.1. Tratamiento aplicable a los purines. ..... 13
2.1.1. Historia de la tecnología. ..... 13
2.1.2. Digestión anaerobia. ..... 15
2.1.2.1. Procesos microbiológicos de la digestión anaerobia. ..... 18
2.2. Sistemas de tratamiento anaerobio. ..... 20
2.2.1. Lagunas anaerobias descubiertas. ..... 20
2.2.1.1. Factores que influyen en el las lagunas anaerobias descubiertas. ..... 21
2.2.1.2. Ventajas y desventajas del tratamiento de lagunas Anaerobias descubiertas. ..... 26
2.2.2. Lagunas anaerobio cubiertas. ..... 27
2.2.2.1. Factores que influyen en el funcionamiento de las lagunas anaerobias cubiertas. ..... 28
2.2.2.2. Ventajas y desventajas del tratamiento en lagunas anaerobias cubiertas. ..... 29

2.2.3. Productos finales del sistema de tratamiento anaerobio. 30
2.3. Diseño de experimento. 31
2.4. Impactos medio ambientales de los purines. 34
2.4.1. Impactos ambientales en la atmósfera. 34
2.4.2. Impactos ambientales en el suelo. 35
2.4.3. Impactos ambientales en el agua. 36
2.4.4. Otros tipos de impactos ambientales. 37
2.5. Herramientas para la evaluación e identificación de los impactos ambientales. 37
2.6. Legislación aplicable. 39
**CAPÍTULO III: MÉTODOS Y MATERIALES. 40**
3.1. Búsqueda y selección de los productos bacterianos empleados en el tratamiento de lagunas anaerobias. 40
3.2. Diseño del experimento. 45
3.3. Determinación de condiciones iníciales del experimento. 45
3.3.1. Definición de variables que inciden en el proceso. 45
3.4. Elección de diseño estadístico. 46
3.4.1. Tipo de diseño, factores y niveles a investigar. 47
3.5. Análisis estadístico. 48
3.6. Metodología experimental. 50
3.6.1. Ensayos de biodegradación. 53
3.6.2. Montaje experimental. 54
3.6.3. Toma de muestra de los productos bacterianos. 60
3.6.3.1. Método de cuarteo manual. 60
3.6.4. Cultivo de productos bacterianos. 61
3.6.5. Monitoreo de los ensayos. 62
3.7. Métodos analíticos. 63
3.7.1. Demanda química de oxígeno. 63
3.7.2. Sólidos totales. 64
3.7.3. Sólidos volátiles. 64

3.7.4. Sólidos suspendidos totales. ..... 64
3.7.5. Nitrógeno total. ..... 65
3.7.6. Fósforo total. ..... 65
3.7.7. Sulfatos. ..... 66
3.7.8. Sedimento acumulado. ..... 66
3.8. Metodología para la estimación de $CH_4$ ..... 67
3.9. Metodología estimación de $H_2S$. ..... 67
3.10. Metodología balance de nitrógeno. ..... 68
3.11. Metodología de identificación y evaluación de los aspectos ambientales. ..... 70
3.11.1. Identificación de los aspectos ambientales. ..... 71
3.11.2. Metodología para la identificación del aspecto ambiental. ..... 71
3.11.3. Matriz de evaluación de aspectos ambientales significativos. ..... 72
3.11.4. Clasificación de los aspectos ambientales. ..... 73
**CAPÍTULO IV: REGISTRO, ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN. ..... 76**
4.1. Resultados de la investigación. ..... 76
4.1.1. Resultados de la caracterización del afluente. ..... 76
4.1.2. Resultados del análisis DQO. ..... 78
4.1.3. Resultados de PT. ..... 81
4.1.4. Resultados de NT. ..... 84
4.1.5. Resultados de $SO_4^{-2}$. ..... 87
4.1.6. Resultados ST. ..... 90
4.1.7. Resultados de SV. ..... 93
4.1.8. Resultados de SST. ..... 96
4.1.9. Resultado de sedimento ($cm^3$) acumulado. ..... 99
4.1.10. Resultados estimación de $CH_4$ ..... 101
4.1.11. Resultado estimación de $H_2S$. ..... 101
4.1.12. Resultado balance de nitrógeno. ..... 101
4.2. Análisis de riesgos ambientales. ..... 102

4.2.1. Identificación de aspectos ambientales. ..... 102
4.2.2. Evaluación del riesgo ambiental e identificación de los AAS, del tratamiento de purines en el sistema de lagunas anaerobias cubiertas utilizando el producto bacteriano (BEC-201) que emplea la empresa en su proceso. ..... 105
4.2.3. Evaluación del riesgo ambiental e identificación de los AAS, del tratamiento de purines en el sistema de lagunas anaerobias cubiertas utilizando el producto bacteriano BCP-80. ..... 108
4.3. Análisis estadístico. ..... 111
**CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ..... 117**
**CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFÍA. ..... 123**
**CAPÍTULO VII: ANEXOS. ..... 125**

# ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla N° 1: Dimensión de los planteles. ..... 2

Tabla N° 2: Número de pabellones. ..... 4

Tabla N° 3: Ventajas del proceso de digestión anaerobia con relación a los factores que se indican. ..... 17

Tabla N° 4: TRH de estiércol de ganado en distintas regiones. ..... 25

Tabla N° 5: Intervalos óptimos de temperatura y pH en las lagunas anaeróbicas. ..... 26

Tabla N° 6: Clasificación general de las metodologías de EIA, según Garmendia. ..... 38

Tabla N° 7: Combinaciones de las unidades experimentales. ..... 48

Tabla N° 8: Análisis de varianza para un modelo bifactorial con una observación por celda. ..... 49

Tabla N° 9: Detalle de contenidos del experimento. ..... 59

Tabla N° 10: Consideraciones para el balance de NT. ..... 68

Tabla N° 11: La extracción de N según cultivo. ..... 69

Tabla N° 12: Matriz de evaluación de aspectos ambientales significativos. ..... 72

Tabla N° 13: Índice de evaluación de riesgo. ..... 74

Tabla N° 14: Escalas de evaluación para riesgos ambientales. ..... 75

Tabla N° 15: Caracterización preliminar del purín sin tratamiento. ..... 77

Tabla N° 16: Resultados de DQO (mg/l) a distintas temperaturas. ..... 78

Tabla N° 17: Resultados de PT (mg/l) a distintas temperaturas. ..... 81

Tabla N° 18: Resultados de NT (mg/L) a distintas temperaturas. ..... 84

Tabla N° 19: Resultados de $SO_4^{-2}$ (mg/L) a distintas temperaturas. ..... 87

Tabla N° 20: Resultados de ST (mg/L) a distintas temperaturas. ..... 90

Tabla N° 21: Resultados de SV (mg/L) a distintas temperaturas. ..... 93

Tabla N° 22: Resultados de SST (mg/L) a distintas temperaturas. ..... 96

Tabla N° 23: Resultados de sedimento acumulado a distintas temperaturas. .. 99

Tabla N° 24: Porcentaje de remoción. ..... 100

Tabla N° 25: Estimación de gas metano diario en ml. ..... 101

Tabla N° 26: Estimación diaria de $H_2S$ en gr/litro..... 101

Tabla N° 27: Balance de Nitrógeno (kg-N/ha/año) a 18 °C..... 101

Tabla N° 28: Balance de Nitrógeno (kg-N/ha/año) a 25 °C..... 102

Tabla N° 29: Balance de Nitrógeno (kg-N/ha/año) a 32 °C..... 102

Tabla N° 30: Identificación de los aspectos ambientales para aplicación de purines a suelos agrícolas. ..... 103

Tabla N° 31: Identificación de los aspectos ambientales para digestión anaerobia. ..... 104

Tabla N° 32: Evaluación de los aspectos ambientales (BEC-201)..... 105

Tabla N° 33: Evaluación de los aspectos ambientales (BCP-80). ..... 108

Tabla N° 34: Interacción de los factores. ..... 115

Tabla N° 35: Temperatura ambiente máxima y mínima de la Localidad de San Estaban, Diciembre del 2011. ..... 137

Tabla N° 36: Temperatura ambiente máxima y mínima de la Localidad de San Estaban, Enero del 2012. ..... 137

Tabla N° 37: Temperatura ambiente máxima y mínima de la Localidad de San Estaban, Febrero del 2012. ..... 138

Tabla N° 38: Temperatura ambiente máxima y mínima de la Localidad de San Estaban, Marzo del 2012. ..... 138

Tabla N° 39: Promedio de Temperaturas en Verano. ..... 139

Tabla N° 40: Temperatura ambiente máxima y mínima de la Localidad de San Estaban, junio del 2012. ..... 139

Tabla N° 41: Temperatura ambiente máxima y mínima de la Localidad de San Estaban, julio del 2012..... 140

Tabla N° 42: Temperatura ambiente máxima y mínima de la Localidad de San Estaban, agosto del 2012. ..... 140

Tabla N° 43: Temperatura ambiente máxima y mínima de la Localidad de San Estaban, septiembre del 2012. ..... 141

Tabla N° 44: Promedio de temperaturas en invierno. ..... 141

Tabla N° 45: Caracterización del purín del año 2011..... 149

Tabla N° 46: Concentración máxima de elementos químicos en agua para riego. ..... 152

Tabla N° 47: Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales considerando la capacidad de dilución del receptor. ..... 154

Tabla N° 48: Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales considerando la capacidad de dilución del receptor. ..... 155

Tabla N° 49: Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua lacustres. ..... 156

Tabla N° 50: Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos dentro de la zona de protección litoral. ..... 157

Tabla N° 51: Límites máximos permitidos para descargar residuos líquidos en condiciones de vulnerabilidad media. ..... 158

Tabla N° 52: Límites máximos permitidos para descargar residuos líquidos en condiciones de vulnerabilidad baja. ..... 160

# ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura N° 1: Localización geográfica del plantel Aguas Claras. ..... 2
Figura N° 2: Distribución de pabellones del plantel Aguas Claras. ..... 3
Figura N° 3: Sistema de Tratamientos actual de Purines. ..... 5
Figura N° 4: Futuro sistema de Tratamientos de Purines. ..... 7
Figura N° 5: Proceso de Digestión Anaerobia. ..... 19
Figura N° 6: Imagen de las actuales lagunas anaerobias descubiertas. ..... 21
Figura N° 7: Efecto de la temperatura sobre la tasa de actividad biológica. ..... 22
Figura N° 8: Imagen de lagunas anaerobias cubiertas. ..... 28
Figura N° 9: Equivalencia del biogás con otras fuentes de energía. ..... 30
Figura N° 10: Variables que inciden en el proceso. ..... 46
Figura N° 11: Diagrama del experimento. ..... 51
Figura N° 12: Actividades y análisis más importantes. ..... 52
Figura N° 13: Recipientes de 10 litros de capacidad empleados en el experimento. ..... 53
Figura N° 14: Instalación de bomba en el puente del sedimentador. ..... 54
Figura N° 15: Esquema del experimento a escala piloto del tratamiento de lagunas anaerobias. ..... 54
Figura N° 16: Ubicación de unidades experimentales. ..... 56
Figura N° 17: Control del flujo durante el experimento. ..... 56
Figura N° 18: Calefactor. ..... 57
Figura N° 19: Monitoreo de Temperatura. ..... 57
Figura N° 20: Válvula empleada para el ingreso del producto bacteriano. ..... 58
Figura N° 21: Cuarteo de productos bacterianos. ..... 61
Figura N° 22: Cultivo en agua peptonada: a) Cultivo BCP-80; b) Cultivo BEC-201; c) Cultivo Microsource; d) Cultivo Biowish; e) Cultivo Oikos versal; f) Primer lote de cultivos de productos bacterianos; g) Segundo lote de cultivos de productos bacterianos. ..... 62

# ÍNDICE DE GRÁFICOS.

Gráfico N° 1: Análisis de la DQO para cada uno de los ensayos a 18°C..... 79

Gráfico N° 2: Análisis de la DQO para cada uno de los ensayos a 25°C..... 79

Gráfico N° 3: Análisis de la DQO para cada uno de los ensayos a 32°C..... 80

Gráfico N° 4: Análisis de PT para cada uno de los ensayos a 18°C. ..... 82

Gráfico N° 5: Análisis de PT para cada uno de los ensayos a 25°C. ..... 82

Gráfico N° 6: Análisis de PT a cada uno de los ensayos a 32°C. ..... 83

Gráfico N° 7: Análisis de NT a cada uno de los ensayos a 18°C. ..... 85

Gráfico N° 8: Análisis de NT a cada uno de los ensayos a 25 °C. ..... 85

Gráfico N° 9: Análisis de NT a cada uno de los ensayos a 32°C. ..... 86

Gráfico N° 10: Análisis de $SO_4^{-2}$ a cada uno de los ensayos a 18°C. ..... 88

Gráfico N° 11: Análisis de $SO_4^{-2}$ a cada uno de los ensayos a 25°C. ..... 88

Gráfico N° 12: Análisis de $SO_4^{-2}$ a cada uno de los ensayos a 32°C. ..... 89

Gráfico N° 13: Análisis de ST a cada uno de los ensayos a 18°C. ..... 91

Gráfico N° 14: Análisis de ST a cada uno de los ensayos a 25°C. ..... 91

Gráfico N° 15: Análisis de ST a cada uno de los ensayos a 32°C. ..... 92

Gráfico N° 16: Análisis de SV a cada uno de los ensayos a 18 °C. ..... 94

Gráfico N° 17: Análisis de SV a cada uno de los ensayos a 25°C. ..... 94

Gráfico N° 18: Análisis de SV a cada uno de los ensayos a 32°C. ..... 95

Gráfico N° 19: Análisis de SST (mg/L) a cada uno de los ensayos a 18°C. ..... 97

Gráfico N° 20: Análisis de SST a cada uno de los ensayos a 25°C. ..... 97

Gráfico N° 21: Análisis de SST a cada uno de los ensayos a 32°C. ..... 98

Gráfico N° 22: Análisis de Sedimento acumulado cada uno de los ensayos. ... 99

Gráfico N° 23: Sedimento acumulado. ..... 116
Gráfico N° 24: Remoción de DQO. ..... 163
Gráfico N° 25: Remoción de PT. ..... 163
Gráfico N° 26: Remoción de NT ..... 164
Gráfico N° 27: Remoción de SST. ..... 164
Gráfico N° 28: Remoción de SV ..... 165
Gráfico N° 29: Remoción de sulfatos. ..... 165
Gráfico N° 30: Sedimento acumulado. ..... 166

# CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES.

## 1.1. Antecedentes de la empresa Agrícola AASA Ltda.

### 1.1.1. Descripción general.

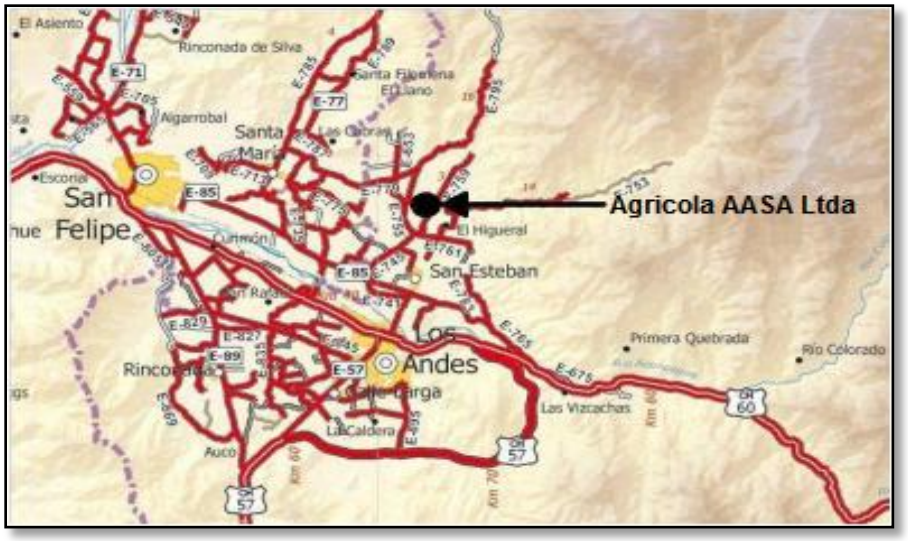
Agrícola AASA Ltda. es una empresa dedicada a la cría de ganado porcino, esta incluye reproducción, cría, engorda y genética procesos en los que cuida temas tan variados como la sanidad, alimentación, manejo animal, bioseguridad y cuidado ambiental. La empresa posee planteles productivos en las regiones del Libertador Bernardo O'Higgins, Metropolitana y de Valparaíso. En esta última región, la empresa cuenta con el plantel Aguas Claras, donde se desarrolló la investigación.

El Plantel Aguas claras se emplaza en la Provincia de Los Andes, Comuna de San Esteban, en el área norte de esta provincia, y es contigua a las comunas de Putaendo, San Felipe, Santa María, Calle Larga, y Los Andes, queda a un costado norte-occidental de la misma, 11 km al norte de Los Andes y 15 km al este de San Felipe.

**Coordenadas geográficas:** Latitud: 32° 46' 26,79'' S.
Longitud: 70° 34' 25,64'' W.
Uso: 19 Sur.

La empresa está dedicada a proveer al mercado nacional e internacional con productos de cerdos de alta calidad, destinado a satisfacer las necesidades de alimentación.

**Figura N° 1:** Localización geográfica del plantel Aguas Claras.




Fuente: Agrícola AASA Ltda., Declaración de Impacto Ambiental, Proyecto MDL, Modificación Planta de Tratamiento de Purines, Plantel Aguas Clara, Octubre de 2011

### 1.1.2. Descripción del plantel Aguas Claras.

El plantel de Aguas Claras, cuenta con pabellones de gestación, maternidad, recría y crianza de cerdos, abarcando una superficie de 1,22 hectáreas.

**Tabla N° 1:** Dimensión de los planteles.

| Gestación | | Maternidad | | Recría | | Crianza | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N° | Tamaño ($m^2$) | N° | Tamaño ($m^2$) | N° | Tamaño ($m^2$) | N° | Tamaño ($m^2$) |
| 4 | 4.085 | 12 | 2.587 | 9 | 2.220 | 7 | 3.270 |

Fuente: Agrícola AASA, Plan de Aplicación de Purines (PAP), Santiago, Agosto de 2011.

**Figura N° 2:** Distribución de pabellones del plantel Aguas Claras.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 2:** Número de pabellones.

| Estado de desarrollo cerdos | Numero Pabellones | Número de animales | | | Peso (Kg) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Hembras | Lechones | Cerdos | Mínimo | Máximo |
| **Gestación** | 4 | 1900 | - | 50 | 45* | 250 |
| | | 450 | - | - | 200 | 250 |
| **Maternidad** | 12 | - | 4200 | - | 1,4 | 6 |
| **Recría** | 9 | - | 6000 | - | 6 | 25 |
| **Crianza** | 7 | - | - | 5791 | 25 | 45 |

Fuente: Agrícola AASA, Plan de Aplicación de Purines (PAP), Santiago, Agosto de 2011.

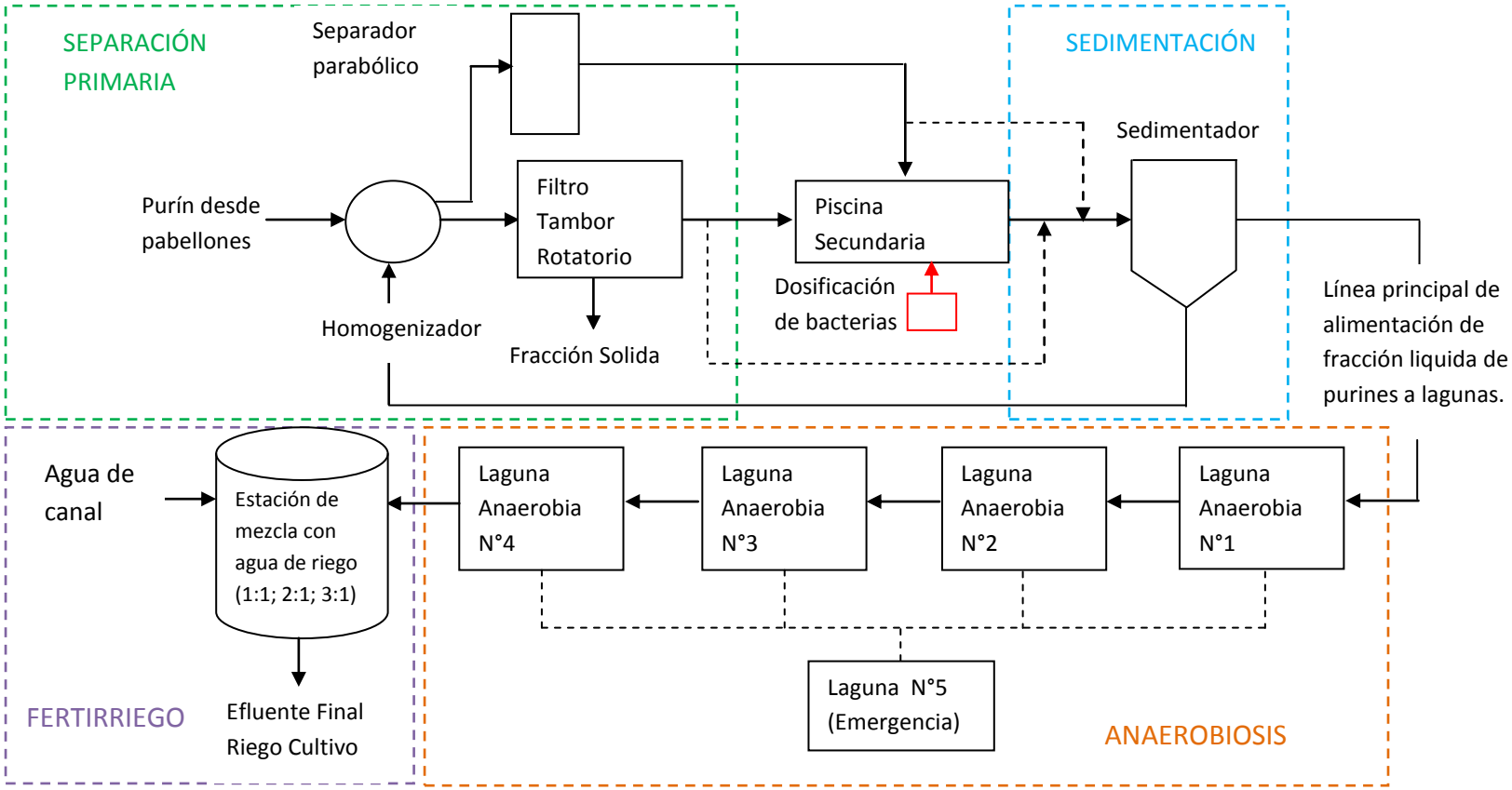
*Hembras en formación para remplazo reproductivo.

- Tamaño (superficie) de pabellones.

El plantel de Aguas Claras maneja sus purines (160 a 250 $m^3$/día), a través de un sistema de tratamiento, cuyas principales operaciones unitarias son la **separación primaria** (filtro rotatorio) donde se realiza la remoción de los sólidos gruesos que contiene el purín, la **sedimentación** corresponde a la operación mediante la cual las partículas más gruesas son depositadas por gravedad en el fondo del sedimentador cónico, **anaerobiosis** (lagunas descubiertas) es en donde se retiene el purín durante un tiempo determinado para que ocurra el proceso de digestión anaerobia incorporando un producto bacteriano para acelerar dicho proceso y el **fertirriego** que consiste en la aplicación de las aguas tratadas a los cultivos.

### 1.1.3. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de purines.

**Figura N° 3:** Sistema de Tratamientos actual de Purines.



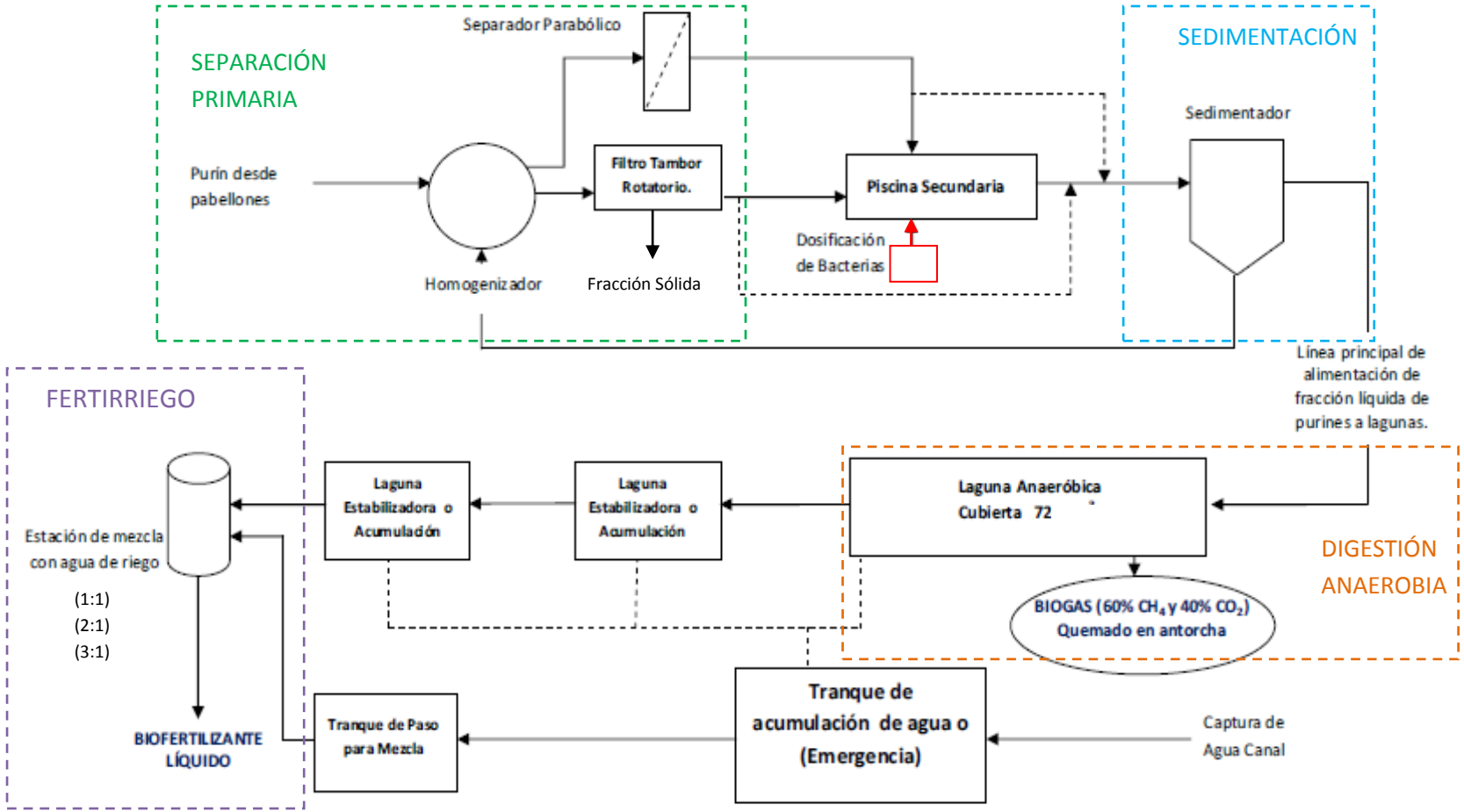

Fuente: Agrícola AASA Ltda., Declaración de Impacto Ambiental, Proyecto MDL, Modificación Planta de Tratamiento de Purines, Plantel Aguas Clara, Octubre de 2011.

El plantel porcino de Aguas Claras se encuentra desde el año 2010 mejorando el sistema de tratamiento, por éste motivo llevará a cabo el **"Proyecto MDL; Modificación Planta de Tratamiento de Purines, Plantel Aguas Claras"**, (aprobado por el Servicio de Evaluación Ambiental de la V región) que se basa en la futura innovación mediante la modificación del sistema de tratamiento de los purines, que se caracterizará por atrapar y eliminar el biogás (metano) producido por la concentración y degradación anaerobia de estos residuos y posibilitará un proceso productivo más limpio y ambientalmente inofensivo.[2] El proyecto contempla modificación de las lagunas transformando dos de ellas en un biodigestor (laguna anaerobia cubierta) y las dos restantes permanecerán siendo lagunas de estabilización. Esto permitirá entregar un efluente de mayor calidad, disminuir significativamente la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y olores molestos, además de minimizar la atracción de vectores de interés sanitario.

En el proyecto se contempla la adición de un producto bacteriano para aumentar la eficiencia del sistema de tratamiento, con el fin de reducir la carga de materia orgánica del efluente. Con esto se consigue aumentar las colonias de bacterias del purín, ejecutando en un menor tiempo las reacciones, para acelerar el proceso de fermentación anaerobia que originará una disminución de los parámetros y un aumento de la producción de biogás.

[2] Agrícola AASA Ltda., Declaración de Impacto Ambiental, Proyecto MDL, Modificación Planta de Tratamiento de Purines, Plantel Aguas Clara, Octubre de 2011.

**Figura N° 4:** Futuro sistema de Tratamientos de Purines.




Fuente: Fuente: Agrícola AASA Ltda., DIA, Proyecto MDL, Modificación Planta de Tratamiento de Purines, Plantel Aguas Clara, Octubre de 2011.

### 1.1.4. Producción, composición y caracterización de los purines.

Los purines están compuestos por las excretas de los cerdos, que son el conjunto de orina y heces que produce el animal. La orina representa aproximadamente el 45% y las heces el 55% del contenido volumétrico total de las excretas, su humedad es cercana al 90% y el contenido de materia seca es próximo al 10%. La densidad de la excreta fresca es ligeramente mayor a 1 kg/l siendo así, un fluido de peso comparable al agua. Los purines también poseen una porción líquida que corresponde al agua de lavado de los corrales y las estancias donde permanecen los cerdos. La relación excreta - agua de lavado varía entre 1:6 y 1:18 litros de agua por litro de excreta[3], esto se puede obtener en base al gasto medio mensual o bien establecer la proporción de forma estimativa.

Las excretas por su parte están compuestas por sólidos que flotan, sólidos que sedimentan y sólidos en suspensión. Su pH varía entre 6 y 8, tendiendo a la neutralidad en la medida que sean más frescas. La alcalinidad y conductividad son propiedades más propias del agua de lavado y de bebida de los cerdos, que de las excretas.

Los purines tienen mayores porcentajes de potasio (K) y nitrógeno (N) y en menor proporción se encuentra el calcio (Ca), fósforo (P) y magnesio (Mg), no obstante su composición es muy variable, ya que depende de muchos factores, como la clase y edad del animal, el tipo, cantidad de alimento consumido, el volumen de agua y otros.

[3] INIA, "Manual de Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina", Instituto de investigación agropecuaria Editorial José María Peralta Alba, Chile 2005.

Los principales parámetros que definen al purín son la demanda química de oxígeno (DQO), P, N, K. Por lo tanto, cuando el purín se utiliza como fertilizante, es necesario conocer previamente, el contenido de nutrientes para realizar una correcta fertilización según las necesidades de cada cultivo.

El purín cuando es vertido al suelo de forma controlada, aporta valiosos nutrientes (N, P, K) a las plantas, que favorecen el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Una fracción de los nutrientes es asimilable inmediatamente por ellas como los nitritos ($NO^-_3$) y ortofosfatos ($H_2PO^-_4$ o $HPO_4^{-2}$), y otra se descompone para llegar a una forma inorgánica ($NO_3$ y $NH_4$), la liberación de los nutrientes ocurre con mayor rapidez cuando el suelo proporciona condiciones de calor y humedad adecuadas para la descomposición microbiana.

### 1.1.5. Gestión medio ambiental de purines.

La Asociación Gremial de Productores de Cerdos (ASPROCER) reúne al 90% de la producción nacional, teniendo como uno de sus principales objetivos promover el desarrollo sustentable de la actividad, a través del los APL, convenio celebrado entre la industria y la administración pública, que persiguen lograr objetivos ambientales concretos.

En 1999 se firmó el APL productores de cerdos I, el cual contempló, dentro de sus actividades, elaborar y presentar al SAG para su aprobación, previa consulta a los Servicios de Salud competentes, un Plan de Manejo para cada plantel de cerdo firmante del APL. Este debía contener las acciones para

minimizar los efectos ambientales derivados del manejo y aplicación de purines, guano y la fracción líquida del purín, entre otros.[4]

Producto que los Planes de Manejo no alcanzaron niveles de desarrollo adecuados en su evaluación técnica, se decidió implementar políticas de mejoramiento continuo para el sector, efectuando un segundo APL, con el nombre "Implementación de buenas prácticas en el sector de producción porcino intensiva" en donde se crean los PAP como una mejor herramienta de gestión. Este contiene 31 acciones de cumplimiento obligatorio. Una de las que recibe la más alta ponderación es la elaboración e implementación de un PAP, que corresponde a las acciones 2.13 "Los productores deberán elaborar un documento denominado "Plan de Aplicación de Purines" (PAP), el que deberá ser desarrollado por un profesional registrado en ASPROCER y posteriormente presentado al SAG" [5] y 2.16 "Los productores deberán implementar el "Plan de Aplicación de Purines" para el manejo de purines, guanos, fracción líquida del purín, lodos y todos los procedimientos asociados" [6].

El PAP se basa en definir los procedimientos y planificar las actividades relacionadas con la aplicación de purines y sus derivados (guano, lodo, fracción líquida y efluentes tratados), con el objeto de reducir todos aquellos impactos o efectos propios de la actividad pecuaria porcina, sobre los recursos naturales renovables (suelo, agua superficial y subterránea, entre otras). Dentro de sus objetivos específicos se encuentran:

- Reducir la carga de nitrógeno aplicada a los suelos de un predio.

[4] Acuerdo de Producción Limpia, Implementación de buenas prácticas agropecuarias en el sector de producción porcino intensiva.
[5; 6; 7] Acuerdo de Producción Limpia, Implementación de Buenas Prácticas Agropecuarias en el Sector de Producción Porcino Intensiva.

- Identificar las características del predio que inciden directamente sobre el área de aplicación.
- Aumentar el nivel de conocimiento de la línea base sectorial respecto a las cargas de Nitrógeno aplicada a los suelos.[7]

El SAG es el encargado de desarrollar la "Pauta para Elaboración de los PAP", que sirve para preparar los contenidos técnicos que deben contener los planes de cada empresa.

El Plantel de Aguas Claras cuenta con un PAP aprobado por medio de la resolución exenta N° 648 del 17 de marzo de 2010, del SAG. Región de Valparaíso.

Con la elaboración de la DIA, "Proyecto MDL, Modificación Planta de Tratamiento de Purines, Plantel Aguas Clara, Octubre de 2011" se aprobó otro PAP, con el objetivo de mejorar la situación ambiental del plantel, para generar cambios en el sistema de tratamiento que permitirán:

i. Reducir la generación de gases efecto invernadero mediante la captura y quema del biogás (metano).
ii. Eliminar o disminuir la generación de olores molestos.
iii. Mejorar la aplicación de las aguas tratadas, con el fin de aprovechar las cualidades fertilizantes.[8]

[8] Agrícola AASA, Plan de Aplicación de Purines (PAP), Santiago, Octubre de 2011.

## 1.2. Hipótesis de trabajo.

Como hipótesis de trabajo, se plantea que existe algún producto bacteriano en el mercado chileno que posee una mejor capacidad degradadora de materia orgánica y nutrientes, distinto al que actualmente se emplea en el Sistema de Tratamiento de Purines de Cerdo en el Plantel Aguas Claras de la Empresa Agrícola AASA Ltda.

## 1.3. Objetivos.

### 1.3.1. Objetivo general.

Realizar un estudio técnico - ambiental de la capacidad degradadora de materia orgánica y nutrientes, que poseen los productos bacterianos que se ofrecen en el mercado, para proporcionar información a la Empresa Agrícola AASA Ltda., que contribuya a la toma de decisiones y a la disminución de sus impactos ambientales en relación al futuro funcionamiento de su biodigestor.

### 1.3.2. Objetivos específicos.

- Investigar y conocer los productos bacterianos que se ofrecen en el mercado chileno para seleccionar los más convenientes según los requerimientos técnicos y ambientales de la empresa Agrícola AASA Ltda.
- Realizar un diseño de experimento que nos permita determinar la eficiencia degradativa de los productos bacterianos y las mejores condiciones de operación de éstos en un sistema de tratamiento anaerobio, a través de pruebas de laboratorios.
- Elaborar una matriz ambiental que nos permita determinar los distintos riesgos ambientales que se generan en el proceso de tratamiento, luego de aplicar el producto que actualmente utiliza la empresa Agrícola AASA Ltda. versus el producto que proporcione un rendimiento mayor.

# CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO.

## 2.1. Tratamiento aplicable a los purines.

### 2.1.1. Historia de la tecnología.

El proceso anaerobio sucede de forma espontánea en la naturaleza para degradar la materia orgánica (MO), generando gas. En 1776 el físico italiano Alessandron Volta identificó por primera vez el metano ($CH_4$) como el gas inflamable que emergía de los pantanos en forma de burbujas. Luego en 1804 Dalton estableció su composición química.

En 1808 Humphry Davy, químico inglés, generó gas metano en un laboratorio mediante estiércol de ganado. Este acontecimiento es considerado como el inicio de la investigación en biogás. Tarea que continuó, en parte, su alumno y luego célebre físico inglés Faraday, ejecutando algunos experimentos con el gas de los pantanos y el hidrocarburo identificado como parte de él.

A mediados del siglo XIX, en Francia se comenzó una investigación en profundidad, más sistemática y científica para comprender mejor el proceso de la fermentación anaerobia, con el objetivo de eliminar el mal olor emitido por los conjuntos de aguas residuales. Durante los experimentos, se descubrieron algunos de los microorganismos que hoy se conocen como esenciales para el proceso de fermentación.

En 1868, Béchamp comenzó a ejecutar experimentos con heces de conejo, logrando observar que la producción de metano es debida a la acción de microorganismos. Pasteur descubrió que a través de la temperatura se conseguía favorecer el desarrollo de los microorganismos más interesantes. Propoff, en 1875, descubrió que la generación de biogás sólo se producía en condiciones anaerobias. En 1884, Pasteur realizó una investigación sobre la

producción de biogás a partir de residuos animales, sugiriendo la utilización del biogás para la iluminación de las calles.

En la primera mitad siglo XX se ejecutaron muchas experiencias a escala de laboratorio y piloto, adquiriendo su principal importancia durante la segunda guerra mundial, ya que había una escasez de combustibles. Al término de la guerra la mayoría de las instalaciones dejaron de funcionar, ya que era asequible disponer de combustible fósil.

A comienzos de la década de los 60, en la India se impulsó la tecnología de producción de biogás a través del estiércol de bovino, para el aprovechamiento energético y la obtención de un biofertilizante. A inicios de la década del 70, China por medio de programas de ámbito social promueve la construcción de digestores. En cambio en los países industrializados el desarrollo de tecnologías de biodigestión se ha realizado más bien gracias a motivaciones medioambientales que puramente energéticas.

En 1973 producto de la crisis energética, y durante la década de los 80, la tecnología de digestión anaeróbica volvió a adquirir gran importancia como forma de recuperación energética en actividades agropecuarias y agroindustriales. Pero a finales de la década de los 80, producto de la disminución de los precios del petróleo el interés de esta volvió a disminuir. Sin embargo algunos países industrializados, como Dinamarca han desarrollado importantes programas de desarrollo de plantas anaeróbicas a escala industrial y doméstica.

En la actualidad esta tecnología es utilizada en todo el mundo, tanto por los países desarrollados como los países en vías de desarrollo, ya que contribuye a cumplir tres necesidades básicas:

i. Mejorar las condiciones sanitarias.
ii. Generación de energías renovables para actividades domésticas.
iii. Entregar material estabilizado como un biofertilizante para los cultivos.

El proceso anaerobio ocurre normalmente en la naturaleza siendo los nichos de estos procesos el fondo de los ríos, lagos y prácticamente en todos los animales en su sistema digestivo.

La tecnología anaerobia se emplea en la actualidad para el tratamiento de residuos sólidos y líquidos que poseen una elevada carga orgánica, es decir cuando la DQO es alta. Sin embargo en los últimos años se ha venido aplicando con éxito en aguas residuales con baja carga orgánica. Este tratamiento se puede desarrollar en tanques sépticos, sistemas naturales como lagunas y biodigestores.

### 2.1.2. Digestión anaerobia.

Consiste en una serie de procesos microbiológicos, físicos y químicos que tienen como fin disminuir la MO de un residuo.

En este proceso interaccionan diferentes bacterias específicas, que se caracterizan por la transformación de la MO a metano y dióxido de carbono, en ausencia de oxígeno. En la digestión anaerobia más del 90% de la energía

disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano.[9]

La reacción general del proceso anaerobio es la siguiente:

$$MO + H_2O \rightarrow CH_4 + CO_2 + \text{Biomasa nueva} + NH_3 + H_2S + \text{Calor} \quad \textbf{(1.)}$$

La intensidad y duración del proceso anaeróbico varían dependiendo de diversos factores, entre los que se destacan la temperatura y el pH del material biodegradado, puesto que influyen directamente en la actividad enzimática de los microorganismos.

Un aspecto ventajoso de este proceso es que la generación de lodos en exceso es mucho menor que en el proceso aerobio, por lo que también se reducen los costos de tratamiento de los lodos. Es por esto, que el tratamiento con digestión anaerobia se presenta como el método más ventajoso para tratar aguas residuales de mediana y alta carga orgánica.

[9] Antonia Elena Campos Pozuelo, "Optimización de la Digestión Anaerobia de Purines de Cerdo Mediante Codigestión con Residuos Orgánicos de la Industria Agroalimentaria", Universitat de Lleida Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl Laboratori d'Enginyeria Ambiental, Lleida, Julio de 2001.

**Tabla N° 3:** Ventajas del proceso de digestión anaerobia con relación a los factores que se indican.

| Factor | Ventajas de la Digestión Anaerobia |
|---|---|
| Variabilidad en la composición | Homogeneización de la composición, más intensa cuanto mayor es el tiempo de digestión. |
| Malos olores y compuestos orgánicos volátiles | Eliminación de ácidos grasos volátiles (AGV) y otros compuestos fácilmente degradables. La MO resultante es lentamente o difícilmente degradable; los purines digeridos no presentan olor desagradable y es un producto más estable. En procesos térmicos posteriores se evitan problemas por volatilización de compuestos orgánicos. La reducción o eliminación de AGV disminuye la fitotoxicidad a los cultivos por estos compuestos. |
| Reducción de MO y total. | Reducción de sólidos totales y volátiles. Reducción de MO degradable y mantenimiento de las concentraciones de nutrientes. |
| Distribución de partículas y de fracción soluble | Hidrólisis de partículas de pequeño tamaño y coloidales, y reducción de orgánicos solubles, con lo cual se facilita la separación entre fases solubles y en suspensión. |
| Alcalinidad | Disminución muy significativa de la relación de alcalinidad. Aporte de alcalinidad para favorecer un proceso posterior de nitrificación, total o parcial. A su vez, y debido a la reducción de MO, el consumo energético en este proceso será inferior al de la nitrificación de la fracción líquida de purines frescos. |
| Balance energético | Balance energético positivo y proceso productor neto de energía renovable. Contribuye a disminuir las necesidades externas de energía para procesos térmicos posteriores. Permite el tratamiento de mezclas con otros residuos para optimizar la producción energética (codigestión), y facilitar la gestión integral de residuos orgánicos en la zona de aplicación del plan (cogestión). |
| Emisiones de GIE. | El proceso contribuye a la disminución en la generación de GEI, si el metano producido sustituye a una fuente no renovable de energía. |

Fuente: X. Flotats, Perspectivas de futuros desarrollos e iniciativas en la gestión y tratamiento de purines de cerdo Barcelona, Revista técnica de medio ambiente, marzo-abril 2000. 37-47 p.

#### 2.1.2.1. Procesos microbiológicos de la digestión anaerobia.

La digestión anaerobia es un proceso que puede ser resumido en cuatro etapas. En estas participan bacterias hidrolíticas, bacterias fermentativas, bacterias acetogénicas y bacterias metanogénicas.[10] Las etapas son las siguientes: Hidrólisis, Acidogénesis, Acetogénesis y Metanogénesis.

- Etapa Hidrólisis.

En esta etapa los compuestos orgánicos son solubilizados por exoenzimas secretadas por bacterias hidrolíticas que actúan en el exterior celular por lo que se consideran exoenzimas. La hidrólisis es, por tanto, la conversión de los polímeros en sus respectivos monómeros.

- Etapa Acidogénica.

En esta etapa los compuestos orgánicos solubles que comprenden los productos de la hidrólisis son convertidos en ácidos orgánicos tales como acético propiónico y butírico, fundamentalmente.

- Etapa Acetogénica.

Se le conoce también como acidogénesis intermediaria, en la cual los productos correspondientes son convertidos en ácido acético, hidrógeno ($H_2$) y $CO_2$.

- Etapa Metanogénica.

En esta etapa metabólica el $CH_4$ es producido a partir del ácido acético o de mezclas de $H_2$ y $CO_2$, pudiendo formarse también a partir de otros sustratos

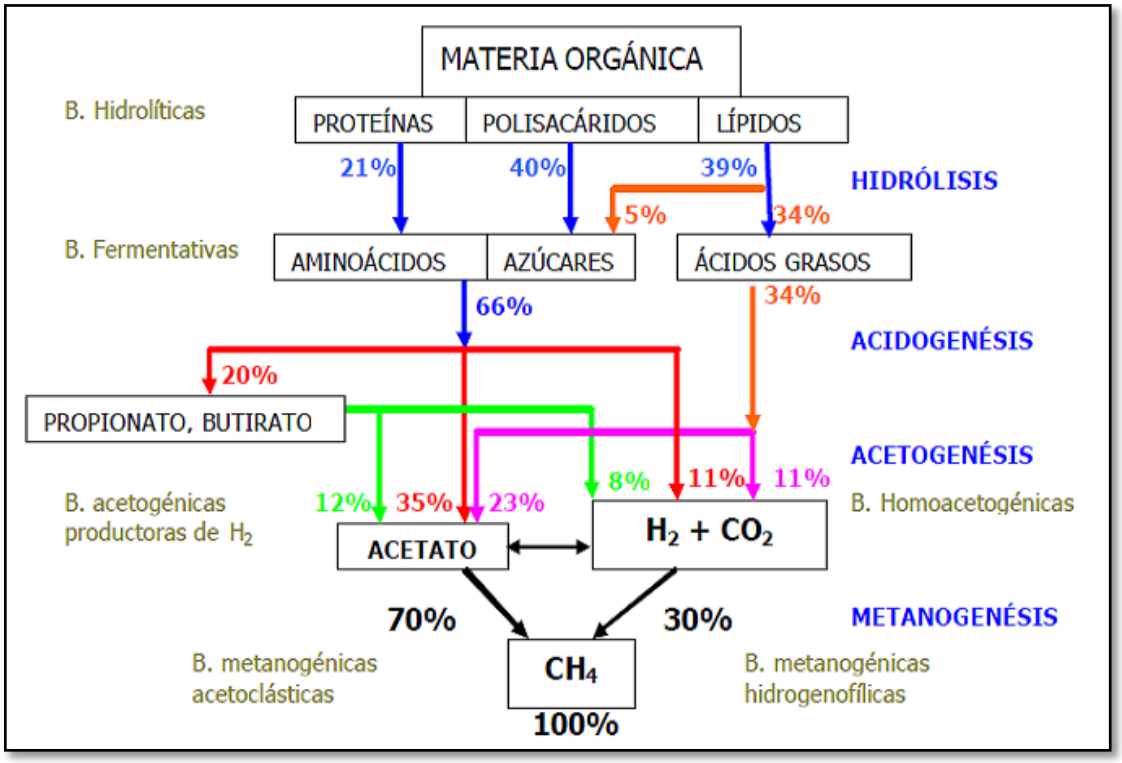
[10] Jenny Alexandra Rodríguez V, Ing. Sanitaria Msc. Profesora Asociada de la Universidad el Valle. Cali – Colombia, "Tratamiento anaerobio de aguas residuales".

tales como ácido fórmico y metanol. El rol de las bacterias metanogénicas se define por el tipo de sustrato disponible.

Es importante mencionar que las bacterias metanogénicas son anaerobias estrictas, por lo que la presencia de oxígeno puede inhibir su crecimiento. Estas son frágiles y de crecimiento lento, por lo que se debe mantener las condiciones ambientales, como temperatura y pH, además de reconocer y corregir condiciones inestables para mantener un adecuado proceso anaerobio.

Las cuatro etapas que ocurren en los procesos de digestión anaerobia son representadas según el diagrama siguiente:

**Figura N° 5:** Proceso de Digestión Anaerobia.




Fuente: Etapas de la Digestión Anaerobia (Madigan, 1997, van Haandel, 1994).

## 2.2. Sistemas de tratamiento anaerobio.

### 2.2.1. Lagunas anaerobias descubiertas.

Las lagunas anaerobias descubiertas son un tipo de tratamiento acuático, que corresponde a una técnica sencilla para el tratamiento de residuos líquidos con alta carga orgánica. Consiste en retener el efluente en estanques durante un periodo de tiempo suficiente como para provocar la degradación de la MO por medio de la actividad microbiológica. Su construcción es relativamente simple, ya que solo están involucradas las actividades de movimiento de tierra y el sellado.

Los efluentes de una laguna anaerobia pueden alcanzar una remoción de hasta un 70% de DQO[11], y aun así seguirá conteniendo altas cantidades de DQO para su disposición en cuerpos de agua.

Existen dos factores que afectan significativamente la descomposición anaerobia, que son la temperatura y el pH para que la digestión ocurra de la mejor forma, el pH debe ser cercano a 7, no existir oxígeno disuelto y la temperatura debe superar los 15 ºC.

En estas lagunas una parte de la MO se reduce a metano, sulfuro de hidrógeno, nitrógeno gaseoso, y otra parte se transforma en dióxido de carbono y nitrógeno mineral.

[11] INIA, "Manual de Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina", Instituto de investigación agropecuaria Editorial José María Peralta Alba, Chile 2005.

**Figura N° 6:** Imagen de las actuales lagunas anaerobias descubiertas.

Fuente: Agrícola AASA Ltda., Declaración de Impacto Ambiental, Proyecto MDL, Modificación Planta de Tratamiento de Purines, Plantel Aguas Clara, Octubre de 2011

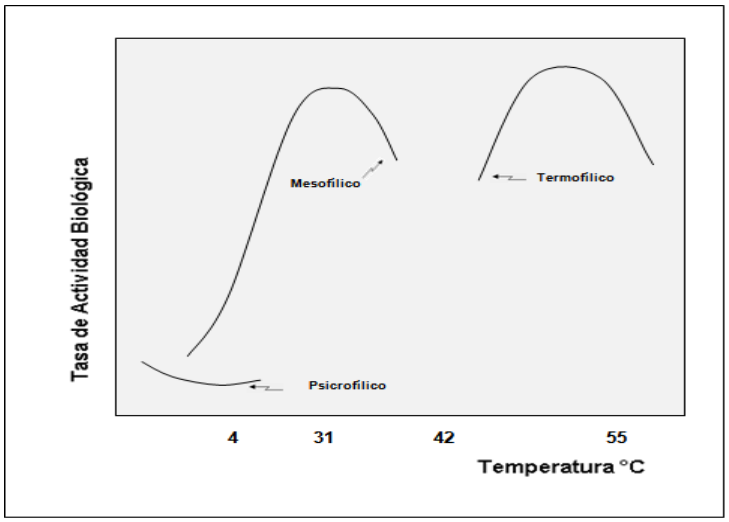
#### 2.2.1.1. Factores que influyen en el las lagunas anaerobias descubiertas.

- Temperatura.

La temperatura de operación de las lagunas es considerada uno de los principales factores de gran influencia, que incide de manera decisiva en el proceso anaerobio, ya que la velocidad de las reacciones de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento y actividad biológica de los microorganismos que participan en el proceso. Es decir la temperatura es proporcional a la velocidad de crecimiento, a medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión, dando lugar a mayor producción de biogás, por lo que variaciones violentas de temperatura pueden generar una desestabilización del proceso.

En general, se ha considerado que la tasa de crecimiento microbiano se duplica para un incremento de 10°C en temperatura, hasta una temperatura máxima de 35 °C a 38 °C.[12] El efecto de la temperatura sobre la actividad biológica se ilustra en la figura siguiente.

**Figura N° 7:** Efecto de la temperatura sobre la tasa de actividad biológica.




Fuente: Jairo Alberto Romero Rojas, "Tratamiento De Aguas Residuales Por Laguna de Estabilización", 3ª Edición 1999.

Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos: psicrófilico (de 0 a 10 °C), mesofílico (entre 10 y 40 °C) y termofílico (entre 40 y 70 °C), siendo la velocidad máxima específica de crecimiento mayor, conforme aumenta el rango de temperatura. Dentro de cada rango de temperatura, existe un intervalo para el cual dicho parámetro se hace máximo, estableciendo así la temperatura óptima en cada uno de los rangos posibles de operación.

[12] Jairo Alberto Romero Rojas, "Tratamiento De Aguas Residuales Por Laguna de Estabilización", 3ª Edición, 1999.

La temperatura tiene un efecto importante sobre la mezcla de agua de la laguna, ya que muchas veces se observa el fenómeno denominado termoclina, donde la temperatura cambia con el aumento de la profundidad o altura, producto de una capa dentro de un cuerpo de agua que separa una zona caliente superior de una zona inferior más fría.

La radiación solar es la fuente principal de calor de las lagunas, que se intercambia por medio de la evaporación, precipitación y los caudales afluentes y efluente. La radiación es la que genera un gradiente de temperatura con la profundidad, fenómeno que hace posible la descomposición de los sólidos sedimentados en el fondo de la laguna.

Las bacterias anaerobias responsables de la degradación del residuo requieren temperaturas ente 15 y 65 °C, para que el proceso sea lo más óptimo posible. Por tanto, las lagunas anaerobias en verano presentan una actividad muy superior, producto de la máxima intensidad lumínica y de temperatura, lo que puede comprobarse fácilmente observando la cantidad de burbujas que aparecen en superficie en las distintas épocas del año. Sin embargo la mayoría de las lagunas operan por debajo del intervalo óptimo de la actividad anaerobia. Si la temperatura no se encuentra dentro de los rangos óptimos, es necesario, aumentar el tiempo de retención hidráulico, de tal manera que logren desarrollarse las tres etapas que permiten la depuración eficiente de la MO.

- Tiempo de retención hidráulica (TRH).

El TRH indica el tiempo promedio que el sustrato (purín) permanecerá en la laguna o reactor cuando se tiene procesos de flujo continuo. Se puede definir como:

$$TRH = \frac{V_R}{\dot{V}} \quad \textbf{(2.)}$$

Donde:

$V_R$ = volumen del reactor o laguna.

$\dot{V}$ = volumen de sustrato alimentado por día.

Las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la MO. Si las lagunas operan con tiempos de retención muy pequeños, solo las fases hidrolíticas y acidogénicas tienen tiempo para desarrollarse, pero no la fase metanogénica, ya que es un proceso más lento y por lo tanto se producirán olores y una eliminación muy baja de la MO. Por otro lado, si la carga es baja y el tiempo de retención es alto, comenzarán a crecer algas en la superficie de la laguna, lo que dará origen a la producción de oxígeno, y por ende a la muerte de las bacterias metanogénicas y a la generación de olores molestos. Es por este motivo que se requiere tener un mantenimiento adecuado de las lagunas anaerobias para conservar el equilibrio del proceso y así lograr una depuración óptima.

El TRH está relacionado con la temperatura, a través de la velocidad de degradación, mientras mayor sea la temperatura, menor es el tiempo de retención necesario.

El TRH del purín en lagunas anaerobias fluctúa entre los 20 y 50 días, el cual puede extenderse si la laguna es de descarga discontinua. Sin embargo el tiempo varia con la temperatura media de cada región y con la variación diaria estacional como se muestra en la tabla siguiente.

**Tabla N° 4:** TRH de estiércol de ganado en distintas regiones.

| TRH. | Características |
|---|---|
| 30 - 40 días | Clima tropical planas. Ej. Indonesia y América Central. |
| 40 - 60 días | Regiones calidad con invierno fríos cortos. Ej. India, Filipinas, Etiopia. |
| 60 - 90 días | Clima temperado con inviernos fríos. Ej. China, Corea, Turquía. |

Fuente: Prof. María Teresa Varnero Moreno, Ministerio de Energía, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Global Environment Facility, "Manual del Biogás" Santiago de Chile 2011.

- pH.

El pH es otro parámetro que influye en la operación, puesto que la actividad realizada por las bacterias está relacionada con la digestión anaerobia. Pequeños cambios de pH que se encuentren fuera del rango óptimo afectan adversamente a este proceso. Sin embargo, la inhibición parece ser completamente reversible, aunque el tiempo de recuperación depende de la duración de la alteración. El pH normalmente se debe encontrar entre 6,2 – 7,8 bordeando la neutralidad para su correcto desarrollo. Los microorganismos metanogénicos son más susceptibles a las variaciones de pH que otros microorganismos anaerobios, ya que son sensibles a altos valores de acidez, por lo que su pH recomendable fluctúa entre 7,8 y 8,2. Sin embargo, las bacterias encargadas de las etapas de hidrólisis y acidogénesis presentan alta actividad en medios ácidos, con un pH óptimo entre 4,4 y 6,3[13], para lograr la solubilización de la MO, pero no la producción de metano. El pH recomendable

[13] Proyecto Energías Renovables No Convencionales (MINERGÍA/GIZ), Ministerio de Energía (MINENERGÍA), Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, "Guía de Planificación para Proyectos de Biogás en Chile", Santiago de Chile, junio 2012.

para cultivos mixtos se encuentra en el rango entre 6,8 y 7,4, siendo el pH neutro el ideal.[14]

En la siguiente tabla, aparecen los intervalos óptimos y extremos para la fermentación anaeróbica de la MO.

**Tabla N° 5:** Intervalos óptimos de temperatura y pH en las lagunas anaeróbicas.

| Variable | Óptimo | Extremo |
|---|---|---|
| **Temperatura** | 30 – 35 | 10 - 40 |
| **pH** | 6.8 – 7.4 | 6.2 – 7.8 |

Fuente: Yohana Elizabeth González Sepúlveda, Sebastián Osvaldo Sandoval Bastida, "Diseño de sistemas de tratamiento y aprovechamiento de purines de origen de bovino", Universidad Católica de Temuco, 2005.

Los factores que afectan la eficiencia de las lagunas anaerobias no son difíciles de operar siempre que se respeten los intervalos de carga o TRH fijados.

#### 2.2.1.2. Ventajas y desventajas del tratamiento de lagunas Anaerobias descubiertas.

Ventajas:

- Requieren superficies relativamente pequeñas y por eso son más económicas de implementar para un volumen de tratamiento determinado.
- Las profundidades de las lagunas generalmente alcanzan los 10 metros, lo que permiten almacenar grandes volúmenes de agua y lodo por largos

[14] Prof. María Teresa Varnero Moreno, Ministerio de Energía, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Global Environment Facility, "Manual del Biogás" Santiago de Chile 2011.

periodos de tiempo, lo que facilita la mantención de condiciones anaerobias en casi toda su superficie.

- Pueden descomponer más MO que las lagunas aeróbicas por unidad de tiempo.

Desventajas:

- Producción de olores molestos, generador por los cambios repentinos de temperatura y tasas de carga orgánica.
- El funcionamiento ocurre mejor durante el verano y en lugares sin inviernos frío, ya que las temperaturas altas aumentan la eficiencia del proceso de degradación.

### 2.2.2. Lagunas anaerobio cubiertas.

Estas lagunas corresponden a una modificación de las lagunas anaerobias, que se cubren e impermeabilizan con polietileno de alta densidad herméticamente cerrado, o bien se construye un tanque de concreto u otro material, en donde ocurre la digestión.

El purín ingresa directamente a la laguna anaerobia cubierta, permaneciendo por un período de 15 a 45 días, dependiendo del flujo y de la capacidad de la laguna, lo que produce la digestión anaerobia de la MO contenida en el purín.

La intención principal de cubrir las lagunas anaerobias fue prevenir los olores generados por algunas sustancias orgánicas volátiles, como los ácidos grasos volátiles, sin embargo actualmente están diseñadas para mejorar el tratamiento y recuperar el biogás generado. Este se captura en la cubierta de polietileno de alta densidad. Al aumentar la presión sobre la cubierta, el gas es transportado a un equipo de combustión donde es quemado para disminuir el potencial daño sobre la atmósfera.

La eficiencia de remoción de contaminantes depende de la temperatura de operación, siempre que funcionen con tiempos adecuados se lograrán eficiencias considerables.

**Figura N° 8:** Imagen de lagunas anaerobias cubiertas.

Fuente: Agrícola AASA Ltda., Declaración de Impacto Ambiental, Proyecto MDL, Modificación Planta de Tratamiento de Purines, Plantel Aguas Clara, Octubre de 2011

#### 2.2.2.1. Factores que influyen en el funcionamiento de las lagunas anaerobias cubiertas.

Los factores que influyen en la eficiencia degradadora de la MO y el normal funcionamiento de las lagunas cubiertas son el tiempo de residencia hidráulico, temperatura y el pH, al igual que en las lagunas descubiertas (ver punto 1.3.4.1.1). Sin embargo la agitación del purín es un factor que solamente influye en el funcionamiento de las lagunas anaerobias cubiertas.

- Agitación

El objetivo de la agitación en laguna anaerobia cubierta es poner en contacto el influente (purín fresco) con los microorganismos, y eliminar los metabolitos producidos por los microorganismos metanogénicos.

El proceso de agitación también facilita la salida de los gases generados permitiendo su recuperación, homogeniza el efluente, proporciona una densidad uniforme de población bacteriana, previene la formación de una costra superficial y de espumas en la superficie, elimina el fenómeno de termoclina manteniendo una temperatura uniforme en toda la laguna.

#### 2.2.2.2. Ventajas y desventajas del tratamiento en lagunas anaerobias cubiertas.

Ventajas:

- Minimización de la generación olores.
- La cubierta de polietileno capta la temperatura que irradia el sol, lo que aumenta la depuración de materia orgánica, en relación a las lagunas anaerobias descubiertas. Sin embargo para obtener un nivel de depuración óptima es necesario controlar la temperatura, por medio de intercambiadores de calor o con termo reactores.
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y recuperación de biogás, que puede ser utilizado para generar energía.
- Permite almacenar grandes volúmenes de afluente, sin acudir a otros sistemas posteriores de tratamiento o almacenaje.

Desventajas:

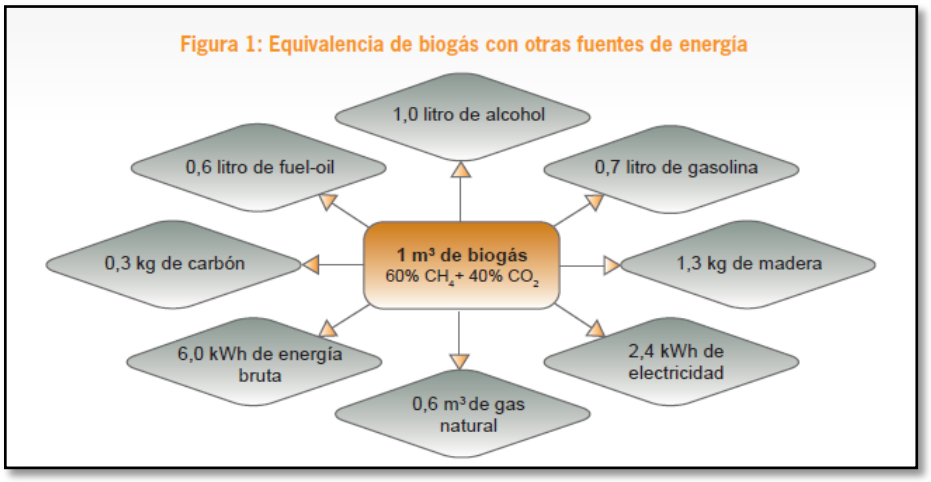
- La cubierta es una limitación para limpieza de las lagunas.
- No es posible apreciar el comportamiento al interior de la laguna.

### 2.2.3. Productos finales del sistema de tratamiento anaerobio.

- Biogás:

El biogás es una mezcla gaseosa, formada principalmente por $CH_4$, $CO_2$ y pequeñas proporciones de otros gases como $H_2S$, $H_2$, $NH_3$, otras impurezas tales como $O_2$, CO, $H_2O$, $N_2$, y compuestos orgánicos volátiles, como hidrocarburos halogenados, siloxanos, etc, Dependiendo de su uso final se hace necesario el retiro de los compuestos no deseados. Su composición depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Dependiendo de los contenidos de grasas, carbohidratos y proteínas de los distintos sustratos, la fracción de metano contenida en el biogás varía entre 50% y 75% en volumen total. El valor energético del biogás depende directamente del contenido de metano (18 y 27 MJ/$m^3$ ó 0,017 y 0,026 MMBTU/ $m^3$).[15]

**Figura N° 9:** Equivalencia del biogás con otras fuentes de energía.




Fuente: Proyecto Energías Renovables No Convencionales (MINERGÍA/GIZ), Ministerio de Energía (MINENERGÍA), Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH; Guía de Planificación para Proyectos de Biogás en Chile; Santiago de Chile, junio 2012.

[15] Proyecto Energías Renovables No Convencionales (MINERGÍA/GIZ), Ministerio de Energía (MINENERGÍA), Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, "Guía de Planificación para Proyectos de Biogás en Chile", Santiago de Chile, junio 2012.

- Efluente:

Es otro producto generado en este proceso, que consiste en la mezcla de efluente estabilizado y biomasa microbiana producida. Sus características dependen del tipo de tecnología y de las materias primas utilizadas en la digestión.

## 2.3. Diseño de experimento.

Definición: Un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen a cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida.[16]

El diseño experimental puede ser considerado como parte del proceso científico, ya que es una metodología basada en matemáticas y estadísticas que ayuda al investigador para seleccionar la estrategia más óptima con el objetivo de obtener la mayor cantidad de información y a la vez evaluar los resultados con la mayor fidelidad posible.

El diseño de experimentos nos entrega la posibilidad de aprender acerca del funcionamiento de los procesos que se dan a través de una serie de actividades, en las cuales elaboramos nuestra hipótesis de trabajo sobre el proceso en estudio, realizamos los experimentos correspondientes para generar datos que servirán de información para establecer nuevas suposiciones, con el fin de validar la hipótesis planteada.

Las variables de un experimento corresponden a las características de un objeto que puede ser observado y que puede tomar distintos valores, tanto del

[16] Douglas C. Montgomery, Diseño y Análisis de Experimento, Grupo Editorial Iberoamericana,

mismo objeto como de otros. Dentro de un proceso se distinguen los siguientes tipos de variables:

**Variables independientes:** Es la variable que se puede manipular para estudiar los efectos sobre la variable dependiente, es decir, es el factor que se supone que influye sobre la característica que deseamos medir.

**Variables dependientes:** corresponde la variable en estudio, aquella cuyos cambios se desean estudiar.

Existen muchos experimentos que se llevan a cabo para estudiar los efectos producidos por uno, dos o más factores, ocupando diseños de experimentos como el diseño factorial, diseño por bloque alertorizados, diseño por bloques completos e incompletos, diseño jerárquicos o anidados, análisis de regresión, análisis de covarianza.

Diseño factorial: son aquellos en los que se prueban varios niveles de dos o más factores. El número de tratamiento es el resultado de combinar los diferentes niveles de los factores. Un factor es un ingrediente que interviene en un tratamiento, mientras que el nivel es cada una de las categorías, valores o formas específicas de cada factor. El tratamiento corresponde a un conjunto de condiciones experimentales que serán impuestas a una unidad experimental en un diseño elegido. La unidad experimental es la parte más pequeña de material experimental expuesta al tratamiento, independientemente de otras unidades.

Los diseños factoriales son muy útiles en todos los campos de la investigación exploratorias en las que poco se sabe acerca de muchos factores, y muy frecuentemente empleados en investigaciones comparativas.

A continuación se detallan algunos proyectos de investigación que han empleado el diseño factorial.

**Título:** Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria; Tesis Doctoral, Universitat de Lleida, Julio 2010.

**Autor:** Antonia Elena Campos Pozuelo.

**Descripción:** El estudio se realizó a través de una seria de ensayos de viabilidad en discontinuo con el objeto de estudiar la mejora de la producción de biogás a partir de purines de cerdo mediante la codigestión de purines con otros residuos. El análisis estadístico se realizó para cada experimento por separado, considerando un diseño de tipo factorial doble, siendo los efectos principales la temperatura y el tratamiento (% de dilución o % de cosubstrato) y para algunos parámetros factorial triple, al comparar también concentraciones iniciales y finales. Se realizó el análisis de la varianza mediante el paquete estadístico SAS.

**Título:** Características nutritivas de los hollejos húmedos de naranja (Citrus sinensis cv. Valencia) mantenidos en estibas.

**Autores:** Jorge Martínez Melo, Bertha Chongo García, Humberto Jordán Vázquez, Norberto Hernández Sosa, Dayamí Fontes Marrero, Yohanka Lezcano Más, Nieves Cubillas Lañez.

**Descripción:** Se estudiaron las características nutritivas de las cáscaras de naranja al salir de la industria citrícola y las características nutritivas del mismo residuo mantenido en estibas por doce días. Para el análisis de los resultados se utilizó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial 3x6 para las variables pH, temperatura y materia seca, y un 3x2 para la proteína cruda, calcio, fósforo y cenizas, donde los factores fueron la profundidad (5-15, 15- 30 y >30 cm) y los días de muestreo (1, 4, 6, 8, 10 y 12). Los resultados fueron

procesados por el software estadístico Infostat y se realizó un análisis para las diferencias entre medias con una prueba de rango múltiple.

De acuerdo a las investigaciones revisadas se optó por un diseño factorial, por la gran cantidad de información que se puede obtener con una menor cantidad de unidades experimentales, lo cual disminuye los costos económicos y además por que el número de grados de libertad para el error experimental de este tipo de experimentos es alto, comparándolo con los grados de libertad de los experimentos simples de los mismos factores, lo que contribuye a disminuir la varianza del error experimental, aumentando por este motivo la precisión del experimento.

## 2.4. Impactos medio ambientales de los purines.

Los principales impactos medio ambientales ligados a la explotación porcina son originados por los purines, ya que representan el mayor problema de las instalaciones, principalmente porque su generación es en altas cantidades, lo que implica la necesidad de poseer instalaciones extensas para su almacenamiento y tratamiento. Si no son manejados adecuadamente puede constituir un riesgo potencial a la matriz ambiental (suelo, agua, aire) y ocasionar malos olores y presencia de vectores.

El Impacto ambiental se define como la alteración del medio ambiente, provocado directamente o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada.[17]

### 2.4.1. Impactos ambientales en la atmósfera.

Cuando el tratamiento de los purines se realiza en lagunas descubiertas, uno de los impactos más serios es la generación de olores indeseados para las

[17] Ley 19.300 de Base Generales de Medio Ambiente, 1994.

poblaciones cercanas. Por lo general la mayoría de las instalaciones porcinas fueron construidas lejos de viviendas y centros urbanos, pero con el paso de los años, los malos manejos en políticas de ordenamiento territorial y el avance urbanístico han acortado las distancias, generando un problema latente para todas las industrias porcinas.

Otro impacto que presentan los purines, está asociado al cambio climático provocado por el calentamiento global del planeta, ya que las lagunas donde se tratan los purines generan una alta cantidad de metano ($CH_4$), dióxido de carbono y amoniaco, principales gases causantes del efecto invernadero. Junto con estos tres gases se origina sulfuro de hidrógeno ($H_2S$) que si bien no tiene mayor importancia a nivel atmosférico, genera problemas de toxicidad si se forma en lugares confinados.

### 2.4.2. Impactos ambientales en el suelo.

Los suelos también se ven afectados por los purines, ya que existen regulaciones legales que permiten la utilización de éstos como biofertilizante. El uso de este fertilizante podría convertirse en contaminación si se hace un aporte excesivo de nutrientes, esto podría causar un desequilibrio en la composición de los suelos, particularmente en nitrógeno amoniacal, fosfatos, potasio, cobre y zinc, además, pueden originar contaminación con agentes patógenos (bacterias, hongos, coccidios, helmintos, etc). Por su parte el nitrógeno amoniacal en exceso favorece la pérdida de materia orgánica de los suelos y origina variaciones importantes de pH, los fosfatos presentan escasa movilidad pudiendo permanecer largo tiempo en los campos, provocando problemas de saturación. La elevada concentración mineral puede poner en peligro el cultivo de ciertas plantas. Los aniones, como el potasio, o los cationes, principalmente el cobre y el zinc, pueden acumularse en las plantas cultivadas en estos terrenos tornándose tóxicas para quien las ingiere. El cobre,

por ejemplo, es fitotóxico y al mismo tiempo estas plantas, con niveles altos de cobre, pueden originar intoxicación en el ganado ovino, el cual presenta una elevada sensibilidad al mismo.

### 2.4.3. Impactos ambientales en el agua.

Los purines poseen una gran cantidad de nutrientes inclusive después de su tratamiento, como la composición de fósforo, nitrógeno y carbono, que son los que representan una amenaza de eutrofización al realizar descargas a los cursos y cuerpos de agua superficiales, o por infiltración a cuerpos de agua subterráneos. La eutrofización es un proceso natural de envejecimiento del agua estancada o de corriente lenta, con exceso de nutrientes y que acumula en el fondo material vegetal en descomposición[18], esto provoca un aumento explosivo de organismos aerobios, dejando las aguas en condiciones anoxias, por el consumo excesivo de oxígeno, además aumenta la turbidez del agua por el exceso de microorganismos inhibiendo la entrada de luz para el buen desarrollo de los organismos fotosintéticos que la oxigenan.

Otro impacto que existe es la contaminación por nitrato amoniacal presente en los purines en forma de nitritos y de nitratos que pueden pasar a las aguas fluviales o subterráneas donde son reducidos a nitritos. Los nitritos son sustancias nocivas para los animales y para el hombre. Son cancerígenos y pueden bloquear la hemoglobina sanguínea dificultando la oxigenación de los tejidos[19]. Por otro lado la alta concentración de microorganismos patógenos puede dar lugar a la contaminación de las aguas potables por escorrentía superficial o por infiltración de purines. Estas aguas pueden ser perjudiciales

[18]Montalvo Martínez Silvio Jacinto, Cortés Nodarse Isel Gertrudis; "Aguas: Calidad y Contaminación. Un enfoque químico ambiental"; Editorial Valdivia, Pamela, Año 2010.
[19] Evaluación de impacto ambiental en las explotaciones porcinas y propuesta de medidas correctoras, Veterinaria.txt, Animal Science Editions 2008.

para el hombre en caso de ingestión o pueden contaminar productos destinados al consumo humano, como verduras y hortalizas que crecen a ras de piso.

### 2.4.4. Otros tipos de impactos ambientales.

Otro tipo de impacto es la proliferación de vectores (moscas, mosquitos y roedores), los cuales además de causar molestias, son causantes de la transmisión de enfermedades, por la diseminación de microorganismos patógenos presentes en los purines, suelo y agua.

En el caso de la disposición de los purines en lagunas descubiertas, la costra generada en la parte superficial de éstas provee un sustrato ideal para la proliferación de moscas, provocando un incremento en la población, lo que genera grandes molestias a las comunidades aledañas.

## 2.5. Herramientas para la evaluación e identificación de los impactos ambientales.

La identificación de impacto ambiental consiste en definir en forma cualitativa cuáles serán los impactos generados por un aspecto ambiental. Esta indica cuáles impactos se producirán, y luego, se asigna una característica cualitativa a dichos impactos.

La evaluación ambiental nace como una herramienta de protección ambiental que, apoyada por la institucionalidad acorde a las necesidades de los distintos países, fortalece la toma de decisiones a nivel de políticas, planes, programas y proyectos, incorporando nuevas variables para considerar en el desarrollo de los proyectos de inversión. La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) surge además como una herramienta preventiva, buscando la forma de

evitar o minimizar los efectos ambientales producto de cualquier actividad humana, sobre el medio natural y sobre las personas.[20]

La herramienta de evaluación de impacto ambiental actualmente es considerada como un proceso de análisis que se anticipa a los impactos ambientales, tanto negativos como positivos generados por una actividad. Esta acción nos entrega información para la toma de decisiones que permite elegir alternativas para prevenir, reducir, mitigar posibles efectos o atenuar los que son inevitables, además de potenciar aquellos que son beneficiosos, por medio de la identificación, medición, interpretación de los impactos.

Existen numerosos modelos y procedimientos cuantitativos y cualitativos para identificar y evaluar los impactos ambientales sobre el medio ambiente o alguno de sus factores.

La clasificación de los métodos más usuales se presenta a continuación.

**Tabla N° 6:** Clasificación general de las metodologías de EIA, según Garmendia.

| **Métodos** | **Descripción** | **Aplicaciones metodológicas** |
|---|---|---|
| Métodos de identificación de alternativas | Los métodos de identificación de alternativas se han utilizado especialmente para localizar las áreas más adecuadas para desarrollar un proyecto | Superposición de transparencias<br>Metodología de Mc Harg<br>Sistemas de Información geográfica. |
| Métodos para ponderar factores | Métodos de consulta expertos para ponderar factores ambientales como paso previo al proceso de valoración de los impactos | Metodología Delphi. |

[20] Carmen Luz De la Maza "En MANEJO Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS FORESTALES, 8.4 Evaluación de Impactos Ambientales" 2007- Editorial Universitaria pp. 579-609

| | | |
|---|---|---|
| Métodos para identificar impactos | Métodos a través de los cuales se pueden identificar los impactos directos, secundarios y/o terciarios de un proyecto | Listas de revisión.<br>Cuestionarios del Banco Mundial<br>Diagramas de Redes<br>Metodología de Sorensen.<br>Matriz de interacción entre factores. |
| Métodos de evaluación de impactos | Son útiles para poner un valor a cada impacto y al impacto total de un proyecto | Matriz de Leopold<br>Metodología de Batelle-Columbus<br>Metodología de Galletta.<br>Análisis energético Mc Allister<br>Guías metodológicas del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo de España.<br>Evaluación cualitativa |

Fuente: Renson Jesús Martinez Prada, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Economicas Instituto de Estudios Ambientales, Maestria en Medio Ambiente y Desarrollo, Propuesta Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental en Colombia, Bogota 2010.

## 2.6. Legislación aplicable.

En Chile no existen normativas específicas para tratar los purines, no obstante, si las empresas generan un mal uso, por su acumulación y disposición, pueden generar daños a los suelos o los cursos de aguas superficiales y subterráneo, afectando a la agricultura, la salud de las personas, entre otras, con lo cual se infringen algunas normas de la legislación chilena. Esto incentiva indirectamente a que las empresas agropecuarias inviertan e implementen algún sistema de tratamiento, para cumplir con la normativa vigente (ver anexo E), ya que muchas de ellas establecen la norma de emisión de contaminaste de cuerpos de agua, colocando limites máximos permitidos para la descarga de sus residuos líquidos, otras establecen los requisitos de calidad de agua para diferentes usos, entre otras.

# CAPÍTULO III: MÉTODOS Y MATERIALES.

## 3.1. Búsqueda y selección de los productos bacterianos empleados en el tratamiento de lagunas anaerobias.

I. Búsqueda de los productos bacterianos.

Se realizó una búsqueda exhaustiva de las distintas empresas que comercializan productos bacterias para el tratamiento de purines, abarcando el mercado nacional, ya que es más accesible el contacto y la compra de ellos, con el fin de optimizar el tiempo.

El mercado chileno ofrece una amplia gama de productos bacterianos, tanto anaerobios, aerobios y facultativos que sirven para el tratamiento de purines en lagunas. Muchos de esto contienen microorganismos que requieren de un adecuado ambiente para sobrevivir y así poder operar como descomponedores o degradadores de residuos. Algunos han sido diseñados para reconstruir, complementar y activar la población microbiana presente en el afluente a tratar. Sin embargo otros son aditivos biológicos que se suministran en el alimento del cerdo, con el objetivo de mejorar la digestión de este. Cada uno posee características específicas para el problema que se desea atacar. Sin embargo la mayoría posee atributos como la biodegradación de materia orgánica, disminución de olores molestos y sedimentos, entre otros.

II. Selección de los productos bacterianos.

En el proceso de selección se analizaron los productos bacterianos, escogiendo las alternativas más atractivas para el tratamiento que realiza Agrícola AASA Ltda, basado en los siguientes criterios:

- Requerimientos técnicos y ambientales de la empresa.
- Características y ventajas del producto.

- Petición expresa de la empresa.
- No ser patógeno para el hombre y animales o plantas.
- Degradar rápidamente la materia orgánica.

A continuación se presentan los distintos productos bacterianos seleccionados que se emplearon para analizar su capacidad degradadora.

- Empresa Indurres, Producto BEC-201.

Descripción**:** Es una fórmula en polvo altamente concentrada en bacterias, especializa para degradar cualquier tipo de residuo. Es una mezcla especialmente formulada con microorganismos, micro y macro nutrientes y tenso activos/penetrantes desarrollados para ser usados en procesos de bioaumentación. Esta diversidad de microorganismos no patógenos que posee esta formulación, es excelente para el tratamiento de aguas residuales con diversos problemas de residuos[21].

Precio: el precio comercial del producto es $ 48.000/kg + IVA.

El producto es de fácil uso, no necesita equipamiento especial, reduce la mano de obra, reduce los sulfatos de hidrógeno y degrada varios complejos orgánicos.

Como la empresa actualmente emplea BEC-201 para el tratamiento de los purines, se decidió seleccionar este producto para analizar su capacidad degradadora.

[21] Ficha técnica, descripción general BEC 201.

- Empresa Oikos, Producto OikosVersal.

Descripción: Es un producto microbiológico fabricado en los Estados Unidos usando una tecnología desarrollada originalmente por un prestigioso centro de investigaciones del Japón.

OikoVersal contiene una mezcla balanceada de bacterias acidolícticas, bacterias fototrópicas, hongos, levaduras y actinomicetos en un medio líquido con un pH no mayor de 3,8 para obtener el conjunto de beneficios que cada uno aporta. Los microorganismos de OikoVersal se desarrollan de manera sinérgica y complementaria.[22]

Precio: tiene un valor de US$ 6,94/l +IVA.

El producto fue seleccionado porque está siendo utilizado por la empresa para eliminar los olores del tratamiento de los purines en las lagunas anaerobias, ya que ofrece ventajas como la reducción de moscas y mosquitos en los alrededores de camas y estiércoles, reducción drástica de los gases tóxicos, incluyendo $H_2S$, amoníaco, mercaptanos, etc, reducción drástica los niveles de bacterias, levaduras y protozoos patógenos, reducción de la corrosión de partes metálicas en la cercanía, como válvulas, bombas, etc, reducción drástica los mohos tóxicos implicados en los síndromes de moho tóxico y la eliminación de la necesidad de emplear sustancias tóxicas como oxidantes fuertes y agentes para enmascarar olores.

[22] Ficha técnica, descripción OIKOS VESAL.

- Empresa Biomax, Producto BCP-80.

Descripción: Es un polvo de color café que contiene organismos biológicos que reducen o eliminan los malos olores de las lagunas.

Precio: tiene un valor de US$ 58,00/kg + IVA.

BCP-80 fue escogido por ser un producto especializado para el tratamiento del purines en lagunas, ya que induce y acelera a la digestión biológica de los desechos, asegurando una rápida puesta en marcha, reduce los costos de mantención y drenaje de pozo de heces fecales de los animales, disminuye los olores, además de partir los elementos sólidos y disminución del contenido orgánico.

- Empresa DSM, Producto Microsource®S Puro.

Descripción: Es un aditivo biológico que permite un ambiente de producción más saludable. Está compuesto por microorganismos esporulados (Bacillus subtilis y Bacilus licheniformes) seleccionados por su capacidad para mejorar la descomposición del estiércol de cerdo. Los microorganismos que componen MicroSource®S fueron seleccionados por su alta capacidad de producción enzimática.[23]

Precio: el precio del MicroSource "Puro" es de es de USD 30,00/kg + IVA.

Las ventajas de este producto es que mejora el digestivo de los sólidos del estiércol, facilita la limpieza y mano de obra, reduce los olores molestos y amoniaco, mejora el valor fertilizante del estiércol y permite optimizar el rendimiento del cerdo.

[23] Ficha técnica, descripción general MicroSource®S.

El producto fue seleccionado a petición de la empresa y de DSM, para realizar un estudio sobre aplicación de Microsource®S en el tratamiento en lagunas anaerobias, con el fin de conocer su eficiencia degradadora, ya que solamente es utilizado como un aditivo biológico para los cerdos.

- Empresa Natufeed, Producto Biowish.

Descripción: Es un consorcio catalítico de microorganismos, enzimas exo celulares, nutrientes y co-factores que aceleran las reacciones de ocurrencia natural en un sistema biológico para incrementar la capacidad de transformación de material orgánico en productos inorgánicos. Adicionalmente proporciona estabilidad operativa en el sistema y mejora el contenido de humedad en los barros sedimentados. Biowish también funciona como un eficaz agente de eliminación de olores. Gracias a su acción catalítica sobre los caminos metabólicos oxidativos de los olores generados (cómo resultado de las reacciones de reducción con intermediarios de azufre o amonio) serán sujetos a degradación por oxidación en las regiones con mayor oxígeno disuelto en solución.

Precio: El precio comercial de Biowish es de USD 85,00/kg + IVA.

Biowish ha sido seleccionado a petición de la empresa, por poseer características y ventajas adecuadas para el tratamiento, ya que se presenta como un producto que mejora los parámetros de vertido de los efluentes (disminuciones en DQO/DBO), disminución de los olores, mejora la estabilidad de los barros generados, incremento en la capacidad de tratamiento de la unidad evitando (o postergando) inversiones de capital para ampliaciones y mejora en la utilización energética al permitir trabajar con valores de oxigeno disuelto menores.

## 3.2. Diseño del experimento.

La metodología que se empleó para la selección del diseño de experimental corresponde a la comprensión y planteamiento del problema. Seguido de esto se seleccionaron los factores y niveles que influyeron en el experimento. Luego se escogieron las variables dependientes que proporcionan información útil del problema en estudio, y se obtuvo el diseño de experimento más apropiado en base a los objetivos definidos. Para finalizar se realizó el experimento y se aplicó el método estadístico para el análisis de los datos y así obtener las conclusiones y recomendaciones.

## 3.3. Determinación de condiciones iníciales del experimento.

La etapa del experimento se inicio en el mes de diciembre culminando en el mes de enero. Todos los ensayos fueron puestos en marcha bajo el mismo conjunto de condiciones iníciales, para que no se presenten resultados distintos.

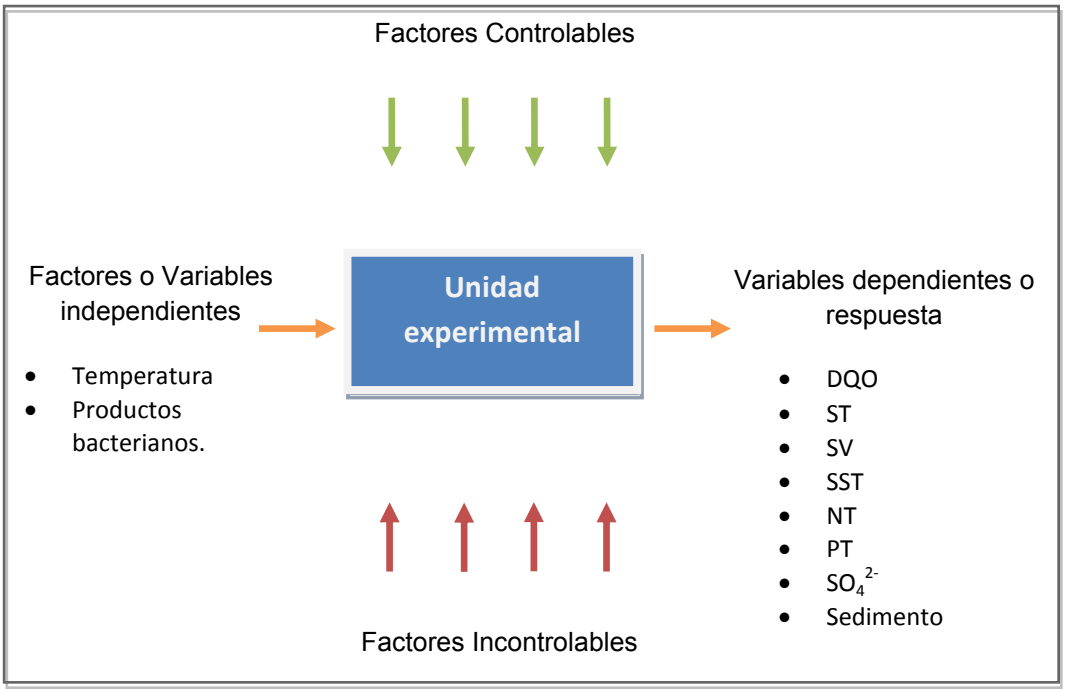
### **3.3.1.** Definición de variables que inciden en el proceso.

En el proceso se distinguen dos tipos de variables (ver figura N° 10):

- Variables independientes: corresponden a la temperatura de incubación y productos bacterianos. Estas se manipularon, para estudiar los efectos sobre la variable dependiente, es decir son los factores que se suponen que influyen sobre la característica que deseamos medir.

- Variables dependientes: son: Demanda Química de Oxígeno (DQO), sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), sólidos suspendidos totales (SST), Nitrógeno total (NT), Fósforo total (PT), Sulfatos ($SO_4^{2-}$) y sedimento acumulado. Estas fueron medidas en cada ensayo, para establecer si las variables independientes influyen sobre los valores.

**Figura N° 10:** Variables que inciden en el proceso.




**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.4. Elección de diseño estadístico.

El estudio corresponde a uno de tipo comparativo por observación, para el cual se realizó un diseño experimental basado en un arreglo factorial, donde se utilizan todas las combinaciones posibles de los valores seleccionados de las variables dependientes, con el fin de conocer las interacciones de variables independientes sobre las variables dependientes.

### 3.4.1. Tipo de diseño, factores y niveles a investigar.

Se ocupó un diseño factorial de dos factores de interés en nuestro experimento, los cuales son temperatura y producto bacteriano. Hay tres niveles del factor temperatura y seis niveles del factor producto bacteriano en el diseño factorial, esto es, cada experimento contiene todas las combinaciones de tratamiento.

Factor**:** Temperatura.

- 1° nivel: 18° C temperatura promedio de operación de la laguna anaerobia en estación de invierno.
- 2° nivel: 32 °C temperatura promedio de operación de la laguna anaerobia en estación de verano.
- 3° nivel: 25 °C temperatura promedio de las dos antes mencionada que corresponde.

Factor: Producto bacteriano.

- 1° Nivel: BEC 201
- 2° Nivel: OIKOS VERSAL
- 3° Nivel: BCP80
- 4° Nivel: MICROSOURCE
- 5° Nivel: BIOWISH
- 6° Nivel: BLANCO

### 3.4.2. Arreglo factorial del experimento.

El número de combinaciones posibles será el siguiente:

Nº combinaciones = 3 x 6 = 18

Las combinaciones de las unidades experimentales se representan en la siguiente tabla:

**Tabla N° 7:** Combinaciones de las unidades experimentales.

| Temperatura de incubación. | Producto bacteriano. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | BEC 201 ($B_1$) | OIKOS VERSAL (B2) | BCP80 (B3) | MICROSOURCE ($B_4$) | BIOWISH ($B_5$) | Blanco (B6) |
| 18 °C ($A_1$) | $A_1$ $B_1$ | $A_1$ $B_2$ | $A_1$ $B_3$ | $A_1$ $B_4$ | $A_1$ $B_5$ | $A_1$ $B_6$ |
| 25 °C ($A_2$) | $A_2$ $B_1$ | $A_2$ $B_2$ | $A_2$ $B_3$ | $A_2$ $B_4$ | $A_2$ $B_5$ | $A_2$ $B_6$ |
| 32 °C ($A_3$) | $A_3$ $B_1$ | $A_3$ $B_2$ | $A_3$ $B_3$ | $A_3$ $B_4$ | $A_3$ $B_5$ | $A_3$ $B_6$ |

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5. Análisis estadístico.

Para el análisis de varianza de un experimento factorial con sólo 2 factores y una sola réplica, ósea una observación por celda, el modelo estadístico lineal es:

$$yij = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij} \qquad \textbf{(3.)} \quad con : i = 1,2,\ldots,a \; ; \; j = 1,2,\ldots,b$$

Donde : $\mu$ es la media general; $\tau_i$ es el efecto del factor A; $\beta_j$ es el efecto del factor B; $(\tau\beta)_{ij}$ es el efecto de la interacción; $\varepsilon_{ij}$ es el residuo o error aleatorio (dentro).

Un examen de valor esperado de las medias de cuadrados muestra que la variancia del error $\sigma^2$ no se puede estimar; en otras palabras, el efecto de interacción de los dos factores $(\tau\beta)_{ij}$ = 0 y el error experimental no puede expresarse de forma clara. En consecuencia, no hay prueba para los efectos principales a menos que el efecto de interacción sea igual a cero.[24] El modelo para este caso es:

$$yij = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \qquad \textbf{(4.)} \quad con : i = 1,2,\ldots,a \; ; \; j = 1,2,\ldots,b$$

De acuerdo a esto el análisis de varianza nos permitirá determinar efectos principales de los factores del experimento. Las expresiones para los cálculos que se desarrollan en este procedimiento se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla N° 8:** Análisis de varianza para un modelo bifactorial con una observación por celda.

| Fuente de Variación | Suma de Cuadrados | Grados de Libertad | Cuadrado Medio | F |
|---|---|---|---|---|
| Factor A | $SCF=\sum_{i=1}^{a}\frac{(y_{i\bullet})^2}{b}-\frac{(y_{\bullet\bullet})^2}{a\cdot b}$ | gla=a-1 | $CMA=\frac{SCA}{gla}$ | $\frac{CMA}{CMD}$ |
| Factor B | $SCC=\sum_{j=1}^{b}\frac{(y_{\bullet j})^2}{a}-\frac{(y_{\bullet\bullet})^2}{a\cdot b}$ | glb=b-1 | $CMB=\frac{SCB}{glb}$ | $\frac{CMB}{CMD}$ |
| Dentro (Error Experimental) | SCD=SCT-SCA-SCB | gld=(a-1)(b-1) | $CMD=\frac{SCD}{gld}$ | |
| Total | $SCT=\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij}^2-\frac{(y_{\bullet\bullet})^2}{a\cdot b}$ | glt=a·b-1 | | |

Fuente: Julio Di Rienzo Fernando Casanoves Estadística para las Ciencias Agropecuarias, Sexta Edición, Edición Electrónica.

[24] Douglas C. Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 1991, México, pág. 194

Para detectar las interacciones entre los factores y sus niveles resulta útil crear gráficas de perfiles con cada combinación de factores para determinar efectos simples y principales. Los efectos principales se pueden apreciar si las gráficas son paralelas, y los efectos simples se detectan si las gráficas se interceptan.

- Efectos principales: son las comparaciones entre los niveles de un factor promediados para todos los niveles del otro factor. Tienen sentido cuando no hay interacción.
- Efectos simples: son las comparaciones entre niveles de un factor a un sólo nivel del otro. Deben aplicarse cuando hay interacción.

Las gráficas nos darán indicios de que existe interacción entre los factores pero no dejarán en evidencia si estos son significativos.

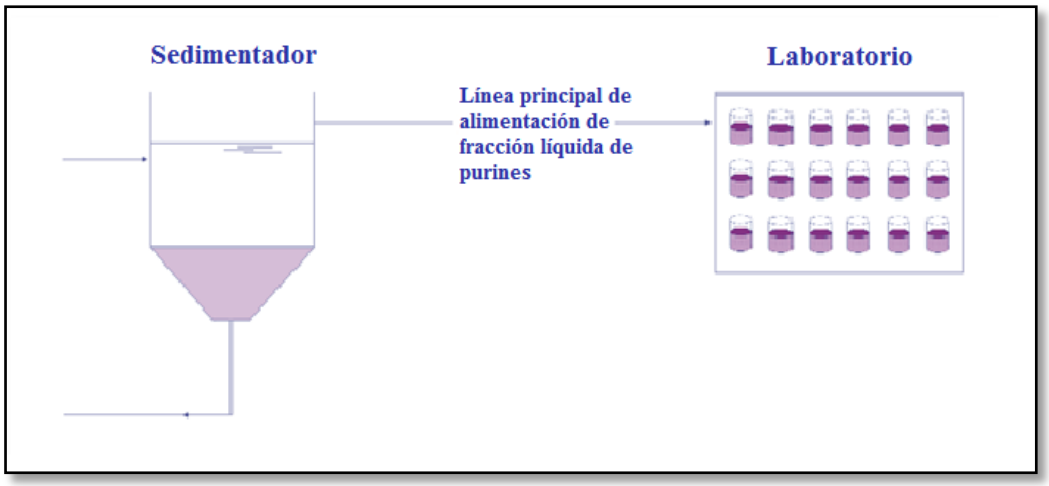
### 3.6. Metodología experimental.

El plan de trabajo consiste en realizar los ensayos para determinar la eficiencia degradadora de productos bacterianos en el tratamiento anaerobio de purines de cerdo.

La figura N° 12 muestra un esquema representativo indicando las actividades y análisis más importantes.

El efluente de estudio utilizado se obtuvo de la planta de tratamiento del Plantel Aguas Claras, que corresponde a la fracción líquida de los purines de cerdo, que fue extraído a la salida del tratamiento primario (Sedimentador), y transportado hacia el laboratorio.

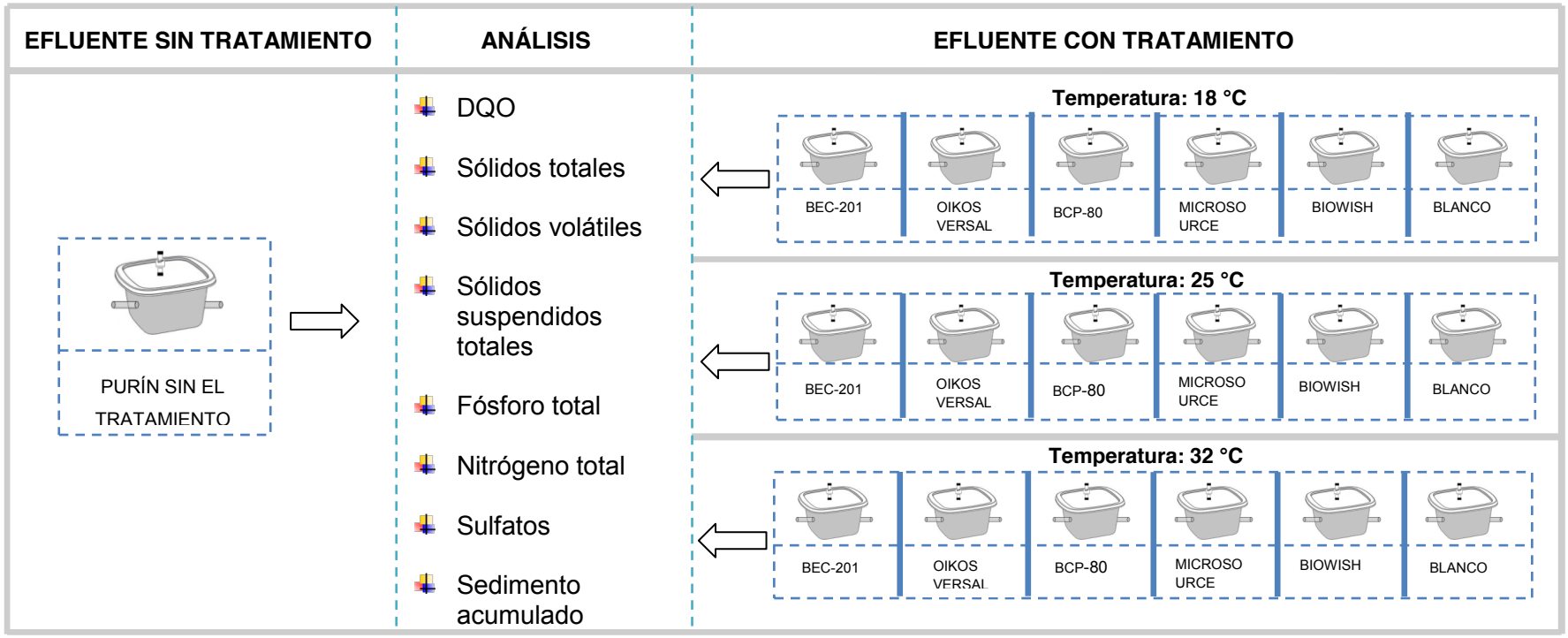
**Figura N° 11:** Diagrama del experimento.




Fuente: Elaboración propia.

Para los estudios de la capacidad degradadora en el proceso de lagunas anaerobias se utilizaron los cinco productos bacterianos seleccionados según los requerimientos del tratamiento de los purines, los cuales se adicionaron a cada una de las muestras representativas de las lagunas anaerobias.

**Figura N° 12:** Actividades y análisis más importantes.




Fuente: Elaboración propia.

### 3.6.1. Ensayos de biodegradación.

Se utilizaron recipientes de 10 litros de capacidad, los cuales se cerraron completamente para crear condiciones anaerobias, manteniendo el purín dentro del recipiente por una semana. Después de esto se colocó en marcha el experimento.

**Figura N° 13:** Recipientes de 10 litros de capacidad empleados en el experimento.

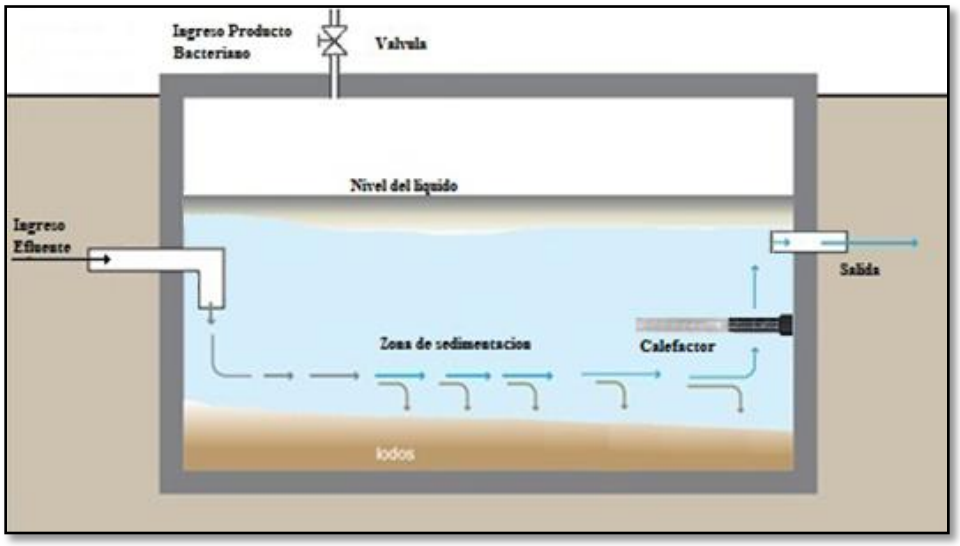
Fuente: Elaboración propia. 2012

La alimentación de purín a cada recipiente, se realizó desde el sedimentador, mediante una bomba que impulsó al purín para obtener un flujo continuo, que fue transportado a través de cañerías de PVC. Se utilizaron llaves de paso para controlar el flujo de la bomba, una a la salida de la bomba y otra al interior del laboratorio.

**Figura N° 14**: Instalación de bomba en el puente del sedimentador.

Fuente: Elaboración propia. 2012

**Figura N° 15:** Esquema del experimento a escala piloto del tratamiento de lagunas anaerobias.




Fuente: Elaboración propia.

### 3.6.2. Montaje experimental.

Se realizaron dieciocho ensayos, a cada uno se le suministró una dosis de un producto bacteriano (excepto al blanco) de acuerdo a las especificaciones del fabricante (ver anexo A). El flujo de purín ingresó a los ensayos por medio

de bajadas de suero, con las cuales se pudo controlar un flujo de 250 $cm^3$/día a través de su dosificador (ver figura N° 17)

Cada uno de los ensayos se incubaron simultáneamente a una temperatura constante, por medio de un calefactor (ver figura N° 18), una corresponde a la temperatura promedio de operación de la laguna anaerobia en estación de invierno a 18 °C, la segunda corresponde a la temperatura promedio de operación de la laguna anaerobia en estación de verano a 32 °C, y la última fue a 25 °C, que es la temperatura promedio de las dos antes mencionada. Estas fueron calculadas a través de la siguiente expresión matemática:

$$T° \text{ agua} = -0{,}236 + 1{,}404 * T°_a \quad \textbf{(5.)}$$ [25]

Donde: $T°_a$: temperatura ambiente.

A través de la ecuación (2.) se obtuvo TRH que fue de 40 días, correspondiendo al tiempo que duró el experimento.

$$\text{TRH} = \frac{9800 \text{ cm}3}{250 \text{ cm}3/\text{día}} \approx 40 \text{ dias}$$

Antes de la puesta en marcha se realizó un control para corroborar la temperatura de operación a la que llegará la digestión, y además de controlar el flujo de purín que ingresa y sale del recipiente con el fin de asegurar la alimentación de 250 $cm^3$ por día.

[25] Sergio Rolin Mendonco, Sistemas de Lagunas de Estabilización. Como utilizan aguas residuales tratadas en sistemas de regadío, Editorial Mc Don Hill, año 2000.

**Figura N° 16:** Ubicación de unidades experimentales.

Fuente: Elaboración propia.2012

**Figura N° 17**: Control del flujo durante el experimento.

Fuente: Elaboración propia. 2012

**Figura N° 18:** Calefactor.

Fuente: Elaboración propia. 2012

Las temperaturas de cada ensayo fueron monitoreadas a través de termómetro adhesivo de acuario, tal como se observa en la figura siguiente.

**Figura N° 19:** Monitoreo de Temperatura.

Fuente: Elaboración propia. 2012

El ingreso de los productos bacterianos se realizó a través de una válvula, que fue instalada en la tapa de cada uno de los recipientes. Por el mismo lugar se eliminó el biogás producido por la digestión anaerobia.

**Figura N° 20:** Válvula empleada para el ingreso del producto bacteriano.

Fuente: Elaboración propia. 2012

En la siguiente tabla se detallan los contenidos de cada ensayo.

**Tabla N° 9:** Detalle de contenidos del experimento.

| TEMPERATURA | EFLUENTE ($cm^3$/día) | DOSIFICACIÓN | BEC-201 | BCP-80 | OIKOS VERSAL | MICROSOURCE | BIOWISH | BLANCO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **18 °C** | 250 | Shock inicial | 0,0021 g por 5 días | - | - | 0,4188 g por una semana | - | - |
| | | Mantención | 0,000043 g diario | 0,0245 g diario | 1 ml de dilución* | 0,03739 g semanal | 1 ml semanal | - |
| **25 ° C** | 250 | Shock inicial | 0,0021 g por 5 días | - | - | 0,4188 g por una semana | - | - |
| | | Mantención | 0,000043 g diario | 0,0245 g diario | 1 ml de dilución* | 0,03739 g semanal | 1 ml semanal | - |
| **32 ° C** | 250 | Shock inicial | 0,0021 g por 5 días | - | - | 0,4188 g por una semana | - | - |
| | | Mantención | 0,000043 g diario | 0,0245 g diario | 1 ml de dilución* | 0,03739 g semanal | 1 ml semanal | - |

Fuente: Elaboración propia.

*Se diluyó en 750 ml de agua potable 3 ml de Oikos Versal puro y 3 gr de azúcar, para extraer 1 ml de dilución.

### 3.6.3. Toma de muestra de los productos bacterianos.

La técnica para la toma de muestra fue realizada a través del cuarteo manual, que corresponde a la reducción de muestras, de tal forma que el material reducido siga teniendo la característica de las muestras representativas.

#### 3.6.3.1. Método de cuarteo manual.

Se coloca la muestra sobre una superficie plana, dura y limpia, donde no pueda existir pérdida de material ni contaminación con materias extrañas. Se homogeniza el material traspapelando toda la muestra y acomodándolo en una pila cónica depositando cada paleada sobre la anterior. Por medio de la pala, ejerce presión sobre el vértice, aplanando con cuidado la pila hasta obtener un espesor y un diámetro uniformes. El diámetro obtenido deberá ser aproximadamente de cuatro a ocho veces el espesor del material. Seguidamente se divide la pila aplanada en cuatro partes iguales con la pala. Se eliminan dos de las partes diagonalmente opuestas, incluyendo todo el material fino. Se utiliza una brocha o cepillo para incorporar el material fino a la muestra respectiva. Se mezcla y homogeniza el material restante y se cuartea sucesivamente hasta reducir la muestra al tamaño requerido para las pruebas.[26]

[26] Ing. Manuel R. Ramirez Celaya, Universidad de Sonora, Laboratorio Experimental del Departamento de Ingenieria Civil Y Minas, “Reducción de Muestras por el Método de Cuarteo”, 2003.

**Figura N° 21:** Cuarteo de productos bacterianos.

Fuente: Elaboración propia. 2012.

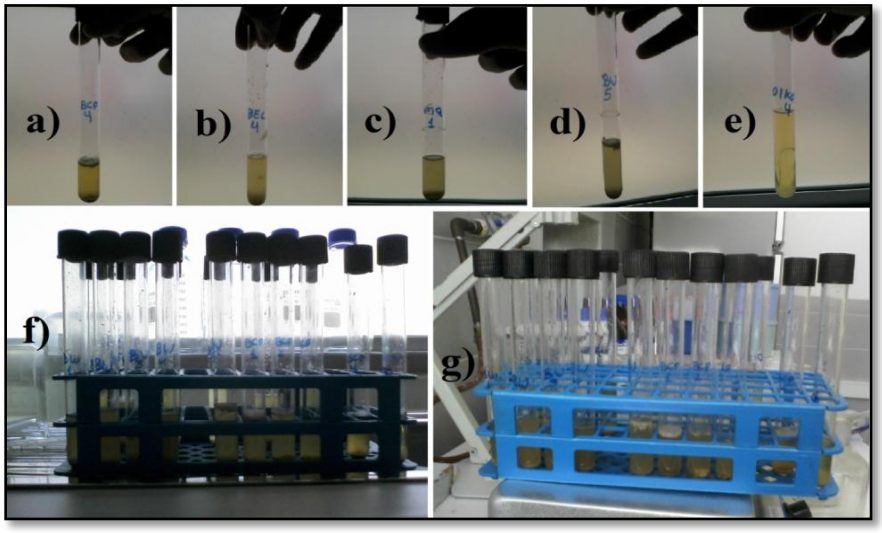
### 3.6.4. Cultivo de productos bacterianos.

Se realizó un cultivo de todos los productos bacterianos en agua peptonada, de forma previa al inicio del experimento para comprobar la existencia de microorganismos, a través del cultivo de las muestras.

La cantidad de producto que se cultivó fue la dosificación de mantención y shock inicial para corroborar la existencia de microorganismos en cada una de las muestras.

Los cultivos se realizaron con 10 repeticiones y todos resultaron exitosos, ya que hubo fermentación en cada uno de ellos.

**Figura N° 22:** Cultivo en agua peptonada: a) Cultivo BCP-80; b) Cultivo BEC-201; c) Cultivo Microsource; d) Cultivo Biowish; e) Cultivo Oikos versal; f) Primer lote de cultivos de productos bacterianos; g) Segundo lote de cultivos de productos bacterianos.




Fuente: Elaboración propia. 2012

### 3.6.5. Monitoreo de los ensayos.

Para evaluar el comportamiento de los ensayo, tanto al inicio de la digestión anaerobia como al final de la misma se realizaron monitoreos para la fase líquida de estos. Se midieron los siguientes parámetros: ST, SV, SST, DQO, NT, PT, $SO_4^{2-}$ y el Sedimento, para observar y analizar la capacidad degradadora de los productos bacterianos.

Es importante realizar el análisis de estos parámetros para cumplir con la normativa vigente y con las exigencias del PAP. El NT y FT son considerados como las fracciones más importantes en los residuos animales, es por esto que se debe controlar el nitrógeno para no superar la tasa de aplicación de purines al suelo presente en cada PAP, la DQO y SV son dos parámetros que están relacionados con la materia orgánica presente en el residuo. También es necesario medir SST, ya que son responsables de generar turbiedad en el agua

y en el proceso de digestión anaerobia son transformados a DQO soluble. El análisis de $SO_4^{2-}$ entregará información relevante para comprobar la formación de $H_2S$ en el proceso de digestión.

### 3.7. Métodos analíticos.

Para determinar las características física-químicas del efluente, se evaluaron los parámetros mencionados anteriormente. A continuación se exponen los métodos analíticos que se emplearon para cuantificarlos. Los procedimientos de los análisis se encuentran en el anexo C.

#### 3.7.1. Demanda química de oxígeno.

La DQO, es utilizada para medir la cantidad de materia orgánica y compuestos oxidables en una muestra de agua. Se define como la cantidad de oxígeno, expresada en mg/l, que se consume durante la oxidación, por un fuerte agente químico, de materia orgánica e inorgánica oxidable presente en el agua de desecho.

La estimación de la DQO se realiza por dicromatometría, utilizando el método para la medición Colorimétrico con dicromato, este es una adaptación del método 410.4 de EPA (Environmental Protection Agency). Los compuestos orgánicos oxidables reducen el ión dicromato (naranja) a ión Cromo (III) (verde). Se determina la cantidad de Cromo (III) formada.

En este método se utiliza un Reactor HI 839800 de Hanna Instrument (Calentador de tubos de ensayos) dotado de temporizador y control automático de temperatura, y un fotómetro para aguas residuales, donde se hacen las lecturas en mg/l.

### 3.7.2. Sólidos totales.

Los ST se definen como los sólidos que corresponden a la materia presente en la muestra y representan el peso de sólidos solubles más sólidos suspendidos. El análisis se realizó de acuerdo al Método Estándar para el Análisis de Agua y Aguas Servidas (APHA, 1995), método 2540 E.

El método consiste en secar por evaporación una muestra, en un crisol previamente pesada, en una estufa a 105ºC ± 5ºC. El aumento de peso sobre el peso del crisol vacío representa los sólidos totales. Estos corresponden a la materia presente en la muestra y representan el peso de sólidos solubles más sólidos suspendidos.

### 3.7.3. Sólidos volátiles.

El residuo del método de ST es calcinado (según método 2540-B), en un horno durante 2 horas. Luego se pesan los remanentes, que representan el total de sólidos permanentes o fijos totales, mientras que el peso perdido en la calcinación corresponde a los sólidos volátiles, que se oxidaron a $CO_2$ y $H_2O$.

Se realizó de acuerdo al método 2540-E del Método Estándar para el Análisis de Agua y Aguas Servidas (APHA, 1995).

### 3.7.4. Sólidos suspendidos totales.

Los SST corresponden a la cantidad de partículas flotantes o suspendidas en la columna de agua que pueden ser separadas del líquido a través de medios físicos como la filtración.

El método de análisis corresponde a la NCh2313-03-1995, que establece el método de análisis para la determinación de sólidos suspendidos totales, secados a 103°C - 105°C, en aguas residuales.

El método se basa en filtrar una muestra bien homogenizada a través de un papel filtro y secar el residuo retenido hasta masa constante, a 103°C - 105°C. El aumento de la masa del papel filtro representa el contenido de sólidos sedimentados totales.

### 3.7.5. Nitrógeno total.

El NT es equivalente a la suma del nitrógeno Kjeldahl total (N orgánico y amoniacal), nitrógeno en forma de nitrato y nitrógeno en forma de nitrito (NO). Representa el conjunto de las formas de nitrógeno reducidas orgánicas y amoniacales.

Para la determinación de nitrógeno total se utilizan el reactor HI 839800 y fotómetro HI 83214 empleados para la determinación del DQO y fósforo total.

La estimación del NT se realizó a través del método ácido cromotrópico que consiste en la digestión de persulfato donde convierte todas las formas de nitrógeno en nitrato. La reacción entre el nitrato y los reactivos origina una coloración amarilla en la muestra utilizando el reactor modelo HI 839800 para calentar la muestra y fotómetro modelo HI 83214 para realizar la lectura.

### 3.7.6. Fósforo total.

El PT incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico.

Se utilizó la adaptación del Método Estándar para el Análisis de Agua y Aguas Servidas, 20ª Edición, 4500 P-E (método de Ácido Vanadomolibdofosforico). Este método consiste en una reacción entre el ortofosfato y el reactivo lo que causa una coloración amarilla en la muestra. El

instrumento nos mostró directamente la concentración en mg/l de fosfato ($PO_4^{-3}$). Este método detecta fosfatos libres (ortofosfato) y formas inorgánicas condensadas (meta-, pyro- y otros polifosfatos), presentes en la muestra.

Los reactivos empleados son de rango alto 0.00 a 100 mg/l, por lo que se debió realizar diluciones para obtener resultados mayores a 100 mg/l.

Los equipos empleados en el análisis son el fotómetro de aguas residuales (modelo HI 83214, Hanna Instrument) y el calentador de tubos de ensayos (modelo HI 839800, Hanna Instrument) para medir el fosforo total en cada ensayo.

### 3.7.7. Sulfatos.

Se utilizó el Método Turbidimétrico, basado en la medida de la turbidez producida por la reacción de precipitación del ion sulfato, con una sal bárica en medio ácido a una longitud de onda de 450 nm. Las determinaciones se realizaron en el espectrofotómetro.

El protocolo a seguir para la determinación de iones sulfato en disolución, requiere de una curva de calibración en el intervalo de 20,0-100,0 mg/l de $SO_4^{2}$, preparadas a partir de una disolución patrón interno de sulfato de sodio (1000 mg/l).

### 3.7.8. Sedimento acumulado.

Se vació la fracción líquida de cada ensayo para calcular el volumen del sedimento acumulado.

### 3.8. Metodología para la estimación de $CH_4$

Para determinar la DQO equivalente del gas metano, se realizó utilizando el factor de normalización de conversión (F.C.), de gramo de DQO a ml de $CH_4$ para diferentes temperaturas asumiendo una elevación a nivel del mar que a 0 °C, 1 gr de DQO es igual a 350 ml de gas seco.[27]

F.C. a una temperatura dada es el siguiente:

$$350 \times (273 + \text{Temperatura en °C}) / 273 \qquad \textbf{(6.)}$$

### 3.9. Metodología estimación de $H_2S$.

La estimación de $H_2S$ se realizó a través del cálculo estequiométrico, en base al balance de la reacción del $SO_4^{-2}$.

$$2\ CH_2O + SO_4^{-2} + 2H^+ \rightarrow H_2S + 2CO_2 + 2H_2O \qquad \textbf{(7.)}$$

**Paso 1:** Balancear la reacción química.

**Paso 2:** Calcular las masas molares de la incógnita (sustancia de interés) y del dato (sustancia de partida deseada).

**Paso 3:** Calcular el número de moles del dato.

$$\text{n° moles del dato} = \frac{\text{masa en gramos del dato}}{\text{masa molar del dato}} \qquad \textbf{(8.)}$$

**Paso 4:** Calcular el número de moles de la sustancia de interés utilizando la relación estequiométrica entre ambas sustancias.

[27] Jim Field, Medición de Parámetros, Universidad Agrícola de Wegeningen, Holanda.

$$n^{\circ}\ moles\ incógnita\ = n^{\circ}\ moles\ \ dato \times \frac{coeficient\ e\ estequiomé\ trico\ \ de\ la\ incógnita}{coeficient\ \ e\ estequiomé\ trico\ \ del\ dato} \quad \textbf{(9.)}$$

**Paso 5:** Calcular la masa en gramos de la sustancia de interés

$$masa\ \ en\ g\ de\ la\ incógnita\ = n^{\circ}\ moles\ \ incógnita\ \times masa\ molar\ \ de\ la\ incógnita \quad \textbf{(10.)}$$

**Nota:** Se utilizó una base de cálculo de 1 litro.

### 3.10. Metodología balance de nitrógeno.

El balance de nitrógeno se realizó de acuerdo a las consideraciones que se establecieron en el balance del PAP, las cuales son:

- 154,65 hectáreas que incluyen distintas plantaciones.
- Aguas con contenido de nitrógeno: fracción líquida del purín.

Además se consideró la relación entre los términos que componen el balance de nitrógeno establecido en el PAP, los cuales se ilustran en la siguiente tabla.

**Tabla N° 10:** Consideraciones para el balance de NT.

| Entradas | Salidas |
|---|---|
| **Fertilización (purines de cerdo)** | **Extracción por las plantas** |
| **Mineralización** | **Desnitrificación** |
| **Depositación Atmosférica** | **Pérdidas de amoniaco (volatilización)** |

Fuente: PAP, Agrícola AASA, 2011.

**Entrada:**

- La fertilización corresponde a la tasa de aplicación de nitrógeno a través de riego con purines.

- La mineralización, principalmente depende de condiciones de drenaje local. Se consideraron 125 kg-N/ha/año, valor que la literatura menciona como representativo de este tipo de zona agrícola.
- De acuerdo con la literatura, para Chile Central, se estima un valor de 2,9 kg-N/ha/año de depositación de N atmosférico.

**Salida:**

- A través de lo establecido por estudios del INIA se consideraron los siguientes valores para la extracción de N por las plantas.

**Tabla N° 11:** La extracción de N según cultivo.

| | Extracción Kg-N/ha/año | ha | Extracción total |
|---|---|---|---|
| **Uva** | 150 | 50 | 7.500 |
| **Maíz** | 350 | 12,1 | 4.235 |
| **Alfalfa** | 210 | 5,3 | 1.113 |
| **Ballica** | 450 | 4,1 | 1.845 |
| **Durazno** | 150 | 82,5 | 12.375 |
| **Eucaliptus** | 460 | 0,65 | 299 |
| **Total extracción** | | | 27.367 |
| **Total extracción por hectárea** | | | **177** |

Fuente: PAP, Agrícola AASA, 2011.

- La desnitricación se relaciona el porcentaje del N aplicado, la cual varía entre 7 y 14% dependiendo del tipo de suelo.
- La volatilización de amoniaco se ha estimado en un 6% por el manejo de purines de cerdo.

De acuerdo a los dos puntos anteriores igual como se estableció en el PAP, las pérdidas oscilan entre un 20 y 30 %, por lo tanto, se ha determinado un valor por pérdidas gaseosas de nitrógeno de 20% del nitrógeno aplicado.

### 3.11. Metodología de identificación y evaluación de los aspectos ambientales.

Se realizó una evaluación de los riesgos ambientales usando la metodología propuesta en la norma internacional **ISO 14000** para la cuantificación y calificación de los impactos ambientales, donde se deben identificar los procesos que potencialmente generan un impacto ambiental, luego en cada proceso se definen todos los aspectos ambientales que el proceso posee y se califica su riesgo ambiental mediante la aplicación de una matriz para identificar cuáles son los aspectos ambientales significativos de cada proceso. La matriz que se utilizó es la que propone el servicio de evaluación ambiental (SEA), ya que la norma ISO solo propone la metodología para la identificación de los aspectos ambientales y deja a criterio de las empresas que matriz deben aplicar para la evaluación de los impactos ambientales.

Definiciones Importantes:

- Aspecto Ambiental (AA): Elemento de las actividades, productos o servicios de una organización, que puede interactuar con el medio ambiente.[28]

- Aspecto Ambiental Significativo (AAS): Aspecto ambiental que califica como significativo de acuerdo a los criterios enunciados en este procedimiento, debido a que tiene o puede tener un impacto ambiental significativo.

[28] Norma NCh-ISO 14001 Of97

### 3.11.1. Identificación de los aspectos ambientales.

Se deben identificar los aspectos ambientales asociados a cada una de las actividades, teniendo presentes que el aspecto ambiental que no es identificado no se puede controlar.

Cada proceso, deberá detectar sus aspectos ambientales a partir, entre otras, de las siguientes fuentes de información:

- Asociación de actividades que realiza la empresa con los aspectos ambientales que ellas generan.
- Inspecciones en terreno.
- Requisitos legales.
- Proyectos presentados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).
- Actividades, productos y servicios nuevos, analizados antes de su puesta en servicio.
- Auditorías (internas o externas).
- No Conformidades.
- Revisión de la Gerencia.
- Reclamos ambientales.

### 3.11.2. Metodología para la identificación del aspecto ambiental.

- Identificación de áreas en los layout (planos) de cada recinto del proyecto de la empresa.
- Identificación de las actividades realizadas en cada área definida y elaboración de sus respectivos diagramas de bloque con sus entradas y salidas.

- Preparar un listado de los aspectos ambientales identificados por área del recinto para su posterior evaluación.

### 3.11.3. Matriz de evaluación de aspectos ambientales significativos.

Una vez identificados los AA, se debe llenar la Matriz de Evaluación de AAS, considerando los siguientes criterios.

**Tabla N° 12:** Matriz de evaluación de aspectos ambientales significativos.

| | **DESCRIPCION** |
|---|---|
| **Actividad.** | Actividad, producto o servicio involucrado con el aspecto. |
| **Aspecto Ambiental (ejemplos).** | Generación de residuos, escombros, residuos domésticos, guano, residuos de cámaras de reja, generación de ruidos, emisión de olores, generación de aerosoles, etc. |
| **Impacto Ambiental** | Daño personal de la empresa |
| | Daño a la comunidad |
| | Contaminación de cuerpos de aguas (estero, río, lago, aguas subterráneas o mar) |
| | Contaminación de Suelo |
| | Contaminación del Aire |
| | Uso de recursos naturales |
| | Daño a la flora o fauna |
| | Daño a la infraestructura o medio construido (propiedad de terceros y de la empresa) |
| **Tiempo de Ocurrencia** | Pasado: Actividades efectuadas anteriormente y que pueden o tienen consecuencias ambientales actuales. |
| | Presente: Impactos ocasionados por actividades, productos y servicios actualmente realizadas por la organización. |
| | Futuro: Impactos ambientales derivados de futuras actividades, productos y servicios de la organización. |
| **Responsabilidad** | Directa: Actividad, producto o servicio que es directamente controlado por la empresa |
| | Indirecta: Actividad, producto o servicio que solo puede ser influenciada o recomendada por la empresa. |

| | |
|---|---|
| **Tipo de Impacto** | Benéfico: Mejora la condición del medio ambiente |
| | Adverso: Daña al medio ambiente |
| **Amplitud Geográfica** | Puntual : Afecta solamente al recinto o área de estudio sin alterar a los vecinos |
| | Local : Afecta al recinto y además a sus vecinos |
| | Regional |
| **Situación Operacional** | Normal: Actividades propias del proceso, que ha sido planificadas y son frecuentes. |
| | Anormal: Situación que ha sido prevista y que es una desviación típica del proceso, como por ejemplo: roturas de arranque, UD, redes o colectores, activación de By-pass, operación de generadores, desviación en las dosificaciones, y otros propios de cada proceso. |
| | Emergencias: Situación que exige la interrupción inmediata de las actividades de los procesos, derivadas de situaciones como: derrames de productos químicos, fugas de gas, explosiones o incendios, inundaciones, derrames de aguas servidas en la vía pública, y otros propios de cada proceso. |

Fuente: www.e-seia.cl/archivos/5f4_Procedimiento_AAS.

### 3.11.4. Clasificación de los aspectos ambientales.

El proceso de evaluación se realizó para poder discernir entre todos los aspectos ambientales identificados, cuáles de ellos son significativos y requieren establecer objetivos, metas y un programa para lograr mejoras permanentes en el SGA, controles operacionales y planes de emergencias.

Para realizar la evaluación se aplicó una Matriz que permite relacionar la probabilidad que se presente cada aspecto ambiental específico y la severidad potencial que tendría el efecto.

Criterios utilizados en la evaluación del riesgo asociado a un aspecto ambiental identificado.

**Probabilidad:** para la evaluación de este criterio se tomó en cuenta el comportamiento de los productos bacterianos con respecto al tiempo y la

temperatura, teniendo en cuenta que el más estable tendrá menos probabilidades de generar riesgos en el proceso.

**Severidad:** este criterio está asociado la magnitud del impacto que puede generar el aspecto que se está evaluando, por lo que se tomó en cuenta si se cumple con normativa existente al parámetro y si el daño que podría causar es reversible o no, además del tiempo que demoraría en repararlos. También se evaluó con respecto al alcance del posible daño (al interior de la empresa, de forma local o regional).

Para el caso de la remoción de los parámetros se evaluaron los porcentajes de remoción, considerando que un porcentaje bajo o prácticamente nulo será más severo que una remoción alta de los parámetros estudiados por esta investigación.

**Control:** este criterio se evaluó teniendo en cuenta si el producto bacteriano proporciona un verdadero control sobre el aspecto ambiental en calificación.

**Índice de evaluación de riesgo:** este criterio se califica de acuerdo a la probabilidad y a la severidad según la siguiente tabla.

**Tabla N° 13:** Índice de evaluación de riesgo.

| | Muy Grave (7) | Grave (5) | Media (3) | Insignificante (1) |
|---|---|---|---|---|
| Frecuente (9) | A | B | C | D |
| Moderado (7) | B | C | D | E |
| Ocasional (5) | C | D | E | F |
| Remoto (3) | D | E | F | G |
| Improbable (1) | E | F | G | H |

Fuente: www.e-seia.cl/archivos/5f4_Procedimiento_AAS

**Tabla N° 14:** Escalas de evaluación para riesgos ambientales.

| CRITERIO | DESCRIPCION | |
|---|---|---|
| **Probabilidad (P)** | Frecuente. | **9** |
| | Moderado. | **7** |
| | Ocasional. | **5** |
| | Remoto. | **3** |
| | Improbable. | **1** |
| **Severidad (S)** | Muy grave | **7** |
| | Grave | **5** |
| | Media | **3** |
| | Insignificante | **1** |
| **Índice Evaluación de Riesgo** | Crítico, se deben implementar medidas inmediatas para reducir el riesgo. | A |
| | Muy Alto, se deben realizar controles u otras medidas periódicas para disminuir el riesgo. | B |
| | Alto, es recomendable implementar medidas de protección adicionales. | C |
| | Medio, en condiciones actuales debe evaluarse periódicamente. | D |
| | Moderado, se requiere seguimiento para ver si se mantienen los controles. | E |
| | Bajo, con recomendaciones. | F |
| | Bajo, sin recomendaciones. | G |
| | Sin Consecuencia. | H |
| **Control (C)** | No controlado. | **5** |
| | Parcialmente controlado. | **3** |
| | Controlado. | **1** |
| **MAGNITUD DEL RIESGO AMBIENTAL: I = (P + S + C)** | | |

Fuente: elaboración propia.

Si I es igual o mayor a 15 el aspecto es AAS, de lo contrario es no significativo (N/S).

# CAPÍTULO IV: REGISTRO, ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.

## 4.1. Resultados de la investigación.

La primera etapa del plan de trabajo propuesto contempló la caracterización del purín de cerdos a tratar mediante digestión anaerobia. Por ello, a continuación se detalla la caracterización inicial del purín, ésto permitió conocer sus características físico-químicas.

### 4.1.1. Resultados de la caracterización del afluente.

En el anexo D se presentan algunos valores obtenidos del monitoreo de purines en aguas claras en abril del 2011 (Laboratorio ANAM), cabe destacar que estos datos fueron entregados por la empresa y corresponden a una caracterización en la que el tratamiento primario no contaba con el filtro rotatorio que se expuso en el diagrama de flujo del sistema de tratamiento de purines (figura N° 3).

Se realizó un análisis del afluente para corroborar y actualizar la información entregada por la empresa Agrícola AASA. por lo que se obtuvo una caracterización del purín que se utilizó en el desarrollo del experimento, aunque solamente se analizaron los parámetros de interés para la investigación. En la siguiente tabla se exponen los datos que se obtuvieren de los análisis realizados al afluente.

**Tabla N° 15:** Caracterización preliminar de la fracción líquida del purín sin tratamiento.

| PARAMETROS | Unidades | Afluente |
|---|---|---|
| **Demanda Bioquímica de Oxigeno** | mg/l | 8383 |
| **Demanda Química de Oxigeno** | mg/l | 16490 |
| **Nitrógeno Total.** | mg/l | 10200 |
| **Fosfatos ($P_2O_5$)** | mg/l | 650 |
| **Oxido de Fosforo ($PO_4^{3-}$)** | mg/l | 869 |
| **Fosforo Total** | mg/l | 283 |
| **Sulfato ($SO4^-_2$)** | mg/l | 45,79 |
| **Sólidos Fijos** | mg/l | 3580 |
| **Sólidos Totales** | mg/l | 10635 |
| **Sólidos Volátiles** | mg/l | 7055 |
| **Sólidos Suspendidos Totales** | mg/l | 3670 |
| **Sólidos Suspendidos Volátiles** | mg/l | 90 |
| **pH** | | 6,8 |
| **Sólidos sedimentables** | mg/l | 100 |

Fuente: Elaboración propia

A continuación se exponen los resultados de los seis análisis de la DQO, NT, PT, que se realizaron semanalmente. El primero correspondió al inicio del experimento justo antes de aplicar las dosis de los productos, y los cinco restantes se realizaron semanalmente después de la primera semana de aplicadas las dosis. En el caso de los ST, SV, SST y $SO_4^{-2}$ se realizaron cinco análisis, al igual que los anteriores el primero corresponde al inicio del experimento, y los cuatro restantes se realizaron semanalmente después de la segunda semana de dosificación del producto. En ambos casos los análisis A1. corresponden a la caracterización del purín y los siguientes a los análisis semanales.

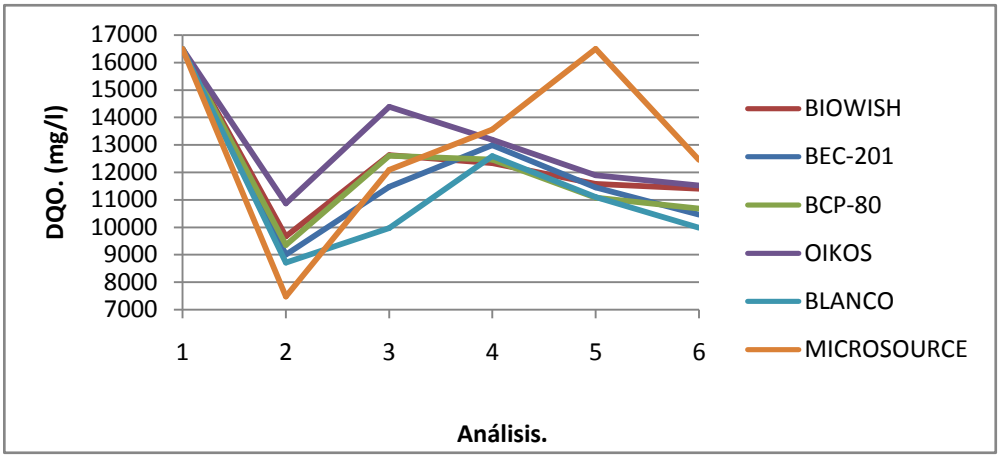
### 4.1.2. Resultados del análisis DQO.

**Tabla N° 16:** Resultados de DQO (mg/l) a distintas temperaturas.

| | Bacterias a 18ºC | | | | | | Bacterias a ºC | | | | | | Bacterias a 32ºC | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **BACTERIAS/ANÁLISIS** | A.1 | A.2 | A.3 | A.4 | A.5 | A.6 | A.1 | A.2 | A.3 | A.4 | A.5 | A.6 | A.1 | A.2 | A.3 | A.4 | A.5 | A.6 |
| **BIOWISH** | 16490 | 9663 | 12630 | 12337 | 11580 | 11407 | 16490 | 6717 | 11373 | 11917 | 7743 | 6940 | 16490 | 7573 | 11000 | 9175 | 6640 | 6417 |
| **BEC-201** | 16490 | 9010 | 11477 | 12987 | 11453 | 10457 | 16490 | 9427 | 13570 | 11957 | 11677 | 7533 | 16490 | 8353 | 8513 | 7900 | 5250 | 4753 |
| **BCP-80** | 16490 | 9357 | 12607 | 12467 | 11080 | 10687 | 16490 | 4757 | 7797 | 8683 | 5863 | 3860 | 16490 | 5490 | 9463 | 6660 | 5573 | 4753 |
| **OIKOS** | 16490 | 10867 | 14383 | 13190 | 11897 | 11520 | 16490 | 10617 | 11960 | 12867 | 11677 | 9327 | 16490 | 7553 | 9473 | 8553 | 6140 | 5250 |
| **BLANCO** | 16490 | 8713 | 9977 | 12593 | 11097 | 9980 | 16490 | 8230 | 11737 | 10157 | 8393 | 6703 | 16490 | 8063 | 11593 | 8817 | 6907 | 6340 |
| **MICROSOURCE** | 16490 | 7477 | 12090 | 13560 | 16490 | 12457 | 16490 | 8973 | 11880 | 13737 | 11210 | 7643 | 16490 | 4940 | 7667 | 10287 | 4790 | 4323 |

Fuente: Elaboración propia.

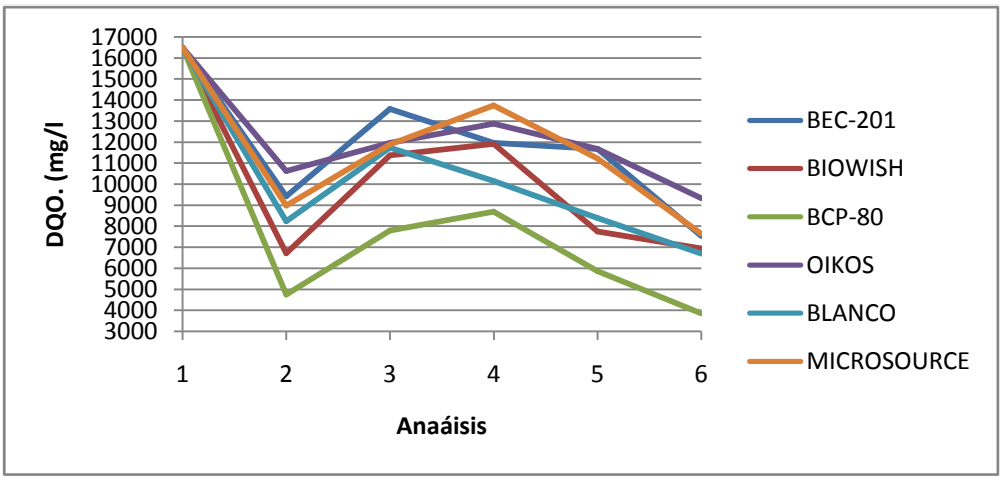
**Gráfico N° 1:** Análisis de la DQO para cada uno de los ensayos a 18°C.




Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N° 1 se aprecia que la mayoría de los productos bacterianos presentaron una remoción semejante de DQO, donde la concentración más alta la obtuvo el producto MICROSOURCE con 12457 mg/l y el más bajo fue el blanco con 9980 mg/l.

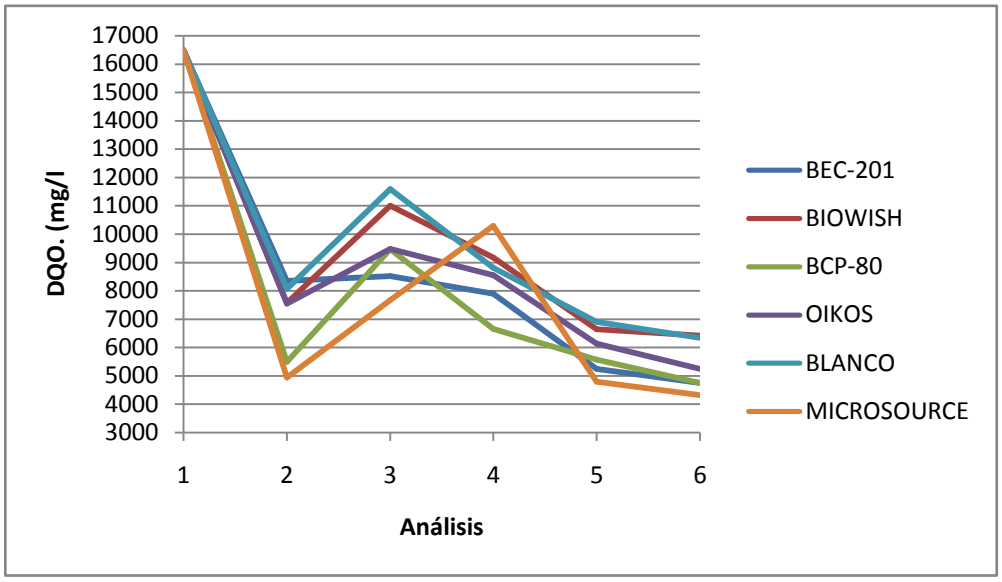
**Gráfico N° 2:** Análisis de la DQO para cada uno de los ensayos a 25°C.




Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N° 2 el último análisis exhibe diferencia significativas en la disminución de la DQO entre cada uno de los ensayos, donde el mejor resultado en la última semana lo obtuvo BCP-80 con un valor de 3860 mg/l y el peor fue OIKOS con 9327 mg/l.

**Gráfico N° 3:** Análisis de la DQO para cada uno de los ensayos a 32°C.




Fuente: Elaboración propia.

Al comparar los productos bacterianos en el gráfico N° 3 se observa el mismo comportamiento semanal que los anteriores gráficos, es decir variaciones entre cada análisis, pero con una mayor disminución de la DQO, siendo MICROSOURCE y BCP-80 los que presentan en la última semana una mayor remoción, en cambio el blanco y BIOWISH presentaron peores resultados.

### 4.1.3. Resultados de PT.

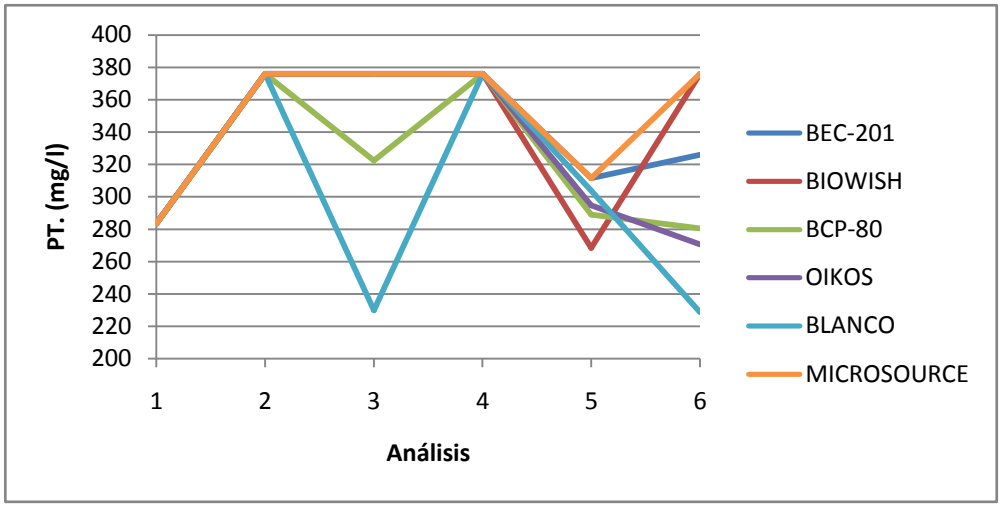
**Tabla N° 17:** Resultados de PT (mg/l) a distintas temperaturas.

| | Bacterias a 18ºC | | | | | | Bacterias a 25ºC | | | | | | Bacterias a 32ºC | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **BACTERIAS / ANÁLISIS** | A. 1 | A.2 | A.3 | A.4 | A.5 | A.6 | A. 1 | A.2 | A.3 | A.4 | A.5 | A.6 | A. 1 | A.2 | A.3 | A.4 | A.5 | A.6 |
| **BIOWISH** | 283 | >376 | >376 | >376 | 268 | 376 | 283 | >376 | 245 | 274 | 138 | 135 | 283 | >376 | 466 | 612 | 151 | 114 |
| **BEC-201** | 283 | >376 | >376 | >376 | 312 | 326 | 283 | >376 | >376 | 376 | 120 | 159 | 283 | >376 | 420 | 528 | 113 | 105 |
| **BCP-80** | 283 | >376 | >323 | >376 | 289 | 280 | 283 | >376 | 166 | 376 | 148 | 97 | 283 | >376 | 460 | 367 | 114 | 96 |
| **OIKOS** | 283 | >376 | >376 | >376 | 295 | 271 | 283 | >376 | 303 | 376 | 181 | 230 | 283 | >376 | 557 | 546 | 148 | 117 |
| **BLANCO** | 283 | >376 | 230 | >376 | 304 | 229 | 283 | >376 | 243 | 376 | 153 | 155 | 283 | >376 | 377 | 541 | 150 | 105 |
| **MICROSOURCE** | 283 | >376 | >376 | >376 | 312 | 376 | 283 | >376 | 283 | 283 | 169 | 159 | 283 | >376 | 372 | 595 | 137 | 106 |

Fuente: Elaboración propia.

Obs: los análisis en que se obtuvo un valor >376 se debió a que el rango del reactivo que se utilizó para la determinación de PT fue superado, por lo que en los análisis posteriores se aplicaron diluciones para obtener resultados más precisos en un rango amplio.

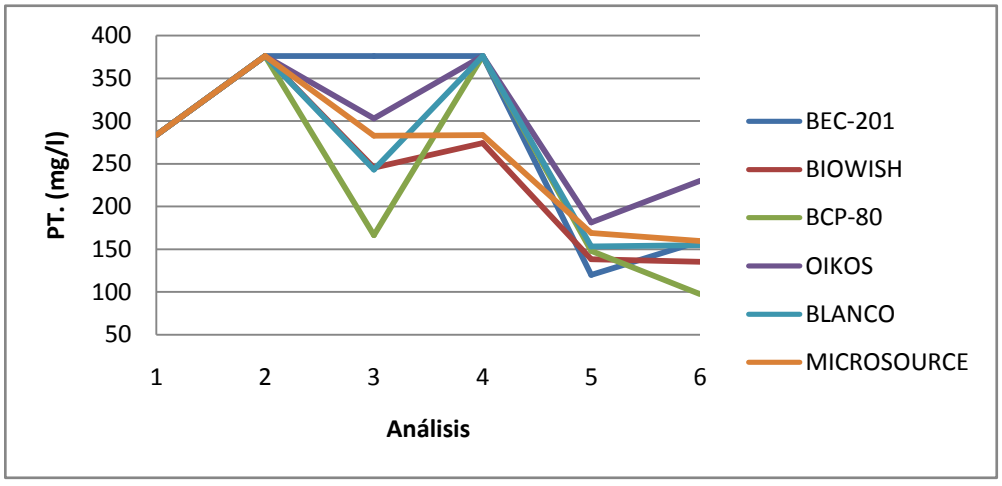
**Gráfico N° 4:** Análisis de PT para cada uno de los ensayos a 18°C.




Fuente: Elaboración propia.

El gráfico N°4 arrojó que en el último análisis el ensayos con mejor resultado a una temperatura de 18 °C fue el blanco con una concentración de 229 mg/l, en cambio el peor fue BIOWISH y MICROSOURCE con 376 mg/l.

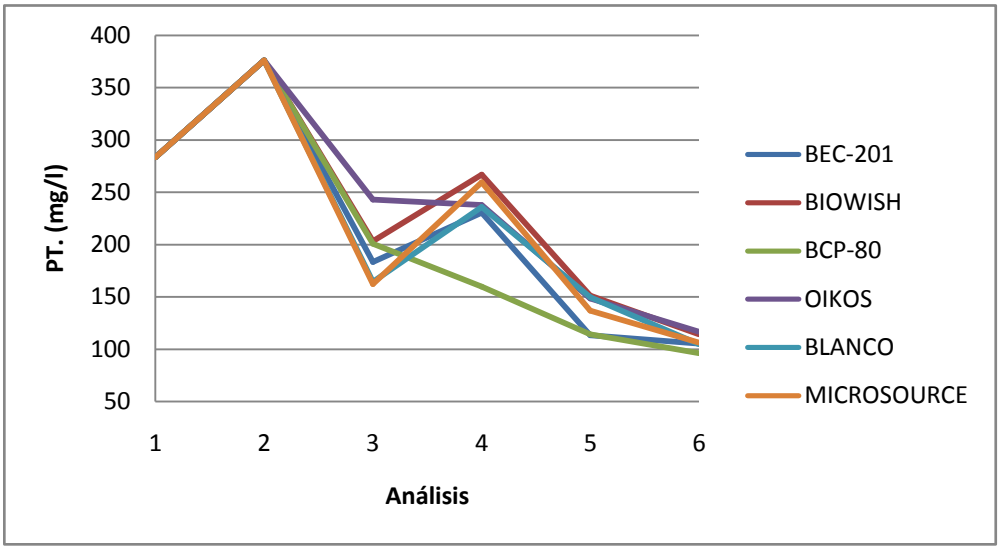
**Gráfico N° 5:** Análisis de PT para cada uno de los ensayos a 25°C.




Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N° 5 se observa que en el último análisis el producto más eficiente fue BCP-80 con un valor de 97 mg/l y el producto con peores resultados fue OIKOS VERSAL con 230 mg/l.

**Gráfico N° 6:** Análisis de PT a cada uno de los ensayos a 32°C.




Fuente: Elaboración propia.

El gráfico N° 6 que muestra los productos expuestos a una temperatura de 32 °C arroja que el mejor resultado de 96 mg/l pertenece a BCP-80, mientras que el peor fue de 117 mg/l de OIKOS VERSAL.

### 4.1.4. Resultados de NT.

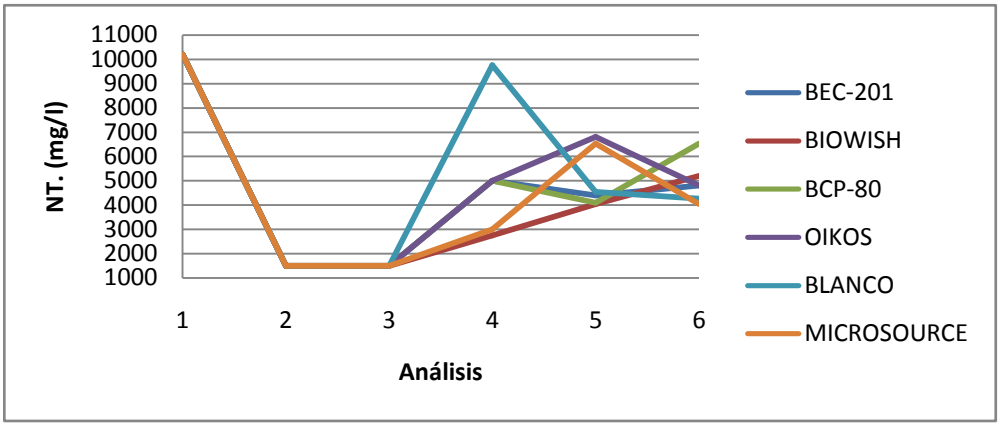
**Tabla N° 18:** Resultados de NT (mg/L) a distintas temperaturas.

| | Bacterias a 18ºC | | | | | | Bacterias a 25ºC | | | | | | Bacterias a 32ºC | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **BACTERIAS** | A. 1 | A.2 | A. 3 | A. 4 | A. 5 | A. 6 | A. | A.2 | A. 3 | A. 4 | A. 5 | A. 6 | A. 1 | A.2 | A. 3 | A. 4 | A. 5 | A. 6 |
| **BIOWISH** | 10200 | >1500 | >1500 | 2750 | 4040 | 5200 | 10200 | 1500 | 1500 | 5000 | 5200 | 5600 | 10200 | 1500 | 1500 | 6750 | 6667 | 6000 |
| **BEC-201** | 10200 | >1500 | >1500 | 5000 | 4400 | 4800 | 10200 | 1500 | 1500 | 5750 | 4133 | 4120 | 10200 | 1500 | 1500 | 5500 | 4400 | 6267 |
| **BCP-80** | 10200 | >1500 | >1500 | 5000 | 4093 | 6533 | 10200 | 1500 | 1500 | 5500 | 4800 | 5333 | 10200 | 1500 | 1500 | 6000 | 4133 | 5600 |
| **OIKOS** | 10200 | >1500 | >1500 | 5000 | 6800 | 4800 | 10200 | 1500 | 1500 | 2500 | 4400 | 4000 | 10200 | 1500 | 1500 | 5000 | 5200 | 4000 |
| **BLANCO** | 10200 | >1500 | >1500 | 9750 | 4533 | 4267 | 10200 | 1500 | 1500 | 5000 | 5600 | 4533 | 10200 | 1500 | 1500 | 5000 | 6267 | 4800 |
| **MICROSOURCE** | 10200 | >1500 | >1500 | 3000 | 6533 | 4040 | 10200 | 1500 | 1500 | 5000 | 4533 | 5467 | 10200 | 1500 | 1500 | 5250 | 5600 | 4933 |

Fuente: Elaboración propia.

Obs: los análisis en que se obtuvo un valor >376 se debió a que el rango del reactivo que se utilizó para la determinación de NT fue superado, por lo que en los análisis posteriores se aplicaron diluciones para obtener resultados más precisos en un rango amplio.

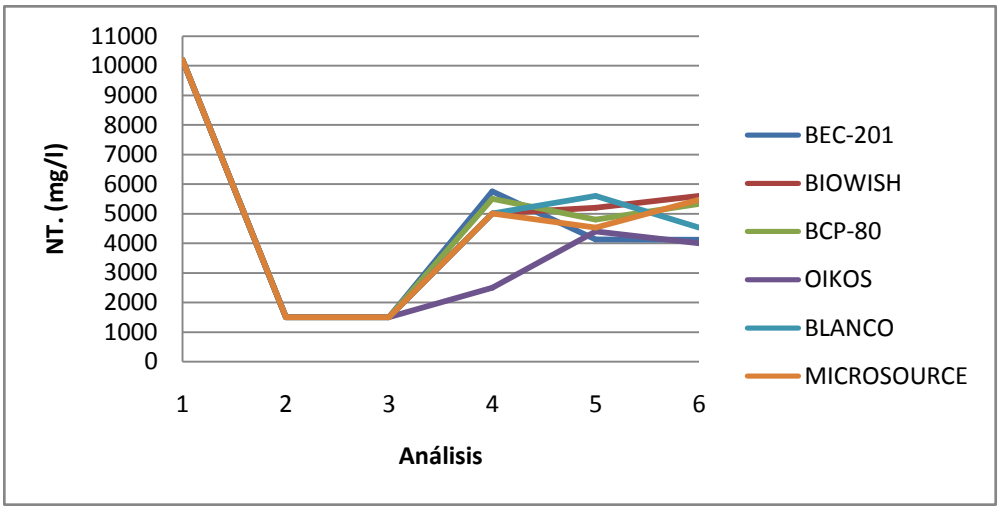
**Gráfico N° 7:** Análisis de NT a cada uno de los ensayos a 18°C.




Fuente: Elaboración propia.

El gráfico N° 7 muestra que el producto más estable y con mejores resultados de NT a una temperatura de 18 °C fue MICROSOURCE, ya que el último análisis de la quinta semana fue de 4040 mg/l y el resultado más alto a la misma semana lo obtuvo BCP-80 con un valor de 6533 mg/l.

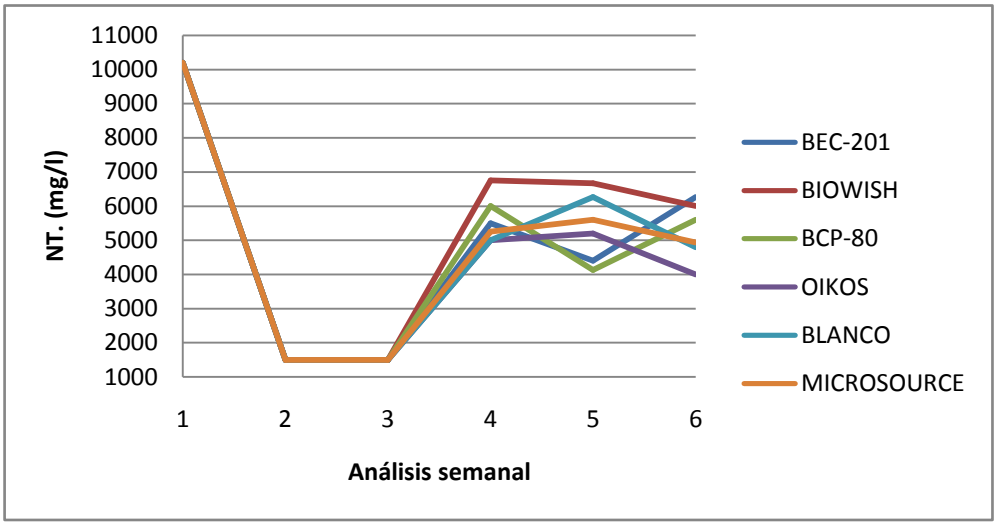
**Gráfico N° 8:** Análisis de NT a cada uno de los ensayos a 25 °C.




Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N° 8 se observa que el producto más eficiente a la última semana fue OIKOS VERSAL con una concentración de 4000 mg/l y el peor resultado lo arrojó BIOWISH con 6267 mg/l.

**Gráfico N° 9:** Análisis de NT a cada uno de los ensayos a 32°C.




Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N° 9 el ensayo que demostró una mayor remoción del parámetro NT en el sexto análisis fue al que se le suministro el producto OIKOS VERSAL con un valor de 4000 mg/l y el ensayo con peores resultados fue BEC-201 con 6267 mg/l.

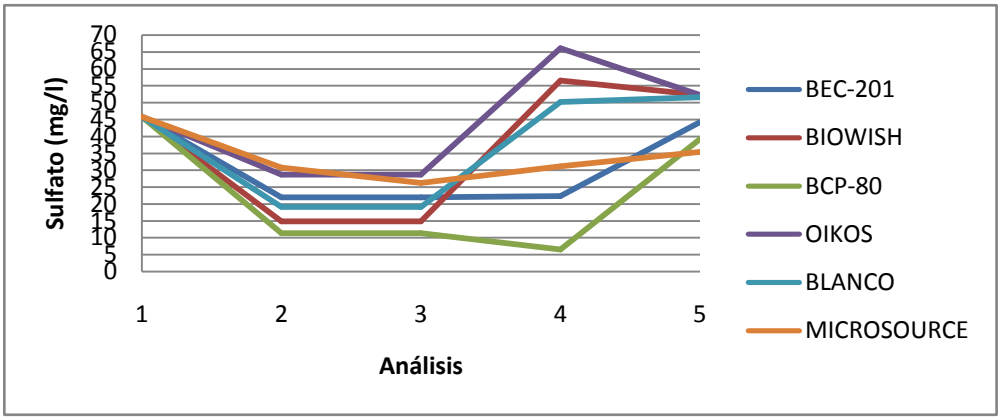
### 4.1.5. Resultados de $SO_4^{-2}$.

**Tabla N° 19:** Resultados de $SO_4^{-2}$ (mg/L) a distintas temperaturas.

| | Bacterias a 18ºC | | | | | Bacterias a 25ºC | | | | | Bacterias a 32ºC | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **BACTERIAS** | A. 1 | A. 2 | A. 3 | A. 4 | A. 5 | A. 1 | A.2 | A. 3 | A. 4 | A. 5 | A. 1 | A. 2 | A. 3 | A. 4 | A. 5 |
| **BIOWISH** | 45,79 | 15 | 15 | 57 | 52 | 45,79 | 17 | 17 | 60 | 115 | 45,79 | 12 | 12 | 41 | 44 |
| **BEC-201** | 45,79 | 22 | 22 | 22 | 44 | 45,79 | 5 | 5 | 34 | 32 | 45,79 | 5 | 5 | 29 | 29 |
| **BCP-80** | 45,79 | 11 | 11 | 7 | 39 | 45,79 | 7 | 7 | 34 | 25 | 45,79 | 2 | 2 | 34 | 20 |
| **OIKOS** | 45,79 | 29 | 29 | 66 | 52 | 45,79 | 14 | 14 | 30 | 64 | 45,79 | 1 | 1 | 17 | 31 |
| **BLANCO** | 45,79 | 19 | 19 | 50 | 52 | 45,79 | 13 | 13 | 45 | 36 | 45,79 | 3 | 3 | 46 | 34 |
| **MICROSOURCE** | 45,79 | 31 | 26 | 26 | 35 | 45,79 | 17 | 17 | 48 | 60 | 45,79 | 16 | 16 | 14 | 48 |

Fuente: Elaboración propia.

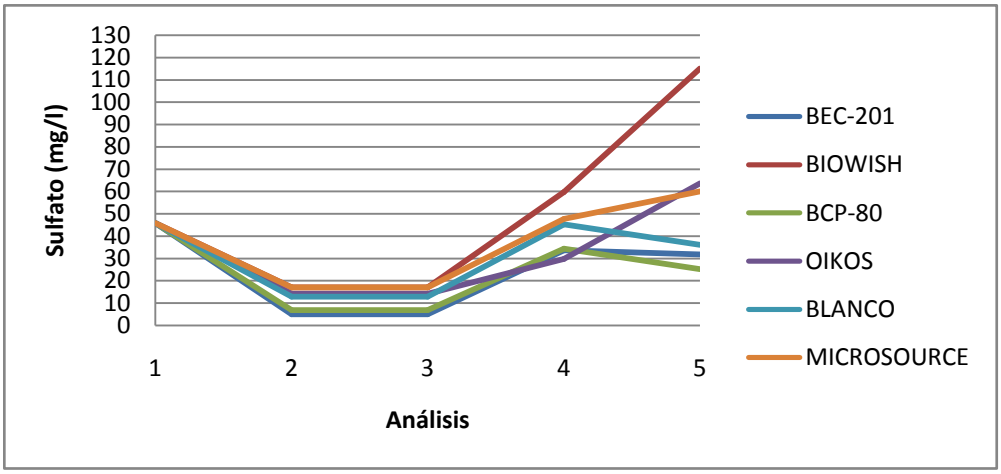
**Gráfico N° 10:** Análisis de $SO_4^{-2}$ a cada uno de los ensayos a 18°C.




Fuente: Elaboración propia.

El gráfico N° 10, muestra el análisis de $SO_4^{-2}$, donde se puede observar que algunos ensayos aumentaron su concentración. En el quinto análisis el producto más eficiente fue MICROSORUCE con 32 mg/l, en cambio los ensayos, como el blanco, y a los que se dosificó OIKOS VERSAL y BIOWISH presentaron una mayor concentración de 52 mg/l.

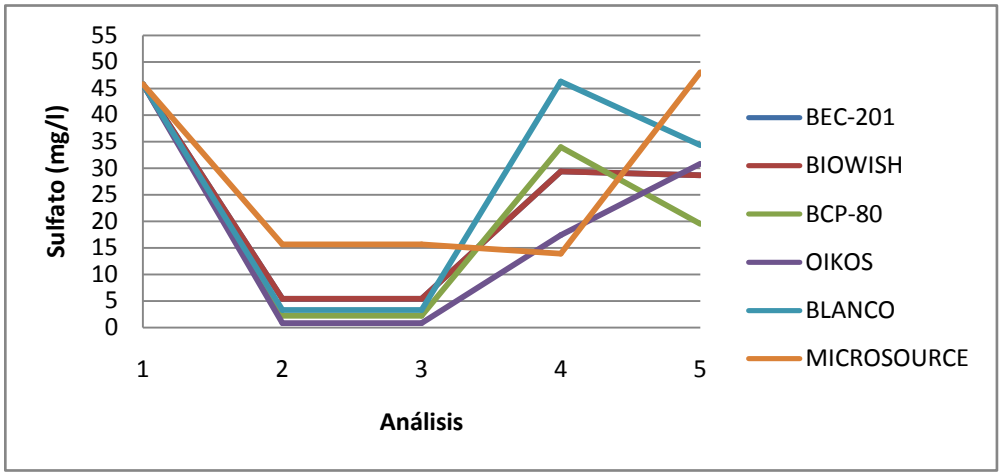
**Gráfico N° 11:** Análisis de $SO_4^{-2}$ a cada uno de los ensayos a 25°C.




Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N° 11 podemos observar que en el último análisis el producto más eficiente a una temperatura de 25°C fue BCP-80 con una concentración de 25 mg/l, y la más alta la obtuvo BIOWISH con 115 mg/l.

**Gráfico N° 12:** Análisis de $SO_4^{-2}$ a cada uno de los ensayos a 32°C.




Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N°12, se aprecia que en el quinto análisis el producto con mejores resultados al estar expuesto a una temperatura de 32 °C fue BCP-80 con 20 mg/l, y el que presentó una menor remoción de los parámetros fue MICROSOURCE con 48 mg/l.

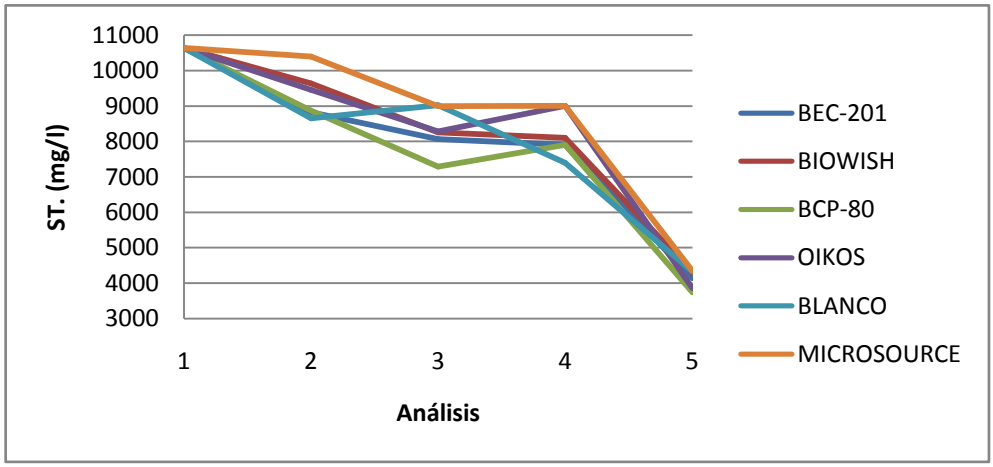
### 4.1.6. Resultados ST.

**Tabla N° 20:** Resultados de ST (mg/L) a distintas temperaturas.

| | Bacterias a 18ºC | | | | | Bacterias a 25ºC | | | | | Bacterias a 32ºC | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **BACTERIAS** | A. 1 | A. 2 | A. 3 | A. 4 | A. 5 | A. 1 | A. 2 | A. 3 | A. 4 | A. 5 | A. 1 | A. 2 | A. 3 | A. 4 | A. 5 |
| **BIOWISH** | 10635 | 9630 | 8250 | 8100 | 4310 | 10635 | 8910 | 8080 | 7600 | 4500 | 10635 | 8300 | 1821 | 7200 | 3660 |
| **BEC-201** | 10635 | 8820 | 8060 | 7900 | 4140 | 10635 | 8960 | 7350 | 7700 | 3750 | 10635 | 9020 | 7120 | 6700 | 3760 |
| **BCP-80** | 10635 | 8870 | 7290 | 7900 | 3740 | 10635 | 7890 | 6810 | 6600 | 3560 | 10635 | 8200 | 7000 | 6800 | 3540 |
| **OIKOS** | 10635 | 9450 | 8280 | 9000 | 3860 | 10635 | 9930 | 7820 | 7400 | 4330 | 10635 | 7900 | 7150 | 6200 | 3580 |
| **BLANCO** | 10635 | 8650 | 9020 | 7400 | 4330 | 10635 | 8860 | 8340 | 6900 | 3710 | 10635 | 8810 | 7510 | 6800 | 3830 |
| **MICROSOURCE** | 10635 | 10390 | 8990 | 9000 | 4350 | 10635 | 9810 | 7730 | 7200 | 4280 | 10635 | 8740 | 6870 | 7100 | 3490 |

Fuente: Elaboración propia.

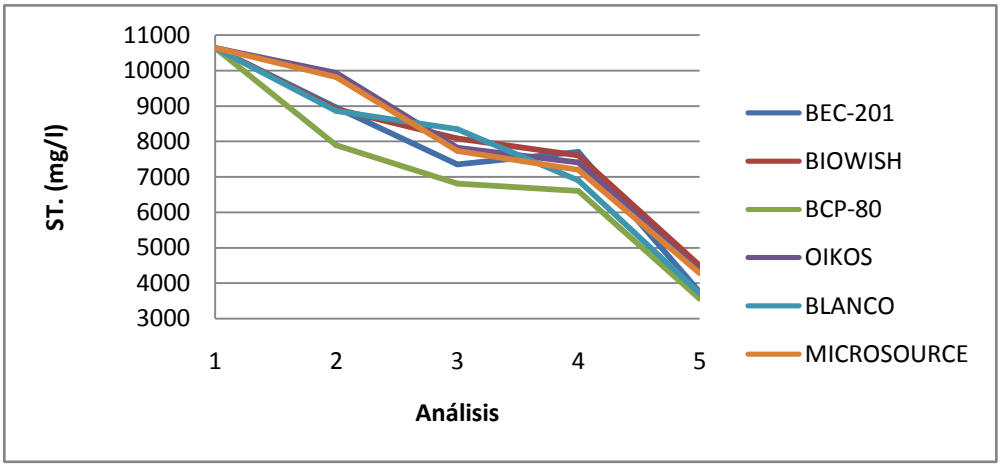
**Gráfico N° 13:** Análisis de ST a cada uno de los ensayos a 18°C.




Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N° 13, podemos observar que todos los análisis semanales fueron disminuyendo su concentración, en el último análisis el producto más eficiente fue BCP-80 con un valor de 3740 mg/l y el peor fue MICROSOURCE con 4350 mg/l.

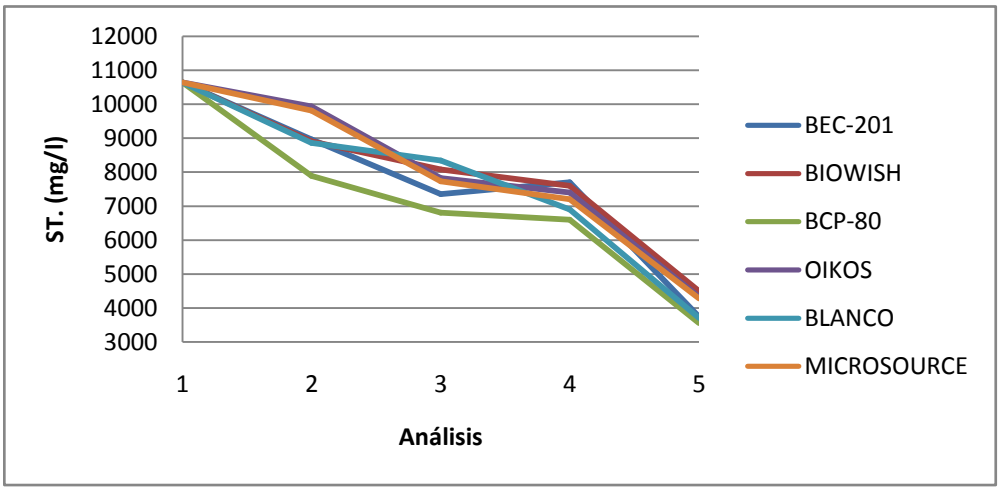
**Gráfico N° 14:** Análisis de ST a cada uno de los ensayos a 25°C.




Fuente: Elaboración propia.

El gráfico N° 14 presenta los ensayos de ST a una temperatura de 32 °C, donde se puede apreciar que aquel que muestra los mejores resultados es el blanco, y el que presentó una mayor concentración fue BIOWISH con 4500 mg/l.

**Gráfico N° 15:** Análisis de ST a cada uno de los ensayos a 32°C.




Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N° 15 se muestra el análisis a 32 °C de los ST, en este se aprecia que en el análisis N° 5 la mejor remoción es del producto MICROSOURCE con 3790 mg/l, en cambio el blanco obtuvo 3830 mg/l siendo el ensayo con peor resultado.

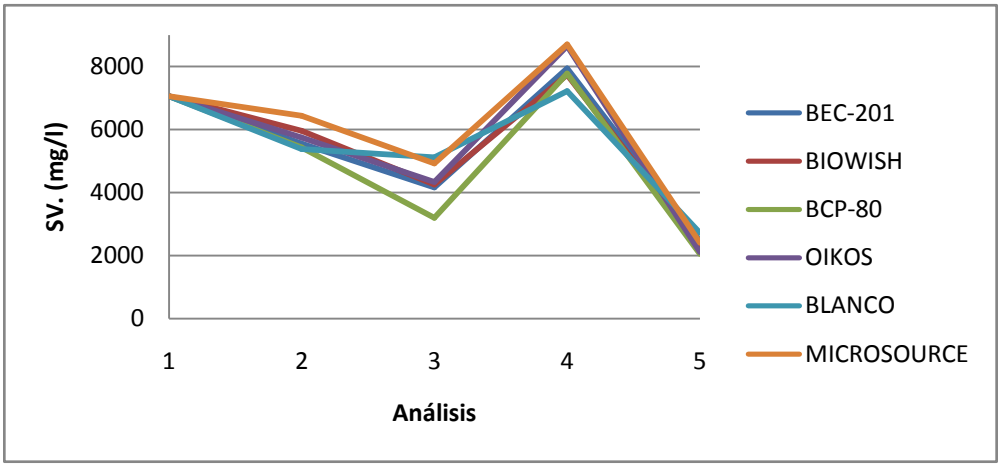
### 4.1.7. Resultados de SV.

**Tabla N° 21:** Resultados de SV (mg/L) a distintas temperaturas.

| | Bacterias a 18ºC | | | | | Bacterias a 25ºC | | | | | Bacterias a 32ºC | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **BACTERIAS** | A. 1 | A. 2 | A. 3 | A. 4 | A. 5 | A. 1 | A. 2 | A. 3 | A. 4 | A. 5 | A. 1 | A. 2 | A. 3 | A. 4 | A. 5 |
| **BIOWISH** | 7055 | 5960 | 4250 | 7740 | 2270 | 7055 | 5700 | 3870 | 7640 | 2740 | 7055 | 5350 | 2610 | 7470 | 1930 |
| **BEC-201** | 7055 | 5550 | 4160 | 7940 | 2460 | 7055 | 6560 | 3710 | 7770 | 2230 | 7055 | 5310 | 3680 | 6170 | 1860 |
| **BCP-80** | 7055 | 5430 | 3200 | 7780 | 2050 | 7055 | 4930 | 3270 | 5910 | 2200 | 7055 | 5000 | 2610 | 7300 | 1990 |
| **OIKOS** | 7055 | 5750 | 4340 | 8650 | 2110 | 7055 | 6130 | 4000 | 7310 | 2380 | 7055 | 4400 | 3590 | 6820 | 1990 |
| **BLANCO** | 7055 | 5380 | 5120 | 7220 | 2720 | 7055 | 5560 | 4720 | 11070 | 1830 | 7055 | 5490 | 3970 | 7060 | 2200 |
| **MICROSOURCE** | 7055 | 6440 | 4920 | 8700 | 2410 | 7055 | 6160 | 3950 | 7330 | 2580 | 7055 | 5370 | 3220 | 6930 | 1420 |

Fuente: Elaboración propia.

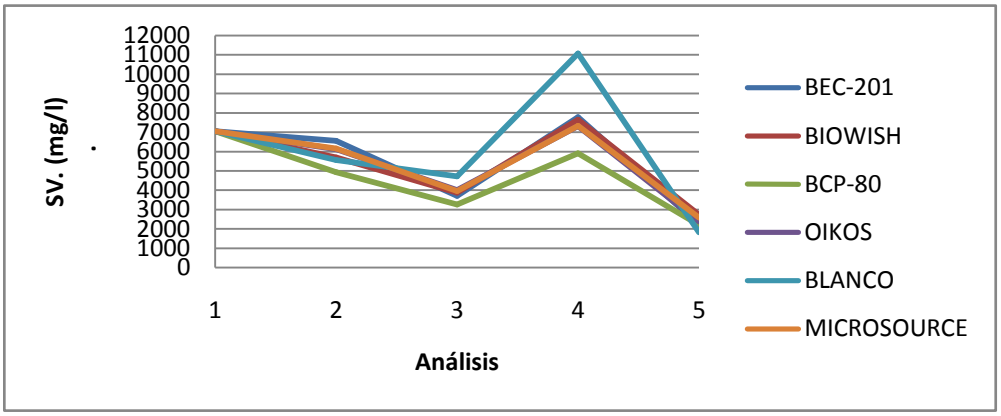
**Gráfico N° 16:** Análisis de SV a cada uno de los ensayos a 18 °C.




Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N° 16 se muestra que en el quinto análisis los SV disminuyeron considerablemente en relación al primero. El ensayo que demostró una mayor remoción fue al que se le suministro BCP-80 con una concentración de 2050 mg/l, en cambio el ensayo con una menor remoción de los SV fue el blanco.

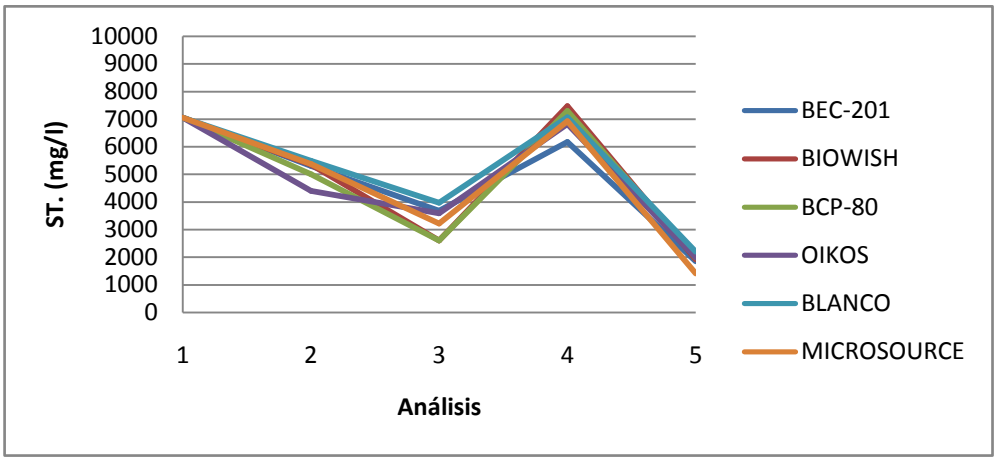
**Gráfico N° 17:** Análisis de SV a cada uno de los ensayos a 25°C.




Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N° 17 se observa que la mayoría de los ensayos se comportaron de la misma forma presentando una remoción de los SV muy semejante. El ensayo a la quinta semana que obtuvo una menor remoción fue el blanco, caso contrario ocurrió con el producto BIOWISH.

**Gráfico N° 18:** Análisis de SV a cada uno de los ensayos a 32°C.




Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N° 18 al igual que los anteriores, la remoción de los SV fue óptima, en la quinta semana donde el producto con mejor resultados fue MICROSOURCE con una concentración de 1420 mg/l y el peor fue el blanco con una concentración de 2200 mg/l.

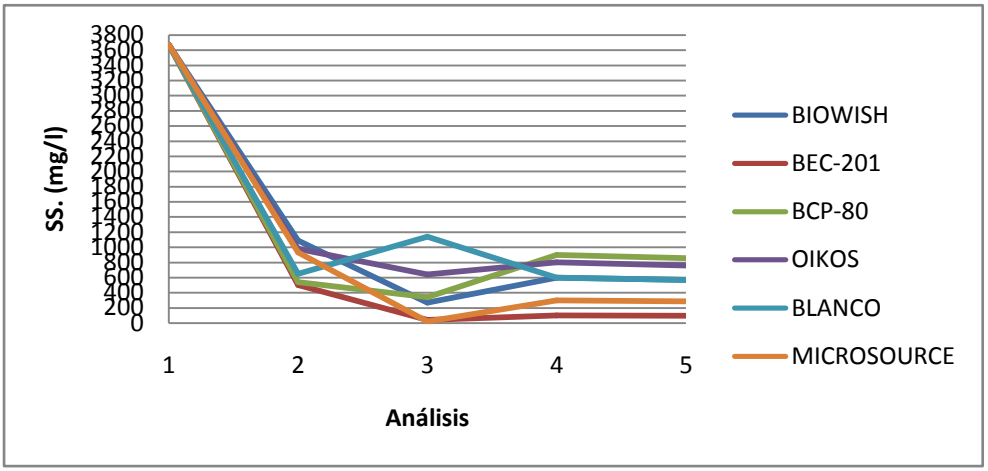
### 4.1.8. Resultados de SST.

**Tabla N° 22:** Resultados de SST (mg/L) a distintas temperaturas.

| | Bacterias a 18ºC | | | | | Bacterias a 25ºC | | | | | Bacterias a 32ºC | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **BACTERIAS** | A. 1 | A. 2 | A. 3 | A. 4 | A. 5 | A. 1 | A. 2 | A. 3 | A. 4 | A. 5 | A. 1 | A. 2 | A. 3 | A. 4 | A. 5 |
| **BIOWISH** | 3670 | 1090 | 270 | 600 | 570 | 3670 | 800 | 1420 | 410 | 389 | 3670 | 800 | 820 | 510 | 464 |
| **BEC-201** | 3670 | 500 | 40 | 100 | 95 | 3670 | 530 | 770 | 500 | 475 | 3670 | 920 | 620 | 400 | 380 |
| **BCP-80** | 3670 | 540 | 340 | 900 | 855 | 3670 | 540 | 30 | 800 | 761 | 3670 | 960 | 310 | 400 | 380 |
| **OIKOS** | 3670 | 980 | 640 | 800 | 760 | 3670 | 2930 | 440 | 300 | 285 | 3670 | 400 | 200 | 200 | 190 |
| **BLANCO** | 3670 | 650 | 1140 | 600 | 571 | 3670 | 880 | 770 | 710 | 675 | 3670 | 1110 | 1260 | 300 | 285 |
| **MICROSOURCE** | 3670 | 930 | 20 | 300 | 285 | 3670 | 2180 | 10 | 600 | 570 | 3670 | 1000 | 670 | 200 | 190 |

Fuente: Elaboración propia.

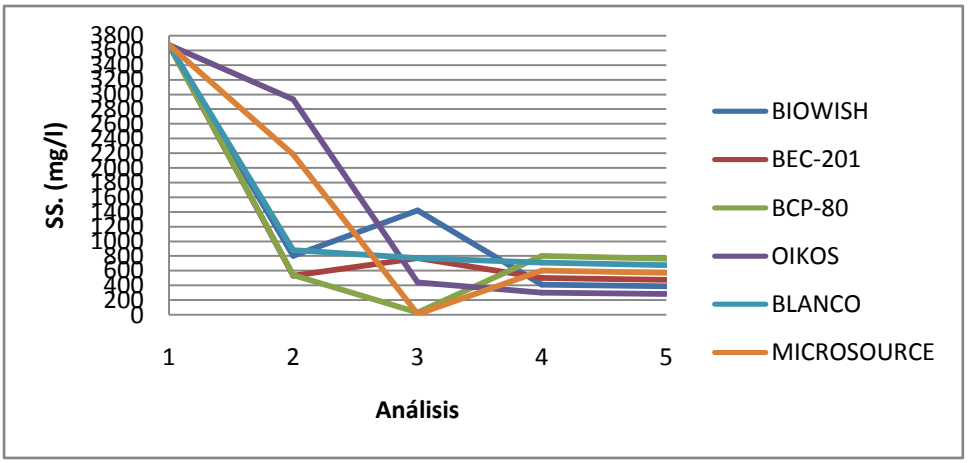
**Gráfico N° 19:** Análisis de SST (mg/L) a cada uno de los ensayos a 18°C.




Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N° 19 se observa que al aplicar la primera dosis del producto bacteriano, todos los ensayos disminuyeron la concentración de SST. A la quinta semana (A.5) el producto más eficiente es BEC-201 con 95 mg/l y el que posee una concentración mayor fue BCP-80 con 855 mg/l.

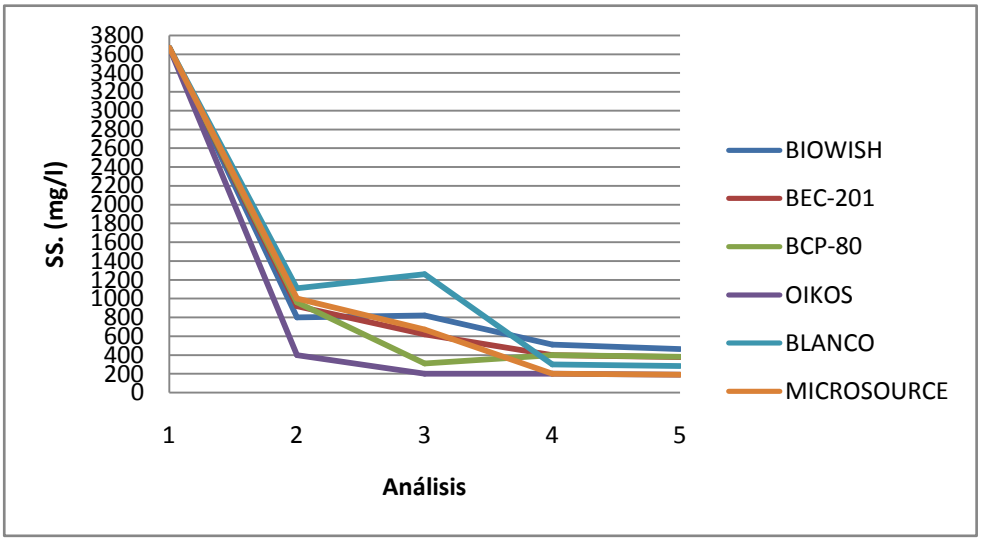
**Gráfico N° 20:** Análisis de SST a cada uno de los ensayos a 25°C.




Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N° 20 se observa que todos los ensayos disminuyeron su concentración de SST en cada semana, donde se puede apreciar que el ensayo con mayor eficiencia fue OIKOS VERSAL con una concentración de 285 mg/l, y el resultado más alto fue BCP-80 con 761 mg/l.

**Gráfico N° 21:** Análisis de SST a cada uno de los ensayos a 32°C.




Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N° 21 se observa que el ensayo que demostró una mayor remoción a los 32 °C fue al que se le aplicó el producto MICROSOURCE y OIKOS VERSAL obteniendo ambos una concentración de 190 mg/l, en cambio el ensayo con una menor remoción de los SST fue BIOWISH con una concentración de 464 mg/l.

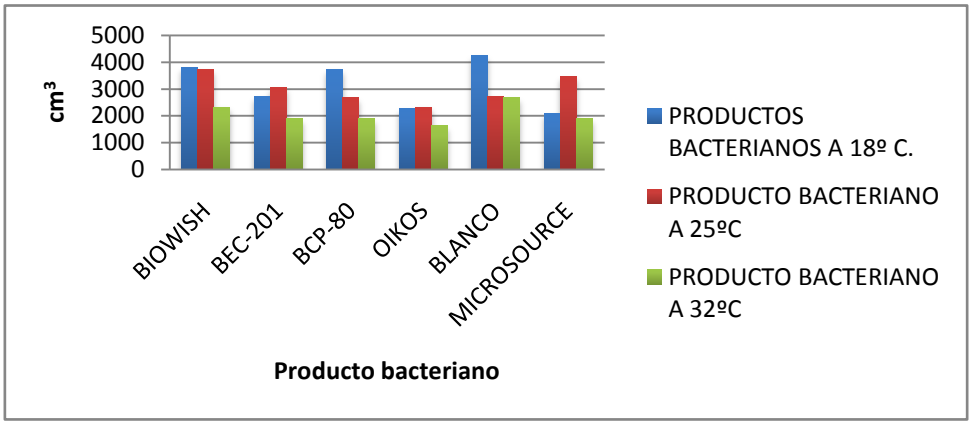
### 4.1.9. Resultado de sedimento ($cm^3$) acumulado.

**Tabla N° 23:** Resultados de sedimento acumulado a distintas temperaturas.

| | PRODUCTOS BACTERIANOS A 18° C. | PRODUCTO BACTERIANO A 25°C | PRODUCTO BACTERIANO A 32°C |
|---|---|---|---|
| **BACTERIAS** | Cantidad sedimentada ($cm^3$) | Cantidad sedimentada ($cm^3$) | Cantidad sedimentada ($cm^3$) |
| **BIOWISH** | 3803,8 | 3705 | 2321,8 |
| **BEC-201** | 2717 | 3062,8 | 1877,2 |
| **BCP-80** | 3705 | 2667,6 | 1877,2 |
| **OIKOS** | 2272,4 | 2321,8 | 1630,2 |
| **BLANCO** | 4248,4 | 2717 | 2667,6 |
| **MICROSOURCE** | 2074,8 | 3458 | 1877,2 |

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico N° 22:** Análisis de Sedimento acumulado en cada uno de los ensayos.




Fuente: Elaboración propia.

Al finalizar el experimento el ensayo que presentó menor eficiencia en términos de volumen de sedimentos acumulados fue el blanco a 18 °C con 4248,4 $cm^3$, en cambio a la temperatura de 32 °C el ensayo más eficiente con menor sedimento fue OIKOS VERSAL obteniendo 1630,2 $cm^3$.

**Tabla N° 24:** Porcentaje de remoción.

| Producto bacteriano | Temperatura ºC | Remoción DQO% | Remoción PT % | Remoción NT % | Remoción $SO_4^{-2}$% | Remoción ST % | Remoción SV % | Remoción SST % | Sedimento $cm^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BIOWISH | 18 | 30,83 | -32,86 | 49,02 | -14,21 | 59,47 | 67,82 | 84,47 | 3803,80 |
| BEC-201 | 18 | 36,59 | -15,16 | 52,94 | 3,50 | 61,07 | 65,13 | 97,41 | 2717,00 |
| BCP-80 | 18 | 35,19 | 0,89 | 35,95 | 14,28 | 64,83 | 70,94 | 76,70 | 3705,00 |
| OIKOS | 18 | 30,14 | 4,35 | 52,94 | -14,21 | 63,70 | 70,09 | 79,29 | 2272,40 |
| BLANCO | 18 | 39,48 | 19,17 | 58,17 | -12,67 | 59,29 | 61,45 | 84,45 | 4248,40 |
| MICROSOURCE | 18 | 24,46 | -32,86 | 60,39 | 22,75 | 59,10 | 65,84 | 92,23 | 2074,80 |
| BIOWISH | 25 | 57,91 | 52,27 | 45,10 | -151,28 | 57,69 | 61,16 | 89,39 | 3705,00 |
| BEC-201 | 25 | 54,32 | 43,71 | 59,61 | 30,45 | 64,74 | 68,39 | 87,06 | 3062,80 |
| BCP-80 | 25 | 76,59 | 65,56 | 47,71 | 45,08 | 66,53 | 68,82 | 79,27 | 2667,60 |
| OIKOS | 25 | 43,44 | 18,71 | 60,78 | -38,85 | 59,29 | 66,27 | 92,23 | 2321,80 |
| BLANCO | 25 | 59,35 | 45,32 | 55,56 | 21,21 | 65,12 | 74,06 | 81,62 | 2717,00 |
| MICROSOURCE | 25 | 53,65 | 43,67 | 46,41 | -31,15 | 59,76 | 63,43 | 84,47 | 3458,00 |
| BIOWISH | 32 | 61,09 | 59,72 | 41,18 | 3,50 | 65,59 | 72,64 | 87,35 | 2321,80 |
| BEC-201 | 32 | 71,17 | 62,87 | 38,56 | 37,38 | 64,65 | 73,64 | 89,65 | 1877,20 |
| BCP-80 | 32 | 71,17 | 66,06 | 45,10 | 57,40 | 66,71 | 71,79 | 89,63 | 1877,20 |
| OIKOS | 32 | 68,16 | 58,80 | 60,78 | 32,76 | 66,34 | 71,79 | 94,82 | 1630,20 |
| BLANCO | 32 | 61,55 | 62,98 | 52,94 | 25,06 | 63,99 | 68,82 | 92,23 | 2667,60 |
| MICROSOURCE | 32 | 73,78 | 62,49 | 51,63 | -4,97 | 67,18 | 79,87 | 94,82 | 1877,20 |

Fuente: Elaboración propia.

### 4.1.10. Resultados estimación de $CH_4$

Utilizando la ecuación Nº 6, se obtiene la estimación de $CH_4$, a las tres temperaturas de operación de cada uno de los ensayo de laboratorio.

**Tabla N° 25:** Estimación de gas metano diario en ml.

| Temperatura °C | Bec-201 | Bcp-80 | OikosVersal | Biowish | Microsource | Blanco |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **18** | 0,05626933 | 0,05412413 | 0,05132212 | 0,06273029 | 0,0422601 | 0,06197756 |
| **25** | 0,08555083 | 0,12063269 | 0,08908481 | 0,0662859 | 0,07300045 | 0,06402224 |
| **32** | 0,1147367 | 0,1147367 | 0,10744615 | 0,10639221 | 0,11618548 | 0,09308269 |

Fuente: elaboración propia.

### 4.1.11. Resultado estimación de $H_2S$.

**Tabla N° 26:** Estimación diaria de $H_2S$ en gr/litro.

| Temperatura °C | OikosVersal | Biowish | Microsource | Blanco | Bec-201 | Bcp-80 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **18** | 0,00046359 | 0,00046359 | 0,00031356 | 0,00045734 | 1,41952E-05 | 5,79527E-05 |
| **25** | 0,0005636 | 0,00101993 | 0,00053235 | 0,00031981 | 0,000123589 | 0,000182974 |
| **32** | 0,00027293 | 0,0003917 | 0,00042608 | 0,00030418 | 0,000151719 | 0,000232983 |

Fuente: elaboración propia.

### 4.1.12. Resultado balance de nitrógeno.

A continuación se presenta el balance de N para cada uno de los ensayos.

**Tabla N° 27:** Balance de Nitrógeno (kg-N/ha/año) a 18 °C.

| Producto | Bec-201 | Bcp-80 | Microsource | Biowish | OikosVersal | Blanco |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Entrada.** | 2960,101746 | 3982,644585 | 2511,6698 | 3196,11856 | 2960,10175 | 2645,019302 |
| **Salida** | 769,0203492 | 973,5289169 | 679,333961 | 816,223712 | 769,020349 | 706,0038603 |
| **N residual** | 2191,081397 | 3009,115668 | 1832,33584 | 2379,89485 | 2191,0814 | 1939,015441 |

Fuente: elaboración propia.

**Tabla N° 28:** Balance de Nitrógeno (kg-N/ha/año) a 25 °C.

| Producto | Bec-201 | Bcp-80 | Microsource | Biowish | Oikos | Blanco |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Entrada.** | 2558,873165 | 3274,594148 | 3353,06974 | 3432,13537 | 2488,06812 | 2802,560524 |
| **Salida** | 688,774633 | 831,9188296 | 847,613948 | 863,427074 | 674,613624 | 737,5121048 |
| **N residual** | 1870,098532 | 2442,675318 | 2505,45579 | 2568,7083 | 1813,4545 | 2065,048419 |

Fuente: elaboración propia.

**Tabla N° 29:** Balance de Nitrógeno (kg-N/ha/año) a 32 °C.

| Producto | Bec-201 | Bcp-80 | Microsource | Biowish | Oikos | Blanco |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Entrada.** | 3825,103362 | 3432,13537 | 3038,57734 | 3668,15218 | 2488,06812 | 2960,101746 |
| **Salida** | 942,0206725 | 863,427074 | 784,715467 | 910,630436 | 674,613624 | 769,0203492 |
| **N residual** | 2883,08269 | 2568,708296 | 2253,86187 | 2757,52175 | 1813,4545 | 2191,081397 |

Fuente: elaboración propia.

## 4.2. Análisis de riesgos ambientales.

### 4.2.1. Identificación de aspectos ambientales.

La identificación de los aspectos ambientales fue realizada sólo para el tratamiento de la fracción liquida de los purines, esto implica los aspectos en el biodigestor (digestión anaerobia) futuro y en la aplicación de los purines a suelos agrícolas. En la tabla siguiente se identifican los aspectos ambientales.

**Tabla N° 30:** Identificación de los aspectos ambientales para aplicación de purines a suelos agrícolas.

| | DESCRIPCIÓN |
|---|---|
| **Actividad.** | Fertirriego con efluente tratado. |
| **Aspecto Ambiental.** | Emisión de olores.<br>Dilución del efluente.<br>Aplicación de purines a cultivos. |
| **Impacto Ambiental.** | Contaminación de Suelo. |
| | Uso de Recursos Naturales. |
| | Contaminación del Aire. |
| | Daño a la infraestructura o medio construido (propiedad de terceros y de la empresa). |
| **Tiempo de Ocurrencia.** | Presente: Impactos ocasionados por actividades, productos y servicios actualmente realizadas por la organización. |
| **Responsabilidad.** | Directa: Actividad, producto o servicio que es directamente controlado por la empresa. |
| **Tipo de Impacto.** | Adverso: Daña al medio ambiente. |
| **Amplitud Geográfica.** | Puntual: Afecta solamente al recinto o área de estudio sin alterar a los vecinos. |
| | Local: Afecta al recinto y además a sus vecinos. |
| **Situación Operacional.** | Normal: Actividades propias del proceso, que ha sido planificadas y son frecuentes. |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 31:** Identificación de los aspectos ambientales para digestión anaerobia.

| | Descripción. |
|---|---|
| **Actividad.** | Digestión anaerobia. |
| **Aspecto Ambiental.** | Emisión de olores.<br>Remoción DQO.<br>Remoción NT.<br>Remoción PT.<br>Remoción SST.<br>Remoción ST.<br>Remoción SD.<br>Sedimento acumulado.<br>Remoción Sulfatos.<br>Emisión de gases de efecto invernadero.<br>Emisión de $H_2S$ |
| **Impacto Ambiental.** | Contaminación de Suelo |
| | Contaminación del Aire |
| | Daño a la infraestructura o medio construido (propiedad de terceros y de la empresa). |
| **Tiempo de Ocurrencia.** | Presente: Impactos ocasionados por actividades, productos y servicios actualmente realizadas por la organización. |
| **Responsabilidad.** | Directa: Actividad, producto o servicio que es directamente controlado por la empresa. |
| **Tipo de Impacto.** | Adverso: Daña al medio ambiente. |
| **Amplitud Geográfica.** | Puntual: Afecta solamente al recinto o área de estudio sin alterar a los vecinos. |
| | Local: Afecta al recinto y además a sus vecinos. |
| **Situación Operacional.** | Normal: Actividades propias del proceso, que ha sido planificadas y son frecuentes. |

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presenta la aplicación de la matriz al tratamiento de purines en el sistema de lagunas anaerobias cubiertas utilizando el producto bacteriano que actualmente emplea la empresa en su proceso y otra con un producto que proporcionó un rendimiento mayor en el tratamiento de purines.

### 4.2.2. Evaluación del riesgo ambiental e identificación de los AAS, del tratamiento de purines en el sistema de lagunas anaerobias cubiertas utilizando el producto bacteriano (BEC-201) que emplea la empresa en su proceso.

**Tabla N° 32:** Evaluación de los aspectos ambientales (BEC-201).

| RECINTO: Plantel Aguas Claras | | | | CLASIFICACIÓN | | | | | | | | | | EVALUACIÓN | | Observación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | Evaluación de Riesgo | | | | | | | |
| Área | Actividad | Aspecto Ambiental | Impacto Ambiental | Tiempo de Ocurrencia | Responsabilidad | Tipo de Impacto | Amplitud Geográfica | Situación Operacional | Probabilidad | Severidad | Indice de Evaluación de Riesgo | Control | | Magnitud del Riesgo Ambiental | Significancia | |
| Planta de tratamiento | Digestión anaerobia. | Emisión de olores. | Contaminación del Aire | P | D | A | L | N | 5 | 7 | C | 1 | | 13 | N/S | Alto, es recomendable implementar medidas de protección adicionales. |
| | | Remoción DQO. | Contaminación de Suelo | P | D | A | L | N | 7 | 7 | B | 1 | | 15 | AAS | Muy Alto, se deben realizar controles u otras medidas periódicas para disminuir el riesgo.. |
| | | Remoción NT. | Contaminación de Suelo | P | D | A | L | N | 7 | 7 | B | 1 | | 15 | AAS | Muy Alto, se deben realizar controles u otras medidas periódicas para disminuir el riesgo. |
| | | Remoción PT. | Contaminación de Suelo | P | D | A | L | N | 7 | 5 | C | 1 | | 15 | N/S | Alto, es recomendable implementar medidas de protección adicionales. |
| | | Remoción SST. | Contaminación de Suelo | P | D | A | L | N | 7 | 7 | B | 1 | | 15 | AAS | Muy Alto, se deben realizar controles u otras medidas periódicas para disminuir el riesgo. |
| | | Remoción ST. | Contaminación de Suelo | P | D | A | L | N | 3 | 5 | E | 1 | | 9 | N/S | Moderado, se requiere seguimiento para ver si se mantienen los controles. |
| | | Remoción de SV. | Contaminación de Suelo | P | D | A | L | N | 5 | 5 | D | 1 | | 11 | N/S | Medio, en condiciones actuales debe evaluarse periódicamente. |
| | | Sedimento acumulado. | Daño a la infraestructura o medio construido | P | D | A | P | N | 5 | 5 | D | 1 | | 11 | N/S | Medio, en condiciones actuales debe evaluarse periódicamente. |
| | | Remoción Sulfatos. | Contaminación del suelo | P | D | A | L | N | 7 | 3 | D | 1 | | 11 | N/S | Medio, en condiciones actuales debe evaluarse periódicamente. |
| | | Emisión de $H_2S$ | Daño a la infraestructura o medio construido | P | D | A | P | N | 5 | 7 | A | 1 | | 13 | N/S | Alto, es recomendable implementar medidas de protección adicionales. |
| | | Emisión de gases de efecto invernadero. | Contaminación del Aire | P | D | A | R | N | 9 | 3 | C | 1 | | 14 | N/S | Alto, es recomendable implementar medidas de protección adicionales. |
| | Fertirriego con efluente tratado | Emisión de olores. | Contaminación del Aire | P | D | A | L | N | 3 | 7 | D | 1 | | 11 | N/S | Moderado, se requiere seguimiento para ver si se mantienen los controles. |
| | | Dilución del efluente. | Uso de Recursos Naturales | P | D | A | L | N | 9 | 5 | B | 1 | | 15 | AAS | Muy Alto, se deben realizar controles u otras medidas periódicas para disminuir el riesgo. |
| | | Aplicación de purines a cultivos. | Daño a la infraestructura o medio construido | P | D | A | L | N | 1 | 5 | F | 1 | | 7 | N/S | Bajo, con recomendaciones |
| | | Aplicación de purines a cultivos. | Contaminación de Suelo | P | D | A | L | N | 3 | 5 | E | 1 | | 9 | N/S | Moderado, se requiere seguimiento para ver si se mantienen los controles. |

Fuente: Elaboración propia.

A través de la matriz de evaluación del riesgo ambiental e identificación de los AAS aplicado en el sistema de lagunas anaerobias cubiertas utilizando el producto bacteriano BEC-201, se puede rescatar que según los criterios de evaluación, los AA de remoción de DQO, remoción de NT y remoción de SST, generados por las actividades de digestión anaerobia, producen una magnitud del riesgo ambiental muy alta, y al avaluar la significancia del riesgo se constató que los AA mencionados anteriormente producen un efecto significativo sobre el entorno, para lo cual se deben tomar medidas para tales aspectos, asumiendo controles u otras medidas periódicas para disminuir el riesgo, además de aplicar buenas prácticas en las diferentes tareas.

Con respecto a la actividad fertirriego con efluente tratado, se constató por medio de la magnitud del riesgo ambiental, que la dilución del efluente y la aplicación de purines a los cultivos son los causantes de AAS. La evaluación del riesgo de ambos AA arrojaron muy alto, por lo cual se deben realizar controles u otras medidas periódicas para disminuir el riesgo en el medio.

***Análisis de evaluación de riesgo de los AAS.***

La remoción de DQO se estableció como una probabilidad moderada, ya que es probable que el impacto se verifique u ocurra generado por la inestabilidad del producto a las tres temperaturas, donde se percató que existieron diferencias significativas en la remoción del parámetro en cada una de ellas. La severidad fue muy grave, ya que se mantuvo una DQO elevada, que perjudica la disponibilidad de oxígeno para las plantas cuando el purín tratado es utilizado como agua de riego.

Para el AA remoción de SST se consideró que el criterio de probabilidad sea moderado, ya que no fue estable la remoción del producto a las tres temperaturas. Se asumió que el criterio severidad sea muy grave, ya que las

altas concentraciones de SST en el efluente utilizado como agua de riego inhiben la infiltración del agua, reduce la aireación del suelo e impide el desarrollo de las plantas.

Para la evaluación en el caso de la remoción de NT, se consideró el PAP y su balance de nitrógeno, en donde es aceptable tener hasta 1.000 kg-N/ha/año de nitrógeno residual, por lo cual no se estaría cumpliendo con el plan de aplicación.

Para el AA dilución del efluente se estableció que el criterio de probabilidad sea frecuente, y la severidad muy grave, ya que se deberá aumentar el volumen de agua de dilución producto de que el purín posee una mayor concentración de los nutrientes, aumentando la probabilidad de generar riesgos en el proceso.

### 4.2.3. Evaluación del riesgo ambiental e identificación de los AAS, del tratamiento de purines en el sistema de lagunas anaerobias cubiertas utilizando el producto bacteriano BCP-80.

**Tabla N° 33:** Evaluación de los aspectos ambientales (BCP-80).

| RECINTO: Plantel Aguas Claras | | | | CLASIFICACIÓN | | | | | | | | | | EVALUACIÓN | | Observación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | Evaluación de Riesgo | | | | | | | |
| Área | Actividad | Aspecto Ambiental | Impacto Ambiental | Tiempo de Ocurrencia | Responsabilidad | Tipo de Impacto | Amplitud Geográfica | Situación Operacional | Probabilidad | Severidad | Índice de Evaluación de Riesgo | Control | | Magnitud del Riesgo Ambiental | Significancia | |
| Planta de tratamiento | Digestión anaerobia. | Emisión de olores. | Contaminación del Aire | P | D | A | L | N | 7 | 3 | D | 1 | | 11 | N/S | Medio, en condiciones actuales debe evaluarse periódicamente. |
| | | Remoción DQO. | Contaminación de Suelo | P | D | A | L | N | 5 | 7 | C | 1 | | 13 | N/S | Alto, es recomendable implementar medidas de protección adicionales. |
| | | Remoción NT. | Contaminación de Suelo | P | D | A | L | N | 7 | 7 | B | 1 | | 15 | AAS | Muy Alto, se deben realizar controles u otras medidas periódicas para disminuir el riesgo. |
| | | Remoción PT. | Contaminación de Suelo | P | D | A | L | N | 7 | 5 | C | 1 | | 13 | N/S | Alto, es recomendable implementar medidas de protección adicionales. |
| | | Remoción SST. | Contaminación de Suelo | P | D | A | L | N | 7 | 7 | B | 1 | | 15 | AAS | Muy Alto, se deben realizar controles u otras medidas periódicas para disminuir el riesgo. |
| | | Remoción ST. | Contaminación de Suelo | P | D | A | L | N | 3 | 5 | E | 1 | | 9 | N/S | Moderado, se requiere seguimiento para ver si se mantienen los controles. |
| | | Remoción de SV. | Contaminación de Suelo | P | D | A | L | N | 3 | 5 | E | 1 | | 11 | N/S | Moderado, se requiere seguimiento para ver si se mantienen los controles. |
| | | Sedimento acumulado. | Daño a la infraestructura o medio construido | P | D | A | P | N | 5 | 5 | D | 1 | | 11 | N/S | Medio, en condiciones actuales debe evaluarse periódicamente. |
| | | Remoción Sulfatos. | Contaminación del suelo | P | D | A | L | N | 7 | 3 | D | 1 | | 11 | N/S | Medio, en condiciones actuales debe evaluarse periódicamente. |
| | | Emisión de $H_2S$ | Daño a la infraestructura o medio construido | P | D | A | P | N | 7 | 7 | B | 1 | | 15 | AAS | Muy Alto, se deben realizar controles u otras medidas periódicas para disminuir el riesgo. |
| | | Emisión de gases de efecto invernadero. | Contaminación del Aire | P | D | A | R | N | 5 | 5 | C | 1 | | 11 | N/S | Alto, es recomendable implementar medidas de protección adicionales. |
| | Fertirriego con efluente tratado | Emisión de olores. | Contaminación del Aire | P | D | A | L | N | **5** | 7 | D | 1 | | 13 | N/S | Moderado, se requiere seguimiento para ver si se mantienen los controles. |
| | | Dilución del efluente. | Uso de Recursos Naturales | P | D | A | L | N | **9** | 5 | B | 1 | | 15 | AAS | Muy Alto, se deben realizar controles u otras medidas periódicas para disminuir el riesgo. |
| | | Aplicación de purines a cultivos. | Daño a la infraestructura o medio construido | P | D | A | L | N | **1** | 5 | E | 1 | | 7 | N/S | Moderado, se requiere seguimiento para ver si se mantienen los controles. |
| | | Aplicación de purines a cultivos. | Contaminación de Suelo | P | D | A | L | N | **3** | 5 | F | 1 | | 9 | N/S | Bajo, con recomendaciones. |

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la matriz de evaluación del riesgo ambiental e identificación de los AAS en el sistema de lagunas anaerobias cubiertas empleando el producto bacteriano BCP-80, se constató en la actividad digestión anaerobia que los AA remoción NT, remoción SST y emisión de $H_2S$ eran los principales causantes de los efectos significativos de los riesgos ambientales. Las medidas de control que se deben aplicar a cada impacto de los AAS, son el cumplimiento del PAP en el caso del NT, además de monitoreos permanente por parte de la planta y autocontroles periódicos con laboratorios certificados, implementando controles u otras medidas periódicas para disminuir el riesgo.

El AA emisión de $H_2S$, produce un impacto en la infraestructura de la laguna cubierta, ya que en ella se instalará una cubierta de geomembrana para la captación y almacenamiento de biogás, donde se recolectará a través de tuberías internas y de otros equipos, las cuales pueden sufrir corrosión producto de las altas concentraciones de $H_2S$, generando un impacto en la infraestructura de la laguna cubierta.

Con respecto a la actividad Fertirriego con efluente tratado, la dilución del efluente es un aspecto a considerar cuando el purín es utilizado como agua de riego, siendo un AAS por las altas concentraciones en nutrientes que posee.

***Análisis de evaluación de riesgo de los AAS.***

En el AA remoción de NT se estableció moderada para el criterio de probabilidad del riesgo, debido a que el producto no es estable a las variaciones de temperaturas. Para el criterio de severidad se asumió la descripción de muy grave, ya que al realizar el balance de nitrógeno, sobrepasa lo aceptado de nitrógeno residual.

Para AA remoción SST se estableció la descripción de moderado para el criterio de probabilidad, ya que el producto bacteriano no fue estable a las tres temperaturas, generando variaciones con respecto al tiempo, además se consideró muy grave el criterio de severidad, ya que al ser vertido en el suelo y al estar en altas concentraciones puede inhibir el crecimiento de las plantas y la infiltración del agua en el suelo.

En el caso de AA emisión de $H_2S$ se obtuvo una probabilidad de moderado, ya que hay variaciones de la concentración considerables en las tres temperaturas. La severidad fue muy grave, debido a que las concentraciones son muy elevadas.

Para el criterio de probabilidad en el AA dilución del efluente se obtuvo una calificación de frecuente y para el criterio de severidad moderado, producto que el purín posee altas concentraciones en los parámetros, originando un mayor gasto en la utilización de agua de acequia, siendo este recurso vital para la zona de Los Andes, ya que actualmente están sufriendo problemas por la falta de agua.

### 4.3. Análisis estadístico.

Los análisis de los datos DQO, NT, PT, SST, SV, ST, Sulfatos y sedimento acumulado en cuanto a la remoción de los parámetros en el purín, que se obtuvieron a través de la metodología analítica fueron analizados en el programa académico INFOSTAT, con esto se logro un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existen interacciones entre las variables. El análisis se realizó con un 10% de significación.

**Análisis de la varianza**

**Remoción DQO%**

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Remoción DQO% | 18 | 0,89 | 0,81 | 13,95 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 4230,59 | 7 | 604,37 | 11,18 | 0,0005 |
| Producto bacteriano | 337,72 | 5 | 67,54 | 1,25 | 0,3565 |
| Temperatura | 3892,87 | 2 | 1946,43 | 35,99 | <0,0001 |
| Error | 540,80 | 10 | 54,08 | | |
| Total | 4771,39 | 17 | | | |

**Remoción PT %**

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Remoción PT % | 18 | 0,88 | 0,80 | 47,01 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 17843,52 | 7 | 2549,07 | 10,90 | 0,0006 |
| Producto bacteriano | 1109,50 | 5 | 221,90 | 0,95 | 0,4913 |
| Temperatura | 16734,02 | 2 | 8367,01 | 35,76 | <0,0001 |
| Error | 2339,52 | 10 | 233,95 | | |
| Total | 20183,04 | 17 | | | |

**Remoción NT %**

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Remoción NT % | 18 | 0,57 | 0,27 | 12,99 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 584,13 | 7 | 83,45 | 1,91 | 0,1696 |
| Producto bacteriano | 527,10 | 5 | 105,42 | 2,42 | 0,1100 |
| Temperatura | 57,03 | 2 | 28,52 | 0,65 | 0,5407 |
| Error | 435,90 | 10 | 43,59 | | |
| Total | 1020,03 | 17 | | | |

**Remoción $SO_4^{-2}$ %**

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Remoción SO4 % | 18 | 0,60 | 0,32 | 2641,19 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 21876,99 | 7 | 3125,28 | 2,14 | 0,1326 |
| Producto bacteriano | 15522,84 | 5 | 3104,57 | 2,13 | 0,1449 |
| Temperatura | 6354,16 | 2 | 3177,08 | 2,18 | 0,1640 |
| Error | 14588,22 | 10 | 1458,82 | | |
| Total | 36465,22 | 17 | | | |

**Remoción ST %**

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Remoción ST % | 18 | 0,64 | 0,39 | 3,96 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 111,73 | 7 | 15,96 | 2,56 | 0,0867 |
| Producto bacteriano | 44,17 | 5 | 8,83 | 1,41 | 0,2990 |
| Temperatura | 67,56 | 2 | 33,78 | 5,41 | 0,0256 |
| Error | 62,45 | 10 | 6,25 | | |
| Total | 174,18 | 17 | | | |

**Remoción SV %**

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Remoción SV % | 18 | 0,45 | 0,06 | 6,66 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 171,84 | 7 | 24,55 | 1,16 | 0,3999 |
| Producto bacteriano | 20,90 | 5 | 4,18 | 0,20 | 0,9560 |
| Temperatura | 150,94 | 2 | 75,47 | 3,58 | 0,0673 |
| Error | 210,95 | 10 | 21,10 | | |
| Total | 382,80 | 17 | | | |

**Remoción SST %**

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Remoción SST % | 18 | 0,51 | 0,18 | 6,15 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 308,46 | 7 | 44,07 | 1,52 | 0,2657 |
| Producto bacteriano | 178,44 | 5 | 35,69 | 1,23 | 0,3648 |
| Temperatura | 130,02 | 2 | 65,01 | 2,24 | 0,1575 |
| Error | 290,75 | 10 | 29,08 | | |
| Total | 599,21 | 17 | | | |

**Sedimento $cm^3$**

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Sedimento cm3 | 18 | 0,71 | 0,51 | 19,98 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 7411915,62 | 7 | 1058845,09 | 3,58 | 0,0339 |
| Producto bacteriano | 3176806,42 | 5 | 635361,28 | 2,15 | 0,1422 |
| Temperatura | 4235109,20 | 2 | 2117554,60 | 7,16 | 0,0118 |
| Error | 2959072,08 | 10 | 295907,21 | | |
| Total | 10370987,70 | 17 | | | |

El ANOVA se realizó con el objetivo de verificar dos hipótesis para determinar si existen efectos principales:

- Ho: $\mu_i = \mu$ ; $\mu_j = \mu$ ; Es decir no hay efecto de los factores sobre la variable respuesta.

- H1: $\mu_i \neq \mu$ ; $\mu_i \neq \mu$ ; Es decir al menos un factor tiene efecto sobre la variable respuesta.

Los resultados de ANOVA antes expuestos revelan que sólo existen efectos significativos del factor temperatura en la remoción de DQO, PT, ST, SV y en el sedimento acumulado, donde la remoción de estos parámetros aumenta y la acumulación de sedimento disminuye, por lo que para estos casos se refuta la Ho pero se aprueba H1 para los efectos del factor temperatura. En cuanto a los efectos de los productos bacterianos, no existen efectos significativos sobre la remoción de los parámetros antes mencionados.

En el ANOVA realizado sobre la remoción de SV, $SO_4^{-2}$ y NT se revela que los factores de estudio no presentan efectos significativos por lo que los resultados de remoción de los parámetros antes mencionados, son prácticamente iguales para todos los experimentos realizados. Con esto se refuta la hipótesis H1 y se aprueba la hipótesis Ho.

Finalmente con un grado de 0,1 de significancia el análisis estadístico nos señala que el factor producto bacteriano no presenta efectos estadísticamente significativos, por el contrario el factor temperatura revela que sólo en algunos parámetros si presentan efectos significativos.

Se desarrollaron gráficas de perfil sobre las variables dependientes para las cuales se realizó el análisis (ver anexo F.) de éstas lo que arrojó las interacciones entre los niveles de las variables independientes (factores). El resultado del análisis de las gráficas se expone en la siguiente tabla.

**Tabla N° 34:** Interacción de los factores.

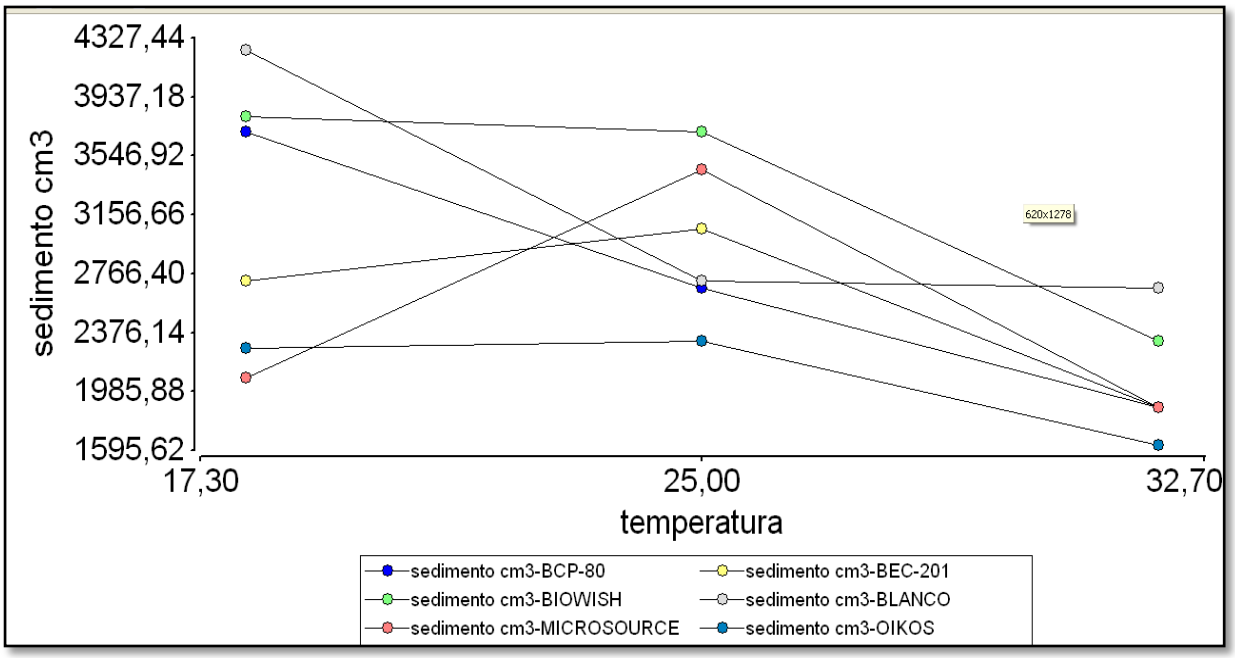
| | | Temperatura | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 18ºC | | | | | | | | 25ºC | | | | | | | | 32ºC | | | | | | | |
| | | DQO | PT | NT | SO4 | ST | SV | SST | S | DQO | PT | NT | SO4 | ST | SV | SST | S | DQO | PT | NT | SO4 | ST | SV | SST | S |
| Producto | BIOWISH | S | S | C/I | C/I | C/I | C/I | S | S | S | S | C/I | C/I | C/I | C/I | C/I | S | S | S | S | S | C/I | C/I | C/I | S |
| | BEC-201 | C/I | S | C/I | S | S | C/I | S | C/I | C/I | S | C/I | S | S | C/I | S | S | C/I | S | S | S | S | C/I | C/I | S |
| | BCP-80 | C/I | S | C/I | S | S | S | S | S | C/I | S | C/I | S | S | S | C/I | S | C/I | S | S | S | S | S | S | S |
| | OIKOS | S | C/I | C/I | C/I | C/I | S | S | S | C/I | C/I | C/I | C/I | C/I | S | C/I | S | C/I | C/I | C/I | C/I | C/I | C/I | C/I | S |
| | BLANCO | S | C/I | C/I | S | C/I | S | S | C/I | S | C/I | C/I | S | C/I | C/I | S | C/I | S | C/I | S | S | C/I | S | S | C/I |
| | MICROS. | S | S | C/I | C/I | C/I | S | S | C/I | S | S | C/I | C/I | C/I | S | S | S | C/I | S | S | C/I | C/I | S | S | S |

Fuente: Elaboración propia

Donde: S = sin interacción
C/I= con interacción

Las interacciones se pueden apreciar según las curvas se interceptan, de este modo las curvas que son paralelas no presentan interacciones entre los factores y sus niveles, por lo que una interacción positiva o negativa queda a la vista cuando las curvas no son paralelas y se interceptan. Por ejemplo para el gráfico Nº 23 de sedimento acumulado, se puede apreciar que las gráficas de los productos BIOWISH, BEC-201 y OIKOS presentan gráficas prácticamente paralelas por lo que no se aprecia que estos niveles interactúen con los niveles del factor temperatura, no así las gráficas de los productos MICROSOURCE Y BCP-80 que al no ser paralelas interceptan las otras gráficas, lo que deja en evidencia que estos niveles interactúan con los niveles del factor temperatura.

**Gráfico N° 23:** Sedimento acumulado.




Fuente: elaboración propia a través de software INFOSTAT.

# CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

## Conclusiones.

1. Al investigar los productos bacterianos que ofrece el mercado nacional encontramos productos que destacan por su versatilidad y otros que están destinados a tareas específicas. Se escogieron cinco productos bacterianos considerando los requerimientos técnicos y ambientales de la empresa, las características y ventajas del producto y a petición de la empresa. BEC-201 y OIkosVersal, se seleccionaron ya que son los productos bacterianos que actualmente emplea Agrícola AASA en el sistema de tratamiento de purines. Microsource y Biowish fueron seleccionados a petición de la empresa, para conocer su eficiencia en lagunas anaerobias cubiertas. Dentro de la búsqueda sólo hallamos un producto especialmente formulado para ser utilizado en tratamiento anaerobio de purines, que finalmente fue el que nos dio mejores resultados a lo largo de nuestra investigación, este fue el producto BCP-80 comercializado por la empresa Biomax, lo que comprueba la hipótesis de trabajo. Además deja en manifiesto que los productos que ofrecen versatilidad entregan menores eficiencias en procesos anaerobios.
2. El diseño de experimento realizado nos permitió determinar la eficiencia degradadora de cada uno de los productos bacterianos estudiados con respecto a temperaturas distintas. El posterior análisis estadístico para el modelo experimental de tipo factorial empleado nos permitió determinar que la temperatura es la variable ambiental más importante en los biodigestores anaerobios, no así los productos bacterianos que se emplean para lograr mayores eficiencias en el tratamiento, ya que si bien estos tienen una incidencia en el tratamiento estadísticamente no afectan de forma significativa y sólo aportan pequeños cambios en la eficiencia del tratamiento.

3. A la temperatura de 18ºC la unidad experimental en que no se aplicó ningún producto (blanco), fue más estable en la remoción de la mayoría los parámetros (ver tabla Nº 24) y se mantuvo dentro de las mayores eficiencias, solo en la remoción de $SO_4^{-2}$ obtuvo una remoción negativa de -12,67% pero que es beneficiosa, ya que evidencia una acumulación de este parámetro lo que implica la no producción de $H_2S$, generador de olores molestos y corrosión de los equipos metálicos. Esto puede demostrar que los productos en bajas temperaturas no generan buenos resultados en el global, por lo que se puede inferir que las bacterias que contienen los productos se inhiben a temperaturas iguales o menores a 18°C. A esta temperatura el producto BCP-80 logro una remoción de $SO_4^{-2}$ de 14,28%, siendo el más alto de todos, lo que evidencia la activación de bacterias sulfuro reductoras a estas condiciones.
4. En el nivel 18 °C del factor temperatura, quedó demostrado que algunas bacterias de los productos investigados inhibieron su proceso metabólico, producto de las baja temperatura, entrando con el paso del tiempo a un estado latente, siendo las bacterias psicrofílicas las que funcionaron mejor, ya que su rango de temperatura óptima fluctúa entre 12 a 18 °C, por lo que se puede inferir que no se completaron las cuatro fases de la digestión anaerobia, impidiendo la obtención energía para el crecimiento de las otras bacterias y la disminución de las concentraciones de los parámetros. Sin embargo en el nivel 25 y 35, se produjo una mayor disminución de los parámetros, generada por el aumento de la velocidad de crecimiento microbiano, ya que es directamente proporcional a la temperatura.
5. BIOWISH sólo demostró ser efectivo para la reducción de la cantidad de $H_2S$ generado dentro de las unidades experimentales, ya que llegó a obtener -151,28% de remoción de $SO_4^{-2}$ en agua, con relación a los demás parámetros estudiados se encontró entre el quinto y sexto

porcentaje de remoción más deficiente llegando a estar por debajo de las unidades experimentales sin producto bacteriano.

6. OIKOS obtuvo los mejores resultados de remoción de sólidos y nitrógeno con respecto a las tres temperaturas, llegando a un 60,78% de remoción de NT y 94,82% de remoción de SST en el nivel 32ºC del factor temperatura, pero generó menores resultados en la remoción de DQO. Esto se pudo deber a que la remoción de sólidos se genera por la hidrólisis de estos mismos, al suceder esto se produce más DQO soluble y por consiguiente un menor porcentaje de remoción de este parámetro. Este producto también destacó en la acumulación de sedimento, ya que produjo una menor cantidad a las tres temperaturas estudiadas.
7. MICROSOURCE arrojó los mejores resultados de toda la investigación pero sólo en el nivel 32ºC del factor temperatura siendo el más eficiente en la remoción de DQO (73,78%) NT (51,63%), PT (62,49%), SST (94,82%), ST (67,18%), SV (79,87%) y $SO_4^{-2}$ (-4,97%), en los otros niveles estudiados de este mismo factor sus resultados fueron muy deficientes, lo que muestra que es un producto muy inestable a temperaturas inferiores, por lo tanto, no es recomendable para condiciones cambiantes. Cabe destacar que este producto está diseñado para la ingesta de los cerdos, animales que poseen una temperatura corporal superior a 32ºC.
8. BEC-201, demostró resultados de remoción dentro del promedio de los productos estudiados, con diferencias de 5 a 15 puntos porcentuales, con respecto a los demás datos obtenidos tanto en el nivel 18 y 25ºC del factor temperatura se comportó muy similar a las unidades experimentales sin producto bacteriano.
9. BCP-80 se mantuvo dentro de las mejores remociones logrando diferencias entre 1 a 4 puntos porcentuales con respecto a los mejores % de remoción, demostrando la mejor estabilidad con respecto a los demás

productos que obtuvieron diferencias pronunciadas entre los parámetros, lo negativo de este producto fue que obtuvo alta remoción de sulfatos como se destacó anteriormente.

10. Las evaluaciones del riesgo ambiental e identificación de los AAS en las distintas actividades luego de la aplicación del producto bacteriano BEC-201 y el producto BCP-80, generaron riesgos ambientales, sin embargo hay que considerar que la investigación fue realizada en condiciones de laboratorio, donde el escalamiento a lo real no siempre resulta como un modelo lineal, además la evaluación fue proyectada en el escenario más riesgoso, donde no se consideró que el efluente de salida de las lagunas anaerobias cubiertas llegará a dos lagunas de estabilización, lo que podría aumentar la eficiencia del tratamiento.
11. Con el producto que actualmente se utiliza en el sistema de tratamiento, la mayoría de los riesgos ambientales de cada AAS se presentaron durante la actividad de digestión anaerobia, en particular, los aspectos remoción de DQO, remoción de SST y remoción de NT. Este último aspecto esta sobrepasando los valores que son aceptados de nitrógeno residual establecidos en el PAP, siendo un paramento riesgoso para el suelo y los cultivos. Como el proyecto que desarrolla la empresa contará con lagunas de estabilización, el purín tratado en el biodigestor debiera ingresar a ellas, y de esta forma aumentará el tiempo de retención hidráulico por lo que disminuirá el nitrógeno residual.
12. En el caso de BCP-80 disminuyó los riesgos ambientales, pero no de forma significativa, debido a las altas concentraciones de los parámetros que poseen los purines de cerdo, ya que a 32 °C arrojó NT de 5600 mg/l, SST fue 380 mg/l y $H_2S$ fue 0,233 g por cada $m^3$ de purín, generando efectos de riesgo en el medio ambiente. Sin embargo este producto entrega altos porcentajes de remoción en cada uno de los parámetros

analizados, siendo eficiente a la mayoría de las temperaturas de incubación.

13. Con la adopción de medidas preventivas, mitigación, contingencia y compensación, estructuradas mediante programas de gestión que posee la empresa Agrícola AASA Ltda, se abordarán todos aquellos riesgos que inciden negativamente en el medio. Si llega a existir un excedente anual del nitrógeno por hectáreas, se pueden adoptar las medidas que se mencionan en el PAP como la disminución del caudal del efluente, aumentar la superficie de aplicación por hectáreas, manejar la dieta de los cerdos y usar cultivos que absorban más nitrógeno.
14. A través de éste estudio técnico – ambiental quedó demostrado que la mayor eficiencia se generó en el nivel de 32ºC del factor temperatura. Teniendo en cuenta lo señalado anteriormente y el análisis estadístico, se establece que este factor es el más importante a la hora de operar un biodigestor. Además podemos señalar que según la investigación realizada el producto que posee una mayor capacidad degradadora de materia orgánica y nutrientes fue BCP-80, ya que fue más eficiente a los cambios de temperatura dentro del biodigestor, por lo que se recomienda su aplicación en las dosis propuestas por su fabricante a fin de hacer más eficiente y estable el proceso de digestión anaerobia, para esto la empresa tendría que asumir un costo de US$ 58 por Kg de aplicación.
15. Sólo en el caso que la operación del biodigestor asegure un funcionamiento con una temperatura no inferior a 32ºC se podría recomendar el uso del producto denominado MICROSOURCE.

**Recomendaciones.**

Teniendo en cuenta los datos obtenidos por esta investigación, se recomienda:

1. Realizar un estudio del comportamiento de los productos incluyendo las lagunas de estabilización donde principalmente se verá afectada por la emisión de olores molestos y el incremento del tiempo de retención hidráulico.
2. Realizar estudios en planta piloto para obtener resultados más cercanos a la realidad y también para comprobar o descartar si el escalamiento de estos sistemas se debe realizar de forma lineal o multidimensional.
3. Investigar temperaturas de operación para el biodigestor superiores a 32ºC teniendo en cuenta que esta provocó resultados con una mayor eficiencia, de esta forma encontrar una temperatura óptima para la digestión anaerobia de purines de cerdo.

## CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFÍA.

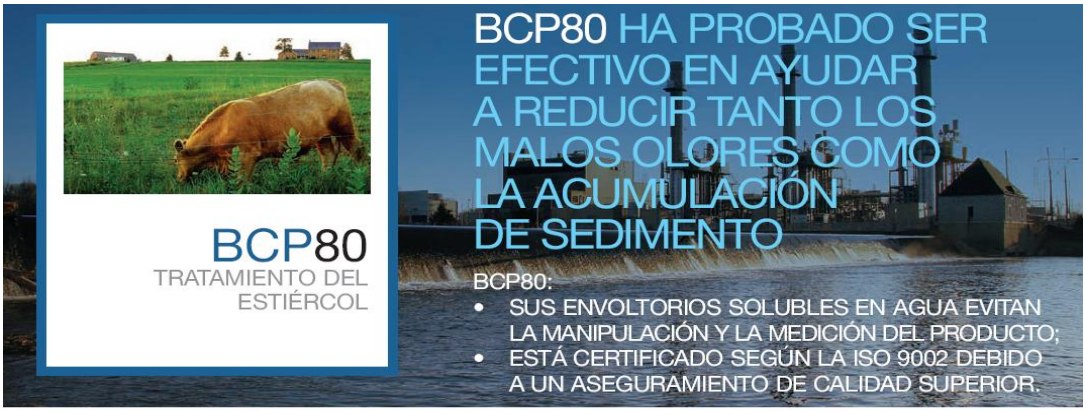

- Agrícola AASA Ltda., Declaración de Impacto Ambiental, Proyecto MDL, Modificación Planta de Tratamiento de Purines, Plantel Aguas Clara, Octubre de 2011.
- Carmen Luz De la Maza "En MANEJO Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS FORESTALES, 8.4 Evaluación de Impactos Ambientales" 2007- Editorial Universitaria
- Douglas C. Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 1991, México
- Ing. Manuel R. Ramirez Celaya, Universidad de Sonora, Laboratorio Experimental del Departamento de Ingeniería Civil Y Minas, "Reducción de Muestras por el Método de Cuarteo", 2003.
- INIA, "Manual de Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina", Instituto de investigación agropecuaria Editorial José María Peralta Alba, Chile 2005.
- Jairo Alberto Romero Rojas, "Tratamiento De Aguas Residuales Por Laguna de Estabilización", 3ª Edición, 1999.
- Jenny Alexandra Rodríguez V, Ing. Sanitaria Msc. Profesora Asociada de la Universidad el Valle. Cali – Colombia, "Tratamiento anaerobio de aguas residuales"
- Jim Field, Medición de Parámetros, Universidad Agrícola de Wegeningen, Holanda.
- Julio Di Rienzo Fernando Casanoves Estadística para las Ciencias Agropecuarias, Sexta Edición, Edición Electrónica.
- Prof. María Teresa Varnero Moreno, Ministerio de Energía, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Global Environment Facility, "Manual del Biogás" Santiago de Chile 2011.

- Proyecto Energías Renovables No Convencionales (MINERGÍA/GIZ), Ministerio de Energía (MINENERGÍA), Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, “Guía de Planificación para Proyectos de Biogás en Chile”, Santiago de Chile, junio 2012.
- Renson Jesús Martinez Prada, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Economicas Instituto de Estudios Ambientales, Maestria en Medio Ambiente y Desarrollo, Propuesta Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental en Colombia, Bogota 2010.
- Sergio Rolin Mendonco, Sistemas de Lagunas de Estabilización. Como utilizan aguas residuales tratadas en sistemas de regadío, Editorial Mc Don Hill, año 2000.
- www.asprocer.cl/index/planilla1.asp?id_seccion=2&id_subsecciones=77
- www.e-seia.cl/archivos/5f4_Procedimiento_AAS.
- X. Flotats, Perspectivas de futuros desarrollos e iniciativas en la gestión y tratamiento de purines de cerdo Barcelona, Revista técnica de medio ambiente, marzo-abril 2000.
- Yohana Elizabeth González Sepúlveda, Sebastián Osvaldo Sandoval Bastida, “Diseño de sistemas de tratamiento y aprovechamiento de purines de origen de bovino”, Universidad Católica de Temuco, 2005.

## CAPÍTULO VII: ANEXOS.

## Anexo A: Fichas técnicas de productos bacterianos.

### Ficha: BCP-80.




**EL BIOAUMENTO CON BCP80 PUEDE:**

- Asegurar una rápida puesta en marcha biológica;
- Inducir y acelerar la digestión biológica de los desechos animales (estiércol);
- Reducir los costos en la mantención y drenaje del pozo de heces fecales de los animales;
- Partir los elementos sólidos y disminuir el contenido orgánico;
- Disminuir los malos olores;
- Aumentar el valor de los fertilizantes

**PRUEBA DEL PRODUCTO**

*Introducción* – Con la gran cantidad de lagunas para guardar las heces fecales de animales que son o están siendo planeadas, hay naturalmente un interés de parte de los productores por usar materiales biológicos que se supone reducen o eliminan los malos olores asociados a estas lagunas. Bajo las condiciones ambientales y de manejo apropiadas, estos organismos biológicos pueden ser efectivos al momento de reducir la intensidad del hedor y/o mejorar la calidad del mal olor.

*Tratamiento* – Una de estas lagunas que se decía tenía mala fama por sus olores en la cual 30% de su porción acuosa consistía en aguas lluvias, fue la elegida para este estudio. Cuando el agua lluvia está presente en esta concentración en una laguna, la separación ocurre relativamente rápido. El propósito de este experimento era demostrar el uso de BCP80 y hacer un seguimiento a las cantidades de BCL4000 y su efecto sobre la reducción de las heces fecales y del mal olor.

*Resultados* – Cuando se depositaron 5 kilos de BCP80 más 20 litros de BCL4000 en la laguna, se observó que hubo disolución del verdín de la superficie y digestión del sedimento.

7 días después de haber agregado los microbios a la laguna, una parte del verdín de la superficie se había disuelto. A los 14 días, sólo quedaba el 10% del verdín y muy poco tiempo después desapareció el resto sin que mostrara signos de volver a aparecer en el futuro.

La digestión del sedimento también fue estudiada. Se confirmó 5 meses después que no se había producido ningún tipo de sedimentación tipo alcantarillas en la laguna.

El agregar BCP80 y BCL4000 a la laguna de heces fecales de animales también llevó a disminuir el hedor. Dos días después de haberlos agregado hubo una marcada reducción del mal olor y una semana después el mal olor había desaparecido

**ESPECIFICACIONES**

| | |
|---|---|
| Descripción | Polvo color café tostado, granular que fluye libre |
| Embalaje | Tineta plástica de 10 kilos que contiene paquetes de 250 gramos solubles en agua; |
| Estabilidad | Pérdida Max. de 1 log/yr |
| pH | 6.0 - 8.5 |
| Densidad de Volumen | 0.5 - 0.61 gr/cm cúbico |
| Contenido de Humedad | 15% |
| Contenido de Nutrientes | Nutrientes y estimulantes biológicos |
| Cuenta placa | 5 billones por gramo |
| Almacenaje y Manipulación | ¡NO CONGELAR!<br>Guarde en un lugar fresco y seco.<br>No inhale el polvo.<br>Evite el contacto excesivo con la piel.<br>Ver Ficha de datos de seguridad |

Bionetix INTERNATIONAL — *Trabajamos por la naturaleza*

Bionetix International Inc.
2286, Saint-Francois, Dorval (Quebec) Canada H9P 1K2
T 514 684.9393 F 514 684.7218 www.bionetix-international.com

# BCP80
TRATAMIENTO DEL ESTIÉRCOL

## INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN

BCP80 viene en bolsas que se disuelven en agua para una acción directa sobre la laguna o el pozo de heces fecales o estiércol en los siguientes valores:

Agregar 10 kilos (25 lb) al mes por cada 500 vacas ó cada 2000 cerdos. Los índices de aplicación y los lugares dependerán de las dimensiones que alcancen las heces fecales y las condiciones biológicas del momento.

Use de acuerdo a todas las leyes tanto Estatales como Federales en vigencia. Los resultados obtenidos dependerán tanto de las condiciones del lugar como las condiciones climáticas de éste. Evite un pH y temperaturas extremas

*Sistemas de Lagunas –*

- ***Sistemas facultativos*** – la tasa de aplicación se basa en el área de superficie de la laguna:

| | |
|---|---|
| Del día 1 al 5 | 20 kg/10.000 m²/ día |
| Del día 6 en adelante | 2 kg/10.000 m²/ semana |

- ***Sistemas Anaeróbicos*** – la tasa de aplicación se basa en el volumen total de la laguna anaeróbica

| | |
|---|---|
| <200.000 L | 1kg -2x/semana/10.000 L |
| >200.000 L | 0.5 kg -1x/día/10.000 L |

Para mayor información sobre las aplicaciones, póngase en contacto con su representante técnico de BIONETIX

La información presentada con esta Ficha de producto es considerada confiable. Esta información es suministrada a título representativo únicamente y no hay ninguna garantía, expresa o implícita, respecto a su desempeño. Teniendo en cuenta que ni el distribuidor ni el fabricante tienen control alguno sobre el manejo, almacenamiento, uso y condiciones de aplicación, ellos no asumen ninguna responsabilidad por reclamaciones, obligaciones, daños, costos o gastos de cualquier clase que surjan de o se relacionen con el manejo, almacenamiento o uso del producto descrito.

**Ficha: Biowish.**

BiOWiSH™ TECHNOLOGIES

Fact Sheet

# BiOWiSH™-Aqua

## Description & Characteristics

The core BiOWiSH™ technology is a natural biocatalyst made via a novel fermentative process that has been continually refined by staff engineers and scientists over many years. BiOWiSH™-Aqua consists of a select consortium of bacteria, enzymes, nutrients and co-factors that act complementary to improve the function and health of biological systems. This unique approach enhances the ability of biological systems to quickly adapt to various substrates and environmental conditions. As a result, the integration of BiOWiSH™ technology into biological wastewater treatment systems delivers the following benefits:

- Enhances the biological hydrolysis and oxidization of complex organic material into simpler forms more readily degradable into stable end products.
- Lowers sludge yield (mass of sludge generated per mass of BOD removed) by lessening the system's dependence on biomass to achieve required levels of organic matter degradation.
- Reduces the generation and emission of noxious odors.

BiOWiSH™ products are used in a variety of applications, including wastewater treatment, odor and emissions control and hydrocarbon remediation. BiOWiSH™ is 100% natural and non-toxic and is not grown or developed from a genetically engineered bacteria. Instead, BiOWiSH™ was developed and refined from naturally occurring microbial strains. Although not required for most industrial and municipal applications, BiOWiSH™ is WSDA certified organic.

## Key Benefits

- Reduces sludge production and handling
- Increases plant capacity; Capital avoidance
- Reduces odors
- Reduces aeration; Energy savings
- Reduces need for chemical additives
- Improves plant stability
- Reduces hydrogen sulfide, ammonia and nitrates
- Pre-treats influent in collection systems
- 100% natural and non-toxic

## Available Sizes

- 3.5oz/100g
- 2.2lb/1kg
- 11 lb/5kg

Biological Help for the Human Race™

## Physical Characteristics and Activity Range

**Total plate count:** minimum 1*105 CFU/gm

**Enzyme content:** A consortia of natural digestive and metabolic (respiratory) enzymes, including cellulase, amylase, protease, and those involved with the Krebs cycle such as ATP Synthase.

**Bacterial content:** Primarily Lactobacillus (P. acidilactic, P. pentosaceus) and Bacillus (subtilis), with smaller proportions of other bacteria.

**Odor and appearance:** End product is a free-flowing light brown granular material with a mild "yeasty" odor and is dried and packaged similar to baking yeast.

**pH range:** preferred range 6.8 – 8.5

working range: 5.0 to 9.0

## Usage Recommendations

ACTIVATION: Mix BiOWiSH™-Aqua with "clean" water into solution at 5,000 mg/L. The solution should be left uncovered and exposed to ambient air for 24 hours, additional aeration is recommended if possible. For optimal results, use an air pump in the solution to both increase the flow of oxygen and maintain continuous mixing conditions. The activation temperature should be kept above 15°C (60°F). If necessary, heaters or heat lamps should be used to maintain suitable temperature. Gently aerated/mixed if possible using a small diffuser (typically similar to a medium-sized aquarium-style diffuser).

RULE OF THUMB: to achieve 5,000 mg/L: 1 kg bag mixed into 200 L (55 gallon) steel drum or 100 gm bag mixed into a 20 L (5 gallon) plastic pail.

### Municipal lagoons and wastewater treatment plants

Apply the concentrate of the 5,000 mg/L activated solution to result in an in-situ solution concentration of 0.5-2 mg/L, depending on system configuration. Concentration should be based on flow for activated sludge, and volume for lagoons. Aeration should be monitored, aeration is required but existing aeration needs are likely to be reduced.

### Surface water systems (rivers and lakes)

Apply the concentrate of the 5,000 mg/L activated solution to result in an in-situ solution concentration of 0.1 to 0.3 mg/L, depending on existing environmental conditions. Drip feed over a 24-hour period. No additional aeration is required, dosing should be located to maximize mixing.

### Industrial wastewater treatment systems

Apply the concentrate of the 5,000 mg/L activated solution to result in an in-situ solution concentration of 1-3 mg/L, depending on system configuration and effluent strength.

## Storage and Shelf Life

Product is delivered in sealed, moisture proof packaging. Product should be stored in a cool dry location, out of the sun and protected from vermin.

Product shelf life:

- 24 months (minimum) under extreme conditions,
- 36 months (minimum) under standard warehousing/office conditions.

Please refer to the BiOWiSH website for the appropriate MSDS.

**Biological help for the human race**

BiOWiSH™ TECHNOLOGIES

www.biowishtech.com

BIOWISH™ is a registered trademark of BIOWISH Technologies Pty Limited

*FSWT57MY12INT*

Biological Help for the Human Race™

## Ficha: Microsource Premix.

### EL USO DE MICROSOURCE EN LAGUNAS

**Lagunas con porcentaje de sólidos menor al 3%**

- Para la dosis inicial se deben adicionar 50.000 UFC/ml.*
- Para generar la dilución el agua debe estar a temperatura ambiente (25°C). Dejar destilar por 15 minutos antes de aplicar en la laguna.
- Pulverizar la dilución sobre la laguna.
- Adicionar semanalmente producto de manera que el flujo de entrada y saluda de líquidos en las lagunas y/o digestores permita mantener una concentración constante de 25.000 UFC/ml en las lagunas.
- Realizar mediciones de lso distintos parámetros que se deseen evaluar (concentración de sólidos, gases, Nitrógeno, etc.) a partir de la 4-6 semana de iniciado el tratamiento.
- Realizar evaluaciones periódicas hasta los 90 días de iniciado el tratamiento.

*La concentración de UFC de MicroSource Premix es de min $1{,}47x10^{11}$/kg de producto.

**Lagunas con porcentaje de sólidos mayor al 3%**

- Para la dosis inicial se deben adicionar 50.000 UFC/ml.*
- Para generar la dilución el agua debe estar a temperatura ambiente (25°C). Dejar destilar por 15 minutos antes de aplicar en la laguna.
- Pulverizar la dilución sobre la laguna.
- Adicionar semanalmente producto de manera que el flujo de entrada y saluda de líquidos en las lagunas y/o digestores permita mantener una concentración constante de 50.000 UFC/ml en las lagunas.
- Realizar mediciones de los distintos parámetros que se deseen evaluar (concentración de sólidos, gases, Nitrógeno, etc.) a partir de la 4-6 semana de iniciado el tratamiento.
- Realizar evaluaciones periódicas hasta los 90 días de iniciado el tratamiento.

*La concentración de UFC de MicroSource Premix es de min $1{,}47x10^{11}$/kg de producto.

Protocolo Lagunas

**Ficha: OIKOS Versal.**

# OIKO-Informador

© MMVII Ecological Resources, Inc., Miami, FL 33175, USA.

Monografía OIKOS # 64.2 – Enero de 2007

## *OikoVersal™ "AMB"*

*Sistema Microbiano*
*de Uso Universal*
*y Empleo Versátil*

*ofreciendo soluciones*
*para*
*el*
*Control de Olores Nocivos*
*y problemas*
*de*
*Contaminación Ambiental*

# INTRODUCCION

***OikoVersal*** es un producto microbiológico fabricado en los Estados Unidos usando una tecnología desarrollada originalmente por un prestigioso centro de investigaciones del Japón.

***OikoVersal*** contiene una mezcla balanceada de bacterias acidolácticas, bacterias fototrópicas, hongos, levaduras y actinomicetos en un medio líquido con un pH no mayor de 3.8, para obtener el conjunto de beneficios que cada uno aporta. Los microorganismos de ***OikoVersal*** se desarrollan de manera sinérgica y complementaria. Garantizamos que no han sido genéticamente modificados y que las respectivas cepas han sido usadas por mucho tiempo y para los más diversos fines, incluso en la industria alimenticia.

***OikoVersal*** se suministra básicamente en dos versiones: ***OikoVersal "AG"*** para las indicaciones agrícolas y pecuarias, y ***OikoVersal "AMB"*** para solucionar toda clase de problemas ambientales. La presente literatura se limita a las indicaciones ambientales.

Muchos de los problemas en el medio ambiente giran en torno a "desechos" y qué hacer con ellos. El tratamiento de agua (tanto potable, como aguas negras o servidas) consiste casi por completo en procesos biológicos, usando microorganismos beneficiosos para digerir los desechos y tomar ventaja de sus subproductos beneficiosos, como oxígeno y vitaminas.

El compostaje es un método biológico para transformar desechos orgánicos en una enmienda del suelo. La biorremediación es el proceso de usar microorganismos y plantas para descomponer sustancias dañinas que contaminan el medio ambiente. Los rellenos sanitarios constituyen un método anticuado de enterrar "desechos" que hubieron podido ser reciclados en cosas útiles al aplicar métodos apropiados.

La naturaleza tiene una capacidad limpiadora poderosa, pero normalmente requiere de mucho tiempo para completar sus ciclos. La naturaleza usa microorganismos para descomponer sustancias, generalmente por medio de un proceso anaeróbico.

A los humanos, en cambio, nos gusta resolver los problemas con rapidez, motivo por el cual solemos manejar los desechos mediante el uso más rápido de procesos aeróbicos. Por costumbre, se piensa en tratamientos aeróbicos debido a las generalizaciones acerca de bacterias anaeróbicas "patógenas" o "productoras de malos olores". Los procesos naturales se tornan anaeróbicas al dejarlos así y muchas veces se pudren.

No obstante, hay otro método de tratar desechos que consiste en pasar por un proceso fermentativo (preservativo) que requiere menos energía, previene contra el crecimiento de patógenos y formación de olores, resultando en subproductos como amino ácidos antioxidantes y vitaminas.

La solución consiste en buscar la forma de someter los tratamientos de desechos a un proceso fermentativo y de paso creando nuevas sustancias y materiales. Esta solución transforma los desechos en recursos. Esta solución se obtiene con ***OikoVersal***.

***OikoVersal*** es un producto biológico que contiene microorganismos vivos. Por lo tanto no debe ser mezclado con plaguicidas (fungicidas, insecticidas y herbicidas) ya que ocasionaría la pérdida de su eficacia.

***OikoVersal*** debe ser almacenado en un lugar sombreado y fresco, y el envase debe permanecer bien cerrado.

***OikoVersal*** es un producto inofensivo y totalmente atóxico que no produce irritaciones de ningún tipo.

El olor de ***OikoVersal*** es ligeramente a fermento y su pH ideal es igual o inferior a 3.8. En caso de que el producto tenga un olor desagradable y/o su pH sea mayor de 3.8 hay que desistir de su uso. No obstante, puede ser incorporado en procesos de compostaje.

Las indicaciones ambientales de ***OikoVersal*** incluyen, pero no se limitan a, los siguientes:

- Control de olores en granjas, cochineras, etc.
- Tratamiento de lagunas de oxidación y similares.
- Tratamiento de aguas negras.
- Tratamiento de desechos sólidos.
- Tratamiento de sistemas sépticos.
- Aplicaciones en hoteles y restaurantes.
- Biorremediación en zonas de desastre, incluyendo prevención de enfermedades y control de olores.

# LAGUNAS

Este tema es particularmente difícil para hacer recomendaciones específicas, ya que una "laguna" puede ser una pequeña extensión de agua poco profunda para el deleite de los gansos, o entonces un cuerpo de agua del tamaño de varias hectáreas. Por lo tanto tenemos que limitarnos aquí a unas recomendaciones de tipo general.

## *Beneficios*

A continuación aparecen los beneficios típicos que se observan con la aplicación de ***OikoVersal*** a lagunas:

- Reducción drástica de olores.
- Reducción de microbios patógenos, proporcionando equilibrio y armonía.
- Facilita equilibrio, permitiendo que cada microbio cumpla con su función específica.
- Reducción de BOD y QOD.
- Reducción del color y turbidez del agua.
- Reducción en el crecimiento de algas.
- Reducción en los niveles de nitratos.
- Reducción en los niveles de exceso de fosfatos.
- Mejora en los niveles de oxígeno disuelto (DO).
- Reducción en mohos nocivos.
- Aumento en microbios y hongos benéficos.
- Aumento en la salud de peces y plantas acuáticas.
- Reducción en la cría de mosquitos.

## *Aplicando OikoVersal a Lagunas*

**No Usar Melaza** — En muchas indicaciones es recomendable mezclar ***OikoVersal*** con melaza y agua (generalmente en la proporción de 1:1:10) para servir de nutriente para los microorganismos benéficos. Pero el caso de las lagunas es una excepción, debiendo usarse ***OikoVersal*** sin ningún aditivo.

**Lagunas Grandes** — Puede ser conveniente hacer dos o tres "tratamientos de choque" cada dos semanas, aplicando un litro de ***OikoVersal*** por cada mil litros de volumen de la laguna. Una vez que se hayan logrado resultados adecuados se puede proceder a la aplicación mensual de la dosis de mantenimiento que es de un litro de ***OikoVersal*** por cada diez mil litros de volumen de la laguna.

**Lagunas Pequeñas Usadas por Gansos y Patos** — En este caso estamos hablando de lagunitas de poca profundidad con altos niveles de materiales en descomposición. Naturalmente se trata de una situación totalmente diferente de las lagunas normales (grandes), recomendándose entonces una dosis de 1 litro de OikoVersal por cada 200 a 300 litros de agua de la lagunita. En este caso específico se puede añadir melaza a la mezcla que puede ser de 1:1:10.

OIKOS CHILE LTDA
www.oikos.cl

**Ficha: BEC-201.**

ECOSYSTEM
INGENIERÍA AMBIENTAL

# BEC –201
## Para uso Industrial

### Descripción general

**BEC –201** es una formulación en polvo altamente concentrada de bacterias, especializadas para ser usadas en degradar varios tipos de residuos. **BEC –201** es una mezcla especialmente formulada con microorganismos, micro y macro nutrientes. y tensoactivos/penetrantes desarrollados para ser usados en procesos de bioaugmentacion. Esta diversidad de microorganismos no patógenos que posee esta formulación es excelente para el tratamiento de aguas residuales con diversos problemas de residuo La actividad enzimático mejora la reducción de celulosas y fibras sólidas transformándolas en dióxido de carbono y agua.

### Ventajas

**Reduce la mano de obra**
**Reduce los sulfatos de Hidrógeno**
**Bajo costo / fácil de usar**
**No se necesita equipamiento especial**
**Disminuye la formación de aceites y grasas**
**Degrada variados complejos orgánicos**
**Mejora la reducción de DBO y DQO**
**Reduce la formación de lodo**
**Cambia la dinámica de la biomasa**
**Aumenta la eficiencia del sistema**
**Elimina los malos olores**
**Contiene M.O.facultativos y aerobios**

### APLICACIONES

**Plantas de tratamiento**
**Trampas de grasa**
**Clarificadores primarios**
**Lodos activados**
**Sentinas de buques**
**Lodos activados**
**Colectores**
**Estanq. de aireación**
**Sistemas sépticos**
**Alcantarillados**
**Lagunas**
**Estanq. de retención**
**Clarificadores secundarios**
**Lagunas estática**
**Lagunas de decantación**

### DEGRADA

**Fenoles**
**Lodos(volumen)**
**Almidón**
**Surfactantes**
**Proteínas**
**Fuentes productoras de olor**
**Celulosa**
**Aceites y grasas**
**Jabones**
**Amoniaco**
**Detergentes**

### ACTIVIDAD ENZIMATICA

ECOSYSTEM

**Proteasa. Unidades / gramo:35.000 MIN.**
**Amilasa. Unidades / gramo: 55,000-80.000**
**Lipasa . Unidades / gramo:400**
**Celulasa..... Unidades / gramo: 150 Min.**

## BEC 201
### Para uso industrial

**Propiedades típicas**

| | |
|---|---|
| Apariencia | Polvo amarillento |
| Fragancia | Suave a humus |
| PH | 6,8-8,5 |
| Vida útil | 1 año en condiciones norm. |
| Pto Inflamación | no aplica |

**Rangos de funcionamiento**

| | |
|---|---|
| PH | 5,2-9,5 |
| Cepas bacterianas | Facultativas |

**Almacenaje y manejo**

Almacene en lugar seco y fresco turbiedad
Lave sus manos con agua y jabón después de manipularlo

**Información Microbiológica**
Cepas microorganismos aeróbicos y facultativos no patógenos
Estimulantes micro y macronutrientes

**Información y dosis**
**Plantas de discos y /o lodos activados**
Reduce DBO, Solidos suspendidos. Totales, mejora la sedimentación disminuye la formación de lodos y aglomera los floculos

**Clarificadores Imhoff, lagunas estaciones de transferencia etc..**
Ayuda a la sedimentación, reduce lodos, DBO, DQO,
Disminuye turbiedad del ril, mejora la flora bacteriana del biosistema y reduce olores

**Clarificadores secundarios**
Mejora la sedimentación, reduce lodos y disminuye la

**Estanques de aireación y oxidación**
Reduce DBO, SST mejora la sedimentación y disminuye

Teléfono: 274 76 32
Fax: 275 57 94
Email: ecosystem@ecosystem.cl
Santiago - Chile

TÜV CERT

ECOSYSTEM
INGENIERIA AMBIENTAL

**Dosificaciones recomendadas**

**Mantención diaria:**

**14grms por cada 8 m3 de flujo diario**
**27 grms por cada 80 m3 de flujo diario**
**41 grms por cada 200m3 de flujo diario**
**55 grms por cada 400 m3 de flujo diario**

**Schock inicial:**

**Aplicar una dosis tres a cinco veces la de mantención por 3 a 10 días seguidos y luego pasar a dosis de mantencion**

Diagonal Oriente 138
Ñuñoa

Teléfono: 274 78 02
Fax: 205 87 84

Email: ecosystem@ecosystem.cl
Santiago - Chile

TÜV CERT
ISO 9001:2000
Certificado: 01 100 054742

## Anexo B: Temperatura de los ensayos.

### Temperatura de operación de los ensayos.

- Análisis de las temperaturas máximas y mínimas en la Localidad de San Estaban, Provincia de Los Andes, en estación de verano (21 de Diciembre al 21 de Marzo).

**Tabla N° 35:** Temperatura ambiente máxima y mínima de la Localidad de San Estaban, Diciembre del 2011.

| Día | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T° máxima | 30,2 | 30,6 | 31,4 | 31,7 | 32,7 | 32,4 | 33,4 | 32,9 | 33,6 | 31,7 | 29,6 |
| T° mínima | 13,2 | 11,7 | 14,3 | 14,2 | 13,7 | 13,3 | 15,6 | 15,7 | 14,6 | 15,7 | 13,4 |
| Oscilación Térmica | 17 | 18,9 | 17,1 | 17,5 | 19 | 19,1 | 17,8 | 17,2 | 19 | 16 | 16,2 |

Fuente: www.Agroclima.cl (Sistema agroclimático)

**Tabla N° 36:** Temperatura ambiente máxima y mínima de la Localidad de San Estaban, Enero del 2012.

| Día | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T° máxima | 31,2 | 33,3 | 32,9 | 31,6 | 30,4 | 28,6 | 29,6 | 29,3 | 28,5 | 29,4 | 30,8 | 33,9 | 31,2 | 28,6 | 30,6 | 29,2 |
| T° mínima | 14,9 | 16,7 | 17,1 | 15,2 | 14,8 | 15,2 | 12,8 | 11,4 | 10,8 | 12,2 | 12,1 | 14,9 | 13,9 | 14,2 | 13,7 | 12,6 |
| Oscilación Térmica | 16,3 | 16,6 | 15,8 | 16,4 | 15,6 | 13,4 | 16,8 | 17,9 | 17,7 | 17,2 | 18,7 | 19 | 17,3 | 14,4 | 16,9 | 16,6 |
| **Día** | **17** | **18** | **19** | **20** | **21** | **22** | **23** | **24** | **25** | **26** | **27** | **28** | **29** | **30** | **31** | |
| T° máxima | 31,4 | 31,8 | 30,9 | 27,3 | 26,4 | 27,7 | 25,9 | 31,3 | 32,1 | 30,6 | 30,3 | 30,7 | 30,9 | 30,3 | 31,6 | |
| T° mínima | 11,7 | 13,7 | 13,1 | 12,3 | 11,1 | 10,6 | 10,4 | 10,4 | 13,1 | 13,1 | 13,6 | 12,6 | 13,6 | 12,4 | 12,7 | |
| Oscilación Térmica | 19,7 | 18,1 | 17,8 | 15 | 15,3 | 17,1 | 15,5 | 20,9 | 19 | 17,5 | 16,7 | 18,1 | 17,3 | 17,9 | 18,9 | |

Fuente: www.Agroclima.cl (Sistema agroclimático)

**Tabla N° 37:** Temperatura ambiente máxima y mínima de la Localidad de San Estaban, Febrero del 2012.

| Día | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T° máxima | 31,7 | 32,3 | 31,3 | 31,3 | 32,7 | 32,7 | 31,8 | 32,5 | 33,4 | 34,2 | 31,6 | 30,2 | 30,5 | 31,2 | 30,3 |
| T° mínima | 13,8 | 12,7 | 14,1 | 12,3 | 13,8 | 14,1 | 13,4 | 14,9 | 15,1 | 16,2 | 14,7 | 13,9 | 13,2 | 14,7 | 13,3 |
| Oscilación Térmica | 17,9 | 19,6 | 17,2 | 19 | 18,9 | 18,6 | 18,4 | 17,6 | 18,3 | 18 | 16,9 | 16,3 | 17,3 | 16,5 | 17 |
| **Día** | **16** | **17** | **18** | **19** | **20** | **21** | **22** | **23** | **24** | **25** | **26** | **27** | **28** | **29** | |
| T° máxima | 30,8 | 29,6 | 29,5 | 30,9 | 29,7 | 31,4 | 32,5 | 24,3 | 29,3 | 28,5 | 31,8 | 32,3 | 27,8 | 25,1 | |
| T° mínima | 14,7 | 12,5 | 13,1 | 13,6 | 14,8 | 13,4 | 14,4 | 14,2 | 11,8 | 13,4 | 12,8 | 14,9 | 13,2 | | |
| Oscilación Térmica | 16,1 | 17,1 | 16,4 | 17,3 | 14,9 | 18 | 18,1 | 10,1 | 17,5 | 15,1 | 19 | 17,4 | 14,6 | 14,9 | |

Fuente: www.Agroclima.cl (Sistema agroclimático)

**Tabla N° 38:** Temperatura ambiente máxima y mínima de la Localidad de San Estaban, Marzo del 2012.

| Día | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T° máxima | 33,3 | 32,8 | 32,6 | 32,4 | 30,1 | 31,1 | 34,1 | 33,6 | 32,8 | 31,8 | 29,7 |
| T° mínima | 10,4 | 14,1 | 16,3 | 17,1 | 15,1 | 13,2 | 13,2 | 16,9 | 14,8 | 14,7 | 11,6 |
| Oscilación Térmica | 22,9 | 18,7 | 16,3 | 15,3 | 15 | 17,9 | 20,9 | 16,7 | 18 | 17,1 | 18,1 |
| **Día** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** | **19** | **20** | **21** | |
| T° máxima | 29,7 | 31,1 | 35,2 | 34,3 | 27,7 | 27,7 | 29,3 | 27,6 | 27,3 | 29,6 | |
| T° mínima | 11,9 | 11,7 | 14,4 | 16,1 | 12,9 | 10,6 | 10,3 | 11,2 | 11 | 11,7 | |
| Oscilación Térmica | 17,8 | 19,4 | 20,8 | 18,2 | 14,8 | 17,1 | 19 | 16,4 | 16,3 | 17,9 | |

Fuente: www.Agroclima.cl (Sistema agroclimático)

**Tabla N° 39:** Promedio de Temperaturas en Verano.

| Temperatura (°C) | Promedio (°C) |
|---|---|
| **Máxima** | 31 |
| **Mínima** | 13,5 |
| **Promedio de ambas T°** | **22,25** |

Fuente: Elaboración propia

$$\textbf{T° agua} = -0{,}236 + 1{,}404 * T°_a$$

Donde la $T°_a$ es igual a 22,25 °C, corresponde a la temperatura ambiente promedio de la Localidad de San Estaban, Provincia de los Andes.

**Temperatura estimada de la laguna ≈ 32 ° C**

- Análisis de las temperaturas máximas y mínimas de en la Localidad de San Estaban, Provincia de Los Andes, en estación de invierno (21 de junio al 21 de septiembre).

**Tabla N° 40:** Temperatura ambiente máxima y mínima de la Localidad de San Estaban, junio del 2012.

| Día | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **T° máxima** | 16,4 | 20,4 | 23,5 | 24,5 | 25,4 | 22,8 | 9,4 | 15,3 | 12 | 14,1 |
| **T° mínima** | 2,6 | 5,4 | 6,9 | 8,8 | 9,6 | 3,3 | 3,5 | 6,1 | 7,8 | 9,4 |
| **Oscilación Térmica** | 13,8 | 15 | 16,6 | 15,7 | 15,8 | 19,5 | 5,9 | 9,2 | 4,2 | 4,7 |

Fuente: www.Agroclima.cl (Sistema agroclimático)

**Tabla N° 41:** Temperatura ambiente máxima y mínima de la Localidad de San Estaban, julio del 2012.

| Día | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T° máxima | 13,4 | 8,8 | 12,3 | 10,7 | 7,2 | 12,4 | 19,6 | 19 | 17,3 | 18,9 | 18,7 | 21,5 | 25,3 | 13,1 | 17,3 | 21,9 |
| T° mínima | 8,8 | 5,8 | 2,1 | 0,6 | 0,7 | 0,2 | 2,1 | 4,4 | 3,1 | 4,6 | 5,7 | 4,6 | 9,2 | 2,1 | 3 | 6,2 |
| Oscilación Térmica | 4,6 | 3 | 10,2 | 10,1 | 6,5 | 12,2 | 17,5 | 14,6 | 14,2 | 14,3 | 13 | 16,9 | 16,1 | 11 | 14,3 | 15,7 |
| **Día** | **17** | **18** | **19** | **20** | **21** | **22** | **23** | **24** | **25** | **26** | **27** | **28** | **29** | **30** | **31** | |
| T° máxima | 26,7 | 29,9 | 24,2 | 21,9 | 17,8 | 19,2 | 16,7 | 15,1 | 18,1 | 19,2 | 23,5 | 17,4 | 20,3 | 21,1 | 15,8 | |
| T° mínima | 8,9 | 11,4 | 11,8 | 9,5 | 7,8 | 6,5 | 5,3 | 3,2 | 2,9 | 3,7 | 5,2 | 4,9 | 2,9 | 5,9 | -0,4 | |
| Oscilación Térmica | 17,8 | 18,5 | 12,4 | 12,4 | 10 | 12,7 | 11,4 | 11,9 | 15,2 | 15,5 | 18,3 | 12,5 | 17,4 | 15,2 | 16,2 | |

Fuente: www.Agroclima.cl (Sistema agroclimático)

**Tabla N° 42:** Temperatura ambiente máxima y mínima de la Localidad de San Estaban, agosto del 2012.

| Día | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T° máxima | 12,7 | 14,1 | 11,2 | 15,3 | 15,6 | 13,3 | 16,2 | 25,3 | 22,1 | 21,5 | 8,3 | 17,1 | 15 | 12,1 | 18,4 | 11,2 |
| T° mínima | 2,9 | 0,5 | 3,8 | 1,7 | 3,9 | 2,9 | 2,3 | 3,9 | 8,6 | 6,3 | 2,8 | 2,2 | 6,9 | 7,9 | 7,1 | 6 |
| Oscilación Térmica | 9,8 | 13,6 | 7,4 | 13,6 | 11,7 | 10,4 | 13,9 | 21,4 | 13,5 | 15,2 | 5,5 | 14,9 | 8,1 | 4,2 | 11,3 | 5,2 |
| **Día** | **17** | **18** | **19** | **20** | **21** | **22** | **23** | **24** | **25** | **26** | **27** | **28** | **29** | **30** | **31** | |
| T° máxima | 11,2 | 18,2 | 16,6 | 23,4 | 17,7 | 16 | 10 | 13,9 | 17,9 | 22,7 | 25,4 | 27 | 27,2 | 22,6 | 27,5 | |
| T° mínima | 5,6 | 2,4 | 6,4 | 4,3 | 8,7 | 4,1 | 2,4 | 0,6 | 1,8 | 3,5 | 7,2 | 12,1 | 9,7 | 10,1 | 9,5 | |
| Oscilación Térmica | 5,6 | 15,8 | 10,2 | 19,1 | 9 | 11,9 | 7,6 | 13,3 | 16,1 | 19,2 | 18,2 | 14,9 | 17,5 | 12,5 | 18 | |

Fuente: www.Agroclima.cl (Sistema agroclimatico)

**Tabla N° 43:** Temperatura ambiente máxima y mínima de la Localidad de San Estaban, septiembre del 2012.

| Día | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **T° máxima** | 30 | 18,9 | 16,6 | 16,3 | 22,2 | 12,5 | 16,4 | 21,3 | 23,4 | 26,9 | 20,1 | 28,2 |
| **T° mínima** | 11,9 | 10,8 | 7,8 | 8,2 | 5,8 | 7,6 | 5,4 | 8,1 | 7,1 | 9,3 | 8,8 | 7,2 |
| **Oscilación Térmica** | 18,1 | 8,1 | 8,8 | 8,1 | 16,4 | 4,9 | 11 | 13,2 | 16,3 | 17,6 | 11,3 | 21 |

Fuente: www.Agroclima.cl (Sistema agroclimatico)

**Tabla N° 44:** Promedio de temperaturas en invierno.

| Temperatura (°C) | Promedio (°C) |
|---|---|
| **Máxima** | 19 |
| **Mínima** | 6 |
| **Promedio de ambas T°** | **12,5** |

Fuente: Elaboración propia

$$\textbf{T° agua} = 0{,}236 + 1{,}404 * T°_a$$

Donde la $T°_a$ es igual a 12,5 °C, corresponde a la temperatura ambiente promedio de la Localidad de San Estaban, Provincia de los Andes.

**Temperatura estimada de la laguna en invierno ≈ 18 °C**

**Temperatura promedio en verano e invierno de la laguna ≈ 25 °C**

Según estos cálculos las temperaturas de operación de los ensayos es 18, 25 y 32 °C.

## Anexo C: Procedimientos Analíticos

### Demanda Química de Oxigeno.

Se precalienta el reactor (calentador de tubos) a 150°C. Luego se destapa el vial de DQO Rango Alto (tapa verde) y se añade con la jeringa exactamente 0.2 ml de muestra homogenizada. Se cierra la tapa del vial, y se mescla la muestra girando el vial 2 veces y se inserta el vial en el calentador de tubos para realizar la digestión de la muestra, durante 2 hrs a 150°C. Una vez terminada la digestión, se espera 2 minutos y se invierte inmediatamente los viales calientes 2 veces, dejándoles enfriar a temperatura ambiente, manteniendo mucho cuidado para no volver a agitar los viales, ya que la muestra se volvería turbia. Posteriormente se programo en el fotómetro el número de programa que corresponde a DQO (HR) con la tecla PROG y las flechas, (número 10 en fotómetro), para insertar el vial blanco correspondiente a Rango Alto y se pulso ZERO (para preparación de blanco, revise notas más abajo). Se retira el vial blanco e inserto el vial final con muestra a medir en el fotómetro. Finalmente se realiza la lectura final pulsando READ. Para obtener la concentración en mg/l de la demanda de oxigeno, se multiplica la lectura del display por 10.

**Nota:** Para la preparación del blanco se repitió el mismo procedimiento, pero en vez de muestra, se utilizó agua desionizada, este blanco se debe preparar cada 15 días, y se almacenarlo en un lugar oscuro a temperatura ambiente.

### Fósforo total.

Se precalienta el reactor Hanna a 150 ºC, y se abre la tapa de dos viales (vial blanco y vial para la muestra)

Se añade exactamente 5.0 ml de muestra a un vial y 5 ml de agua desionizada al otro vial (vial blanco), manteniendo los viales en un ángulo de 45 grados. Luego se añade el contenido de un paquete de Persulfato de Potasio para

análisis de Fósforos a cada vial, se cierra la tapa fuertemente y se agitan suavemente hasta que el polvo se disuelva completamente.

Posteriormente se colocan los viales en el reactor y para calentarlos por 30 minutos a 150 ºC. Se retiran los viales y se abre la para añadirles exactamente 2.0mL de Solución Hidróxido de Sodio 1.54N a cada vial, manteniendo los viales en un ángulo de 45º. Se cierra la tapa fuertemente y se mezclan invirtiendo un par de veces los viales.

Luego se retira la tapa y se agrega exactamente 5 ml de Reactivo de Molibdovanadato a cada vial, manteniendo los viales en un ángulo de 45º se tapan y mezclan invirtiendo un par de veces los viales.

Se selecciona el número de programa correspondiente a Fósforo Total Rango Alto en la pantalla, y se coloca el vial blanco en el equipo y se presiono completamente hasta abajo. Se presiona TIMER, la pantalla mostrará una cuenta regresiva previa a la medición. SIP parpadeo durante la medición. Se espera unos pocos segundos y la pantalla mostrará -0.0-, el medidor está en cero y listo para tomar mediciones.

Se retira el vial blanco y se coloca el vial con la muestra en el equipo y se presiona READ DIRECT y SIP parpadeará en la pantalla. El instrumento muestra directamente la concentración en mg/L de fosfato ($PO4^{3-}$).

Para convertir la lectura a mg/L de $P_2O_5$, multiplicar por un factor de 0,748. Para convertir la lectura a mg/L de concentración de Fósforo (P), multiplicar por un factor de 0,326.

**Nitrógeno total.**

Se precalienta el reactor de Hanna a 105 °C (221°F).

Se abre la tapa de 2 Viales de Digestión (viales con tapa roja) y se comienza a añadir a cada vial el contenido de un paquete de Persufato de Potasio para análisis de Nitrógeno Total.

Se añade exactamente 0,5 ml de muestra a un vial (vial de la muestra), y 0,5 ml de agua desionizada al otro vial (vial del blanco), mientras mantiene los viales con un ángulo de 45 grados, se cierre la tapa fuertemente y se agita los viales vigorosamente durante aproximadamente 30 segundos hasta que todo el polvo esté completamente disuelto.

Luego se insertan los viales en el reactor y se calientan durante 30 minutos a 105°C. Al final del período de digestión colocar viales cuidadosamente en la parrilla de enfriamiento y dejar que se enfríen a temperatura ambiente. Se selecciona el número de programa correspondiente a Nitrógeno Total Rango Alto en el display secundario pulsando PROGRAMA.

Se abre la tapa de los viales y se añade el contenido de un paquete de Metabisulfito de Sodio para análisis de Nitrógeno Total a cada vial. Se cierra la tapa fuertemente y agitan los viales suavemente durante 15 segundos. Se debe esperar 3 minutos (sin agitar los viales) para permitir que la reacción se complete.

Se abre la tapa de los viales y se añade el contenido de un paquete de Reactivo Nitrógeno Total a cada vial. Se cierra la tapa fuertemente y agita los viales suavemente durante 15 segundos. Esperar 2 minutos (sin agitar los viales) para permitir que la reacción se complete.

Se abre la tapa de 2 viales de reactivo (viales con tapa blanca) y se añade exactamente 2,0 ml de muestra digerida (del vial con tapa roja de muestra digerida) a un vial de reactivo (vial muestra), y 2.0 ml de blanco digerido (del vial con tapa roja del blanco digerido) al otro vial (vial del blanco), mientras se mantiene los viales con un ángulo de 45 grados.

Se cierra la tapa fuertemente y se invierten los viales 10 veces y se coloca el vial del blanco en el portaviales y empújelo hasta el fondo. Luego se pulsa TIMER y el display mostrará la cuenta atrás previa a la medición, "SIP" parpaderá durante la medición, se debe esperar unos segundos a que el display muestre “-0.0”. En estos momentos el medidor está en cero y listo para medición. Se retira el vial del blanco y se coloca el vial de la muestra en el porta-viales y empujándolo hasta el fondo. Se pulse READ DIRECT y "SIP" parpadeará en el display.

El instrumento muestra directamente en el display la concentración en mg/l de nitrógeno total (N).

**Sulfatos.**

Las muestras se filtran a través de papel para precipitar, evitando así, la interferencia en la determinación de cualquier componente que se encuentre en suspensión. Los patrones y muestras se llevan a un volumen final de 10 ml, en matraces aforados, con agua destilada.

El contenido de cada matraz se deposita en tubos de ensayos de 30 ml de capacidad, para facilitar la agitación. Se añade 1 ml de disolución tampón (45 ml de agua destilada, 4,5 ml de HCl concentrado, 15 ml de etanol absoluto, 7,5 ml de trietilenglicol y 11,25 g de NaCl) y se agita. Luego se adiciona una punta de espátula de BaCl2. La mezcla resultante es agitada y se dejó reposar. La determinación se realiza en el espectrofotómetro a 450nm.

**Sólidos totales.**

Se seca el crisol de porcelana a 103 -105 ºC por 1 hr, luego se enfría en la desecadora y pesa.

Se toma una alícuota de 10 ml de la muestra bien homogenizada, mediante una probeta y se vierte en la cápsula de porcelana.

Se evapora la muestra a sequedad en la estufa a 105 ºC, y posteriormente se baja la temperatura en 2 ºC aproximadamente, para prevenir salpicaduras. Luego se saca la muestra evaporanda por lo menos 1 hr. en un horno 103-105ºC.

La muestra se coloca en desecadora y se pesar.

Cuando se pesa la muestra seca, se debe estar alerta al cambio en el peso debido a la exposición al aire o degradación de la muestra.

Cuando se determina sólidos totales en dos muestras, ésta debería concordar dentro del 5% de su promedio.

Formula:

$$\text{PPM } sol\ tot = \frac{(M2 - M1)x\ 1000000}{V}$$

Donde:

M2 = Peso de muestra seca y crisol (g.)

M1 = Peso crisol (g.)

V = Volumen de muestra (ml.)

**Sólidos volátiles.**

Se calcina el residuo producido por el método de sólidos totales, hasta un peso constante en la mufla a una temperatura de 500 ºC aproximado. Se debe tener la mufla sobre la temperatura antes mencionada antes de insertar la muestra. Usualmente, 15 a 20 min. de calcinación, son requeridos para 200 mg. de residuo, sin embargo para más de una muestra se necesita mayor tiempo de calcinación. Luego se coloque el crisol en aire hasta que la mayor parte del calor haya sido disipado y se pone en la desecadora y se pesa.

Formula:

$$\text{PPM } sol\ tot = \frac{(\mathrm{M2}-\mathrm{M1})\mathrm{x}\ 1000000}{\mathrm{V}}$$

Donde:

V: Volumen de la muestra [ml]= 10ml.

M2: Peso de la cápsula de porcelana junto con los sólidos totales [g]

M1: Peso de la cápsula después de haber sido calcinada en mechero [g]

**Sólidos suspendidos.**

Se taran individualmente en placas de vidrio los filtros estándar necesarios y se anota el peso inicial seco, determinado a 103-105ºC.

Se filtra un volumen determinado de muestra homogeneizada a través de un filtro pesado, con una bomba de vacío.

Se seca en la estufa a 103- 105º C hasta peso constante.

Cálculos:

$$\text{Sólidos suspendidos totales (mg/litro)} = \frac{(A-B)\ x\ 1000}{V}$$

Donde:

A: peso de residuo seco + filtro (mg)

B: tara del filtro (mg)

## Anexo D: Caracterización del Purín.

Estos datos corresponden a la caracterización del afluente y efluente de las lagunas anaerobias del año 2011.

**Tabla N° 45:** Caracterización del purín del año 2011.

| PARAMETROS / MUESTRAS | Unid. | Afluente | Efluente 1 | Efluente 2 | Efluente 3 | Efluente 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Efluentes** | **$m^3/d$** | **168** | | | | |
| **Caudal** | $m^3/h$ | 7 | | | | |
| **Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO)** | **mg/L** | **13507** | 2248 | 902 | 655 | **579** |
| **Demanda Química de Oxigeno total (DQOt)** | **mg/L** | **36960** | 8100 | 2980 | 2670 | **2450** |
| **Demanda Química de Oxigeno soluble (DQOs)** | mg/L | 12460 | 4560 | 1205 | 1115 | 1045,00 |
| **Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)** | mg/L | 625 | 463 | 515 | 620 | 565,00 |
| **Nitrógeno Amoniacal (N-$NH4^+$)** | mg/L | 396,03 | 410,22 | 515 | 548,25 | 510,84 |
| **Sulfato ($SO_4^{-2}$)** | mg/L | 470 | 159 | 138 | 139 | |
| **Cobre (Cu)** | mg/L | 35,84 | | | | |
| **Zinc (Zn)** | mg/L | 62,7 | | | | |
| **Sólidos Fijos (SF)** | mg/L | 6670 | 4135 | 2960 | 2960 | 2860,00 |
| **Sólidos Totales (ST)** | mg/L | 22900 | 7620 | 4565 | 4530 | 4340,00 |
| **Sólidos Volátiles (SV)** | mg/L | 18600 | 3485 | 1605 | 1570 | 1480,00 |
| **Sólidos Suspendidos Totales (SST)** | mg/L | 20403 | | | | 447 |
| **Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)** | mg/L | 13733 | | | | 350 |
| **pH** | | 6,9 | 7,5 | 8,1 | 8,2 | 8,30 |

Fuente: Elaboración propia

Con los datos considerados en la tabla N°45 se pueden obtener las siguientes relaciones para la DQO y la DBO en el caso del afluente:

$$DBO / DQO = 0.37$$

Por su parte a la salida del tratamiento de las lagunas anaerobias, se puede obtener la siguiente relación para la DQO y la DBO en el caso del efluente 4:

$$DBO / DQO = 0.24$$

**Anexo E: Legislación aplicable.**

En Chile no existen normativas específicas para tratar los purines, no obstante, si las empresas generan un mal uso, por su acumulación y disposición, pueden generar daños a los suelos o los cursos de aguas superficiales y subterráneo, afectando a la agricultura, la salud de las personas, entre otras, con lo cual se infringen algunas normas de la legislación chilena. Esto incentiva indirectamente a que las empresas agropecuarias inviertan e implementen algún sistema de tratamiento.

La siguiente normativa y decretos competen a la actividad porcina:

- **Decreto Ley Nº 3.557 de 1980 del Ministerio de Agricultura, Establece Disposiciones Sobre Protección Agrícola.**

Este decreto establece los requerimientos que deben tener la comercialización y aplicación de plaguicidas fertilizantes que son utilizados en la agricultura, para que no existan errores en las compras de los distintos productos, debiendo utilizarse aquellos que no causen daño al medio ambiente y sean asimilados correctamente por los cultivos. Además establece que los establecimientos industriales que manipulen productos susceptibles de contaminar la agricultura, deberán adoptar oportunamente las medidas técnicas y prácticas que sean procedentes a fin de evitar o impedir la contaminación (Art. 11). Los afectados por alguna fuente de contaminación derivada una actividad, como la agroindustrial, que afectan a la agricultura podrán demandar ante el Juez de Letras del lugar en que se encuentren el o los predios afectados, las medidas tendientes a evitar la fuente contaminante, como asimismo la correspondiente indemnización de perjuicios (Art. 12).

- **D.F.L. N° 725 de 1967 del Ministerio de Salud, Código Sanitario. Diario Oficial, 31.01.1968.**

Libro tercero, de la Higiene y Seguridad del Ambiente y de los Lugares de Trabajo. Artículos 71, 72, 73 y 75, competen a la actividad porcina.

- **Norma NCh 1.333/Of. 87, Requisitos de Calidad de Agua para Diferentes Usos**.

Esta norma es directamente aplicable a la actividad agrícola, ya que fija los limites de los parámetros para uso de aguas en riego. Esta norma fija un criterio de calidad del agua de acuerdo a requerimientos científicos, como características físicas, químicas y biológicas, contribuyendo a la protección y preservación de la calidad de las agua de la contaminación con residuos de cualquier tipo u origen.

El Ministerio de Obras Publicas podrá autorizar valores mayores o menores para los límites máximos de los elementos de la siguiente tabla.

**Tabla N° 46:** Concentración máxima de elementos químicos en agua para riego.

| Elemento | | Unidad | Límite máximo |
|---|---|---|---|
| Aluminio | (Al) | mg/l | 5,00 |
| Arsénico | (As) | mg/l | 0,10 |
| Bario | (Ba) | mg/l | 4,00 |
| Berilio | (Be) | mg/l | 0,10 |
| Boro | (B) | mg/l | 0,75 |
| Cadmio | (Cd) | mg/l | 0,010 |
| Cianuro | ($CN^-$) | mg/l | 0,20 |
| Cloruro | ($Cl^-$) | mg/l | 200,00 |
| Cobalto | (Co) | mg/l | 0,050 |
| Cobre | (Cu) | mg/l | 0,20 |
| Cromo | (Cr) | mg/l | 0,10 |
| Fluoruro | ($F^-$) | mg/l | 1,00 |
| Hierro | (Fe) | mg/l | 5,00 |
| Litio | (Li) | mg/l | 2,50 |
| Litio (cítricos) | (Li) | mg/l | 0,075 |
| Manganeso | (Mn) | mg/l | 0,20 |
| Mercurio | (Hg) | mg/l | 0,001 |
| Molibdeno | (Mo) | mg/l | 0,010 |
| Níquel | (Ni) | mg/l | 0,20 |
| Plata | (Ag) | mg/l | 0,20 |
| Plomo | (Pb) | mg/l | 5,00 |
| Selenio | (Se) | mg/l | 0,020 |
| Sodio porcentual | (Na) | % | 35,00 |
| Sulfato | ($So_4=$) | mg/l | 250,00 |
| Vanadio | (V) | mg/l | 0,10 |
| Zinc | (Zn) | mg/l | 2,00 |

Fuente: Requisitos de Calidad de Agua para Diferentes Usos, Norma NCh 1.333/Of. 78, Modif.1987

- **Decreto Supremo Nº 351 de 1992 del Ministerio de Obras Públicas. Diario Oficial, 17.02.1998, "Reglamento para la Neutralización y Depuración de los Residuos Líquidos Industriales a que se refiere la Ley Nº 3.133". Modificado por el Decreto Supremo Nº 1.172/98.**

De acuerdo al artículo 1 y 2 de la ley, los establecimientos, no podrán vaciar Riles u otras sustancias nocivas al riego o a la bebida en ningún acueducto, cauce natural o artificial, superficial o subterráneo que conduzcan aguas, o en vertientes, lagos, lagunas, depósitos de agua, o terrenos que puedan filtrar la napa subterránea sin la autorización del Presidente de la República, otorgada por decreto del Ministerio de Obras Públicas, previo informe favorable de la

SISS. La autorización será necesaria para los establecimientos cuyos Riles u otras sustancias desagüen en redes de alcantarillado y puedan dañar los sistemas de recolección o tratamiento de aguas servidas, o contravengan las normas vigentes sobre la calidad de los afluentes, aún cuando no sean nocivas a la bebida o al riego.

En el otro punto que compete a la actividad porcina, es que el vaciamiento de residuos contaminados a cualquier cuerpo de agua deberá ajustarse a los requerimientos de calidad de agua para cada uso especifico, teniendo en cuenta la autodepuración y dilución del cuerpo receptor.

- **Decreto Supremo N° 90/01.**

Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. Se debe tener especial cuidado en el destino de las descargas del agua tratada, la cual solo puede ser depositada a los cursos superficiales cercanos con concentraciones inferiores a las que establece la norma, de acuerdo a las siguientes tablas.

**Tabla N° 47:** Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales considerando la capacidad de dilución del receptor.

| CONTAMINANTES | UNIDAD | EXPRESION | LIMITE MAXIMO PERMITIDO |
|---|---|---|---|
| Aceites y Grasas | Mg/L | A y G | 20 |
| Aluminio | Mg/L | Al | 5 |
| Arsénico | Mg/L | As | 0,5 |
| Boro | Mg/L | B | 0,75 |
| Cadmio | Mg/L | Cd | 0,01 |
| Cianuro | Mg/L | $CN^-$ | 0,20 |
| Cloruros | Mg/L | $Cl^-$ | 400 |
| Cobre Total | mg/L | Cu | 1 |
| Coliformes Fecales o Termotolerantes | NMP/100 ml | Coli/100 ml | 1000 |
| Indice de Fenol | mg/L | Fenoles | 0,5 |
| Cromo Hexavalente | mg/L | $Cr^{6+}$ | 0,05 |
| $DBO_5$ | mg $O_2$/L | $DBO_5$ | 35 * |
| Fósforo | mg/L | P | 10 |
| Fluoruro | mg/L | $F^-$ | 1,5 |
| Hidrocarburos Fijos | mg/L | HF | 10 |
| Hierro Disuelto | mg/L | Fe | 5 |
| Manganeso | mg/L | Mn | 0,3 |
| Mercurio | mg/L | Hg | 0,001 |
| Molibdeno | mg/L | Mo | 1 |
| Níquel | mg/L | Ni | 0,2 |
| Nitrógeno Total Kjeldahl | mg/L | NKT | 50 |
| Pentaclorofenol | mg/L | $C_6OHCl_5$ | 0,009 |
| PH | Unidad | pH | 6,0 -8,5 |
| Plomo | mg/L | Pb | 0,05 |
| Poder Espumógeno | mm | PE | 7 |
| Selenio | mg/L | Se | 0,01 |
| Sólidos Suspendidos Totales | mg/L | SS | 80 * |
| Sulfatos | mg/L | $SO_4^{2-}$ | 1000 |
| Sulfuros | mg/L | $S^{2-}$ | 1 |
| Temperatura | C° | $T^°$ | 35 |
| Tetracloroeteno | mg/L | $C_2Cl_4$ | 0,04 |
| Tolueno | mg/L | $C_6H_5CH_3$ | 0,7 |
| Triclorometano | mg/L | $CHCl_3$ | 0,2 |
| Xileno | mg/L | $C_6H_4C_2H_6$ | 0,5 |
| Zinc | mg/L | Zn | 3 |

Fuente: D.S. Nº 90 de 2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (DO 07.03.2001)

**Tabla N° 48:** Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales considerando la capacidad de dilución del receptor.

| CONTAMINANTE | UNIDAD | EXPRESION | LIMITE MAXIMO PERMISIBLE |
|---|---|---|---|
| Aceites y Grasas | mg/L | A y G | 50 |
| Aluminio | mg/L | Al | 10 |
| Arsénico | mg/L | As | 1 |
| Boro | mg/L | B | 3 |
| Cadmio | mg/L | Cd | 0,3 |
| Cianuro | mg/L | $CN^-$ | 1 |
| Cloruros | mg/L | $Cl^-$ | 2000 |
| Cobre Total | mg/L | Cu | 3 |
| Coliformes Fecales o Termotolerantes | NMP/100 ml | Coli/100 ml | 1000 |
| Indice de Fenol | mg/L | Fenoles | 1 |
| Cromo Hexavalente | mg/L | $Cr^{6+}$ | 0,2 |
| $DBO_5$ | $mgO_2/L$ | $DBO_5$ | 300 |
| Fluoruro | mg/L | $F^-$ | 5 |
| Fósforo | mg/L | P | 15 |
| Hidrocarburos Fijos | mg/L | HF | 50 |
| Hierro Disuelto | mg/L | Fe | 10 |
| Manganeso | mg/L | Mn | 3 |
| Mercurio | mg/L | Hg | 0,01 |
| Molibdeno | mg/L | Mo | 2,5 |
| Níquel | mg/L | Ni | 3 |
| Nitrógeno Total Kjeldahl | mg/L | NKT | 75 |
| Pentaclorofenol | mg/L | $C_6OHCl_5$ | 0,01 |
| PH | Unidad | pH | 6,0 – 8,5 |
| Plomo | mg/L | Pb | 0,5 |
| Poder Espumógeno | mm. | PE | 7 |
| Selenio | mg/L | Se | 0,1 |
| Sólidos Suspendidos Totales | mg/L | SS | 300 |
| Sulfatos | mg/L | $SO_4^{2-}$ | 2000 |
| Sulfuros | mg/L | $S^{2-}$ | 10 |
| Temperatura | °C | $T^°$ | 40 |
| Tetracloroeteno | mg/L | $C_2Cl_4$ | 0,4 |
| Tolueno | mg/L | $C_6H_5CH_3$ | 7 |
| Triclorometano | mg/L | $CHCl_3$ | 0,5 |
| Xileno | mg/L | $C_6H_4C_2H_6$ | 5 |
| Zinc | mg/L | Zn | 20 |

Fuente: D.S. Nº 90 de 2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (DO 07.03.2001)

**Tabla N° 49:** Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua lacustres.

| CONTAMINANTE | UNIDAD | EXPRESION | LIMITE MAXIMO PERMISIBLE |
|---|---|---|---|
| Aceites y Grasas | mg/L | A y G | 20 |
| Aluminio | mg/L | Al | 1 |
| Arsénico | mg/L | As | 0,1 |
| Cadmio | mg/L | Cd | 0,02 |
| Cianuro | mg/L | $CN^-$ | 0,5 |
| Cobre Total | mg/L | Cu | 0,1 |
| Coliformes Fecales o Termotolerantes | NMP/100 ml | Coli/100 ml | 1000-70 * |
| Indice de Fenol | mg/L | Fenoles | 0,5 |
| Cromo Hexavalente | mg/L | $Cr^{6+}$ | 0,2 |
| Cromo Total | mg/L | Cr Total | 2,5 |
| $DBO_5$ | $mgO_2/L$ | $DBO_5$ | 35 |
| Estaño | mg/L | Sn | 0,5 |
| Fluoruro | mg/L | $F^-$ | 1 |
| Fósforo | mg/L | P | 2 |
| Hidrocarburos Totales | mg/L | HCT | 5 |
| Hierro Disuelto | mg/L | Fe | 2 |
| Manganeso | mg/L | Mn | 0,5 |
| Mercurio | mg/L | Hg | 0,005 |
| Molibdeno | mg/L | Mo | 0,07 |
| Níquel | mg/L | Ni | 0,5 |
| Nitrógeno Tota1 ** | mg/L | N | 10 |
| PH | unidad | pH | 6,0 - 8,5 |
| Plomo | mg/L | Pb | 0,2 |
| SAAM | mg/L | SAAM | 10 |
| Selenio | mg/L | Se | 0,01 |
| Sólidos Sedimentables | ml/1/h | S SED | 5 |
| Sólidos Suspendidos Totales | mg/L | SS | 80 |
| Sulfatos | mg/L | $SO_4^{2-}$ | 1000 |
| Sulfuros | mg/L | $S^{2-}$ | 1 |
| Temperatura | °C | $T^\circ$ | 30 |
| Zinc | mg/L | Zn | 5 |

Fuente: D.S. Nº 90 de 2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (DO 07.03.2001)

**Tabla N° 50:** Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos dentro de la zona de protección litoral.

| CONTAMINANTE | UNIDAD | EXPRESION | LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE |
|---|---|---|---|
| Aceites y Grasas | mg/L | A y G | 20 |
| Aluminio | mg/L | Al | 1 |
| Arsénico | mg/L | As | 0,2 |
| Cadmio | mg/L | Cd | 0,02 |
| Cianuro | mg/L | $CN^-$ | 0,5 |
| Cobre | mg/L | Cu | 1 |
| Coliformes Fecales o Termotolerantes | NMP/100 ml | Coli/100 ml | 1000-70* |
| Indice de Fenol | mg/L | Fenoles | 0,5 |
| Cromo Hexavalente | mg/L | $Cr^{6+}$ | 0,2 |
| Cromo Total | mg/L | Cr Total | 2,5 |
| $DBO_5$ | mg $O_2$/L | $DBO_5$ | 60 |
| Estaño | mg/L | Sn | 0,5 |
| Fluoruro | mg/L | $F^-$ | 1,5 |
| Fósforo | mg/L | P | 5 |
| Hidrocarburos Totales | mg/L | HCT | 10 |
| Hidrocarburos Volátiles | mg/L | HCV | 1 |
| Hierro Disuelto | mg/L | Fe | 10 |
| Manganeso | mg/L | Mn | 2 |
| Mercurio | mg/L | Hg | 0,005 |
| Molibdeno | mg/L | Mo | 0,1 |
| Níquel | mg/L | Ni | 2 |
| Nitrógeno Total Kjeldahl | mg/L | NKT | 50 |
| PH | Unidad | pH | 6,0 - 9,0 |
| Plomo | mg/L | Pb | 0,2 |
| SAAM | mg/L | SAAM | 10 |
| Selenio | mg/L | Se | 0,01 |
| Sólidos Sedimentables | m1/1/h | S SED | 5 |
| Sólidos Suspendidos Totales | mg/L | SS | 100 |
| Sulfuros | mg/L | $S^{2-}$ | 1 |
| Zinc | mg/L | Zn | 5 |
| Temperatura | °C | T° | 30 |

Fuente: D.S. Nº 90 de 2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (DO 07.03.2001)

- **Decreto Supremo N° 46/2002. Norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas**.

Esta norma, en el artículo 2 establece que no es aplicable a las labores de riego, se debe cuidar el rebalse de los sistemas de tratamiento o almacenamiento, y todo tipo de escurrimiento además fija límites en los parámetros ambientales de acuerdo al:

Artículo 10º. Los límites máximos de emisión en términos totales, para los acuíferos con vulnerabilidad calificada como media, serán los siguientes:

**Tabla N° 51:** Límites máximos permitidos para descargar residuos líquidos en condiciones de vulnerabilidad media.

| CONTAMINANTE | UNIDAD | LIMITES MAXIMOS PERMITIDOS |
|---|---|---|
| Indicadores Fisicos y Químicos | | |
| Ph | Unidad | 6,0 – 8,5 |
| Inorgánicos | | |
| Cianuro | mg/L | 0,20 |
| Cloruros | mg/L | 250 |
| Fluoruro | mg/L | 1,5 |
| N-Nitrato + N-Nitrito | mg/L | 10 |
| Sulfatos | mg/L | 250 |
| Sulfuros | mg/L | 1 |
| Orgánicos | | |
| Aceite y Grasas | mg/L | 10 |
| Benceno | mg/L | 0,01 |

| | | |
|---|---|---|
| Pentaclorofenol | mg/L | 0,009 |
| Tetracloroeteno | mg/L | 0,04 |
| Tolueno | mg/L | 0,7 |
| Triclorometano | mg/L | 0,2 |
| Xileno | mg/L | 0,5 |
| Metales | | |
| Aluminio | mg/L | 5 |
| Arsénico | mg/L | 0,01 |
| Boro | mg/L | 0,75 |
| Cadmio | mg/L | 0,002 |
| Cobre | mg/L | 1 |
| Cromo Hexavalente | mg/L | 0,05 |
| Hierro | mg/L | 5 |
| Manganeso | mg/L | 0,3 |
| Mercurio | mg/L | 0,001 |
| Molibdeno | mg/L | 1 |
| Níquel | mg/L | 0,2 |
| Plomo | mg/L | 0,05 |
| Selenio | mg/L | 0,01 |
| Zinc | mg/L | 3 |
| Nutrientes | | |
| Nitrógeno Total Kjeldahl | mg/L | 10 |

Fuente: D.S. Nº 46 de 2002 Norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas.

Artículo 11º. Los límites máximos de emisión en términos totales, para los acuíferos con vulnerabilidad calificada como baja, serán los siguientes:

**Tabla N° 52:** Límites máximos permitidos para descargar residuos líquidos en condiciones de vulnerabilidad baja.

| CONTAMINANTE | UNIDAD | LIMITES MAXIMOS PERMITIDOS |
|---|---|---|
| Indicadores Fisicos y Químicos | | |
| PH | Unidad | 6,0 – 8,5 |
| Inorgánicos | | |
| Cianuro | mg/L | 0,2 |
| Cloruros | mg/L | 250 |
| Fluoruro | mg/L | 5 |
| N-Nitrato + N-Nitrito | mg/L | 15 |
| Sulfatos | mg/L | 500 |
| Sulfuros | mg/L | 5 |
| Orgánicos | | |
| Aceite y Grasas | mg/L | 10 |
| Benceno | mg/L | 0,01 |
| Pentaclorofenol | mg/L | 0,009 |
| Tetracloroeteno | mg/L | 0,04 |
| Tolueno | mg/L | 0,7 |
| Triclorometano | mg/L | 0,2 |
| Xileno | mg/L | 0,5 |
| Metales | | |
| Aluminio | mg/L | 20 |
| Arsénico | mg/L | 0,01 |
| Boro | mg/L | 3 |
| Cadmio | mg/L | 0,002 |
| Cobre | mg/L | 3 |
| Cromo Hexavalente | mg/L | 0,2 |
| Hierro | mg/L | 10 |
| Manganeso | mg/L | 2 |
| Mercurio | mg/L | 0,001 |
| Molibdeno | mg/L | 2,5 |
| Níquel | mg/L | 0,5 |
| Plomo | mg/L | 0,05 |
| Selenio | mg/L | 0,02 |
| Zinc | mg/L | 20 |
| Nutrientes | | |
| Nitrógeno Total Kjeldahl | mg/L | 15 |

Fuente: D.S. Nº 46 de 2002 Norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas.

- **Decreto Supremo Nº 95, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.**

Somete a evaluación ambiental a los proyectos de sistemas de tratamiento de residuos industriales líquidos de acuerdo a:

Artículo 3.- Los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualquiera de sus fases, que deberán someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, son los siguientes:

o) Proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de agua o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos

Se entenderá por proyectos de saneamiento ambiental al conjunto de obras, servicios, técnicas, dispositivos o piezas comprendidas en soluciones sanitarias, y que correspondan a:

o.7. Sistemas de tratamiento y/o disposición de residuos industriales líquidos, que contemplen dentro de sus instalaciones lagunas de estabilización, o cuyos efluentes tratados se usen para el riego o se infiltren en el terreno, o que den servicio de tratamiento a residuos provenientes de terceros, o que traten efluentes con una carga contaminante media diaria igual o superior al equivalente a las aguas servidas de una población de cien (100) personas, en uno o más de los parámetros señalados en la respectiva norma de descargas líquidas.

- **Ley 19.300, "Bases Generales del Medio Ambiente". Ministerio Secretaría General de la Presidencia.**

Artículo 1°.- El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental se regularán por las disposiciones de esta ley, sin perjuicio de lo que otras normas legales establezcan sobre la materia.

Artículo 10.- Los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases, que deberán someterse al sistema de evaluación de impacto ambiental; o) Proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de aguas o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos

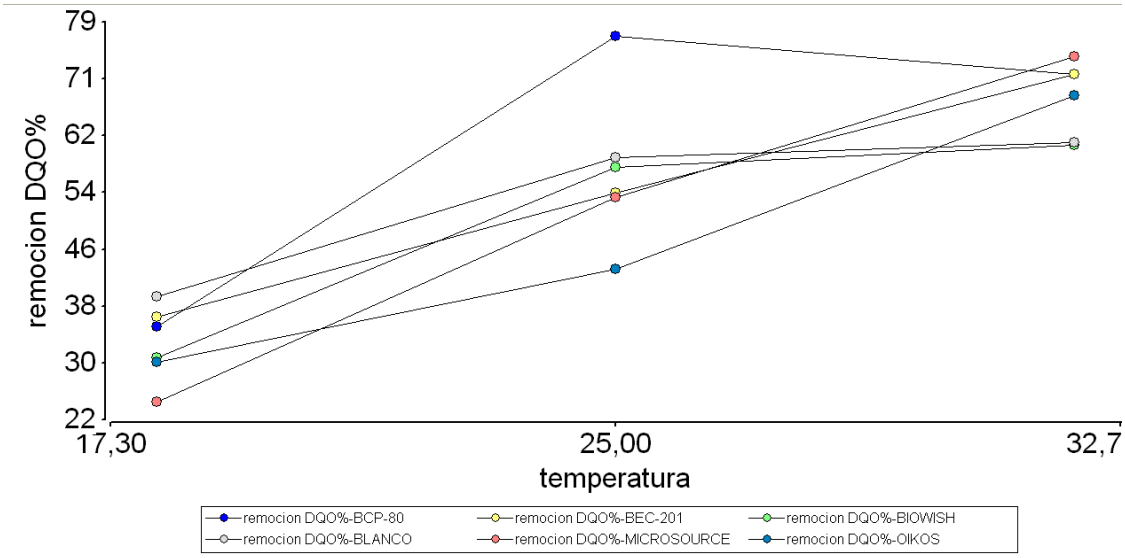
Artículo 11.- Los proyectos o actividades enumerados en el artículo precedente requerirán la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental, si generan o presentan a lo menos uno de los siguientes efectos, características o circunstancias:

a) Riesgo para la salud de la población, debido a la cantidad y calidad de efluentes, emisiones o residuos;

b) Efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire;

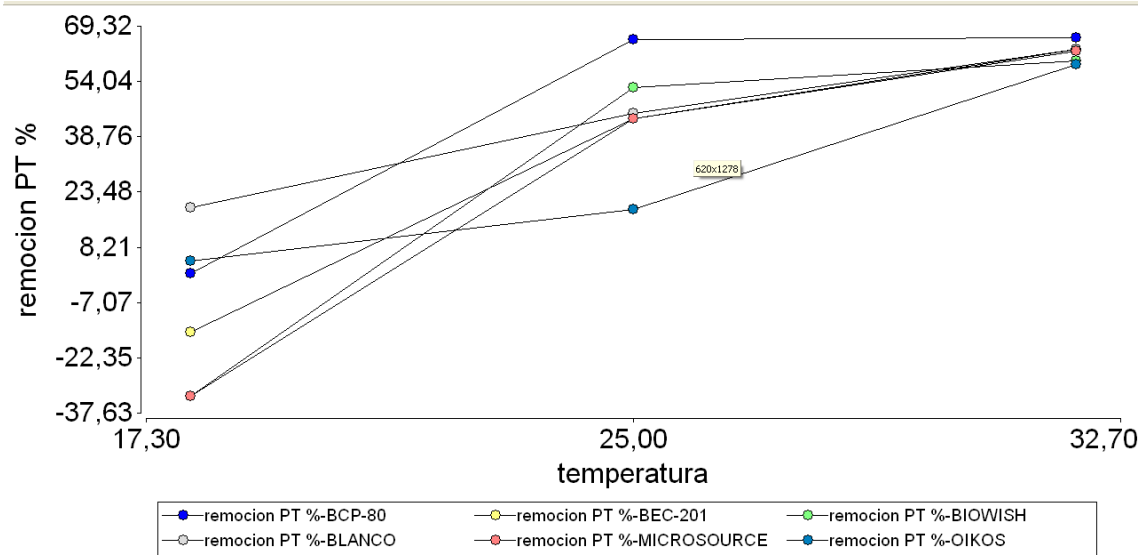
## Anexo F: Análisis de gráficas para efectos de interacción.

**Gráfico N° 24:** Remoción de DQO.



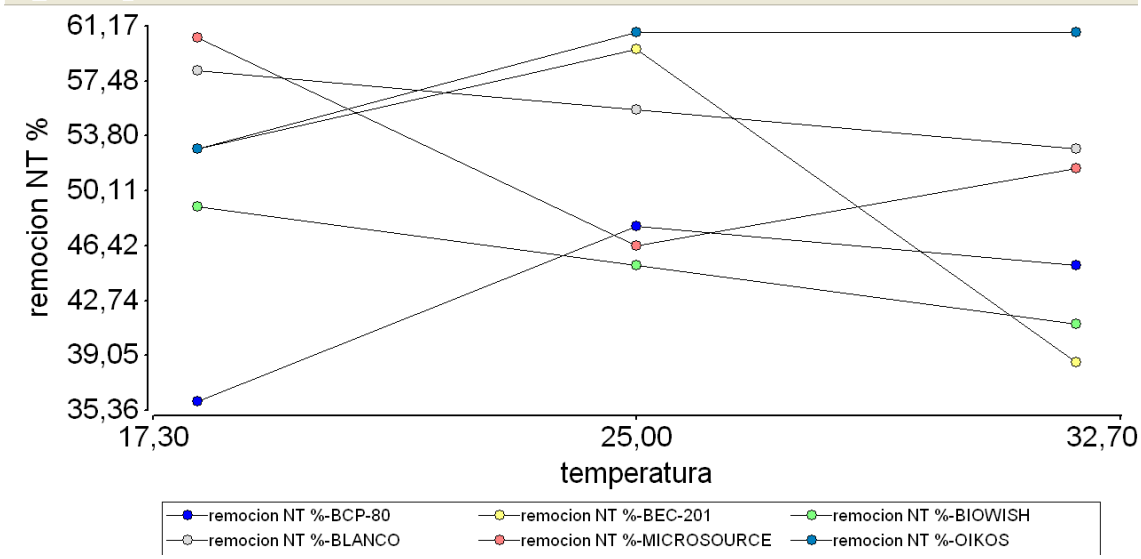

Fuente: elaboración propia a través de software INFOSTAT.

**Gráfico N° 25:** Remoción de PT.



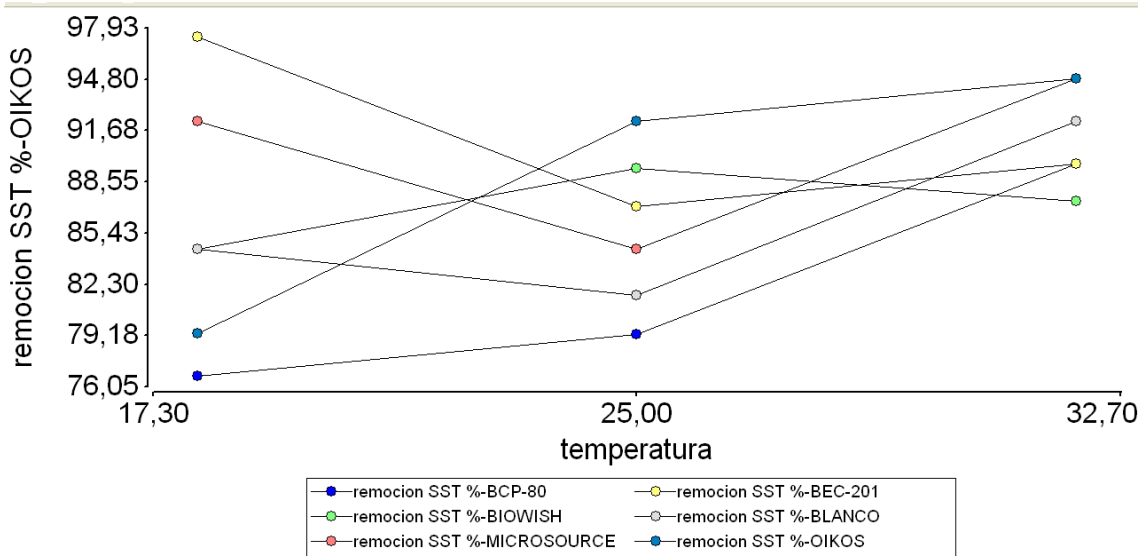

Fuente: elaboración propia a través de software INFOSTAT.

**Gráfico N° 26:** Remoción de NT.



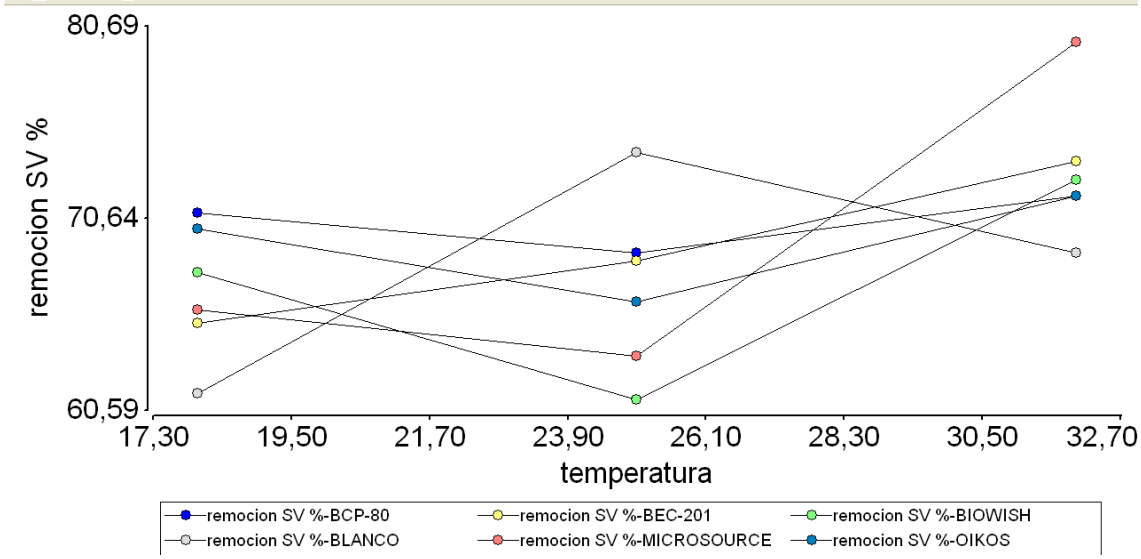

Fuente: elaboración propia a través de software INFOSTAT.

**Gráfico N° 27:** Remoción de SST.



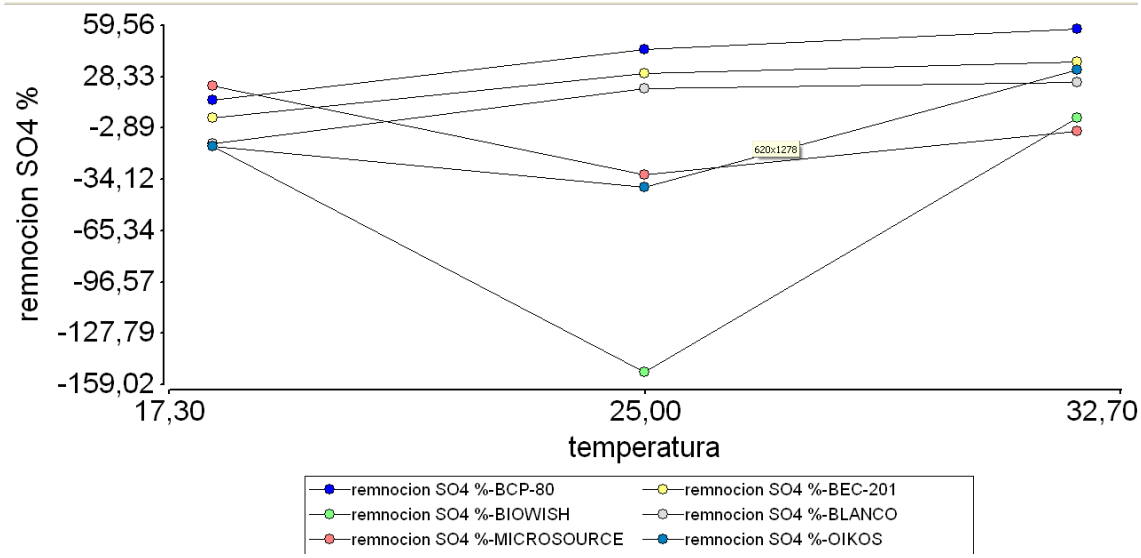

Fuente: elaboración propia a través de software INFOSTAT.

**Gráfico N° 28:** Remoción de SV.



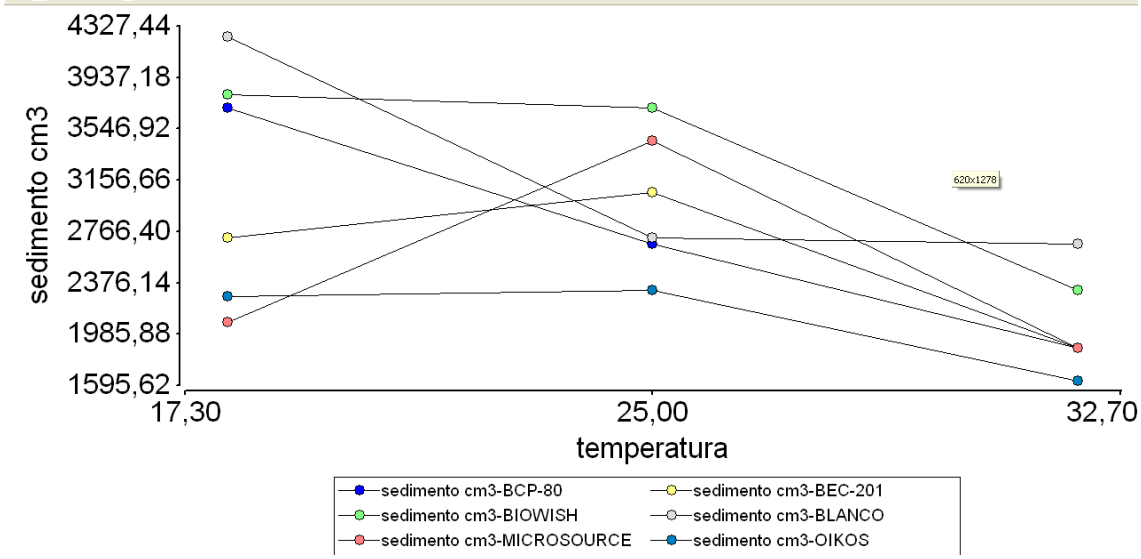

Fuente: elaboración propia a través de software INFOSTAT.

**Gráfico N° 29:** Remoción de sulfatos.




Fuente: elaboración propia a través de software INFOSTAT.

**Gráfico N° 30:** Sedimento acumulado.




Fuente: elaboración propia a través de software INFOSTAT.

Las interacciones se pueden apreciar según las curvas se interceptan, de este modo las curvas que son paralelas no presentan interacciones entre los factores y sus niveles, por lo que una interacción positiva o negativa queda a la vista cuando las curvas no son paralelas y se interceptan. Por ejemplo para el gráfico de sedimento acumulado, se puede apreciar que las gráficas de los productos BIOWISH, BEC-201 y OIKOS presentan gráficas prácticamente paralelas por lo que no se aprecia que estos niveles interactúen con los niveles del factor temperatura, no así las gráficas de los productos MICROSOURCE Y BCP-80 que al no ser paralelas interceptan las de mas gráficas lo que deja en evidencia que estos niveles interactúan con los niveles del factor temperatura.