

**UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO INGENIERIA INDUSTRIAL**

**PROFESORES GUÍA:**  
**SR. IVAN SANTELICES MALFANTI**



# **UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**

**“LOCALIZACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE LODOS DE LA  
EMPRESA DE SERVICIOS SANITARIOS DEL BÍO BÍO”**

Trabajo de Titulación: Presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de  
Ingeniero Civil Industrial, Mención Gestión.

**CONCEPCIÓN, Julio de 2009.**

**RODRIGO ALARCON TIZNADO**

## Resumen

El presente trabajo tiene la finalidad de proponer una solución al problema de manejo de los lodos<sup>1</sup> que hoy presenta la empresa Essbio. Esta problemática tiene relación con la pronta publicación de un reglamento de manejo de estos desechos biosólidos, el cual es mucho más exigente para el estado final de los lodos, los cuales son producidos a razón de 100.000 toneladas anuales por las plantas de tratamiento de aguas servidas que posee la empresa en su zona de operación. Con la entrada en vigencia del nuevo reglamento obliga a la empresa a construir nuevas plantas de tratamiento de lodos para cumplir con las nuevas obligaciones, desconociéndose en la actualidad la mejor alternativa de ubicación, cantidad de plantas a construir y sus capacidades de tratamiento.

La forma de abordar este trabajo se inicia describiendo a la empresa, el tratamiento de aguas servidas y el contexto del lodo a nivel nacional, para mostrar seguidamente un resumen de los aspectos más importantes del nuevo reglamento y sus implicancias para la empresa.

Para abordar el problema de cuántas plantas de tratamiento de lodos y dónde ubicarlas de modo de minimizar los costos de transporte en la octava región, se utilizó un modelo de programación lineal entera mixta, programación que fue resuelta con la herramienta computacional GAMS, con la cual se obtiene como mejor solución construir 4 Plantas de Tratamiento de Lodos ubicadas en Hualqui, Cabrero, Chillán Viejo y Los Alamos, solución que se mantiene igualmente válida luego de realizar una análisis de sensibilidad a la cantidad de lodo producido por las plantas.

---

<sup>1</sup> Lodos: Subproducto resultante del tratamiento de aguas servidas, constituido por materias minerales en suspensión, materias orgánicas no biodegradables y de material celular vivo o muerto.

## Índice

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCION .....</b>	<b>5</b>
1.1 ORIGEN .....	5
1.2 MATERIA DEL ESTUDIO .....	5
1.3 OBJETIVO .....	6
1.4 METODOLOGÍA .....	7
1.5 RESULTADOS ESPERADOS .....	7
1.6 DESARROLLO .....	7
<b>CAPÍTULO 2: LA EMPRESA .....</b>	<b>9</b>
2.1 BREVE HISTORIA DE ESSBIO S.A. ....	9
2.2 MISIÓN, VISIÓN Y ESTRUCTURA DE LA EMPRESA .....	11
2.2.1 Misión .....	11
2.2.2 Visión .....	11
2.2.3 Estructura .....	11
2.3 INTRODUCCIÓN AL PROCESO SANITARIO .....	12
2.3.1 Captación .....	13
2.3.2 Tratamiento de Agua .....	13
2.3.3 Distribución de Agua Potable .....	14
2.3.4 Recolección de Aguas Servidas .....	14
2.3.5 Tratamiento de Aguas Servidas .....	14
2.4 NORMATIVAS QUE RIGEN EL NEGOCIO SANITARIO .....	14
2.5 ROL DEL ESTADO EN EL SECTOR SANITARIO CHILENO .....	16
2.5.1 Estado Empresario .....	16
2.5.2 Estado Regulador .....	17
2.6 INSTITUCIONES QUE REGULAN EL SECTOR SANITARIO .....	18
2.6.1 Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción .....	18
2.6.2 Ministerio de Obras Públicas .....	18
2.6.3 Ministerio de Salud: .....	19
<b>CAPÍTULO 3: BREVE DESCRIPCION DEL TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS .....</b>	<b>21</b>
3.1 INTRODUCCIÓN .....	21
3.2 TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS .....	21
3.3 COMPONENTES DE LAS AGUAS SERVIDAS .....	22
3.4 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS .....	23
3.5 SISTEMA DE TRATAMIENTO POR LAGUNAS AIREADAS .....	27
3.6 LODOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS .....	28
3.7 EL LODO A NIVEL NACIONAL .....	29
3.8 EL REGLAMENTO DE LODOS .....	32
3.8.1 Exigencias en Materia de Higienización y Estabilización del Lodo .....	32
3.8.2 Exigencias en Materia de Secado del Lodo .....	34
3.8.3 Exigencias en Materia de Manejo Sanitario de Lodos .....	34
3.8.4 Exigencias en Materia de Disposición Final .....	35
3.8.5 Exigencias en Materia de Plazos .....	36
3.8.6 Resumen de Normativa .....	36
3.9 SITUACIÓN ACTUAL DEL LODO EN ESSBIO .....	37
3.10 LOCALIZACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE LODOS .....	37

<b>CAPÍTULO 4: METODOLOGIA.....</b>	<b>39</b>
4.1 LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES .....	39
4.2 APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES.....	39
4.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES .....	40
4.3.1 Definición del problema.....	40
4.3.2 Desarrollo de un modelo matemático y recolección de datos .....	41
4.3.3. Resolución del modelo matemático.....	43
4.3.4. Validación, instrumentación y control de la solución .....	44
4.3.5. Modificación del modelo.....	44
4.4 USOS Y VENTAJAS DE LOS MODELOS DE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES .....	45
4.5 EL PROBLEMA DE TRANSPORTE.....	46
4.6 PRESENTACIÓN DEL MODELO UTILIZADO .....	47
<b>CAPITULO 5: HERRAMIENTA DE SOLUCION.....</b>	<b>52</b>
5.1 BREVE INTRODUCCIÓN AL PROGRAMA GAMS .....	52
5.2 REFERENCIAS BÁSICAS .....	52
5.3 LÍNEAS DE COMENTARIO.....	54
5.4 BLOQUE DE VARIABLES .....	54
5.5 BLOQUE DE ECUACIONES .....	54
5.6 BLOQUE DE MODELO.....	54
5.7 BLOQUE DE SOLUCIÓN.....	55
5.8 BLOQUES OPCIONALES.....	55
5.9 REGLAS CARACTERÍSTICAS DEL LENGUAJE.....	57
<b>CAPÍTULO 6: <u>DESARROLLO DE LA SOLUCION</u> .....</b>	<b>59</b>
6.1 MODELO SIMPLIFICADO .....	59
6.2 PROGRAMACIÓN DEL MODELO REDUCIDO.....	59
6.3 IMPLEMENTACIÓN .....	61
6.4 VERIFICACIONES .....	61
6.5 IMPLEMENTACIÓN DE MODELO A ESCALA REAL .....	61
<b>CAPÍTULO 7: <u>RESULTADOS Y CONCLUSIONES</u> .....</b>	<b>63</b>
7.1 SOLUCIÓN ÓPTIMA .....	63
7.2 COSTOS DE LA SOLUCIÓN .....	65
7.2.2 Costo de Operación Mensual.....	65
7.2.3 Relación de Costos .....	66
7.2.4 Inversión.....	68
7.2.5 Implementación de Solución .....	70
7.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD .....	76
7.3.1 Sensibilización para un 50 % de reducción en la producción.....	77
7.3.2 Sensibilización para un 25 % de aumento en la producción .....	78
7.3.3 Sensibilización para un 50 % de aumento en la producción .....	79
7.3.4 Sensibilización para un 75 % de aumento en la producción .....	80
7.3.5 Sensibilización para un 100 % de aumento en la producción .....	81
7.4 CONCLUSIÓN.....	82
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>85</b>

## **Capítulo 1: INTRODUCCION**

### **1.1 Origen**

A comienzos de la década del 90 se inicia en Chile el proceso de construcción de plantas de tratamiento de aguas servidas. Desde el año 2000, con la publicación del Decreto Supremo N° 90 que regula la Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales, proceso que se ha venido desarrollando significativamente, por lo que hoy gran parte de la población descarga sus aguas servidas a sistemas que cuentan con algún tipo de tratamiento.

Con la paulatina implementación de sistemas de tratamiento de aguas servidas, comienza la generación de lodos en este tipo de plantas, lodos que consisten en suspensiones de sólidos obtenidos como subproducto del tratamiento de las aguas servidas. Estos lodos, residuos desconocidos hasta ese momento en el país, actualmente están provocando serios problemas de manejo a las empresas de servicios sanitarios, dado a que la mayor parte de estos lodos, están siendo dispuestos o acumulados sin un tratamiento previo de estabilización<sup>2</sup>, ya que eleva considerablemente los costos operacionales de las plantas, lo que traduciría en aumento en las tarifas del servicio. La solución más inmediata es disponerlos en rellenos sanitarios, afectando progresivamente la operación de estos recintos.

### **1.2 Materia del estudio**

La empresa tiene jurisdicción en la totalidad del sector urbano de las regiones VI, VII y VIII, prestando servicio a un territorio operacional que abarca a 122 localidades, sirviendo a más de 855.000 clientes, concentrando el 19,8 % del sector sanitario del país. [1] y [9]

En la actualidad la empresa ESSBIO S.A. posee 67 plantas de tratamiento de aguas servidas de diferentes tecnologías para el servicio del saneamiento ambiental, de las cuales, 46 corresponden al tipo lodos activados que producen sobre 100.000 toneladas de lodos al año. [9]

---

<sup>2</sup> Estabilización: Proceso que reduce el potencial de putrefacción y atracción de vectores [14]

Otro aspecto relevante a considerar, es que próximamente será publicado en el diario oficial el “Reglamento para el Manejo de Lodos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas”, que restringe aún más las posibilidades de utilización y disposición de los biosólidos que se obtienen como subproducto del tratamiento de las aguas residuales.

Por lo anteriormente expuesto, se hace necesario abordar el tema del tratamiento y disposición de los lodos de manera integral, enmarcándose en la nueva normativa que el D.S. N° 123 “Reglamento para el Manejo de Lodos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas” [3] y que actualmente se encuentra en la Contraloría General de la Republica para su publicación.

### **1.3 Objetivo**

#### **Objetivo Principal:**

Definir un modelo de apoyo al proceso de toma de decisiones de manera de entregar una herramienta a la Gerencia de Essbio para abordar los requerimientos que impone el nuevo reglamento para el proceso de gestión de sólidos en la compañía.

#### **Objetivos Secundarios:**

- Conocer la situación actual de la gestión de sólidos de Essbio en la Octava Región.
- Proponer una metodología que permita abordar el problema que enfrenta la empresa.
- Proponer una herramienta computacional que permita entregar una solución al problema planteado
- Proponer localización de Plantas de Tratamiento de Lodos de modo de minimizar los costos de transporte e instalación.

## **1.4 Metodología**

Para obtener la localización de las nuevas Plantas de Tratamiento de Lodos, se utilizará un modelo de programación lineal que minimice los costos de transporte y disposición en toda la cadena de los lodos, es decir, desde que se producen éstos en las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS, que son instalaciones existentes) pasando por su tratamiento en Plantas de Tratamiento de Lodos (PTL, que son las nuevas plantas a localizar) y su disposición final en Rellenos Sanitarios (RS, instalaciones existentes), y de esta manera proponer una solución de localización para las nuevas plantas de tratamiento de lodos que ESSBIO S.A. tendrá que construir a corto plazo. Ver el listado de las PTAS, PTL y RS en Anexo N°3.

## **1.5 Resultados esperados**

El desarrollo de este proyecto pretende ser un apoyo para definir los lineamientos corporativos en relación al futuro de los lodos extraídos de las plantas de tratamiento de aguas servidas de ESSBIO S.A., que sumado a la experiencia y conocimiento del personal de la Subgerencia de Medioambiente y apoyados con herramientas de Ingeniería Industrial se pretende a lo menos lo siguiente:

1. Proponer una alternativa de solución al problema del transporte y disposición de los lodos.
2. Obtener una base de información para tomar decisiones futuras.

## **1.6 Desarrollo**

La forma de abordar el desarrollo del tema propuesto, se inicia con una descripción general del proceso productivo de la Empresa de Servicios Sanitarios del Bío Bío, profundizando en el proceso de tratamientos de aguas servidas.

Luego se describirá la situación actual de la empresa en lo relacionado con el cumplimiento a la normativa existente y de cómo enfrentar las restricciones que

impondrá el nuevo reglamento. Seguidamente se propondrá de acuerdo a la situación actual un modelo programación lineal y una herramienta computacional para dar solución al problema.

Para finalizar, con la proposición de la(s) ubicación(es) resultante(s) del modelo propuesto realizando un análisis de sensibilidad para validar robustez del resultado de este trabajo.



## **Capítulo 2: LA EMPRESA**

### **2.1 Breve historia de Essbio S.A.**

Históricamente, todas las culturas, comunidades humanas y animales se han asentado alrededor de fuentes naturales de agua, organizándose y proyectándose a partir de la importancia vital que ella tiene para los seres vivos [24]. En el caso de la Octava Región, los principales asentamientos urbanos se establecen en forma definitiva entre los siglos XVI y XVIII, sin embargo, sólo en el siglo XIX se organizan los servicios comunitarios, tales como agua potable, desagües y alumbrado público. A inicios del siglo XX, las Municipalidades se hacen cargo de estos servicios, dándoles un impulso al construir y desarrollar los sistemas básicos de redes de abastecimiento y de evacuación de las aguas servidas de las ciudades.

En 1977, se creó el Servicio Nacional de Obras Sanitarias (SENDOS), que fusionando a todas las oficinas que tenían relación con el subsector de Agua Potable y Alcantarillado, su función era operar y mantener los sistemas para abastecer a la población urbana de agua potable en cantidad y calidad satisfactorias, y trabajar en la evacuación de aguas servidas, incluyendo dentro del servicio la dotación de agua potable a la población rural con una determinada concentración.[5]

Un paso importante se dio en 1990, con la creación de la Empresa de Servicios Sanitarios del Bío-Bío S.A. (ESSBIO S.A., ley 18.885), cambiando el enfoque de la administración llevada hasta aquel momento, desde un concepto de servicio público al de una empresa que potenció el servicio y la atención a una cartera de más de 230.000 clientes a esa fecha, distribuidos por toda la octava región. En 1991 y adecuándose al nuevo rol que asignó el Supremo Gobierno a la Corporación de Fomento de la Producción, ESSBIO S.A. modifica su imagen, que la identifica como una empresa SAE, Sistema Administrador de Empresas (CORFO). [20]

Luego de 10 años de mejorar sus procesos y mostrar una eficiente administración a fines del año 2000, la empresa enfrenta un nuevo cambio. El gobierno de la

época, encabezado por Eduardo Frei R. decide privatizarla. Siendo el 14 de diciembre de ese año cuando formalmente toma el control la empresa Inglesa Thames Water.

Thames Water es la empresa más grande del rubro agua en Gran Bretaña y la tercera en el mundo en su negocio, parte del Grupo Alemán RWE. Inició sus actividades comerciales en Chile en 1999, adquiriendo en marzo del año siguiente la propiedad de ESSEL, la sanitaria de la VI Región, y nueve meses después su similar de la VIII Región. En noviembre de 2001, Thames Water se adjudicó la Concesión de ESSAM, en la Séptima Región, ahora llamada Aguas Nuevo Sur Maule S.A., transformándose de esta manera en la segunda empresa del rubro sanitario del país, es así, que desde fines del 2000 y hasta inicios del 2006 esta empresa británica controló las operaciones en Chile. [5]

En febrero de 2006, y luego de una larga ronda de negociaciones el grupo de inversiones latinoamericano Sourthen Cross concreta la compra de ESSBIO (Inv. Sanitaria del Sur Ltda.), adjudicándose la atención de 730 mil clientes (19,7% del mercado sanitario regiones VI, VII y VIII) y ventas por al menos US\$125 millones al año, monto que representa cerca de 17,3% de los ingresos del sector a nivel nacional.

El último cambio de controlador se produjo el 27 de agosto de 2007 donde Southern Cross Latin America, vendió 1.340.300.000 acciones Serie A, a Inversiones OTPPB Chile Limitada (“OTPP Chile”) y Westwater Investments Limited (“Westwater”) como consecuencia del proceso de Oferta Pública de Acciones “OPA”, que de acuerdo a la legislación vigente desarrollaron las compradoras.

Es decir, que desde esa fecha ESSBIO es controlada con el 50,83% por la Sociedad Inversiones OTPPB Chile I Limitada, como titular del 30% de las acciones clase A y 50,8% de las acciones clase C, actuando conjuntamente con Westwater Investments Limited, como titular del 20,8% de las acciones clase A, siendo la primera controlada por el fondo de pensiones Ontario Teachers Pension Plan, de Toronto, Canada. [7]

## **2.2 Misión, Visión y Estructura de la Empresa [9]**

El objetivo principal de ESSBIO S.A. es entregar un excelente servicio a los clientes, con altos niveles de eficiencia para maximizar el valor de mercado de la compañía, ofreciendo un justo retorno a los accionistas y asegurando de esta forma el desarrollo futuro de la empresa.

### **2.2.1 Misión**

Proveer soluciones y servicios de alta calidad en el ciclo integral del agua (agua potable, alcantarillado y descontaminación de aguas servidas) y en la gestión integral de residuos.

Entregar un servicio de excelencia, basado en un profundo conocimiento de nuestros clientes, altos niveles de eficiencia e innovación, y un verdadero compromiso de responsabilidad social con la comunidad y el medioambiente.

En el contexto de la permanente generación de valor para nuestros accionistas. Todo esto gracias al trabajo de un equipo de personas satisfechas y orgullosas con su vida.

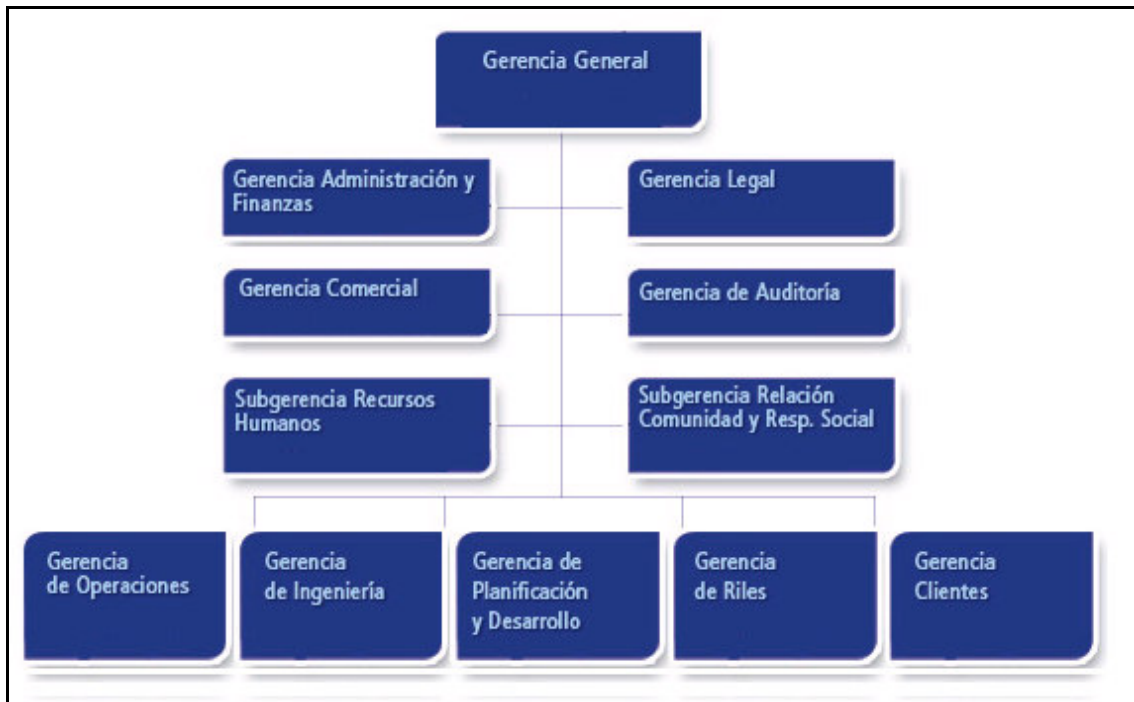
### **2.2.2 Visión**

Ser un operador de clase mundial en servicios sanitarios al que sus clientes elegirían por su eficiencia y alta calidad de servicio.

### **2.2.3 Estructura**

Mostrando una coherencia con la misión y visión, la estructura de la organización está definida como se muestra en la Figura N°1:

Figura N° 1 : Estructura de la organización



Fuente: Memoria anual ESSBIO 2008

### 2.3 Introducción al Proceso Sanitario

Se denomina proceso sanitario a las modificaciones que va teniendo el recurso en los distintos subsistemas o instalaciones productivas de variadas complejidades, que involucran desde el recibir agua no apta para el consumo humano, transformarla y distribuirla para el consumo de los clientes, y luego, recolectar el agua utilizada para tratarla y disponerla en cuerpos receptores minimizando el impacto al medio ambiente.

Estas etapas claramente definidas se secuencian de la siguiente manera:

- 2.3.1 Captación
- 2.3.2 Tratamiento de agua
- 2.3.3 Distribución de agua potable

#### 2.3.4 Recolección de aguas servidas

#### 2.3.5 Tratamiento de aguas servidas

**2.3.1 Captación:** Es la primera etapa del ciclo sanitario, aquí el agua no potable es sustraída desde vertientes naturales como ríos, canales, subsuelo, lagunas, etc. Existen tres modalidades de captación y de menor a mayor costo de explotación se agrupan de la siguiente manera:

2.3.1.1 Gravitacional: Sistema compuesto por cursos de agua gravitacionales que son captados para iniciar el proceso de tratamiento.

2.3.1.2 Superficial: Esta manera de captar agua está compuesta por sistema de ríos, embalses, lagunas, etc. la extracción del recurso es realizado por equipos motobombas superficiales o sumergidos, dependiendo de la configuración del sistema.

2.3.1.3 Subterránea: Por disposición geográfica existen localidades alejadas de cursos de aguas, en estos casos la empresa se ve en la obligación de construir fuentes de agua de características subterráneas. Estas instalaciones están compuestas por punteras, pozos herméticos, pozos profundos. Para la extracción del recurso se utilizan equipos motobombas sumergible y en ocasiones apoyados por sistemas generadores de vacío.

**2.3.2 Tratamiento de Agua:** Es un proceso de vital importancia ya que los parámetros de salida son regulados por la superintendencia de servicios Sanitarios (SISS), en esta etapa de producción existen diferentes subsistemas que se detallan a continuación:

2.3.2.1 Aplicación de productos químicos: esta es la primera etapa del tratamiento del agua, es aquí donde se aplican productos capaces de estabilizar su PH y agrupar elementos sólidos.

2.3.2.2 Filtración: esta es la etapa donde se separan micropartículas sólidas existentes en el agua, este proceso puede ser gravitacional o bajo sistema de presión.

2.3.2.3 Almacenamiento: Luego de la filtración y antes del proceso de almacenamiento nuevamente se aplican químicos como gas cloro para asegurar la entregar de un producto dentro de norma y apto para consumo humano.

**2.3.3 Distribución de Agua Potable:** En esta etapa del proceso se caracteriza por la interacción con el cliente, es decir una vez elaborado el producto (agua tratada), llega a los hogares de los clientes. Es aquí donde el producto es almacenado en grandes estanques de donde abastecerá a la población. El traslado del agua hacia los estanques se realiza a través de tubería impulsados por equipos motobombas.

**2.3.4 Recolección de Aguas Servidas:** Esta etapa es la encargada de realizar la recolección de las aguas servidas de los clientes residenciales e industriales. Los colectores de aguas servidas instalados en todo el sector urbano, son el medio de transporte de las aguas servidas que son impulsadas por el conjunto de equipos motobombas cuando las condiciones del terreno no permiten que el proceso sea gravitacional.

**2.3.5 Tratamiento de Aguas Servidas:** Esta etapa del proceso es la últimamente implementada en la compañía. A contar del año 1998 la empresa comenzó un proceso de construcción y puesta en marcha de numerosas Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas, abarcando el tratamiento en todas las localidades de la región. Esta etapa es la más compleja, ya que el producto es continuamente monitoreado por los entes reguladores. Una breve introducción a este proceso se profundiza más adelante en punto 3.2.

## **2.4 Normativas que rigen el negocio sanitario.**

La regulación desde un punto de vista económico supone una institucionalidad en la cual se enmarca el funcionamiento de los mercados, ésta regula y determina las condiciones de derechos y deberes que involucran las operaciones y relaciones entre los agentes económicos que participan en un mercado.

En Chile, el desarrollo y liberalización de los mercados, así como una creciente participación privada en el ámbito de los servicios públicos ha requerido la definición de reglas del juego que definan el marco institucional para quienes participan en ellos. Esta necesidad surge, principalmente, por las características de monopolio natural que presentan los servicios públicos y por la incorporación de agentes privados en un sector en donde los monopolios eran estatales, asumiendo el Estado, en esta nueva institucionalidad, un rol preponderantemente regulador y fiscalizador.

En la actualidad el sector sanitario se rige bajo la siguiente legislación sanitaria mostrada en Figura N°2:

**Figura N°2 : Leyes que rigen el negocio sanitario del país.**

Documento	Fecha	
: Ley General de Servicios Sanitarios	1988	<a href="#">D.F.L. MOP N°382</a>
: Reglamento de la Ley General de Servicios Sanitarios	2004	<a href="#">D.S. MOP N°1199</a>
: Ley de Tarifas de los Servicios Sanitarios	1988	<a href="#">D.F.L. MOP N°70</a>
: Reglamento de artículo 67° de DFL MOP 382/88	2005	<a href="#">D.S.MOP N°214</a>
: Reglamento de la Ley de Tarifas de los Servicios Sanitarios	1990	<a href="#">D.S. MINECON N°453</a>
: Reglamento para Designación y Funcionamiento de Comisiones de Expertos	2001	<a href="#">D.S. MINECON N°385</a>
: Reglamento de Enajenación Forzada de Acciones	2001	<a href="#">D.S. MOP N°1305</a>
: Crea la Superintendencia de Servicios Sanitarios	1990	<a href="#">Ley N° 18.902</a>
: Modifica Ley N° 18.902 y deroga ley N° 3.133	2002	<a href="#">Ley N° 19.821</a>
: Ley de Subsidio al pago del consumo de agua potable y servicio de alcantarillado	1989	<a href="#">Ley N°18.778</a>
: Reglamento de la Ley de Subsidio	1998	<a href="#">D.S. N°195 Hacienda</a>
: RIDAA - Aprueba Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado	2003	<a href="#">D.S. MOP 50</a>
: RIDAA - Aprueba Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado	2003	<a href="#">Anexos (3,86 MB)</a>

Fuente: Superintendencia de Servicios Sanitarios [26]

## **2.5 Rol del Estado en el Sector Sanitario Chileno [22]**

Reconociendo que el sector sanitario se identifica por presentar características de monopolio natural, además de otras fallas de mercado que imposibilitan la competencia, su libre operación haría incurrir en pérdidas de bienestar social que se reflejarían en precios superiores a los de competencia, nivel de producción inferior al óptimo y deterioro de la calidad de servicio, lo cual justifica la intervención del Estado.

En la práctica es posible identificar dos etapas en el rol asumido por el Estado en el sector sanitario:

### **2.5.1 Estado Empresario**

La Intervención directa del Estado (1977-1988): Los servicios de agua potable y alcantarillado se concentran bajo la responsabilidad del Servicio Nacional de Obras Sanitarias (SENDOS), proceso orientado a generar coordinación y autonomía financiera y administrativa del sector.

En este contexto, el Estado desarrolla funciones productivas junto a funciones de control y fiscalización, el sector privado mantiene un rol muy secundario.

Bajo este esquema se sientan las bases que caracterizarán la segunda etapa del rol asumido por el Estado. En efecto, este período está caracterizado por:

- Generar la suficiencia financiera y la incorporación de herramientas de gestión y administración modernas a los servicios.
- Reducción de gastos y racionalización de las inversiones.
- Financiamiento de inversiones mediante créditos de organismos internacionales (BID) bajo exigencias de medidas institucionales, administrativas y financieras que el sector debe cumplir.
- Transformación de las políticas tarifarias tendiente a generar paulatinamente el autofinanciamiento operativo y de inversiones del sector, y eliminar en forma gradual los subsidios cruzados entre consumidores y regiones.



## 2.5.2 Estado Regulador

A fines de la década de los ochenta, se comienza a aplicar un nuevo modelo institucional para la prestación de los servicios de agua potable y alcantarillado, cuya reforma responde a los cambios estructurales que había experimentado la economía chilena, tendientes a entregar un rol mas importante a la iniciativa privada y al mercado como mecanismo de asignación de recursos, reformas que ya se habían aplicado en los sectores de electricidad y telecomunicaciones.

La nueva institucionalidad del sector, producto de estas transformaciones, se tradujo en:

- Separación de las funciones normativas y fiscalizadoras que debe ejercer el estado, de las de producción y comercialización de los servicios.
- Transformación de un régimen de prestación directa por un sistema de empresas independientes, mayoritariamente públicas.
- Cambio de la estructura jurídica de las empresas del estado, asimilándolas a las del sector privado.
- Dictación de un marco legal que permite regular a los prestadores, públicos o privados, en los siguientes aspectos:
  - Régimen de explotación de servicios públicos
  - Régimen de concesión para establecer, construir y explotar servicios sanitarios
  - Fiscalización de cumplimiento de las normas relativas a la prestación de los servicios sanitarios
  - Relaciones entre concesionarias y de éstas con el Estado y los usuarios.
  - Régimen tarifario.
  - Régimen de subsidio directo a los usuarios de menores recursos.

## **2.6 Instituciones que Regulan el Sector Sanitario [23]**

La principal actividad regulatoria se encuentra a cargo de la **Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS)**, todo ello bajo el marco legal que establece de manera explícita las condiciones que rigen el sistema.

La ley crea la Superintendencia de Servicios Sanitarios como un servicio público funcionalmente descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio, sujeto a la supervigilancia del Presidente de la República a través del Ministerio de Obras Públicas, encargado de fiscalizar a los prestadores sanitarios y del cumplimiento de las normas que le son propias, proponer al Instituto Nacional de Normalización la normativa técnica del sector; determinar las tarifas y proponer los decretos respectivos al Ministerio de Economía, bajo la firma de cuyo ministro son remitidos para la correspondiente verificación a la Contraloría General de la República (al igual que toda Resolución o Decreto que materialice actos administrativos), interpretar las disposiciones jurídicas y técnicas contenidas en la legislación, atribución que le ha sido delegada por la Contraloría General de la República, actuar como instancia administrativa para conocer y resolver las discrepancias que se produzcan entre Prestadores y Usuarios, aplicar sanciones y, también, realizar el control de los residuos industriales líquidos, respecto de los Establecimientos Industriales que evacúan a cursos receptores y a las redes recolectoras de aguas servidas.

**2.6.1 Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción:** fomenta y fiscaliza las actividades en los sectores de la industria, los servicios y el comercio. Su principal función en relación al sector sanitario es la fijación de los precios regulados, a proposición de la Superintendencia.

**2.6.2 Ministerio de Obras Públicas:** aparte de las funciones que le son propias, en relación con el sector sanitario le corresponde la administración de la legislación en materia de recursos hídricos, la asignación de los derechos de agua y la aprobación de los derechos de concesión para establecer, construir y explotar servicios sanitarios.

**2.6.3 Ministerio de Salud:** vigila la calidad del agua en los servicios sanitarios que no están bajo la jurisdicción de la Superintendencia (que no son servicios públicos sanitarios) y oficializa las normas de calidad estudiadas bajo las disposiciones del Instituto Nacional de Normalización.

Aparte de las organizaciones anteriormente citadas, que intervienen directamente en la institucionalidad que regula a las empresas de servicios sanitarios, cabe destacar el rol que desempeñan otros organismos en el entorno regulador que considera las normas generales de regulaciones económicas, medioambientales, de administración de recursos hídricos, etc., como la **Comisión Nacional del Medio Ambiente**, organismo dependiente del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República, que coordina y vela por el cumplimiento de la normativa medioambiental, en particular, en este caso, respecto de los estudios de impacto ambiental que deben respaldar los proyectos que estas empresas acometen.

Adicionalmente en lo que respecta a la vigilancia general de las normas de competencia, la identificación de actividades de tipo monopólica es labor de la Fiscalía Nacional Económica y las Comisiones Antimonopolio (Resolutiva y Preventiva). La Comisión Resolutiva, puede apoyar la labor de la Superintendencia en el caso que sea preciso calificar que determinada actividad desarrollada por un prestador tiene características monopólicas y, por tanto, requiere sujetarse a fijación de precio.

Por otra parte, respecto de los consumidores, cabe señalar que no tienen una directa participación en el esquema regulatorio, ya que no ocurre como en otros países donde existen sistemas de consulta pública en los procesos de fijación de tarifas. Sin embargo, la SISS vela por sus derechos en la relación cliente - empresa, actuando en segunda instancia en el evento que sus solicitudes de atención o reclamos no sean adecuadamente respondidos, o en el tiempo razonablemente dispuesto para ello. Por los derechos de los consumidores vela también el Servicio Nacional del Consumidor, organismo que se centra en una labor de tipo informativo y orientadora en favor de los consumidores. Adicionalmente, la SISS promueve las acciones de las empresas sanitarias en pro

de disponer de usuarios informados, conocedores de sus derechos y obligaciones.

Finalmente, en el marco general de defensa de los consumidores, se dictó durante 1997 la Ley de los Derechos de los Consumidores que reconoce sus derechos, regula las relaciones entre proveedores y consumidores desde la perspectiva de la armonización de los intereses en juego, establece las infracciones en perjuicio del consumidor y señala los procedimientos aplicables tanto para hacer efectiva la sanción que corresponda como para resolver los conflictos que se produzcan entre proveedores y consumidores. Todo lo anterior, sin perjuicio de las atribuciones que sobre la materia tengan los respectivos organismos reguladores sectoriales.

## **Capítulo 3: BREVE DESCRIPCION DEL TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS**

### **3.1 Introducción**

El tratamiento de las aguas servidas genera, además del agua efluente tratada, una serie de productos, denominados genéricamente “lodos” o “biosólidos”, constituidos en primer lugar por los elementos que componen el afluente a la planta de tratamiento, como materia orgánica, nutrientes y micronutrientes, en segundo lugar, por los aditivos químicos utilizados en el proceso y por la masa bacteriana que participa en el tratamiento de las aguas.

Con la implementación de las plantas de tratamiento de aguas servidas se busca reducir los efectos contaminantes de las aguas residuales, pero producto del proceso de tratamiento se generan importantes cantidades de lodos, situación que impacta sobre el creciente problema del manejo de éstos.

### **3.2 Tratamiento de Aguas Servidas**

Producto del desarrollo económico-social, inevitablemente se ha transformado el ambiente natural, y por ende las leyes que lo rigen, la obligación como seres participantes de este medio es mantener el equilibrio entre el desarrollo y la mantención del ecosistema. Ante cualquier planificación de desarrollo territorial surge como factor importante el agua.

Esta preocupación por el medio ambiente se ha vinculado al desarrollo de la ciencia y la tecnología. La búsqueda constante de procesos adecuados para conservar el medio ambiente ha permitido obtener soluciones a problemas a un costo relativamente bajo.

Dentro de la gran variedad de problemas que se presentan en esta área, el tratamiento de aguas servidas tanto domésticas como industriales tienen hoy día una alta importancia, al punto que la legislación se vuelve cada día más exigente con el objeto de evitar la contaminación de los cursos receptores (ríos, lagos, mar). Importante es por consiguiente, la participación de todas las instituciones que aporten al desarrollo de procesos y tecnología en esta materia.

En el caso del agua, las rutas de ingreso de los contaminantes a los ecosistemas son muy variadas, destacando por su importancia las que se originan a través de la precipitación, los arrastres ocasionados por escurrimientos superficiales y las descargas de aguas servidas. De estas posibles rutas de entrada de contaminantes, la que mayor deterioro causa a los ecosistemas acuáticos son las descargas de aguas servidas sin tratamiento, debido fundamentalmente a los grandes volúmenes generados y a las altas cargas de contaminantes presentes en ellas.

Las aguas servidas son una mezcla que contiene un 99,9% de agua y un 0,1% de sólidos y está constituida por materia orgánica (suspendida y disuelta), nutrientes, compuestos químicos y microorganismos. [10]

### **3.3 Componentes de las Aguas Servidas**

La materia orgánica es uno de los principales componentes de las aguas servidas y en consecuencia es uno de los principales contaminantes de los cuerpos de agua superficiales.

En las aguas servidas alrededor del 75% de los sólidos suspendidos y el 40% de los sólidos disueltos son de naturaleza orgánica. Estos sólidos son de origen animal, vegetal y sintético. Los grupos principales de compuestos orgánicos encontrados en las aguas servidas son las proteínas (40 - 60%), carbohidratos (25 - 50%) y grasas y aceites (10%). La urea, el principal componente de la orina, es otro de los compuestos orgánicos de importancia en las aguas servidas. [27]

La materia orgánica presente en el agua puede ser degradable por acción de microorganismos que demandan o consumen oxígeno y no degradable cuando es resistente a la acción microbiana.

Las principales características químicas inorgánicas de las aguas servidas están asociadas con la presencia de un gran número de compuestos y elementos de origen mineral.

ESSBIO ha venido implementando desde los años noventa sistemas de tratamiento de aguas servidas, inicialmente con sistemas de lagunas de

tratamiento de aguas servidas y posteriormente con Plantas de tratamiento de aguas servidas de tecnología de Lodos Activados.

### **3.4 Sistema de Tratamiento de Lodos Activados**

El proceso de lodos activados corresponde a un proceso biológico de contacto por el cual, microorganismos vivos y sólidos orgánicos se mezclan en un medio ambiente propicio para la degradación aeróbica de la materia orgánica. El ambiente aeróbico en el estanque se logra proporcionando aire u oxígeno, mediante el uso de difusores o aireadores mecánicos. Los microorganismos son mantenidos en el estanque de aireación en forma de flóculos, los cuales se encuentran dispersos en el líquido para permitir el contacto con la materia orgánica.

Los lodos activados están formados por flóculos, que consisten principalmente en materia orgánica procedente de las aguas servidas, poblados de diversos tipos de microorganismos. [16]

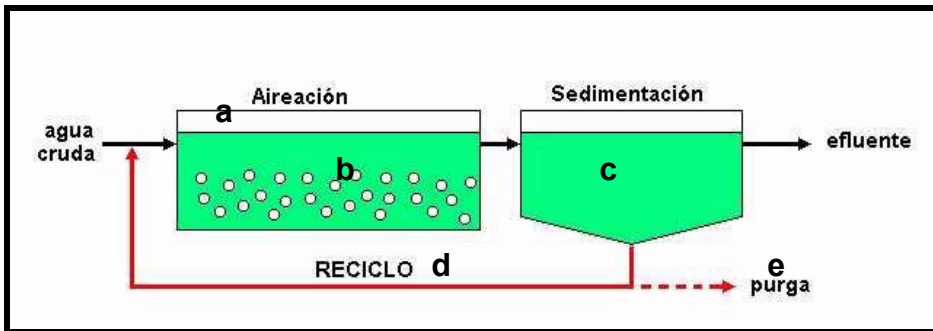
El proceso de estabilización consiste en que los microorganismos (lodos activos) utilizan la materia orgánica como alimento, para sintetizar nuevas células y proveerse de energía. La generación de lodos activados es un proceso lento, de manera que la cantidad formada durante el periodo de tratamiento, es inadecuada para tratar rápida y eficazmente las aguas servidas, pues se requiere de una alta concentración de lodos activados. Esta gran concentración se logra recolectando los lodos producidos y empleándolos nuevamente en el tratamiento. Los lodos activados que se vuelven a emplear en esta forma se conocen como lodos recirculado. Se debe tener presente que este es un proceso acumulativo, por el que eventualmente se producirá mayor cantidad de lodo activado del que se requiere. La excesiva acumulación, o exceso de lodos activados, se retira continuamente del proceso de tratamiento, y se acondiciona para su disposición final.

La Figura N° 3 representa un esquema del proceso de Lodos Activados, en el cual se distinguen los siguientes componentes:

a) Estanque de aireación.

- b) Aireación y agitación.
- c) Sedimentador secundario.
- d) Sistema de retorno de lodos.
- e) Sistema de purga de lodos.

Figura N° 3: Esquema y Fotografía de Tratamiento mediante Lodos Activados.



Fuente: THAMES WATER CO. 2003. Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Servidas.



Fuente: THAMES WATER CO. 2003. Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Servidas

#### a) Estanque de Aireación

El proceso consta de un estanque de aireación, también denominado como estanque de oxidación, donde se presentan las reacciones biológicas que originan la degradación de la materia orgánica. La población microbiana presente en el estanque de aireación requiere para su desarrollo de nutrientes, entre los cuales



se encuentra el oxígeno. Todos los nutrientes, a excepción de este último, se encuentran presentes en las aguas servidas, por lo que basta con agregar oxígeno para que el desarrollo sea óptimo. Para ello, dentro de este estanque, se encuentran dispuestas las unidades que permiten adicionar aire u oxígeno, ya sea por medio de aireadores mecánicos o mediante la impulsión de aire con sopladores a través de difusores, localizados en el fondo del estanque. El estanque puede presentar diversas formas geométricas, dependiendo del espacio disponible.

#### b) Aireación y Agitación

En un sistema de Lodos Activados, se requiere de una fuente de aireación que proporcione el oxígeno y mezcla adecuada, para llevar a cabo el tratamiento de las aguas servidas. Es por ello que la aireación debe satisfacer tres grandes objetivos:

1. Mezclado de las aguas residuales con los lodos recirculado.
2. Mantener en suspensión los lodos mediante la agitación de la mezcla.
3. Suministrar el oxígeno requerido para la oxidación biológica.

En un sistema de lodo activo, la disponibilidad natural de oxígeno disuelto siempre será inferior a la velocidad de consumo de éste por parte de los microorganismos, por lo que se debe suministrar en forma artificial. Los métodos de aireación empleados corresponden a aireación mecánica y aireación por medio de difusores.

#### c) Sedimentador Secundario

En el proceso de lodos activados, se distingue además una etapa de sedimentación, normalmente desarrollada en el sedimentador secundario, cuyos principales objetivos corresponden a:

- Clarificar el efluente secundario mediante la separación de los sólidos (lodos activados) del agua tratada.
- Recolección y espesamiento de los sólidos sedimentados para el retorno al estanque de aireación o facilitar el proceso de purga de lodos del sistema.

El espesamiento continuo realizado en el sedimentador secundario, está basado en el ingreso del líquido a un estanque, en el cual se concentra la suspensión mediante una separación de fases. Las partículas descienden colectivamente en un régimen de sedimentación por zona. El líquido clarificado se separa de los sólidos suspendidos mediante la presencia de una interfase que va descendiendo conforme transcurre el tiempo, en la cual el líquido es removido por el tope. De este modo, existirá un área requerida para espesamiento y un área para clarificación.

Los clarificadores (o sedimentadores), están clasificados normalmente por la forma: circulares, cuadrados, rectangulares, hexagonales, etc., siendo los más comunes los dos primeros casos. Los clarificadores circulares se caracterizan por un patrón de flujo que va radialmente desde el centro a los alrededores, aunque también se pueden encontrar con alimentación periférica. Los sedimentadores circulares son usados extensamente en tratamientos de aguas primarias y secundarias. Las profundidades típicas van entre 3 y 5 metros.

#### d) Sistema de Retorno de Lodos

Los procesos de Lodo Activado necesitan mantener una alta concentración celular en el estanque de oxidación, por lo que se requiere del retorno de los lodos concentrados al sistema, tarea que se realiza en el sedimentador secundario.

El sistema de retorno de lodos, corresponde al conjunto de elementos necesarios para conducir los lodos desde el fondo del sedimentador secundario hasta el estanque de aireación. La operación normalmente es realizada con bombas centrifugas o mediante un sistema tipo air-lift (sistema de impulsión comandado por aire).

#### e) Sistema de Purga de Lodos

La purga de lodos corresponde a la remoción de sólidos biológicos (lodos) desde el sistema de tratamiento. La fracción de lodos a purgar corresponde al crecimiento celular, para permitir manejar la concentración deseada de microorganismos al interior del reactor. Ésta también dependerá de la eficiencia estimada para el tratamiento y de los parámetros cinéticos con que se cuente en

cada caso. El exceso de lodos activados se purga y se lleva a una sección de tratamiento y se acondiciona para la posterior disposición final.

### **3.5 Sistema de Tratamiento por Lagunas Aireadas**

Las lagunas aireadas corresponden a piscinas construidas generalmente en tierra, provistos de equipos de aireación. El objetivo fundamental de la operación de una laguna aireada es el abatimiento de carga orgánica, por lo que corresponde a un sistema de tratamiento secundario.

Históricamente, las lagunas aireadas fueron desarrolladas a partir de lagunas de estabilización, en regiones con inviernos rigurosos, en donde el oxígeno requerido por el proceso de remoción de carga orgánica debía ser introducido por medios artificiales, debido a las limitaciones de los procesos de fotosíntesis.

Los sistemas de lagunas aireadas presentan una configuración bastante simple, dentro de la cual podemos distinguir las siguientes unidades:

**Laguna de aireación:** en esta unidad se realiza la incorporación del aire necesario para lograr la oxigenación. En algunas plantas en que se ha hecho una transformación de las lagunas de estabilización, es posible encontrar que la primera parte de la laguna corresponde a la zona de aireación y la segunda parte constituye la zona de sedimentación.

**Laguna de sedimentación:** esta laguna tiene por objetivo permitir la decantación de los sólidos siendo esta una zona de muy poca turbulencia.

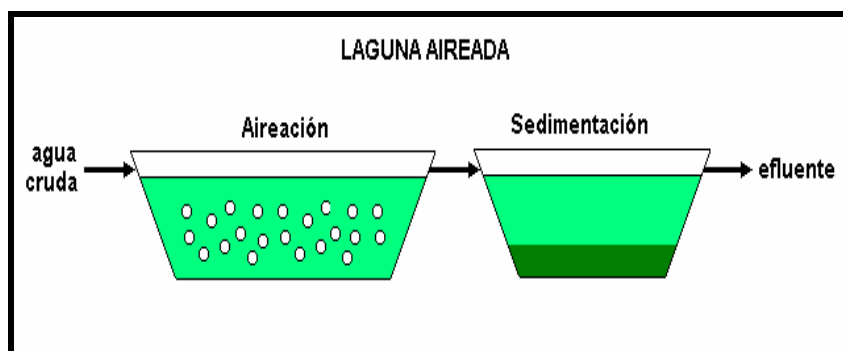
**Aireadores:** estos dispositivos son los encargados de incorporar el aire en la masa de agua, además de permitir la mezcla del volumen de agua al interior de la laguna.

En una laguna de estabilización, el oxígeno es aportado por la actividad fotosintética de las algas presentes en el agua y la acción del viento. Debido a esto, el funcionamiento de una laguna de este tipo, es fuertemente afectado por el ciclo día noche así como por la estacionalidad.

En una laguna aireada, el oxígeno es aportado en forma artificial mediante la incorporación de aire (atmosférico) en la fase líquida (laguna). Esta operación se realiza mediante equipos llamados aireadores o difusores.

Debido a que la incorporación de oxígeno mediante aireación es mucho más rápida que la generación de oxígeno por fotosíntesis, el proceso de tratamiento es más rápido en las lagunas aireadas, el esquema de estas lagunas se presenta en Figura N°4.

**Figura N° 4 : Esquema Tratamiento mediante Laguna Aireada**



THAMES WATER CO. 2003. Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Servidas

### 3.6 Lodos en el Tratamiento de Aguas Servidas

A comienzos de la década del 90 se inicia en Chile el proceso de construcción de plantas de tratamiento de aguas servidas. Desde el año 2000, con la publicación del Decreto Supremo N° 90 que regula la Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales, proceso que se ha venido desarrollando significativamente, por lo que hoy gran parte de la población descarga sus aguas servidas a sistemas que cuentan con algún tipo de tratamiento.

Con la paulatina implementación de sistemas de tratamiento de aguas servidas, comienza la generación de lodos en este tipo de plantas, lodos que consisten en suspensiones de sólidos obtenidos como subproducto del tratamiento de las aguas servidas. Estos lodos, actualmente están provocando serios problemas de manejo a las empresas de servicios sanitarios, dado a que la mayor parte de estos lodos, están siendo dispuestos o acumulados sin un tratamiento previo de estabilización.

Por la acumulación progresiva de lodos en rellenos sanitarios y los posibles daños que puede causar al medio ambiente, el manejo y disposición de lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS), es un problema a considerar. Por ello, distintos organismos a nivel mundial, como la Environment Protection Agency (EPA), la Council Environmental Education (CEE), la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), entre otros, se han preocupado de estudiar distintas alternativas para resguardar el cuidado del medioambiente, considerando su disposición final o algún tipo de uso benéfico.

### **3.7 El Lodo a Nivel Nacional**

Según la Superintendencia de Servicios Sanitarios, este sector ha ejecutado un alto nivel de inversiones. Las inversiones realizadas por las empresas sanitarias del país ascendieron por sobre 5 millones de UF durante el 2007, Con ello, se logró alcanzar una cobertura en zonas urbanas de un 99,8% en agua potable, de un 95,2% en recolección de aguas servidas y de un 82,3% en tratamiento de aguas servidas. Cabe señalar que la meta del sector es alcanzar un 100 % de cobertura de tratamiento de aguas servidas en los próximos 5 años. [21]

De las 204 PTAS en operación por las distintas empresas sanitarias del país, ESSBIO opera un 34%, como se muestra en la Tabla N° 1. Este porcentaje se divide entre 3 regiones, un 11% de plantas pertenecen a la VI Región, un 8% a la VII Región (con el nombre de Aguas Nuevo Sur) y un 15% a la VIII Región.

Tabla N° 1.: Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas por Empresas Sanitarias que operan en Chile.

Región	Empresa	N° de PTAS	%
I	AGUAS DEL ALTIPLANO	3	1,17%
II	AGUAS DE ANTOFAGASTA ESSAN TRATACAL	5	1,95%
III	AGUAS CHAÑAR	9	3,50%
IV	AGUAS DEL VALLE ESSI	22	8,56%
V	ESVAL COOPAGUA	31	12,06%
VI	<b>ESSBIO S.A.</b>	22	8,56%
VII	<b>AHSM S.A.</b>	26	10,12%
VIII	<b>ESSBIO S.A.</b> AGUAS SAN PEDRO S.A.	46	17,90%
IX	ESSAR ESSI AGUAS QUEPE	33	12,84%
X	ESSAL S.A.	17	6,61%
XI	EMSSA	7	2,72%
XII	AGUAS MAGALLANES	3	1,17%
XIV	ESSAL S.A. AGUAS DECIMA S.A.	9	3,50%
R.M.	STGO. PONIENTE AGUAS ANDINAS ESSA AGUAS NOVA AGUAS MANQUEHUE A.P. MELIPILLA NORTE SEPPA SERVICOMUNAL SERVILAMPA AGUAS SANTIAGO SELAR S.A HUERTOS FAMILIARES	24	9,34%
		<b>257</b>	<b>100%</b>

Fuente: Superintendencia de Servicios Sanitarios, información a noviembre 2008.

En relación a la producción de lodos a nivel nacional, en la Tabla N° 2 se muestra un resumen de resultados de cuantificación que corresponden al año 1996 y proyección de los años 2000, 2005, 2010 y 2015, de lodos primarios<sup>3</sup>, secundarios<sup>4</sup> y otros (lodos provenientes de lagunas de estabilización, sistemas de aireación, fosas sépticas) por región para los años respectivos.

<sup>3</sup> **Lodos Primarios:** Se refiere a todos aquellos sólidos gruesos, materias flotantes o sedimentos del agua residual, que se remueven por medio de un tratamiento mecánico.

<sup>4</sup> **Lodos Secundarios:** Estos lodos provienen de los procesos biológicos de PTAS, se trata de la biomasa excedente producida en la descomposición biológica y metabolización de los compuestos orgánicos que llevan a cabo los microorganismos.

Tabla N° 2: Resumen de cantidades anuales de lodos (ton-año) 1996, 2000, 2010 y 2015 provenientes de PTAS.

Región	Año 1996	Año 2000	Año 2005	Año 2010	Año 2015
I	693	809	935	1.041	1.149
II	85	2.252	2.496	2.740	2.983
III	1.375	2.561	3.110	3.507	3.819
IV	1.530	2.234	2.744	3.029	3.314
V	1.581	3.616	8.903	9.889	10.912
VI	1.435	2.882	11.939	14.524	16.792
VII	47	3.684	10.446	11.744	13.041
VIII	624	4.531	11.052	12.590	13.560
IX	0	397	10.418	11.396	12.376
X	713	4.140	9.636	10.889	11.877
XI	133	1.472	1.753	1.974	2.510
XII	0	487	798	863	929
RM	3.097	32.091	58.363	178.396	195.361
<b>Total</b>	<b>11.313</b>	<b>61.156</b>	<b>132.593</b>	<b>262.582</b>	<b>288.623</b>

Fuente: Knigth Piésold S.A., 1998.

En la Tabla anterior se presenta la proyección de cantidades totales de lodos en el tiempo. Al respecto destaca:

- La producción total de lodos en base seca aumenta desde alrededor 10.000 ton/año en el año 1996, a unos 50.000 y 100.000 ton/año en los años 2000 y 2005 respectivamente.
- En el año 1996 la cantidad de lodos crudos generados en la Región Metropolitana representaba solamente un 26% del total nacional, al año 2015 alcanzaría un 70% del total estimado de 250.000 ton.
- En el año 2004, los lodos producidos correspondían principalmente a lodos primarios y secundarios crudos, mientras que en las regiones son más relevantes los lodos provenientes de lagunas de estabilización, sistemas de aireación, fosas sépticas (clasificados como otros). En la actualidad los lodos producidos corresponden en la mayoría de las PTAS a biosólidos provenientes de tratamiento de lodos activados.

### **3.8 El Reglamento de Lodos [3]**

El Reglamento para el Manejo de Lodos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas, tiene por objeto regular el manejo sanitario de lodos provenientes de PTAS. Para tal efecto, establece las exigencias sanitarias mínimas para su manejo, además de las restricciones, requisitos y condiciones técnicas para la aplicación de lodos en determinados suelos. [10]

Este Reglamento, que llevará el D.S. N° 123 de la SEGPRES, aunque tiene fecha 30 de agosto de 2006, no ha sido aún promulgado a la fecha de realización de este trabajo, dado que se encuentra en Contraloría General de la Republica para su revisión final.

El Reglamento aborda específicamente los siguientes temas:

- Clasificación sanitaria del lodo
- Manejo sanitario del lodo
- Aplicación de lodos al suelo
- Procedimientos de medición y control
- Plazo para el cumplimiento de las regulaciones
- Fiscalización

A continuación, se revisan las exigencias que impone este Reglamento en las diferentes materias de incumbencia para el presente trabajo.

#### **3.8.1 Exigencias en Materia de Higienización y Estabilización del Lodo**

El reglamento establece una clasificación sanitaria de los lodos en función del potencial de atracción de vectores y a la presencia de patógenos, a partir de la cual los lodos podrán tener diferentes destinos finales. Esta clasificación se presenta en la Tabla N° 3.

Además, en la Tabla N°4 se muestra el posible destino final del lodo, según su clasificación sanitaria.



Tabla N° 3 Clasificación Sanitaria de los Lodos.

<b>Parámetro</b>	<b>Requisito</b>	<b>Como se Verifica el Cumplimiento</b>
Estabilización del Lodo	Reducción del potencial de atracción de vectores	Reducción de los sólidos volátiles en un 38% como mínimo.  También se considerarán lodos estabilizados los que cumplan con uno de los requerimientos enumerados en el Reglamento.
Presencia de Patógenos	Lodo Clase A	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cumplir requisito de reducción del potencial de atracción de vectores.</li> <li>2. Tener una densidad de Coliformes fecales &lt; 1.000 NMP/g de lodo base seca, o tener una densidad de Salmonella sp. &lt; 3 NMP/4 g de lodo base seca.</li> <li>3. Tener un contenido de ova helmíntica &lt; 1 huevo/4 g de lodo base seca.</li> </ol> <p>Se podrá demostrar el cumplimiento del requisito señalado en el punto 3 mediante la aprobación de uno de los procesos de higienización señalados en el Reglamento.</p>
	Lodo Clase B	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cumplir requisito de reducción del potencial de atracción de vectores.</li> <li>2. Coliformes fecales &lt; 2.000.000 NMP/g de lodo base seca.</li> </ol> <p>Se podrá demostrar el cumplimiento del requisito señalado mediante la aprobación de uno de los procesos de higienización señalados en el Reglamento.</p>

Fuente: D.S. 123 Reglamento para el Manejo de Lodos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas.

Tabla N° 4 Posible Destino Final del Lodo, según su Clasificación Sanitaria.

Potencial Destino Final	Clasificación Sanitaria		
	Lodo Clase A	Lodo Clase B	Otro Lodo No Peligroso
Aplicación en suelos con restricciones sanitarias	SI	NO	NO
Aplicación en suelos sin restricciones sanitarias	SI	SI	NO
Relleno Sanitario	SI	SI	NO
Mono relleno	SI	SI	SI

Fuente: D.S. 123 Reglamento para el Manejo de Lodos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas

Servidas.

### 3.8.2 Exigencias en Materia de Secado del Lodo

El Reglamento establece que para disponer en un relleno sanitario la humedad media diaria del lodo no deberá superar el 70 %, requisito que se flexibiliza en el caso de Plantas de Tratamiento con una capacidad de hasta 30.000 habitantes, a las cuales se les exigirá una humedad media diaria máxima del 75 %.

### 3.8.3 Exigencias en Materia de Manejo Sanitario de Lodos

El Reglamento establece que toda Planta de tratamiento de agua servida deberá contar con un proyecto de ingeniería aprobado por la autoridad sanitaria, el cual debe dar cuenta del almacenamiento, tratamiento, transporte y disposición final o aplicación de los lodos que genera. Además, establece que para la aplicación de lodos al suelo se debe elaborar un plan de aplicación, el cual deberá ser aprobado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG).

Tal exigencia impone la obligación de confeccionar Planes de Manejo o Proyectos de Ingeniería conforme a los nuevos requisitos establecidos por el reglamento para todas las instalaciones sanitarias.

En materia de almacenamiento el Reglamento establece que, sólo se permitirá el almacenamiento de lodos estabilizados en la Plantas de tratamiento de aguas servidas en cantidades inferiores a 5 toneladas, señalando expresamente que, si la cantidad de lodos es superior a 5 toneladas se deberá efectuar un retiro diario de ellos.

### 3.8.4 Exigencias en Materia de Disposición Final

El reglamento establece que los lugares de almacenamiento, tratamiento y disposición final de lodos deberán estar diseñados de manera que controlen la infiltración de líquidos hacia aguas subterráneas y su escurrimiento hacia cursos o masas de aguas superficiales.

Específicamente, para disponer lodos en Rellenos sanitario o Mono rellenos establece los siguientes requisitos:

Tabla N° 5 Requisitos para la Disposición Final de Lodos Sanitarios.

<b>Alternativa de Disposición Final</b>	<b>Requisitos</b>
Relleno Sanitario	Presentar un contenido de humedad menor o igual al 70%.  Reducción del potencial de atracción de vectores y reducción del contenido de patógenos (lodo clase B).  No debe superar el 6% en peso base húmeda del total de residuos depositados en el relleno.
Mono Relleno	Reducción del potencial de atracción de vectores.

Fuente: D.S. 123 Reglamento para el Manejo de Lodos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas.

### 3.8.5 Exigencias en Materia de Plazos

Para cumplir con los requisitos establecidos para el manejo de lodos, el Reglamento establece los siguientes plazos:

Tabla N° 6 Plazos para el Cumplimiento del Reglamento.

Instalación	Plazo para el Cumplimiento de Requisitos
Construida con posterioridad a la entrada en vigencia del Reglamento	Inmediato
Existente al momento de entrar en vigencia el Reglamento	6 meses para presentar proyecto de ingeniería 1 año para cumplir exigencias

Fuente: D.S. 123 Reglamento para el Manejo de Lodos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas.

### 3.8.6 Resumen de Normativa

En resumen, el nuevo reglamento de lodos [3] establece lo siguiente:

- I. La obligación de higienizar los lodos antes de aplicarlos al suelo o llevarlos a un relleno sanitario.
- II. La obligación de estabilizar los lodos antes de aplicarlos al suelo o llevarlos a un relleno sanitario.
- III. La obligación de secar los lodos antes de llevarlos a un relleno sanitario (70 a 75 % de humedad).
- IV. Permite el almacenamiento de lodos en Plantas de tratamiento sólo en cantidades inferiores a 5 Ton.
- V. Si la cantidad de lodos generados diariamente es superior a 5 Ton, estos se deben retirar diariamente.

### **3.9 Situación Actual del Lodo en Essbio**

El problema que hoy se presenta en la empresa ESSBIO, es la necesaria implementación de infraestructura sanitaria que sea capaz de cumplir los requerimientos impuestos por la nueva normativa regulatoria de la calidad de los lodos que pronto será publicada, la cual, fija plazos perentorios para su cumplimiento. Es por lo anterior que la empresa dentro de un futuro cercano se verá obligada a construir Plantas de Tratamiento de Lodos (PTL).

Con herramientas de Ingeniería Industrial se pretende obtener una base para orientar a ESSBIO en la futura toma de decisión que ésta debe llevar a cabo.

La problemática a resolver, es la localización de las futuras Plantas de Tratamiento de Lodos, para lo cual se trabajará con un modelo de programación lineal entera mixta de modo de obtener la mejor ubicación de las nuevas plantas a construir, de manera de minimizar los costos de transporte.

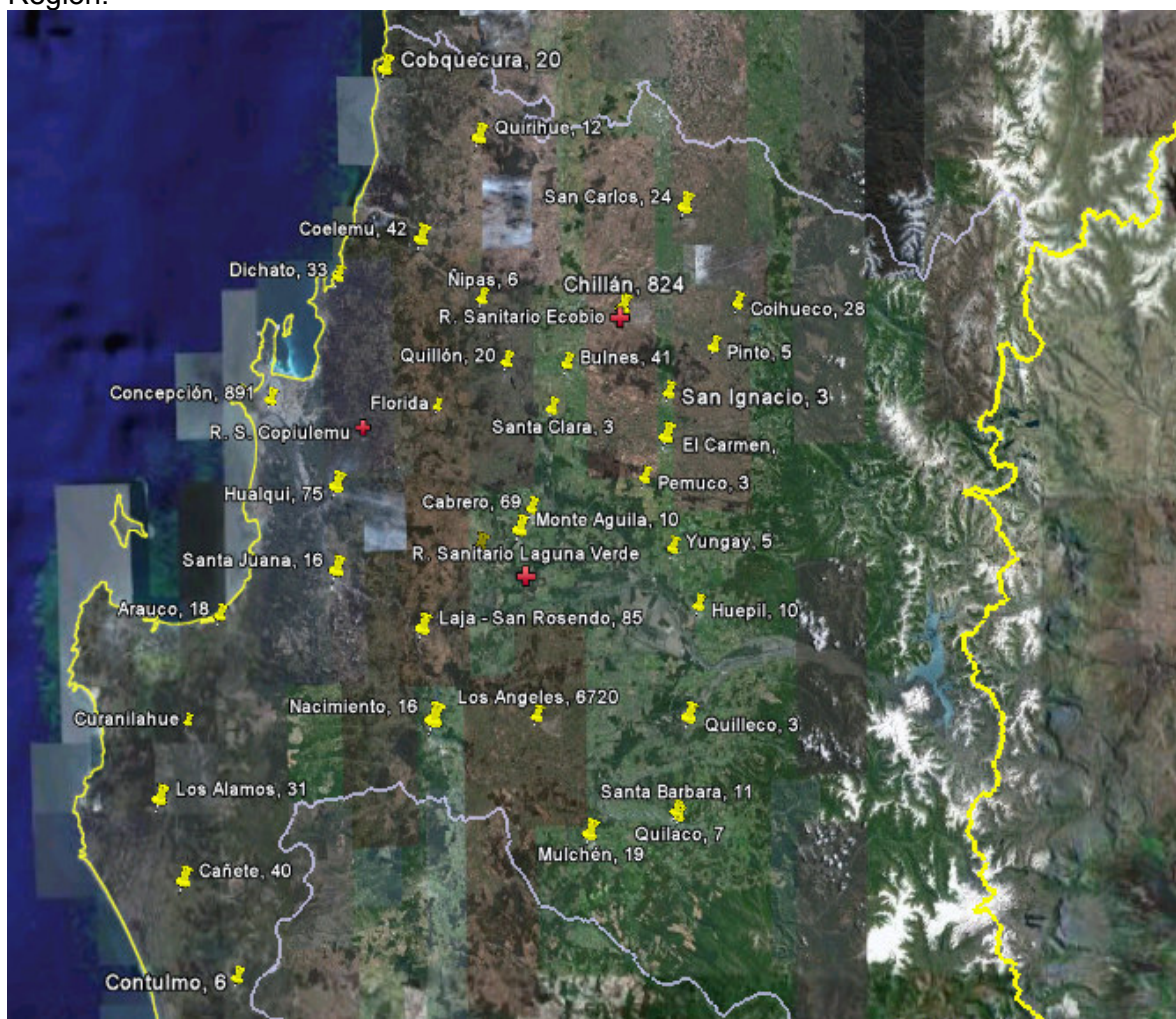
### **3.10 Localización de Plantas de Tratamiento de Lodos**

La localización de las futuras plantas es un tema que presenta una gran importancia, ya que depende del futuro emplazamiento de estas instalaciones el mayor o menor costo que debe incurrir la empresa en lo referido al transporte del lodo desde las plantas que lo producen hasta el punto de tratamiento del lodo, y de éste, hacia el punto que se utilizará como disposición final (Relleno sanitario).

La metodología será aplicada a la VIII región y de la misma forma puede ser replicada en el futuro en las regiones VI y VII.

En Figura N°5 se presenta la distribución actual de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas existentes en la Octava Región y los puntos que actualmente se utilizan para la disposición final de los lodos.

Figura N° 5 Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas y Rellenos Sanitarios en la Octava Región.



Fuente: Catastro Infraestructura sanitaria de Essbio 2007

Como se aprecia la figura N°5, cada Planta de Tratamiento de Aguas Servidas se presenta con su producción mensual en Toneladas de Lodos (33) simbolizadas con 📌 y los destinos de disposición o Rellenos Sanitarios (3) con 🛑.

Para el desarrollo del presente trabajo se asumirá que el tratamiento de los lodos provenientes de las PTAS será realizado mediante energía solar pasiva [15], metodología que permite reducir su volumen en un 40% [13], además de tratar los lodos y dejarlos en condiciones para el cumplimiento de la nueva normativa.

## **Capítulo 4: METODOLOGIA**

El objetivo de este capítulo es incorporar los conceptos teóricos de la Investigación de Operaciones, a fin de enmarcar la técnica de programación lineal en el contexto general de las técnicas de optimización.

### **4.1 La Investigación de Operaciones**

Es la ciencia de la administración (que también se conoce como investigación operativa), donde los administradores utilizan las matemáticas y los computadores para tomar decisiones racionales en la resolución de problemas. Aunque algunos problemas son bastante simples como para que un administrador pueda aplicar su experiencia personal para resolverlos, en el complejo mundo actual muchos problemas no pueden resolverse de esta manera. La evaluación de cada alternativa es demasiado difícil o demorosa debido a la cantidad y complejidad de la información que debe ser procesada, o porque el número de soluciones alternativas es tan vasto que un administrador simplemente no puede evaluarlas todas para seleccionar una apropiada.

En resumen se puede indicar que la Administración o Investigación de Operaciones es el uso de las matemáticas y los computadores para ayudar a tomar decisiones racionales frente a problemas de administración complejos. [14]

### **4.2 Aplicaciones de la Investigación de Operaciones**

#### **4.2.1 Tipos de problemas**

a.- Problemas determinísticos, en los que toda la información necesaria para obtener una solución se conoce con certeza.

Son problemas en el que toda la información necesaria para obtener una solución se conoce con certeza.

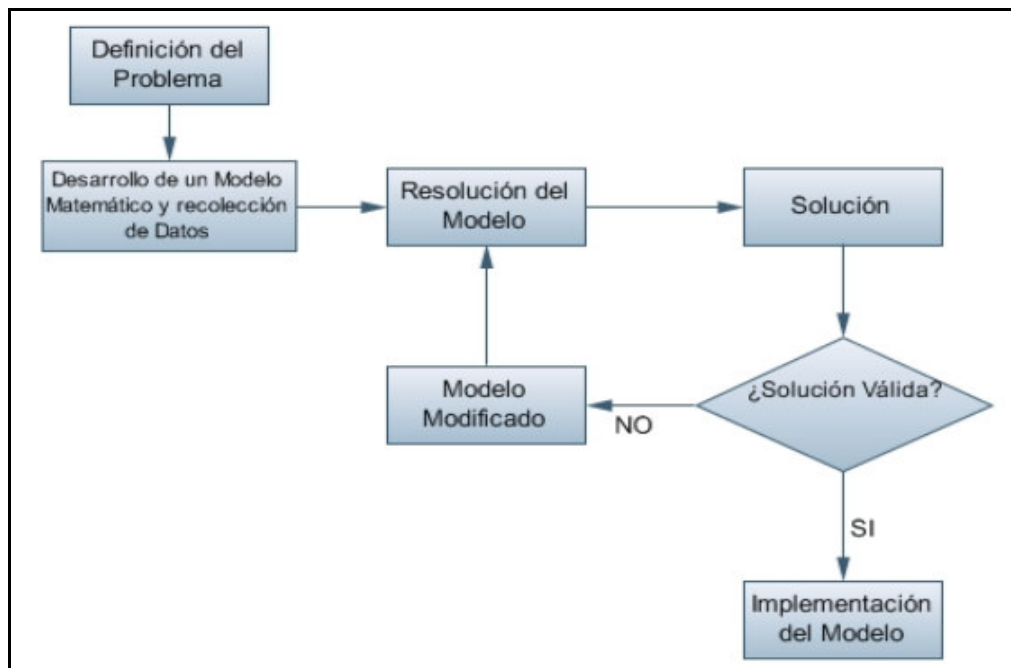
b.- Problemas estocásticos, en los que parte de la información necesaria no se conoce con certeza, sino más bien se comporta de una manera probabilística. Un problema se vuelve estocástico si su objetivo es maximizar con una probabilidad de ganar al menos 8%. Esto es así porque el objetivo ahora depende del

comportamiento probabilístico de los costos. Son problemas en el que parte de la información no se conoce con certeza.

### 4.3. Metodología de la Investigación de Operaciones

El uso de métodos cuantitativos para solucionar problemas, generalmente implica a la utilización de una cantidad importante de recursos humanos. Las personas de un equipo de proyectos proporcionan información de sus áreas respecto a diversos aspectos del problema. El proceso de aplicar métodos cuantitativos requiere una sucesión sistemática de pasos que se muestran en la Figura N° 6. Cada uno de estos pasos se describe en detalle más adelante.

Figura N° 6 Metodología



Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.1 Definición del problema

El primer paso es identificar, comprender y describir, en términos precisos, el problema que la organización enfrenta. Se conoce el objetivo global, como son las limitaciones (en términos de pautas de inversión) que deben considerarse para llegar a la decisión.



En otras situaciones, el problema puede no estar bien definido y puede requerir bastantes discusiones y consenso entre los miembros del equipo de proyectos. Por ejemplo, puede haber varios objetivos que entren en conflicto. Tal vez se desee maximizar la satisfacción del cliente y, sin embargo, también minimizar los costos totales. Es improbable que se pueda lograr ambas metas en un 100%, por lo que se tendrán que tomar decisiones corporativas respecto a un objetivo global.

#### **4.3.2 Desarrollo de un modelo matemático y recolección de datos**

Después de que el problema está claramente definido y comprendido, el siguiente paso es expresar el problema en una forma matemática, esto es, formular un modelo matemático. Una vez construido el modelo, existen muchas técnicas matemáticas disponibles para obtener la mejor solución.

##### **4.3.2.1 Modelo**

Modelo es la representación de un sistema de acuerdo a los objetivos del estudio del sistema. Es decir, para cierto objetivo de estudio ciertas partes del sistema son relevantes, por lo que si cambia el objetivo de estudio, las partes relevantes del sistema probablemente serán otros. Esto implica que según el objetivo del estudio, un sistema puede estar representado por diferentes modelos.

En esencia, un modelo es una imagen de un sistema, dependiendo de las interrogantes planteadas, un sistema puede tener diversos modelos.

Considerando el caso concreto de un pensamiento que se desea comunicar. Para esto se utiliza un conjunto de palabras. En este caso el sistema es el pensamiento mismo y una forma de modelarlo es usar un conjunto de palabras. Otra forma de modelar este sistema sería utilizar un conjunto de figuras.

Es por todos conocido que un conjunto de palabras (modelo) no necesariamente expresa lo que se desea expresar (sistema:pensamiento).

Se observa aquí la diferencia fundamental entre los conceptos de sistema y modelo, en el sentido de que el modelo es una presentación que trata de comportarse de una manera aproximada al sistema dado.

El ejemplo anterior muestra de una manera obvia que el concepto de modelo, en su sentido amplio, ha sido usado desde la antigüedad.

Sin embargo, el interés en relación al concepto de modelo radica en su uso en sistemas de ciencia e ingeniería.

#### **4.3.2.2. Modelos de optimización de uso frecuente en ingeniería**

**a.- PERT-CPM.-** Muy usado en programación de proyectos.

**b.- Programación Lineal.-** Tiene aplicaciones en problemas relacionados con optimización de mezclas, mantenimiento de inventarios, programación de proyectos, manufacturación de productos, etc.

**c) Programación dinámica.-** Usado en programación en etapas múltiples.

**d) Colas de Espera.-** Se usa cuando hay que considerar la optimización del tiempo de espera para obtener un bien o un servicio.

**e) Modelo de Transporte.-** Se usa cuando un bien es producido en cierto conjunto de lugares, y los consumidores están en otro conjunto de lugares.

**f) Modelos de Simulación.-** Son usados cuando se tiene dificultad para establecer relaciones analíticas aceptables, desde el punto de vista computacional, o cuando el problema es inherentemente estocástico (probabilística).

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizará el modelo de transporte que con algunas modificaciones se ajusta a las variables y complejidad de la situación actual que fue presentada en capítulos precedentes.

El modelo matemático a desarrollar busca:

a) Minimizar: costos de transporte de los lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas y que son transportados a la nuevas Plantas de Tratamiento de Lodos y de éstas una vez tratados, a los Rellenos Sanitarios como disposición final.

b) Condicionado por: la cantidad de producción de lodo, capacidad de tratamiento de los lodos en las nuevas PTL y la capacidad de disposición en los rellenos sanitarios existentes en la región.

La función objetivo minimizar y las restricciones están expresadas en términos de las variables de decisión y otra información conocida. Esta “otra información conocida” se denomina datos.

A diferencia de las variables de decisión, cuyos valores se pueden controlar, los valores de los datos no se pueden controlar. Por esta razón, los datos son a menudo llamados parámetros incontrolables.

Para un problema en general se deben establecer todos los datos, pero en la mayoría de los problemas del mundo real, esto no es así. Sólo algunos datos pueden identificarse durante la definición del problema. La necesidad de datos adicionales sólo puede descubrirse al progresar la formulación del problema. Una vez identificados los elementos de los datos, se deben determinar sus valores específicos. En algunos casos, tal vez se necesiten estimaciones, al no disponerse fácilmente de los valores exactos. Más aún, la obtención de estos valores puede algunas veces tomar más tiempo que desarrollar el modelo.

#### **4.3.3. Resolución del modelo matemático**

Una vez formulado un modelo matemático del problema, el siguiente paso es resolver el modelo, es decir, obtener valores numéricos para la variable de decisión. Estas técnicas pertenecen a una de dos categorías:

1. Métodos óptimos, que producen los mejores valores para las variables de decisión, es decir, aquellos valores que satisfacen simultáneamente todas las limitaciones y proporcionan el mejor valor para la función objetivo.
2. Métodos heurísticos, que producen valores para las variables que satisfacen todas las limitaciones. Aunque no necesariamente óptimos, estos valores proporcionan un valor aceptable para la función objetivo.

En contraste con los métodos óptimos, los métodos heurísticos son computacionalmente más eficientes y, por tanto, se usan cuando la obtención de soluciones óptimas lleva demasiado tiempo o es imposible porque el modelo es demasiado complejo.

#### **4.3.4. Validación, instrumentación y control de la solución**

Después de resolver el modelo matemático, es extremadamente importante validar la solución, es decir, revisar la solución cuidadosamente para ver que los valores tienen sentido y que las decisiones resultantes puedan llevarse a cabo. Algunas de las razones para hacer esto son:

1. El modelo matemático puede no haber captado todas las limitaciones del problema real.
2. Ciertos aspectos del problema pueden haberse pasado por alto, omitido deliberadamente o simplificado.
3. Los datos pueden haberse estimado o registrado incorrectamente.

En general, si la solución no puede llevarse a cabo, hay que modificar el modelo para reflejar más exactamente las limitaciones del problema real (y obtener una nueva solución).

Los resultados y su posterior instrumentación debe tener una revisión cuidadosa, no sólo para asegurar que la solución trabaja según lo planeado, sino también porque el problema, los datos o ambos pueden cambiar con el tiempo.

#### **4.3.5. Modificación del modelo**

Si durante el paso de validación se encuentra que la solución no puede llevarse a cabo, se pueden identificar las limitaciones que fueron omitidas durante la formulación del problema original o puede ocurrir que algunas de las limitaciones originales eran incorrectas y necesitan modificarse. En estos casos, se debe regresar a la etapa de formulación del problema y hacer cuidadosamente las modificaciones apropiadas para reflejar con más exactitud el problema real.

Este proceso de modificación de un modelo obtenido la nueva solución y validación, puede tener que repetirse varias veces antes de encontrar una solución aceptable y factible.

#### **4.4 Usos y Ventajas de los Modelos de Investigación de Operaciones**

En general, los modelos matemáticos ayudan a los administradores a tomar dos tipos de decisiones: estratégicas y operacionales.

**Las decisiones estratégicas**, generalmente decisiones que se toman una sola vez, tienen un efecto sobre intervalos de tiempo relativamente largos.

Como los modelos que se construyen para llegar a decisiones estratégicas generalmente se usan únicamente para hacer una determinación a largo plazo, no debe preocuparse demasiado por la cantidad de esfuerzo computacional requerido para obtener la solución. Es muy probable que las decisiones estratégicas tengan un impacto importante en la organización, así que debe dedicar la mayor parte de sus esfuerzos a asegurar que el modelo sea válido, que incluya todos los aspectos importantes del problema y que los datos sean lo más exactos posibles.

**Las decisiones operacionales**, por el contrario, afectan procesos en curso sobre periodos más cortos. Considere las siguientes decisiones operacionales que tal vez tenga que tomar regularmente:

Para el caso de ESSBIO y lo que corresponde en este trabajo, la decisión a tomar es:

**¿Cuál es el plan de localización de Plantas de Tratamiento de Lodos de modo de minimizar los costos de transporte de los lodos?.**

A diferencia de los modelos para planeación estratégica, los modelos para decisiones operacionales se usan repetidamente. Por tanto, vale la pena invertir tiempo y esfuerzo extra en identificar y desarrollar los procedimientos de solución más eficientes, ya que hacerlo puede originar ahorros significativos en costos computacionales con el tiempo.

Sin importar si se requiere de una decisión estratégica u operacional, los modelos matemáticos proporcionan los siguientes beneficios a los administradores:

1. Un método de determinación de la mejor manera de lograr un objetivo, como asignar recursos escasos.
2. Una forma de evaluar el impacto de un cambio propuesto aun nuevo sistema sin el costo y tiempo de llevarlo a cabo primero.
3. Un procedimiento para lograr un objetivo que beneficie a la organización global al incluir en el modelo consideraciones correspondientes a muchas otras partes de la organización.

#### **4.5 El Problema de Transporte**

Dentro de la programación lineal existe una cierta clase de problema en los cuales se debe determinar un esquema óptimo del transporte que se origina en los lugares de oferta donde la existencia de cierta mercancía es conocida, y llega a los lugares de donde se conoce la cantidad requerida.

Este tipo de problema comenzó a estudiarse en 1939 por L.V. KANTAROVICH, despertándose poco interés en ese tiempo, pero conforme se fue necesitando su solución resaltó el hecho de que poseía propiedades matemáticas, que permitirán amplificaciones notables en su proceso de cálculo. La solución de estos problemas son útiles en la agricultura, la que necesita de esquemas de transporte para poder trasladar y disponer en forma óptima su cosecha en el mercado de consumo, y en la industria, la cual necesita el abastecimiento de materias primas para su transformación y posteriormente colocar sus productos manufacturados en el mercado.

El matemático ruso L.V. Kantorovich, discutió en 1942 una cantidad de aplicaciones relativas a la asignación de tareas a máquinas, estudió también el problema del transporte capacitado.

La forma estándar la planteó Frank L. Hitchcock en 1941, desde su artículo "The Distribution of a Product From Several Sources to Numerous Localities".

En 1947, Koopmans investigó la potencialidad de los programas lineales, en su escrito: "Optimum Utilization Of The Transportation System". El problema clásico del transporte también es conocido como el transporte de Koopmans – Hitchcock. [14]

Si el método simplex fuera usado para encontrar la solución de este problema, el procedimiento de cálculo sería muy ineficiente por tal motivo es deseable un algoritmo especial para este tipo de problemas.

Esta importante extensión de la programación lineal, con origen económico y físico, es formulada mediante nodos y arcos.

El clásico problema del transporte se caracteriza por:

- Una cantidad fija en cada nodo de origen, denominada oferta.
- Una cantidad fija en cada nodo de destino, denominada demanda.
- El total de la oferta es igual al total de la demanda.
- El costo de envío desde un origen a un destino, es proporcional a la cantidad enviada, siendo el costo total, la suma de las contribuciones unitarias.

#### **4.6 Presentación del modelo utilizado**

Para enfrentar el problema de localización de Plantas de Tratamiento de Lodos de la empresa Essbio en la VIII región, se utilizará una modificación del modelo de transporte clásico, transformándolo en un problema de programación lineal entera mixta, siendo sus variables y parámetros los siguientes.

Variables:

i: índice para representar las localidades donde se encuentran las plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS).

j: índice para representar las comunas donde se encuentran las posibles plantas de tratamiento de lodos (PTL).

k: índice para representar los rellenos sanitarios (RS) existentes.

$X_{ij}$ : Cantidad de lodo transportado desde la PTAS  $i$  a la PTL  $j$  (m<sup>3</sup>).

$X_{jk}$ : Cantidad de lodo transportado desde las PTL  $j$  a los RS  $k$  (m<sup>3</sup>).

$Y_j$ : Variable binaria de decisión, 1 si se construye PTL, 0 si no.

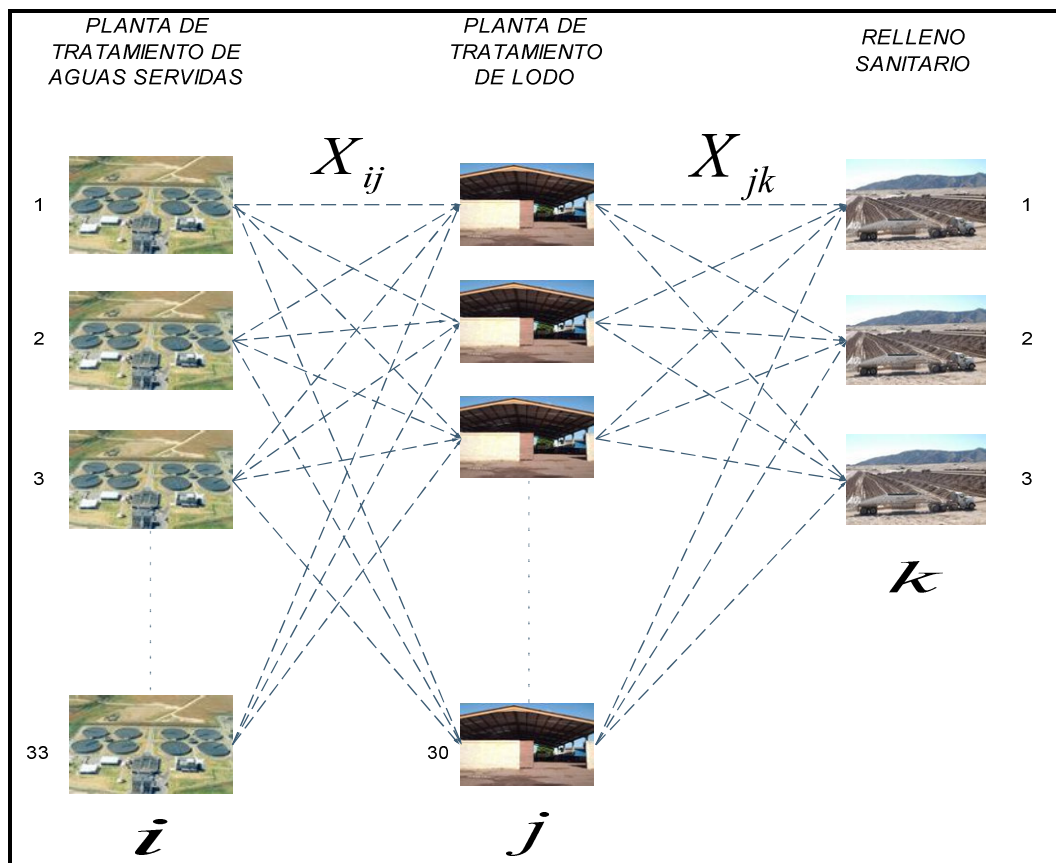
Parámetros:

$C_{ij}$ : Costo de transportar el lodo desde la PTAS  $i$  a la PTL  $j$ .

$C_{jk}$ : Costo de transportar el lodo desde la PTL  $j$  a RS  $k$ .

$CF_j$ : Costo de instalación de PTL  $j$

Figura N° 7 Modelo gráfico de localización utilizado



Fuente: Elaboración propia.



Función objetivo a minimizar

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot X_{ij} + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o C_{jk} \cdot X_{jk} + \sum_{j=1}^n CF_j \cdot Y_j$$

**Restricciones:**

1. **Producción de lodo de las PTAS:** Es la cantidad de lodo (Ton) que producen anualmente las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas de la Octava Región.

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \geq a_i \quad \forall i=1, \dots, m \quad (1)$$

2. **Demanda de lodo en las PTL:** Es la Cantidad demandada por la Plantas de Tratamiento de Lodos (Ton).

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \leq b_j \quad \forall i=1, \dots, m \quad (2)$$

3. **Capacidad de tratamiento de lodo en las PTL:** Es la capacidad máxima de lodo que puede tratar la Planta de Tratamiento de Lodo (Ton).

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \leq b_j \cdot Y_j \quad \forall j=1, \dots, n \quad (3)$$

4. **Demanda de lodo en Relleno Sanitario:** Es la capacidad máxima de lo que puede recibir el Relleno Sanitario (Ton).

$$\sum_{j=1}^m X_{jk} \leq d_k \quad \forall k = 1, \dots, o \quad (4)$$

5.- **Reducción de volumen en el tratamiento de Lodo:** Producto del tratamiento del lodo mediante energía solar pasiva se reduce un 40% su volumen [15], por lo que el 60% restante es enviado a los Rellenos Sanitarios, por lo que se utilizará un factor reductor FR=0,6.

$$FR \times \sum_{i=1}^m X_{ij} = \sum_{k=1}^o X_{jk} \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (5)$$

6.- No negatividad de X y binaria de Y

$$X_{ij} \geq 0, X_{jk} \geq 0, Y_j \in \{0,1\}$$

## Información relevante

### Costos

Los costos mensuales de transporte son calculados de acuerdo a valores del costo del contrato de transporte de lodos que Essbio mantiene actualmente con algunas empresas, el costo actual de transporte de lodo es 0,015 (UF/m<sup>3</sup>/Km) [28.], el resumen de los costos relacionados por Km se presentan en Anexo N° 1. Cabe mencionar que para efecto de este trabajo se asumirá que una Tonelada es igual a un metro cúbico de lodo.

### Producción de lodo

Es la cantidad de Toneladas de lodo que se generan en las Plantas de tratamiento de aguas servidas de la Octava Región, esta producción tendrá un aumento anual de acuerdo a lo informado en el Estudio de Impacto ambiental de cada PTAS, la producción mensual y anual de cada PTAS se presenta en Anexo N°2, en Tabla N°7 se presenta el resumen de la proyección anual de los lodos de las 33 plantas que Essbio tiene en la Octava Región, 24% al 2020. Cabe

mencionar que el incremento anual será utilizado para cuantificar el aumento de los costos de operación y transporte incluidos en el cálculo del CAN realizado en el punto 7.2.4.

Tabla N° 7 Producción año 2008 y crecimiento proyectado de la producción lodo en Essbio

Año	Producción Anual (Ton)	Crecimiento Anual
2008	37.212	
2009	38.347	3,05%
2010	39.518	3,05%
2011	40.513	2,52%
2012	41.516	2,48%
2013	42.440	2,22%
2014	43.297	2,02%
2015	44.086	1,82%
2016	44.817	1,66%
2017	45.488	1,50%
2018	46.109	1,37%
2019	46.562	0,98%
2020	46.884	0,69%
2021	47.065	0,39%

Fuente: Declaración de Impacto Ambiental de PTAS

## Distancias

Es la distancia en Km que existe entre cada localidad que contiene Plantas de tratamiento de aguas servidas en la octava región, este dato se obtiene del registro de la dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas [17]. Las distancias entre las localidades participantes del modelo se muestran en Anexo N°3.

## Localidades Candidatas

De las 54 comunas que componen la octava región sólo 30 son candidatas para recibir a las nuevas Plantas de Tratamiento de Lodos (PTL), la decisión de exclusión de algunas comunas se relaciona con dos líneas estratégicas de la empresa Essbio. La primera dice relación en la existencia de terreno (m<sup>2</sup>) disponibles para la construcción de las PTL y la segunda interviene un factor asociados a la política de Relación con la Comunidad y Responsabilidad Social Empresarial de la compañía. (Anexo N°4).

## **CAPITULO 5: HERRAMIENTA DE SOLUCION**

### **5.1 Breve Introducción al Programa Gams**

El programa GAMS (General Algebraic Modeling System) es un software desarrollado por A. Brooke, Kendrick y A. Meeraus. A diferencia de otros paquetes de software de implementación de algoritmos matemáticos que permiten resolver los problemas de optimización, el programa GAMS presenta la ventaja de plantear un lenguaje de modelación que permite el poder escribir en un editor la formulación matemática del problema y posteriormente aplicarle una serie de “solvers” o programas de resolución.

Este programa fue desarrollado a finales de la década de los años 80 en el World Bank por un grupo de economistas, aprovechando la experiencia de su trabajo sobre programas de desarrollo económico, que requieren en primer lugar una modelización exhaustas y posteriormente la aplicación de los correspondientes programas de optimización para poder hallar la solución numérica a los modelos propuestos. [19]

Para el desarrollo de este trabajo se utilizará la versión libre inicialmente, mientras se afina el modelo y se resuelve con un número de variables reducidas, para posteriormente resolver el modelo completo mediante una aplicación web, capaz de resolver programas de mayor escala vía consulta a un servidor que contiene solvers para diferentes tipos de problemas.

### **5.2 Referencias Básicas**

Este programa permite muchas interrelaciones con otros lenguajes de alto nivel (Fortran, C, etc.), así como la aplicación de diversos algoritmos de resolución. En la actualidad se están desarrollando nuevas versiones de GAMS que permiten importar y exportar datos con hojas de cálculo, que son herramientas de uso muy común en las tareas informatizadas.

En este punto se presenta un resumen de los elementos básicos de funcionamiento con GAMS en la versión par Windows.

GAMS, presenta la ventaja de la potencia de este lenguaje de modelamiento, así como la capacidad para resolver problemas lineales, enteros y no lineales, sin olvidar las posibilidades de crecimiento del mismo programa como lenguaje de modelamiento.

Para poder ejecutar el programa GAMS es necesario crear un fichero de datos donde se extrae toda la información necesaria del problema, aunque todo ello introducido en un formato particular. La versión actual de GAMS incorpora un editor que facilita la escritura y resolución de los problemas.

En los ficheros de modelos, hay que organizar una serie de bloques que son obligatorios y otros bloques que son opcionales.

A continuación se presentan algunos de los bloques obligatorios, pues lo que se pretende en este punto es recopilar las instrucciones básicas de funcionamiento de GAMS.

Los bloques obligatorios son:

Variables	VARIABLES
Ecuaciones	EQUATIONS
Modelo	MODEL
Solución	SOLVE

Los bloques optativos son:

Conjuntos	SET
Datos	DATA
Visualización	DISPLAY

### **5.3 Líneas de comentario**

En todos los ficheros es conveniente introducir líneas de comentario que, si bien no forman parte del modelo y por lo tanto no van a ser compiladas, pueden facilitar la lectura posterior tanto del fichero de datos como el de la solución.

Las líneas de comentarios pueden ser introducidas de dos formas:

- a) Comenzando cada línea con un asteriscos (\*), en este caso hay que tomar en consideración que ciertos símbolos están prohibidos, como por ejemplo los acentos, la letra ñ, etc.
- b) Cuando hay que escribir varias líneas, para no tener que escribir cada vez un asterisco (\*), es conveniente utilizar el comando \$ONTEXT, a continuación de él se puede escribir tantas líneas como se quiera y además utilizar cualquier caracter (acento, ñ, etc.), para indicar que han finalizado las líneas de comentarios hay que utilizar el comando \$OFFTEXT.

### **5.4 Bloque de variables**

Este bloque debe comenzar con la palabra VARIABLES. Dentro de este bloque se han de definir las variables que se van a usar en el modelo, indicando de que clase son, que tipo de restricciones presentan, si tienen o no cotas y el punto de partida.

### **5.5 Bloque de ecuaciones**

Este bloque ha de comenzar con el título EQUATIONS. En este bloque hay que declarar y definir las ecuaciones que se van a usar en el modelo.

### **5.6 Bloque de modelo**

En este grupo se han de definir las ecuaciones que componer el modelo. No es obligatorio incluir todas las ecuaciones utilizadas. Este bloque tiene que comenzar con el nombre MODEL.

## 5.7 Bloque de Solución

En este bloque hay que indicar que tipo de algoritmo se desea utilizar para poder resolver el modelo que se ha definido previamente. A la hora de inicializar este bloque debe aparecer la palabra SOLVE.

## 5.8 Bloques opcionales

Además de estos cuatro bloques obligatorios y como se indicó anteriormente, se pueden definir otros tres bloques de carácter opcional:

**Bloque de Conjuntos, SET.** Consiste en definir una serie de conjuntos, por lo general índices y asignarles unos valores a estos conjuntos.

**Bloque de Datos, DATA.** Se usa para definir una serie de datos fijos dentro del modelo, de esta manera se pueden definir parámetros (PARAMETERS), tablas (TABLES) y escalares (SCALARS).

**Bloque de visualización, DISPLAY.** Este bloque permite indicar la clase de salida de datos y formato que deseamos para el problema. En principio nos limitaremos a comentar la salida estándar (por defecto) que proporciona GAMS.

La introducción de datos es una fuente inagotable de errores, por eso conviene insistir nuevamente en que esta es una de las fases esenciales de la construcción de los ficheros GMS. El fichero de (LST) nos informa de los errores que se cometen en el fichero original, pero hay que prestar mucha atención a esta fase. Uno de los errores muy comunes es la repetición de los nombres en los diferentes grupos, por ejemplo definir un parámetro como A, y posteriormente etiquetar una tabla con el nombre A (I,J), que aunque aparentemente tienen nombre diferente, en realidad le estamos asociando el mismo A, ya que en el caso de la tabla solo le añadimos la identificación de los conjuntos que la componen. Por ello hay que

reiterar el cuidado en la construcción del fichero, si no se quiere repetir muchas veces la ejecución del problema

Para una mayor explicación de estas operaciones puede verse en el manual del usuario de GAMS [2].

Cabe mencionar que dentro del bloque de DATA, aunque también es posible realizarlas en otros bloques, por ejemplo, EQUATIONS se pueden realizar operaciones de asignación de valores a diferentes parámetros. Estas pueden ser operaciones simples, operaciones con índices, operaciones con funciones, operaciones relacionales, etc.

Las operaciones simples, son las que incluyen los símbolos aritméticos elementales:

SUMA	+
Diferencia o resta	-
Producto	*
Cociente	/
Exponenciación	**

Estas operaciones se pueden realizar tanto con parámetros, escalares, tablas o funciones.

Las operaciones con índices más comunes son:

Sumatoria  $\sum_i \sum_j A_{ij}$  que se puede expresar como: SUM((i,j), A(i,j))

Producto  $\prod_i a_i^{b_i}$  que se puede expresar como: PROD(i, a(i)\*\*b(i))

Las operaciones con funciones más comunes son las siguientes:

ABS (x)	valor absoluto de x
CEIL (x)	parte entera por exceso de x
FLOOR(x)	parte entera por defecto de x



EXP(x)	exponente base e, $e^x$ .
LOG(x)	logaritmo neperiano, $\ln x$ .
LOG10(x)	logaritmo decimal de x, $\log x$ .
MAX(x,y,...z)	máximo de x, y,...,z
MIN(x,y,...z)	mínimo de x, y,...,z
NORMAL(x,y)	distribución normal de media x y desviación y.
POWER(x,y)	potenciación $X^y$ , siendo Y entero
SIGN(X)	signo de x : +1 si $x > 0$ , -1 si $x < 0$ , 0 si $x = 0$ .
SQR(x)	cuadrado de x, $x^2$ .
SQRT(X)	raíz cuadrada de x, $\sqrt{X}$

Con las diferentes expresiones de un modelo también se pueden establecer operaciones relacionales entre ellas, utilizando las expresiones:

LT	Menor (< )
LE	Menor – igual ( $\leq$ )
EQ	Igual (=)
NE	No igual ( $\neq$ )
GE	Mayor – igual ( $\geq$ )
GT	Mayor (>)
NOT	No
AND	y
OR	O

Estas operaciones relacionales, tienen un operador fundamental (operador \$) también conocido como la asignación condicional, cuando aparece en alguna relación.

## 5.9 Reglas características del lenguaje

Antes de utilizar GAMS, es conveniente conocer sus reglas. A continuación, se describen las más importantes [11].

1. En GAMS, es indiferente el uso de mayúsculas o minúsculas.

2. Cada comando debe terminar con un punto y coma. El olvido de este separador de órdenes puede provocar muchos errores de compilación.
3. Los comandos pueden aparecer en cualquier lugar siempre que los datos y variables que se utilizan hayan sido declarados con anterioridad.
4. Como en cualquier otro lenguaje de programación, los identificadores que se utilicen para declarar datos o variables no pueden coincidir con las palabras reservadas de GAMS.
5. En algunos comandos de GAMS, el uso de la "s" final es indiferente. Así, se puede emplear indistintamente el comando Set o Sets para definir uno o varios conjuntos de índices.
6. Es posible escribir varios comandos en una misma línea siempre que estén separadas por punto y coma. El compilador considera sucesivos espacios en blanco como uno solo.
7. Un simple comando es válido para declarar o definir uno o varios elementos del mismo tipo. No hay necesidad de repetir el nombre del comando.
8. Para documentar el código GAMS es necesario incluir líneas de comentarios. El compilador de GAMS ignora cualquier línea cuya primera columna es un asterisco, considerándola un comentario. También es posible añadir un texto aclaratorio (opcionalmente entre comillas) tras algunos comandos de declaración en GAMS, como son: set, scalar, parameter, table, equation, y model.
9. La mayoría de los comandos son necesarios en la declaración de elementos y, opcionalmente, para asignarle valores. Declarar un elemento (escalar, vector, matriz, etc...) consiste en asignarle un identificador mediante cualquiera de los comandos declarativos (sets, scalar, parameter, table, variables, equations, y model). La declaración permite que un elemento pueda utilizarse en comandos posteriores.
10. Los identificadores usados en GAMS deben comenzar por una letra y pueden ir seguidos por hasta nueve caracteres alfanuméricos, no estando permitida la letra ñ, ni los caracteres especiales como los acentos (esto último tampoco está permitido en los textos explicativos).

## Capítulo 6: DESARROLLO DE LA SOLUCION

### 6.1 Modelo simplificado

Antes de realizar la búsqueda de la solución con el número de variables reales del problema, se resuelve un modelo simplificado, el cual debe dar solución a la misma problemática del modelo extendido. La solución simplificada se buscó haciendo correr un modelo análogo con un número reducidas de variables, de modo de utilizar la versión Student de distribución libre, la cual se limita a:

Máximo número de filas:	300
Máximo número de columnas:	300
Máximo número de elementos distintos de cero:	2000
Máximo número de elementos no lineales:	1000
Máximo número de variables discretas:	50

Lo anterior se realiza para generar una cercanía con el software y lenguaje, de manera de aprender a solucionar los problemas típicos de compilación y de menos complejidad.

### 6.2 Programación del modelo reducido

La programación del modelo, básicamente es la misma con la cual se pretende resolver el problema a escala real, salvo la diferencia existente en el número de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas ( $m_1, m_2, m_3$ ), Planta de Tratamiento de Lodos ( $n_1, n_2, n_3$ ) y Rellenos Sanitarios ( $o_1, o_2$ ) utilizados.

A continuación en la Figura N°8 se presenta la programación del modelo reducido que contiene 3 PTAS, 3 PTL y 2 RS, con producción de lodos, capacidades de tratamiento y costos ficticios, de manera de conocer con antelación la respuesta del modelo y de esta forma verificar que el modelo arroja una respuesta coherente.

Figura N° 8 Programación modelo simplificado

```

Set i /m1*m3/
    j/n1*n3/
    k/o1*o2/;
Parameter a(i) Produccion de lodo de planta i
    /m1 70
        m2 110
        m3 130/

    b(j) Capacidad de tto de planta j
    /n1 200
        n2 300
        n3 200/

    d(k) Capacidad máxima de recepción del Relleno Sanitario k
    /o1 1000
        o2 1000/;
Table c(i,j) Costo de transporte de i a j
    n1    n2    n3
m1    100    10    5
m2    100    10    5
m3    100    10    5;

Table c2(j,k) costo transporte de j a k
    o1    o2
n1    10    100
n2    10    100
n3    10    100;

Variable
x(i,j) cantidad transportada de i a j
x2(j,k) cantidad transportada de j a k

x2(j,k) cantidad transportada de j a k

z objetivo
positive variable x,x2;
binary variable y;

Equation
objetivo costo de transporte
produccion (i) produccion de cada planta tas i
demanda (j) capacidad de tto de planta tl j
capacidad (j) capacidad de j
demanda2 (k) capacidad RS k
igualdad(j) igualdad de x e x2;
objetivo.. sum((i,j), c(i,j)*x(i,j))+ sum((j,k),c2(j,k)*x2(j,k))=e=z;
produccion(i).. sum(j, x(i,j))=g= a(i);
demanda (j).. sum(i, x(i,j))=l= b(j);
capacidad (j).. sum(i, x(i,j))=l= b(j)* y(j);
demanda2 (k).. sum(j,x2(j,k))=l=d(k);
igualdad(j).. 0.6* sum(i, x(i,j))=e=sum(k, x2(j,k));
model transporte /all/
solve transporte using mip minimizing z;
display x.l,x2.l,y.l,z.l;
RAT
    
```

Fuente: Programado y resuelto en GAMS V23.0, bajado de <<http://www.gams.com/download/>>

### **6.3 Implementación**

Para la implementación e ingreso de datos se puede recurrir a tutoriales y ayuda de usuarios para dominar en un nivel básico la herramienta.

### **6.4 Verificaciones**

Para la verificación de la respuesta del modelo se realizaron las siguientes pruebas:

Primero se hizo correr el modelo con los datos mostrados anteriormente, de modo de comprobar la sintaxis y problemas de modelamiento matemático. Luego de proporcionar una respuesta sin errores, se realizaron pruebas para corroborar la correctitud del modelo propuesto que se describen a continuación.

Cabe mencionar que los costos de transporte utilizados orientan a priori la respuesta del modelo a la localización de una determinada localidad.

1° Se fijaron todos los costos de transporte entre las PTAS-PTL de manera de orientar la respuesta a la asignación de  $n_2$  y  $n_3$  para las PTL.

2° Se fijaron todos los costos de transporte entre las PTL-RS de manera de orientar la respuesta a la asignación de  $o_1$  para el Relleno Sanitario.

### **6.5 Implementación de Modelo a Escala Real**

Luego de obtener los resultados esperados del modelo simplificado, se procede a correr el modelo con la cantidad de variables reales, para lo cual se utilizó la aplicación NEOS Server<sup>5</sup>, que permite resolver diferentes tipo de modelos de optimización sin límites de variables, para lo cual basta con seleccionar el solver

---

<sup>5</sup> Aplicación Web que permite resolver los archivos en extensión GAMS.

asociado al modelo de programación que se está trabajando, cargar el modelo vía Web y esperar la respuesta de resolución [18].

Para revisar los Solvers disponibles, se ingresó a:

<http://neos.mcs.anl.gov/neos/solvers/index.html>

Para seleccionar el Solver que se utilizará en el presente trabajo, primero, se accede a listado para resolver Programación Entera Mixta y se selecciona el que permita ingresar el problema generado con GAMS (extensión .gms).

Para dar respuesta el modelo propuesto en este trabajo se accedió a:

<http://neos.mcs.anl.gov/neos/solvers/milp:Glpk>

La programación del modelo y su respuesta se presentan en Anexo N°5. En la programación se utilizó la siguiente designación para identificar las localidades.

PTAS	DESIGNACION	PTL	DESIGNACION	RELLENO SANITARIO	DESIGNACION
Arauco	m1	Arauco	n1	Copiulemu	o1
Bulnes	m2	Bulnes	n2	Ecobio	o2
Cabrero	m3	Cabrero	n3	Laguna Verde	o3
Canete	m4	Canete	n4		
Chillan	m5	Chillan	n5		
Cobquecura	m6	Chillan Viejo	n6		
Coelemu	m7	Coihueco	n7		
Coihueco	m8	Curanilahue	n8		
Concepcion	m9	El Carmen	n9		
Contulmo	m10	Florida	n10		
Dichato	m11	Hualqui	n11		
Hualqui	m12	Laja	n12		
Huepil	m13	Lebu	n13		
Los Alamos	m14	Los Alamos	n14		
Los Angel	m15	Los Angeles	n15		
Monteaguila	m16	Mulchen	n16		
Mulchen	m17	Negrete	n17		
Nacimiento	m18	Ninhue	n18		
Nipas	m19	Pemuco	n19		
Pemuco	m20	Quilleco	n20		
Pinto	m21	Quirihue	n21		
Quilaco	m22	San Carlos	n22		
Quilleco	m23	San Fabian	n23		
Quillon	m24	San Ignacio	n24		
Quirihue	m25	San Nicolas	n25		
San Carlo	m26	Santa Clara	n26		
San Ignacio	m27	Santa Juana	n27		
Laja	m28	Tucapel	n28		
Sta Barbarbara	m29	Yumbel	n29		
Sta Clara	m30	Yungay	n30		
Sta Juana	m31				
Yumbel	m32				
Yungay	m33				

Fuente: Elaboración propia.

## Capítulo 7:

### RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En este capítulo se expondrá el resultado de la resolución del modelo, se realizará una comparación cuantitativa de localizar una o más Plantas de Tratamiento de Lodos de manera de minimizar los costos de transporte de acuerdo a la asignación de localidades realizada.

#### 7.1 Solución Óptima

De acuerdo a la programación realizada el modelo entrega una solución óptima, la respuesta de qué localidad es la mejor candidata para localizar las PTL, dependiendo del número de plantas que se proponen construir.

A continuación en Tabla N°8 se presentan las 5 primeras corridas del modelo, donde se muestra el número de PTL a construir (1 a 5), la localidad seleccionada, la cantidad de lodo a tratar, el destino y cantidad de lodos para disposición final. Las restantes salidas del modelo, se presentan en Anexo N°6.

Tabla N° 8 Localidad y Relleno Sanitario Seleccionado para las 5 primeras alternativas

N° PTL a Construir	Localidad	Cantidad de Lodo a Tratar (Ton/mes)	Relleno Sanitario	Canidad de Lodo a Disponer (Ton/mes)
1	Cabrero	3101	Laguna Verde	1861
2	Cabrero	2026	Laguna Verde	1216
	Chillan Viejo	1075	Ecobio	645
3	Cabrero	901	Laguna Verde	541
	Chillan Viejo	1042	Ecobio	625
	Hualqui	1158	Copiulemu	695
4	Cabrero	895	Laguna Verde	537
	Chillan Viejo	1042	Ecobio	625
	Hualqui	1033	Copiulemu	620
	Los Alamos	131	Copiulemu	79
5	Cabrero	812	Laguna Verde	487
	Chillan Viejo	1042	Ecobio	625
	Hualqui	1033	Copiulemu	620
	Los Alamos	131	Copiulemu	79
	Los Angeles	83	Laguna Verde	50

Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado.

A continuación en Tabla N°9 se presenta el detalle de las localidades de dónde proviene el lodo a tratar para cada localidad destino. Se muestran las 5 primeras corridas del modelo, las 25 restantes se presentan en Anexo N°7. Las cantidades de lodo producido y que es transportado mensualmente desde cada localidad origen se muestra en Anexo N°2.

Tabla N° 9 Resumen Localidades Origen para las 5 primeras alternativas

N° PTL	LOCALIDAD DESTINO	LOCALIDAD ORIGEN												
1	Cabrero	Arauco	Bulnes	Cabrero	Cañete	Chillán	Cobquecura	Coelemu	Coihueco	Concepción	Contulmo	Dichato	Hualqui	
		Huepil	Los Alamos	Los Angeles	Monteaguila	Mulchen	Nacimiento	Ñipas	Pemuco	Pinto	Quilaco	Quilleco	Quillón	
		Quirihue	San Carlos	San Ignacio	Laja	Santa Barbara	Santa Clara	Santa Juana	Yumbel	Yungay				
2	Cabrero	Arauco	Cabrero	Cañete	Concepción	Contulmo	Hualqui	Huepil	Los Alamos	Los Angeles	Monteaguila	Mulchen	Nacimiento	
	Chillán Viejo	Quilaco	Quilleco	Laja	Santa Barbara	Santa Juana	Yumbel	Yungay						
3	Cabrero	Bulnes	Chillán	Cobquecura	Coelemu	Coihueco	Dichato	Ñipas	Pemuco	Pinto	Quillón	Quirihue	San Carlos	
	Chillán Viejo	San Ignacio	Santa Clara											
	Hualqui	Cabrero	Contulmo	Huepil	Los Angeles	Monteaguila	Mulchen	Nacimiento	Quilaco	Quilleco	Laja	Santa Barbara	Yumbel	Yungay
4	Chillán Viejo	Bulnes	Chillán	Cobquecura	Coelemu	Coihueco	Ñipas	Pemuco	Pinto	Quillón	Quirihue	San Carlos	San Ignacio	Santa Clara
	Hualqui	Arauco	Concepción	Dichato	Hualqui	Santa Juana								
	Los Alamos	Cañete	Contulmo	Los Alamos										
	Cabrero	Cabrero	Huepil	Los Angeles	Monteaguila	Mulchen	Nacimiento	Quilaco	Quilleco	Laja	Santa Barbara	Yumbel	Yungay	
5	Chillán Viejo	Bulnes	Chillán	Cobquecura	Coelemu	Coihueco	Ñipas	Pemuco	Pinto	Quillón	Quirihue	San Carlos	San Ignacio	Santa Clara
	Hualqui	Arauco	Concepción	Dichato	Hualqui	Santa Juana								
	Los Alamos	Cañete	Contulmo	Los Alamos										
	Los Angeles	Los Angeles	Mulchen	Nacimiento	Quilaco	Quilleco	Santa Barbara							

Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado.



## 7.2 Costos de la Solución

Para la implementación del modelo se trabajó con dos tipos de costo que influirán en el proceso de la ruta del lodo, siendo los costos de transporte y de operación.

### 7.2.1 Costo de Transporte por Mes

Para cada una de las respuestas del modelo, se asocian los costos mensuales de transportar el lodo desde las Plantas de Tratamiento de Aguas servidas a las Plantas de Tratamiento de Lodos y de éstas a los Rellenos Sanitarios, a continuación en Tabla N°10 se muestra el resumen de los costos de las primeras 5 corridas, las restantes se presenta en Anexo N°8.

Tabla N°10 Costos de Transporte

N° Plantas a Construir	Costo Transporte PTAS-PTL (\$)	Costo Transporte PTL- RS (\$)	Costo Transporte Total (\$)
1	64.510.632	6.000.435	70.511.067
2	45.935.858	5.376.075	51.311.933
3	24.240.590	14.368.160	38.598.750
4	18.915.262	16.533.880	35.449.142
5	17.628.479	17.015.690	34.644.169

Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado.

### 7.2.2 Costo de Operación Mensual

Para cada una de las alternativas de construcción se asocia un costo de operación mensual de cada una de las plantas, costo que involucra la contratación de trabajadores (Operadores, Ayudantes, Guardias) y concepto de energía (eléctrica y combustible de maquinaria), a continuación se presentan los costos de operación para las primeras cinco alternativas, el desglose de estos costos y la presentación de los costos de operación de todas las alternativas se adjuntan en Anexo N° 9.

Tabla N° 11 Costos de Operación

N° Plantas a Construir	Costo de Operación (\$)
1	3.673.363
2	6.368.249
3	8.743.135
4	10.798.021
5	12.852.908

Fuente: Elaboración propia.

### 7.2.3 Relación de Costos

En este punto se presenta el comportamiento de los costos dependiendo del número de PTL a construir, en Tabla N°12 se muestran agrupados los costos mensuales de transporte y de operación de las todas alternativas.

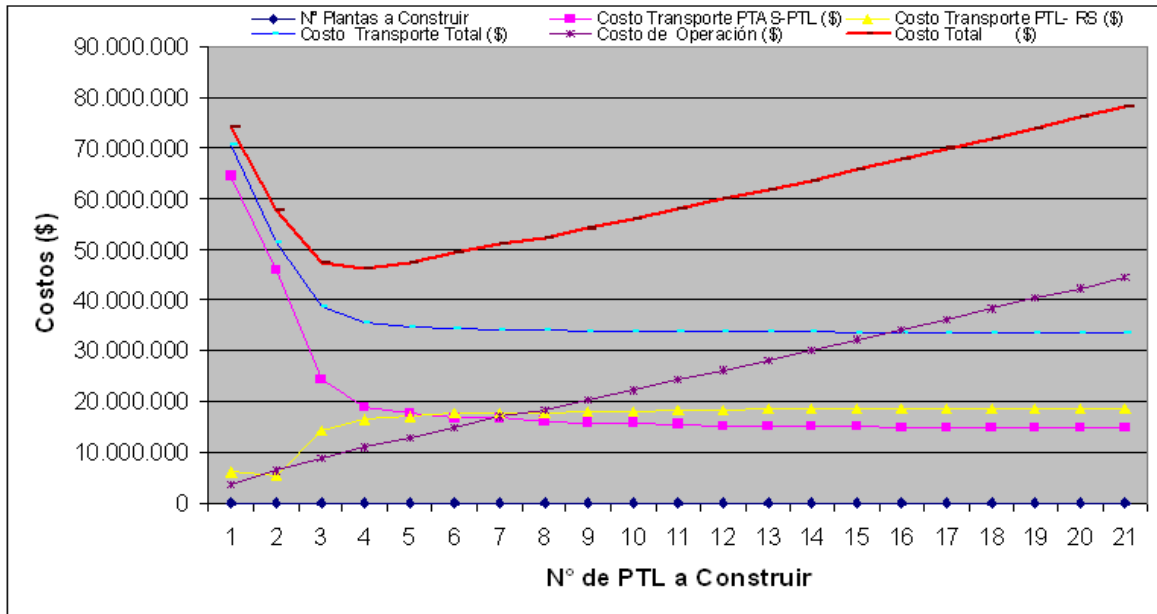
Tabla N°12 Costo Mensual de Transporte y Operación

N° Plantas a Construir	Costo Transporte PTAS-PTL (\$)	Costo Transporte PTL- RS (\$)	Costo Transporte Total (\$)	Costo de Operación (\$)	Costo Total (\$)
1	64.510.632	6.000.435	70.511.067	3.673.363	74.184.430
2	45.935.858	5.376.075	51.311.933	6.368.249	57.680.182
3	24.240.590	14.358.160	38.598.750	8.743.135	47.341.885
4	18.915.262	16.533.880	35.449.142	10.798.021	46.247.164
5	17.628.479	17.015.690	34.644.169	12.852.908	47.497.077
6	16.838.341	17.518.800	34.357.141	14.907.794	49.264.935
7	16.585.487	17.562.150	34.147.637	16.962.680	51.110.317
8	16.205.255	17.736.300	33.941.555	18.377.566	52.319.122
9	15.962.061	17.860.910	33.822.971	20.432.453	54.255.424
10	15.695.674	18.061.380	33.757.054	22.167.339	55.924.393
11	15.552.466	18.154.260	33.706.726	24.222.225	57.928.951
12	15.290.884	18.366.730	33.657.614	26.277.111	59.934.725
13	15.151.399	18.477.020	33.628.419	28.011.998	61.640.416
14	15.165.110	18.441.420	33.606.530	30.066.884	63.673.414
15	15.066.745	18.522.690	33.589.435	32.121.770	65.711.205
16	15.044.492	18.534.880	33.579.372	34.176.656	67.756.028
17	14.992.892	18.577.450	33.570.342	36.231.543	69.801.885
18	14.968.711	18.593.120	33.561.831	38.286.429	71.848.259
19	14.912.268	18.644.600	33.556.868	40.341.315	73.898.183
20	14.898.725	18.653.310	33.552.035	42.396.201	75.948.236
21	14.960.005	18.591.390	33.551.395	44.451.088	78.002.482

Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado.

El comportamiento de los datos anteriormente presentados se visualiza en el gráfico N°1:

**Gráfico N° 1 Costo Operación y Transporte Mensual**



Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado.

**N° PTL a Construir:** Cantidad de Plantas de Tratamiento de Lodos a Construir.

**Costo Total:** Costo de Transporte Total + Costo de Operación.

**Costo Transporte Total:** Costo de transportar desde las PTAS a las PTL y de las PTL a los Rellenos Sanitarios.

**Costo de Operación:** Costo de operación de las n PTL.

Del gráfico de Costos de Operación y Transporte se observa que:

- La sumatoria de los costos de transporte, se comporta de manera descendente a medida que aumentan las plantas a construir, produciéndose una estabilización de a PTL N°21 en adelante debido a que la cantidad de lodo producida satisface hasta ese número de plantas.
- Los costos de operación son crecientes a medida que se construyen más PTL, esto debido a la contratación más personal, mayor consumo de combustible y energía eléctrica, el detalle de la conformación de estos costos se muestra en Anexo N°9.
- La sumatoria de los costos de operación y transporte (Costo Total), se comporta inicialmente en forma descendente hasta la construcción de la

cuarta PTL, luego comienza un ascenso a medida que se van construyendo más PTL.

### 7.2.4 Inversión

La inversión necesaria para implementar las nuevas Plantas de Tratamiento de Lodos está compuesta de varios ítems, entre ellos se mencionan el costo del terreno, la maquinaria a utilizar para el tratamiento del lodo y de la construcción de la infraestructura asociada, a continuación en Tabla N°13 se presenta el detalle de la conformación de la inversión para las 5 primeras alternativas. El detalle de las restantes alternativas se muestra en Anexo N° 10.

Tabla N°13 Inversión de Implementación de alternativas

N° Plantas a Construir	Volumen de Lodo producido (m3)	Volumen de Lodo a Tratar (m3)	Superficie Galpón (m2)	Superficie Total (m2)	Superficie Total hectareas	Costo Terreno (\$)	N° Equipos	Costo Equipos (\$)	Costo Construcción (\$)	Costo Instalar (\$)
1	3101	9.303	23.934,90	28.721,88	2,8722	617.520.495,15	1	53.000.000	1.860.600.000	2.531.120.495
2	2026	6.078	15.637,57	18.765,09	1,8765	403.449.378,64	1	53.000.000	1.215.600.000	2.564.984.495
	1075	3.225	8.297,33	9.956,80	0,9957	214.071.116,50	1	52.470.000	645.000.000	
3	901	2.703	6.954,32	8.345,18	0,8345	179.421.466,02	1	53.000.000	540.600.000	2.598.318.495
	1.042	3.126	8.042,62	9.651,15	0,9651	207.499.631,07	1	52.470.000	625.200.000	
	1.158	3.474	8.937,96	10.725,55	1,0726	230.599.398,06	1	51.940.000	694.800.000	
4	895	2.685	6.908	8.290	0,8290	178.226.650,49	1	53.000.000	537.000.000	2.631.122.495
	1042	3.126	8.043	9.651	0,9651	207.499.631,07	1	52.470.000	625.200.000	
	1033	3.099	7.973	9.568	0,9568	205.707.407,77	1	51.940.000	619.800.000	
	131	393	1.011	1.213	0,1213	26.086.805,83	1	51.410.000	78.600.000	
5	812	2.436	6.267	7.521	0,7521	161.698.368,93	1	53.000.000	487.200.000	2.663.396.495
	1042	3.126	8.043	9.651	0,9651	207.499.631,07	1	52.470.000	625.200.000	
	1033	3.099	7.973	9.568	0,9568	205.707.407,77	1	51.940.000	619.800.000	
	131	393	1.011	1.213	0,1213	26.086.805,83	1	51.410.000	78.600.000	
	83	249	641	769	0,0769	16.528.281,55	1	50.880.000	49.800.000	

Fuente: Elaboración Propia

Siendo:

**Volumen de Lodo producido:** Es la cantidad de lodo que producen las 33 PTAS mensualmente.

**Volumen de Lodo a Tratar:** Es la cantidad de lodo que se deberá tratar en las PTL, el proceso de tratamiento de lodo dura 2 meses y medio, con factor de seguridad de 2 semanas.

**Superficie de galpón a construir:** Se obtiene de la relación que existe en la única PTL construida, Lodo producido: 824 TON - Superficie Galpón PTL: 2544 m2 [13]

**Costo de terreno:** Se obtiene del costo promedio de compra de terrenos para Planta de Tratamiento de Aguas Servidas en la Octava Región, 1 UF por m2.

**Factor de descuento:** Es el descuento que se obtiene al comprar un equipo volteador de lodo adicional.

**Costo de Construcción:** Se obtiene de la relación que significa construir infraestructura para tratar 1m3 cuesta \$200.000. [13]

**Costo de Instalar:** Se obtiene de la suma de costo del terreno, maquinaria y costo en construcción.

### 7.2.4.1 Selección de Alternativa Mediante Costo Actual Neto

Para verificar si la alternativa obtenida gráficamente es viable para todo el ciclo del proyecto se trabajará con el cálculo del CAN para todas las opciones de construcción de plantas donde:

$$CAN = I_0 + \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1 + Td)^i}$$

Donde:

Io: Inversión o costo de instalar las PTL.

Ci: Costo anual de Operación y Transporte.

n: Periodo de 13 años.

Td: Tasa de descuento utilizada en proyectos de Essbio (15%).

Los costos de transporte de lodos y operación de las Plantas de Tratamiento de Lodos se relacionan directamente con la producción de lodo. Cabe mencionar que el crecimiento demográfico tiene una directa relación con la producción de lodo en de cada localidad. El aumento anual de clientes conectados al alcantarillado de cada localidad y su proyección se adjunta en Anexo N°2.

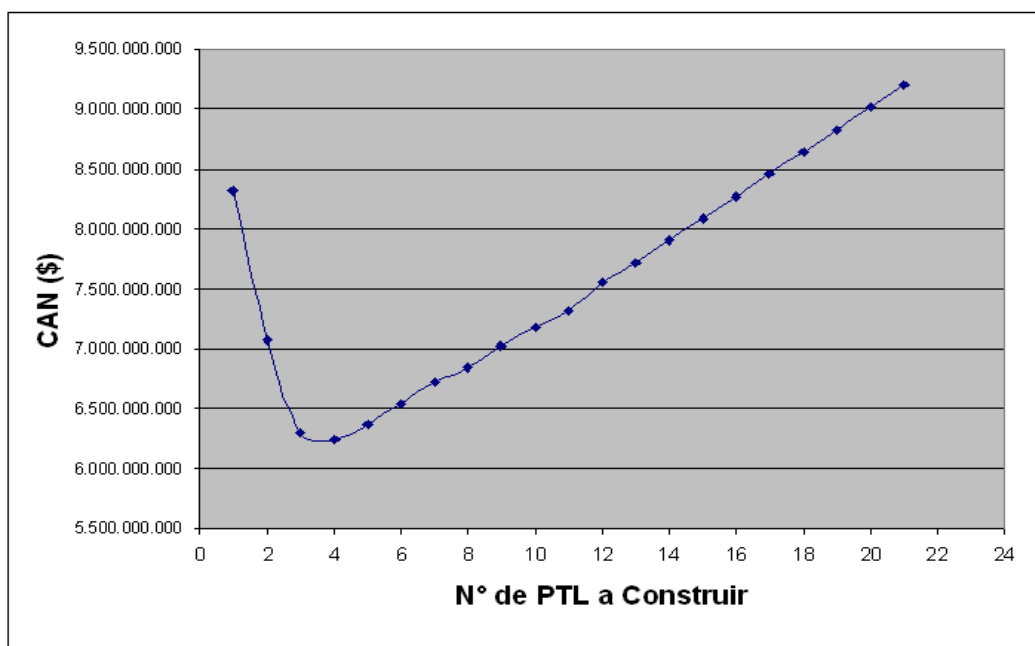
A continuación en Tabla N°14 se presenta el resultado del CAN para las primeras diez alternativas, las restantes se adjuntan en Anexo N° 11.

Tabla N°14 Resumen de Costo Actual Neto

N° de PTL a Construir	CAN (\$)
1	8.321.481.085
2	7.067.129.399
3	6.293.522.318
4	6.240.879.362
5	6.370.713.571
6	6.540.445.243
7	6.715.697.941
8	6.841.051.445
9	7.022.340.775
10	7.182.233.759

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N°2 Resumen de Costo Actual Neto de alternativas



Fuente: Elaboración Propia

Del gráfico anterior se observa que el menor CAN se obtiene cuando la solución es construir cuatro Plantas de Tratamiento de Lodos y ubicarlas en las localidades de Cabrero, Chillán Viejo, Hualqui y Los Álamos.

### 7.2.5 Implementación de Solución

De lo observado en los puntos anteriores, la mejor solución a implementar en la empresa ESSBIO, de modo de minimizar los costos de transporte de lodos es la construcción de tres plantas ubicadas según se muestra en Tabla N°15.

Tabla N°15 Plantas de Tratamiento de Lodos por Provincia

Provincia	Localidad
Arauco	Los Álamos
Bío Bío	Cabrero
Concepción	Hualqui
Ñuble	Chillán Viejo

Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado.

### 7.2.5.1 Detalle Transporte Origen Destino

El detalle de las localidades que aportan a las nuevas PTL y sus cantidades enviadas para el respectivo tratamiento se presentan en la siguiente Tabla N°16.

Tabla N°16 Detalle Transporte de Origen Destino

<b>PLANTAS DE TRATAMIENTO DE LODOS</b>								
		<b>Cabrero</b>	<b>Chillan Viejo</b>	<b>Hualqui</b>		<b>Los Alamos</b>		
<b>P T A S</b>	<b>Cabrero</b>	69	<b>Bulnes</b>	41	<b>Arauco</b>	18	<b>Cañete</b>	40
	<b>Huepil</b>	10	<b>Chillan</b>	824	<b>Concepción</b>	891	<b>Contulmo</b>	6
	<b>Los Angeles</b>	667	<b>Cobquecura</b>	20	<b>Dichato</b>	33	<b>Los Alamos</b>	85
	<b>Monteaguila</b>	31	<b>Coelemu</b>	42	<b>Hualqui</b>	75		
	<b>Mulchen</b>	10	<b>Coihueco</b>	28	<b>Santa Juana</b>	16		
	<b>Nacimiento</b>	19	<b>Ñipas</b>	16				
	<b>Quilaco</b>	5	<b>Pemuco</b>	6				
	<b>Quilleco</b>	7	<b>Pinto</b>	3				
	<b>Laja</b>	3	<b>Quillon</b>	3				
	<b>Santa Barbara</b>	11	<b>Quirihue</b>	20				
	<b>Yumbel</b>	58	<b>San Carlos</b>	12				
	<b>Yungay</b>	5	<b>San Ignacio</b>	24				
			<b>Santa Clara</b>	3				
			<b>895</b>	<b>1042</b>	<b>1033</b>	<b>131</b>		

Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado.

La Cantidad de lodo que se obtiene luego del tratamiento en las nuevas plantas y que se debe enviar para su disposición final en los Rellenos Sanitarios, de acuerdo a lo entregado por el modelo, se muestra en Tabla N°17.

Tabla N°17 Detalle Transporte de Origen Destino

<b>PTL</b>	<b>RELLENO SANITARIO</b>		
	<b>Copiulemu</b>	<b>Ecobio</b>	<b>Laguna Verde</b>
<b>Cabrero</b>	0	0	537
<b>Chillán Viejo</b>	0	625,2	0
<b>Hualqui</b>	619,8	0	0
<b>Los Alamos</b>	78,6	0	0
	<b>698,4</b>	<b>625,2</b>	<b>537</b>

Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado.

### 7.2.5.2 Visualización de Recursos

En este punto se cuantificará la cantidad de camiones necesarios para transportar los lodos a las PTL seleccionadas, de modo de visualizar la posibilidad real de implementación de la propuesta que se realiza en este trabajo. En Tabla N° 18 se muestra la cantidad de lodo a transportar desde cada PTAS a cada PTL y el número de camiones a utilizar, que se obtiene del cociente de Lodo a transportar y la capacidad de los camiones que se utilizan normalmente para realizar esta faena (10 Ton). A modo de explicación de la lógica utilizada para la conformación de la tabla siguiente, se toma como ejemplo la PTAS de Los Angeles, desde la cual se deberá transportar mensualmente 667 Toneladas de lodo hacia la PTL ubicada en Cabrero, el cociente antes mencionado sería entonces;  $667 \text{ (Ton)} / 10 \text{ (Ton/Camión)} = 66,7$  camiones, por lo tanto se requerirá mensualmente para la PTAS de Los Angeles la participación de 67 camiones, de los cuales 66 se utilizarán a máxima capacidad (sumando 660 Ton) y uno transportará las 7 Toneladas restantes.

Tabla N°18 Cantidad de Camiones Necesarios

PLANTAS DE TRATAMIENTO DE LODOS							
Cabrero				Chillan Viejo			
PTAS	Lodo a Transportar (Ton)	Lodo a Transportar (Ton) / Capacidad Camión (10 Ton)	N° Camiones Requeridos	PTAS	Lodo a Transportar (Ton)	Lodo a Transportar (Ton) / Capacidad Camión (10 Ton)	N° Camiones Requeridos
Cabrero	69	6,9	7	Bulnes	41	4,1	5
Huepil	10	1	1	Chillan	824	82,4	83
Los Angeles	667	66,7	67	Cobquecura	20	2	2
Monteaguila	31	3,1	4	Coelemu	42	4,2	5
Mulchen	10	1	1	Coihueco	28	2,8	3
Nacimiento	19	1,9	2	Ñipas	16	1,6	2
Quilaco	5	0,5	1	Pemuco	6	0,6	1
Quilleco	7	0,7	1	Pinto	3	0,3	1
Laja	3	0,3	1	Quillon	3	0,3	1
Santa Barbara	11	1,1	2	Quirihue	20	2	2
Yumbel	58	5,8	6	San Carlos	12	1,2	2
Yungay	5	0,5	1	San Ignacio	24	2,4	3
				Santa Clara	3	0,3	1
	895		94		1042		111
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE LODOS							
Hualqui				Los Alamos			
PTAS	Lodo a Transportar (Ton)	Lodo a Transportar (Ton) / Capacidad Camión (10 Ton)	N° Camiones Requeridos	PTAS	Lodo a Transportar (Ton)	Lodo a Transportar (Ton) / Capacidad Camión (10 Ton)	N° Camiones Requeridos
Arauco	18	1,8	2	Cañete	40	4	4
Concepción	891	89,1	90	Contulmo	6	0,6	1
Dichato	33	3,3	4	Los Alamos	85	8,5	9
Hualqui	75	7,5	8				
Santa Juana	16	1,6	2				
	1033		106		131		14

Fuente: Elaboración Propia



Para verificar la posibilidad de implementación, es necesario tener en cuenta que actualmente, el tiempo promedio que demora la faena de extraer los lodos almacenados en containers en las Planta de Tratamiento de Aguas Servidas es de 45 minutos por camión con capacidad máxima de 10 toneladas, por lo que si se dispone un turno de 8 horas para retirar los lodos (turnos actuales de los operadores de Essbio), 8 serían los camiones que podrían realizar esta labor diariamente en cada PTAS, dejando un lapso de 15 minutos entre retiro de un camión e ingreso del siguiente.

De lo observado en la tabla N°18 se analizará la PTAS que aporta la mayor cantidad de lodo a su PTL destino, además de cuantificar la capacidad de recepción de cada una de las PTL ubicadas en Cabrero, Chillán Viejo, Hualqui y Los Álamos.

PTL Cabrero:

A esta planta ubicada en Cabrero la mayor cantidad de lodo que recibe es de la PTAS de Los Ángeles con 667 toneladas mensuales, por tanto, para extraer el lodo de Los Ángeles transitarán mensualmente por dicha planta 67 camiones, lo que se traduce una cantidad diaria de  $(67/30 = 2,3)$  3 camiones.

En relación a la capacidad de recepción de la PTL Cabrero, serían 895 toneladas mensuales, recibiendo 94 camiones mensuales, con un promedio diario de  $(94/30 = 3,13)$  4 camiones recibidos.

PTL Chillán Viejo:

A esta planta ubicada en Chillán Viejo la mayor cantidad de lodo recibido proviene de la PTAS de Chillán con 824 toneladas mensuales, por tanto, para extraer el lodo de Chillán transitarán mensualmente por dicha planta 83 camiones, lo que se traduce una cantidad diaria de  $(83/30 = 2,7)$  3 camiones.

En relación a la capacidad de recepción de la PTL Chillán Viejo, serían 1042 toneladas mensuales, recibiendo 111 camiones al mes, con un promedio diario de  $(111/30 = 3,7)$  4 camiones recibidos.

PTL Hualqui:

A esta planta ubicada en Hualqui la mayor cantidad de lodo recibido proviene de la PTAS de Concepción con 891 Toneladas mensuales, por tanto, para extraer el lodo de Concepción transitarán mensualmente por dicha planta 90 camiones, lo que se traduce una cantidad diaria de 3 camiones.

En relación a la capacidad de recepción de la PTL Hualqui, serían 1033 toneladas mensuales, recibiendo 106 camiones al mes, con un promedio diario de  $(106/30 = 3,53)$  4 camiones recibidos.

PTL Los Álamos:

A esta planta ubicada en la comuna de Los Álamos la mayor cantidad de lodo recibido proviene de la PTAS de la misma localidad con 85 Toneladas mensuales, por tanto, para extraer el lodo de Los Álamos transitarán mensualmente por dicha planta sólo 9 camiones.

En relación a la capacidad de recepción de la PTL Los Álamos, serían 131 toneladas mensuales, recibiendo sólo 14 camiones al mes.

En los párrafos anteriores se analizó la factibilidad de retiro de los lodos de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas y la capacidad de recepción de las nuevas PTL a construir. De lo observado se desprende que no habría inconveniente para realizar la implementación de la solución propuesta, ya que la capacidad de retiro del lodo de las PTAS y recepción de las PTL están por sobre lo propuesto por el modelo. Ahora, si en el futuro la cantidad de lodos aumentara por sobre la proyección realizada para cada una de las PTAS, se podría enfrentar este problema trabajando con camiones de mayor tonelaje o aumentando el turno de los operadores de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas.

### 7.2.5.3 Capacidad de Rellenos Sanitarios

En este punto se evalúa la factibilidad de implementar esta solución analizando si la cantidad de lodo tratado que se enviará a los rellenos sanitarios está dentro de la posibilidad de ser recibidos por estos recintos de tratamiento de residuos. A continuación en la Tabla N°19 se presenta las cantidades de lodos provenientes de las PTL y que serán enviados a los Rellenos Sanitarios.

Tabla N°19 Cantidad de Lodo Recibida por los Rellenos Sanitarios

PTL	RELLENO SANITARIO		
	Copiulemu	Ecobio	Laguna Verde
Cabrero	0	0	537
Chillán Viejo	0	625,2	0
Hualqui	619,8	0	0
Los Alamos	78,6	0	0
	<b>698,4</b>	<b>625,2</b>	<b>537</b>

Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado.

A continuación en Tabla N°20 se presenta la capacidad de tratamiento que tiene cada uno de los Rellenos Sanitarios dispuestos en la Octava Región.

Tabla N°20 Capacidad de los Rellenos Sanitarios

Relleno Sanitario	Capacidad máxima de tratamiento (Ton/mes)
Copiulemu	4.216
Laguna Verde	6.200
Ecobio	2.945
	<b>13.361</b>

Fuente: SISS, Región del Bio Bio información a noviembre 2008.

Realizando una simple comparación, se puede observar que no existe inconveniente en la capacidad de recepción de los Rellenos Sanitarios.

### **7.3 Análisis de Sensibilidad**

Para verificar la robustez del modelo y de la solución propuesta, en el presente punto se realiza un análisis de sensibilidad a las cantidades de lodos producidos, los cuales afectan directamente sobre los costos de transporte, operación e instalación del modelo.

Como se mencionó anteriormente, el parámetro a sensibilizar será la cantidad de lodos producido por las 33 plantas de tratamiento de aguas servidas dispuestas en la octava región, realizando una modificación de esta cantidad desde un 50% de reducción hasta el aumento de un 200% de su producción mensual, asegurando de esta manera una posible variación en la producción de lodos en las plantas de Essbio y cómo afecta el indicador CAN de cada alternativa, indicador que fue explicado en el punto 7.2.4.1. Cabe mencionar que la empresa tiene proyectado un aumento de a lo más de un 24% al 2021, porcentaje que está por debajo de la sensibilización realizada en este punto, que abarca hasta el 100% de la producción total.

A continuación se presenta el resultado de los costos de operación anual y costo de realizar la instalación de las plantas de tratamiento de lodos para los porcentajes mencionados anteriormente, los costos involucrados y que se ven afectados por la cantidad de lodo producido fueron desglosados y justificados en los puntos 7.2.2 y 7.2.4.

### 7.3.1 Sensibilización para un 50 % de reducción en la producción de lodo

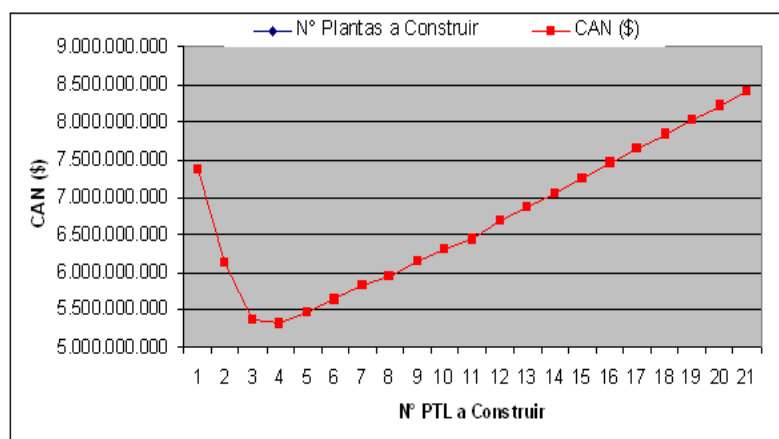
El resultado y comportamiento gráfico de estos costos se presenta en Tabla N° 21 y Gráfico N°3, donde se ve reflejado que la solución inicial propuesta en punto 7.2.4.1 (construir 4 PTL) no se ve modificada al disminuir la producción de lodo a la mitad mensualmente. Cabe mencionar que esta disminución es muy poco probable que ocurra en la realidad, ya que el nivel de producción tiene estrecha relación con la cantidad de habitantes de una localidad y una disminución de la mitad de los habitantes de una localidad es muy poco probable.

Tabla N° 21 Sensibilización reducción producción de lodo al 50%

N° Plantas a Construir	Costo Instalación (\$)	Costo Operación anual (\$)	CAN (\$)
1	1.600.820.495	3.498.931	7.377.566.101
2	1.643.987.495	6.176.374	6.131.155.916
3	1.686.624.495	8.533.818	5.365.490.337
<b>4</b>	<b>1.728.731.495</b>	<b>10.571.261</b>	<b>5.320.788.882</b>
5	1.770.308.495	12.608.704	5.458.564.593
6	1.811.355.495	14.646.147	5.636.237.766
7	1.851.872.495	16.683.590	5.819.431.966
8	1.892.177.495	18.081.033	5.952.726.972
9	1.931.634.495	20.118.476	6.141.957.803
10	1.970.561.495	21.835.919	6.309.792.289
11	1.953.752.320	23.873.363	6.448.084.572
12	2.046.825.495	25.910.806	6.696.354.117
13	2.084.162.495	27.628.249	6.865.464.933
14	2.120.503.095	29.665.692	7.059.126.756
15	2.155.857.895	31.703.135	7.252.176.968
16	2.191.604.895	33.740.578	7.446.168.284
17	2.226.821.895	35.778.021	7.639.710.198
18	2.261.508.895	37.815.464	7.832.762.575
19	2.295.665.895	39.852.908	8.025.561.933
20	2.329.292.895	41.890.351	8.217.841.438
21	2.362.389.895	43.927.794	8.409.918.221

Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado.

Gráfico N°3 Costo Actual Neto con reducción producción de lodo al 50%



Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado.

### 7.3.2 Sensibilización para un 25 % de aumento en la producción de lodo

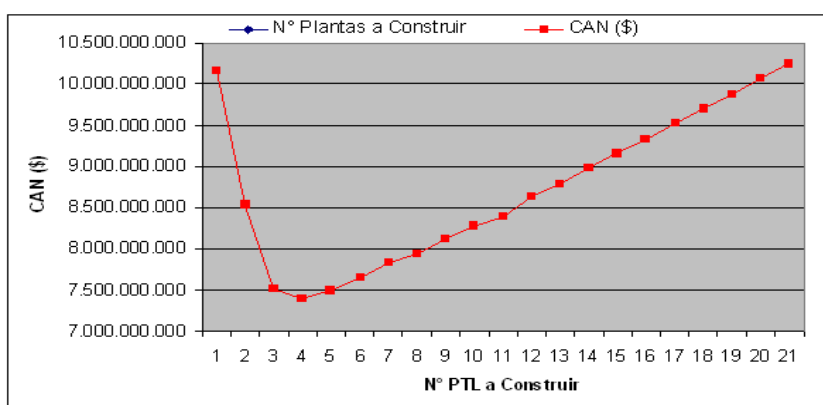
El resultado de estos costos se presenta en Tabla N° 22 y Gráfico N°4, donde se ve reflejado que la solución inicial propuesta en punto 7.2.4.1 (construir 4 PTL) no se ve modificada al aumentar la producción de lodo en un 25% mensualmente. Cabe mencionar que este aumento supera la proyección de producción de lodo que tiene la empresa para el 2021 (23,74%), por lo que la solución inicial sigue siendo viable para esta condición.

Tabla N° 22 Sensibilización aumento producción de lodo al 25%

N° Plantas a Construir	Costo Instalación (\$)	Costo Operación anual (\$)	CAN (\$)
1	2.996.270.495	3.760.578	10.169.348.948
2	3.025.482.995	6.464.186	8.536.386.207
3	3.054.165.495	8.847.794	7.510.731.009
<b>4</b>	<b>3.082.317.995</b>	<b>10.911.402</b>	<b>7.392.657.754</b>
5	3.109.940.495	12.975.009	7.502.813.455
6	3.137.032.995	15.038.617	7.662.973.485
7	3.163.595.495	17.102.225	7.830.167.298
8	3.189.945.995	18.525.833	7.947.528.692
9	3.215.448.495	20.589.441	8.122.533.294
10	3.240.420.995	22.333.048	8.277.169.252
11	3.203.177.320	24.396.656	8.396.087.212
12	3.288.775.995	26.460.264	8.637.966.162
13	3.312.158.495	28.203.872	8.794.595.033
14	3.334.544.595	30.267.480	8.975.917.475
15	3.355.944.895	32.331.088	9.156.721.853
16	3.377.737.395	34.394.695	9.338.604.561
17	3.398.999.895	36.458.303	9.520.058.017
18	3.419.732.395	38.521.911	9.701.032.051
19	3.439.934.895	40.585.519	9.881.822.311
20	3.459.607.395	42.649.127	10.062.095.256
21	3.478.749.895	44.712.734	10.242.247.298

Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado.

Gráfico N°4 Costo Actual Neto con reducción aumento producción de lodo al 25%



Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado.

### 7.3.3 Sensibilización para un 50 % de aumento en la producción de lodo

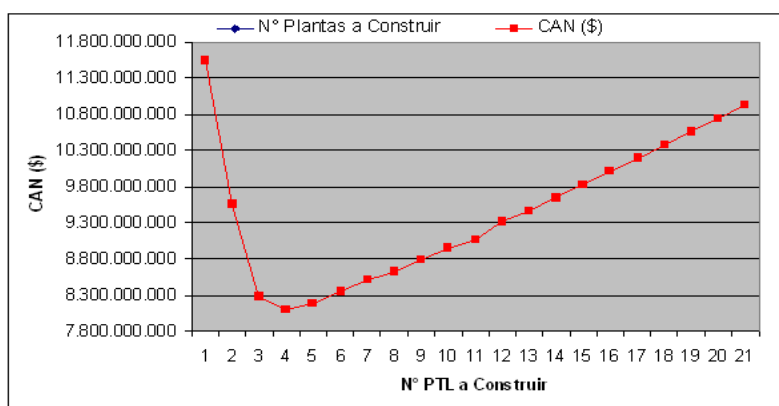
El resultado de estos costos se presenta en Tabla N° 23 y Gráfico N°5, donde se ve reflejado que la solución inicial propuesta en punto 7.2.4.1 (construir 4 PTL) no se ve modificada al aumentar la producción de lodo en un 50% mensualmente. Cabe mencionar que este aumento supera la proyección de producción de lodo que tiene la empresa para el 2021 prácticamente en un 100%, deduciendo entonces que la solución inicial sigue siendo viable para esta condición.

Tabla N° 23 Sensibilización aumento producción de lodo al 50%

N° Plantas a Construir	Costo Instalación (\$)	Costo Operación anual (\$)	CAN (\$)
1	2.996.270.495	3.847.794	11.552.066.810
2	3.025.482.995	6.560.123	9.545.144.515
3	3.054.165.495	8.952.453	8.272.092.700
<b>4</b>	<b>3.082.317.995</b>	<b>11.024.782</b>	<b>8.093.240.646</b>
5	3.109.940.495	13.097.111	8.188.369.339
6	3.137.032.995	15.169.441	8.343.609.228
7	3.163.595.495	17.241.770	8.507.395.656
8	3.189.945.995	18.674.099	8.621.416.439
9	3.215.448.495	20.746.429	8.794.787.814
10	3.240.420.995	22.498.758	8.948.818.244
11	3.203.177.320	24.571.088	9.067.434.883
12	3.288.775.995	26.643.417	9.309.036.241
13	3.312.158.495	28.395.746	9.465.776.168
14	3.334.544.595	30.468.076	9.647.352.230
15	3.355.944.895	32.540.405	9.828.503.776
16	3.377.737.395	34.612.734	10.010.870.877
17	3.398.999.895	36.685.064	10.192.828.876
18	3.419.732.395	38.757.393	10.374.317.569
19	3.439.934.895	40.829.723	10.555.691.734
20	3.459.607.395	42.902.052	10.736.551.119
21	3.478.749.895	44.974.381	10.917.371.423

Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado.

Gráfico N°5 Costo Actual Neto con aumento producción de lodo al 50%



Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado.

### 7.3.4 Sensibilización para un 75 % de aumento en la producción de lodo

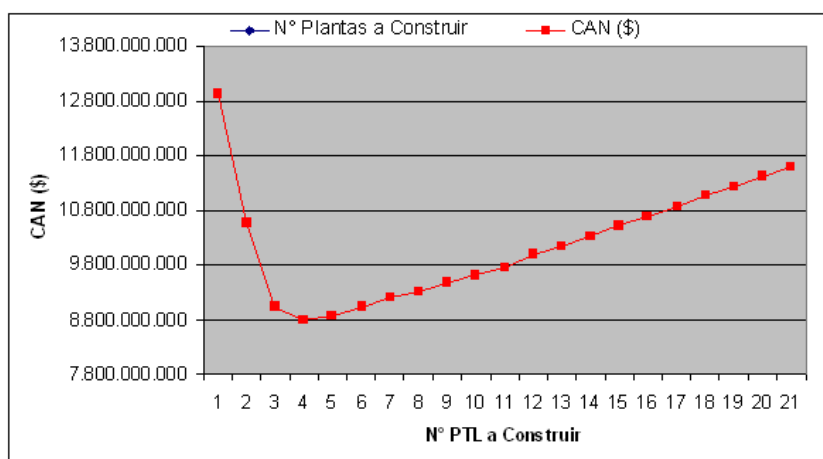
El resultado de estos costos se presenta en Tabla N° 24 y Gráfico N°6, donde se ve reflejado que la solución inicial propuesta en punto 7.2.4.1 (construir 4 PTL) no se ve modificada al aumentar la producción de lodo en un 75% mensualmente, deduciendo entonces que la solución inicial sigue siendo viable para esta condición.

Tabla N° 24 Sensibilización aumento producción de lodo al 75%

N° Plantas a Construir	Costo Instalación (\$)	Costo Operación anual (\$)	CAN (\$)
1	3.926.570.495	3.935.009	12.934.784.673
2	3.946.479.995	6.656.060	10.553.902.822
3	3.965.859.495	9.057.111	9.033.454.391
<b>4</b>	<b>3.984.708.995</b>	<b>11.138.162</b>	<b>8.793.823.538</b>
5	4.003.028.495	13.219.213	8.873.925.224
6	4.020.817.995	15.300.264	9.024.244.971
7	4.038.077.495	17.381.315	9.184.624.013
8	4.055.124.995	18.822.366	9.295.304.185
9	4.071.324.495	20.903.417	9.467.042.334
10	4.086.993.995	22.664.468	9.620.467.237
11	4.036.127.320	24.745.519	9.738.782.555
12	4.116.742.995	26.826.570	9.980.106.320
13	4.130.822.495	28.587.621	10.136.957.302
14	4.143.905.595	30.668.672	10.318.786.985
15	4.156.002.895	32.749.723	10.500.285.698
16	4.168.492.395	34.830.773	10.683.137.194
17	4.180.451.895	36.911.824	10.865.599.736
18	4.191.881.395	38.992.875	11.047.603.088
19	4.202.780.895	41.073.926	11.229.561.157
20	4.213.150.395	43.154.977	11.411.006.983
21	4.222.989.895	45.236.028	11.592.495.547

Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado.

Gráfico N°6 Costo Actual Neto con aumento producción de lodo al 75%



Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado.



### 7.3.5 Sensibilización para un 100 % de aumento en la producción de lodo

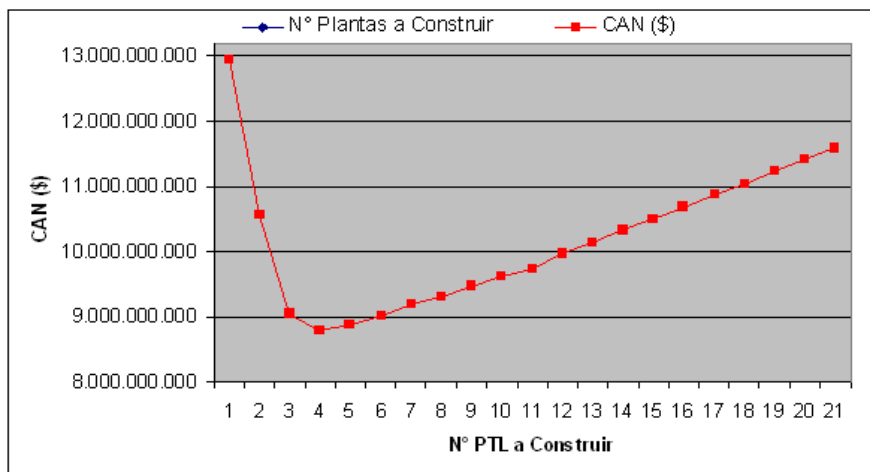
El resultado de estos costos se presenta en Tabla N° 25 y Gráfico N°7, donde se ve reflejado que la solución inicial propuesta en punto 7.2.4.1 (construir 4 PTL) no se ve modificada al aumentar la producción de lodo en un 100% mensualmente, deduciendo entonces que la solución inicial sigue siendo viable para esta condición.

Tabla N° 25 Sensibilización aumento producción de lodo al 100%

N° Plantas a Construir	Costo Instalación (\$)	Costo Operación anual (\$)	CAN (\$)
1	4.391.720.495	4.022.225	12.934.784.673
2	4.406.978.495	6.751.998	10.553.902.822
3	4.421.706.495	9.161.770	9.033.454.391
<b>4</b>	<b>4.435.904.495</b>	<b>11.251.543</b>	<b>8.793.823.538</b>
5	4.449.572.495	13.341.315	8.873.925.224
6	4.462.710.495	15.431.088	9.024.244.971
7	4.475.318.495	17.520.860	9.184.624.013
8	4.487.714.495	18.970.633	9.295.304.185
9	4.499.262.495	21.060.405	9.467.042.334
10	4.510.280.495	22.830.178	9.620.467.237
11	4.452.602.320	24.919.950	9.738.782.555
12	4.530.726.495	27.009.723	9.980.106.320
13	4.540.154.495	28.779.495	10.136.957.302
14	4.548.586.095	30.869.268	10.318.786.985
15	4.556.031.895	32.959.040	10.500.285.698
16	4.563.869.895	35.048.813	10.683.137.194
17	4.571.177.895	37.138.585	10.865.599.736
18	4.577.955.895	39.228.358	11.047.603.088
19	4.584.203.895	41.318.130	11.229.561.157
20	4.589.921.895	43.407.903	11.411.006.983
21	4.595.109.895	45.497.675	11.592.495.547

Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado.

Gráfico N°7 Costo Actual Neto con aumento producción de lodo al 100%



Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado.

## 7.4 Conclusión

Toda organización busca encontrar la mejor forma de llevar a delante su negocio, de manera de ser más eficientes y respetuosos con el medio ambiente, especialmente las empresas que tienen una directa relación con la calidad de vida de quienes componen su entorno. Es en este contexto que la empresa Essbio ve la necesidad de realizar un análisis de la situación del manejo de los lodos ya que prontamente se verá obligado a cumplir con una nueva normativa.

De la situación actual de Essbio y sus lodos, se puede mencionar que la infraestructura sanitaria que hoy los produce está repartida en 33 comunas de la octava región con una producción de lodo superior a las 37.000 toneladas anuales, lo que significa que dicho volumen se traslada a rellenos sanitarios en algunos casos sin ningún tratamiento previo, concentrando altos contenidos de humedad, imposibilitándolos para realizar con ellos una aplicación benéfica en suelos degradados.

Para enfrentar el problema de localización de Plantas de Tratamiento de Lodos de la empresa Essbio en la VIII región, se utilizó una modificación del modelo de transporte clásico, utilizando la estructura de en un problema de programación lineal entera mixta, considerando 33 puntos de oferta (PTAS), 30 puntos de tratamiento intermedios (PTL) y 3 puntos de disposición final (RS), que se abordó mediante la herramienta GAMS, cuya alternativa de resolución vía servidor permite resolver problemas de gran magnitud a diferencia de otras alternativas de software como WinQsb o Solver de Excel.

De la resolución del modelo y análisis de alternativas se puede concluir que al implementar la construcción de las 4 Plantas de Tratamiento de Lodos en las localidades de Cabrero, Chillán Viejo, Hualqui y Los Alamos, la empresa obtendrá un eficiente manejo de la logística de traslado y tratamiento del lodo generando un ahorro en el CAN de \$ 129.834.209 y \$52.642.956 con respecto de las alternativas de construir 3 o 5 Plantas, cumpliendo de esta manera las exigencias que impone el nuevo Reglamento de Lodos que pronto será obligatorio para todas

las empresas que trabajen con este tipo de residuos. Es en este contexto, que producto de la realización de este trabajo, la empresa tiene una base de información para tomar decisiones a corto y mediano plazo en lo relacionado con el plan de manejo de lodos que deberá implementar, ya sea efectuando las inversiones que den soporte a lo plasmado en este trabajo o tomando otras alternativas de solución.

El análisis de sensibilidad realizado en base a la producción de lodo consideró en primera instancia una reducción del 50% de la producción mensual en todas las instalaciones, para posteriormente realizar el análisis para un aumento sobre la producción real de 25, 50, 75 y 100%. Este análisis resultó favorable para la solución inicial propuesta por el modelo, ya que no modifica la alternativa de construir cuatro Plantas de Tratamiento de Lodos en las localidades antes mencionadas.

En relación a los plazos de implementación de la alternativa de solución propuesta en este trabajo, según el nuevo reglamento de lodos, la empresa debe estar cumpliendo con todo lo que indica dicho reglamento a más tardar un año después de la entrada en vigencia dicho documento, con un plazo de 6 meses para presentar el proyecto de ingeniería. Cabe mencionar que el nuevo reglamento se encuentra en revisión final en la Contraloría General de la Republica.

### **Cumplimiento de Objetivos**

Del objetivo principal, “Definir un modelo de apoyo al proceso de toma de decisiones de manera de entregar una herramienta a la Gerencia de Essbio en base a las condiciones actuales y los requerimientos que impone el nuevo reglamento para el proceso de gestión de sólidos en la compañía”. Se concluye que se cumple íntegramente, ya que con la metodología y resultados de este trabajo permite orientar a la Gerencia en la futura toma de decisiones tanto en la Octava Región como en las otras dos regiones donde la compañía opera prestando el servicio de producción, recolección y tratamiento de aguas.

De los objetivos secundarios; “Conocer la situación actual de la gestión de sólidos de Essbio en la Octava Región”, se concluye que se cumple satisfactoriamente, ya que este trabajo permite visualizar la situación actual de la operación relacionada a la gestión de sólidos en la empresa.

Del segundo objetivo secundario “Proponer una metodología que permita abordar el problema que enfrenta la empresa”, se concluye su pleno cumplimiento, ya que en base la construcción de un modelo de programación lineal entera mixta se define el sistema que se quiere representar.

Del tercer objetivo secundario “Proponer una herramienta computacional que permita entregar una solución al problema planteado, minimizando los costos totales de transporte”, se puede concluir que se cumple satisfactoriamente, ya que para resolver el problema de localización de las nuevas plantas de tratamiento de lodos se utiliza la herramienta computacional GAMS.

Y del cuarto objetivo secundario “Proponer localización de Plantas de Tratamiento de Lodos de modo de minimizar los costos de transporte”, se concluye que también es un objetivo logrado, ya que el presente trabajo propone fundadamente la construcción de 4 Plantas de Tratamiento de Lodos en las localidades de Cabrero, Chillán Viejo, Hualqui y Los Alamos.

## Bibliografía

1. AGUAS NUEVO SUR MAULE S.A., 2008. Memoria Anual.
2. BROOKE, A., KENDRICK, D., MEERAUS, A., RAMAN, R. 1998. GAMS a User's Guide. USA, GAMS Development Corporation.
3. CHILE, Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la Republica. D.S. 123: Reglamento para el manejo de Lodos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas, 30 agosto 2006.
4. DASKIN, MARK S. 1995 Network and Discrete Location, Models, Algorithms and Applications USA, John Wiley & Sons, Inc. 496p.
5. DE LA FUENTE, L. 2005. Estudio Mejoramiento de Gestión del Departamento de Mantención Essbio S.A. Memoria de Ingeniero de Ejecución en Administración. Concepción, Chile, Universidad del Bio Bio.
6. ESSBIO <[www.essbio.cl](http://www.essbio.cl)> [consulta 25 noviembre 2008]
7. ESSBIO S.A., 2007. Memoria Anual.
8. ESSBIO S.A., 2007. Transporte y Retiro de Lodo de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas de la Octava Región, Contrato N°4331.
9. ESSBIO S.A., 2008. Memoria Anual.
10. GALLARDO, V. 2006. Evaluación del impacto ambiental y económico de la aplicación del reglamento de manejo de lodos en plantas de tratamiento de aguas servidas Tesis de Ingeniero Civil. Santiago, Chile, Universidad de Chile.
11. GAMS Development Corporation < [www.gams.com](http://www.gams.com) > [consulta: 25 marzo 2008, 30 mayo 2008, 15 septiembre 2008, 25 noviembre 2008, 5 febrero 2009]
12. KNIGHT PIÉSOLD S.A., 1998. Informe final Caracterización, Reutilización, Tratamiento y Disposición final de lodos provenientes de tratamiento, para la elaboración de una propuesta de normas técnicas de manejo. CONAMA. CHILE.
13. LEPPE, A.I., MÉNDEZ, A.J. y RIVAS, J.A. 2005 Tratamiento de Lodos Mediante Energía Solar Pasiva: Ensayos Preliminares. II SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE LODOS Y BIOSOLIDOS, AIDIS. Viña del Mar, Chile.
14. MELÉNDEZ, D. 2004. Optimización de transporte en el programa alimentario PRONAA. Tesis Ingeniero Industrial Lima, Perú, Universidad Nacional Mayor de San Marcos
15. MENDEZ, J. 2006. Tratamiento de lodos mediante Energía Solar Pasiva. Tesis de Ingeniero Civil. Concepción, Chile, Universidad de Concepción.

16. METCALF & EDDY 1995. Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. 3° ed. España, Mc Graw Hill. Vol. 2.
17. MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS, DIRECCION DE VIALIDAD  
<<http://www.vialidad.gov.cl/Distancias/Distancias.asp?Regiones=16>> [consulta: 25 octubre 2008, 28 enero 2009]
18. NEOS SERVER FOR OPTIMIZATION  
<<http://neos.mcs.anl.gov/neos/solvers/index.html>> [20 septiembre 2008, 30 noviembre 2008, 10 febrero 2009]
19. SALA, R. 2001 Modelización y Optimización, Universidad de Valencia, Valencia, España.
20. SELMAN, V., CORDERO, J., LARRAIN, P. SALAS, R., 2006. La Modernización del Sector Sanitario en Chile, Santiago, Chile. SEP-Sistemas de Empresas.
21. SISS, 2007. Informe de Gestión Sector Sanitarios 2007.
22. SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS <<http://www.siss.cl/article-4459.html>> [25 junio 2008]
23. SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS <<http://www.siss.cl/article-4460.html>> [25 junio 2008]
24. [SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS <http://www.siss.cl/article-3681.html>](http://www.siss.cl/article-3681.html) [25 junio 2008]
25. SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS < [www.siss.cl](http://www.siss.cl) > [consulta: 22 octubre, 23 diciembre 2008]
26. SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS  
<<http://www.siss.cl/propertyvalue-1820.html>> [10 septiembre 2008]
27. THAMES WATER CO. 2003. Curso de Capacitación: Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Servidas. ESSBIO S.A. Chile.

## ANEXOS

### ANEXO 1: COSTOS TRANSPORTE EN PESOS POR TONELADA DE LODO

	Arauco	Bulnes	Cabrero	Canete	Chillan	Chill Vie	Coihueco	Curanila	El Carmen	Florida	Hualqui	Laja	Lebu	Los Alamo	Los Angel
Arauco	8.869	51.278	47.408	24.510	59.340	59.018	69.660	12.255	61.598	37.088	29.993	48.698	20.318	17.738	62.243
Bulnes	51.278	2.741	13.223	72.885	9.030	7.740	18.060	59.995	12.900	15.480	28.380	28.380	70.628	65.790	28.703
Cabrero	47.408	13.223	1.613	69.015	20.318	19.673	30.315	69.338	22.898	24.833	33.218	17.415	67.080	62.243	18.060
Canete	24.510	72.885	69.015	4.676	80.948	80.625	90.945	15.158	82.238	57.405	51.600	59.018	18.060	9.353	83.205
Chillan	59.340	9.030	20.318	80.948	3.548	1.290	10.643	61.920	13.545	21.608	42.893	35.475	79.013	74.175	36.120
Cobquecur	62.888	37.733	49.988	84.495	32.895	33.218	39.668	70.305	46.440	48.375	48.698	65.145	82.238	77.723	65.790
Coilemu	43.215	33.540	31.805	64.500	23.543	22.898	33.540	49.020	36.120	27.090	24.188	46.763	62.243	57.728	47.085
Coihueco	69.660	18.060	30.315	90.945	10.643	11.610	2.096	70.628	21.930	29.993	48.375	45.473	89.010	84.173	46.118
Concepcio	22.575	29.348	25.800	44.183	37.733	37.410	47.730	30.315	38.700	14.513	7.418	26.445	41.925	37.410	43.215
Contulmo	35.798	68.693	58.050	11.610	75.788	75.465	86.108	26.768	78.690	69.338	62.888	48.053	29.670	20.963	41.603
Dichato	35.798	43.538	39.990	58.373	40.958	31.283	41.925	42.570	40.313	24.833	21.608	40.313	55.148	50.633	51.923
Hualqui	29.993	28.380	33.218	51.600	42.893	37.733	48.375	37.410	46.440	22.253	3.709	33.863	49.665	44.828	50.633
Huepil	62.888	26.445	15.803	69.983	33.863	33.218	43.860	76.433	17.093	38.378	33.863	27.080	82.238	77.400	17.415
Los Alamo	17.738	65.790	62.243	9.353	74.175	73.853	84.173	9.353	76.433	51.923	44.828	63.533	8.708	4.676	77.723
Los Angel	62.243	28.703	18.060	83.205	36.120	35.798	46.118	59.018	39.023	40.635	50.633	15.480	65.790	77.723	5.160
Monteaq	48.375	16.448	3.225	69.338	23.543	22.898	39.668	72.563	26.123	28.058	36.443	15.158	31.605	63.210	21.285
Mulchen	50.955	39.668	29.025	52.568	46.763	46.440	56.760	70.628	48.053	49.988	56.760	24.510	70.305	61.920	10.320
Nacimient	35.153	37.410	26.768	47.085	44.505	44.183	54.503	47.730	47.408	49.020	40.958	11.933	54.503	49.665	10.320
Nipas	45.473	11.288	24.188	67.080	16.125	15.480	26.123	51.600	24.510	15.803	27.090	39.345	64.823	60.308	39.990
Pemuco	59.663	16.125	22.575	81.270	14.513	13.545	19.995	70.305	4.838	25.800	45.473	28.058	79.335	74.498	27.735
Pinto	67.403	16.125	28.058	88.688	7.095	9.030	4.193	69.983	21.285	29.348	52.890	43.215	86.753	82.238	43.860
Quilaco	59.663	43.860	33.218	60.308	50.955	50.633	61.275	72.885	51.600	53.213	65.790	28.703	79.013	74.498	14.513
Quilleco	59.340	36.120	25.478	65.468	46.118	42.893	53.213	71.918	27.090	48.053	58.050	28.380	78.690	74.175	12.900
Quillon	45.473	5.483	17.093	67.080	14.513	13.545	23.865	52.245	16.770	7.418	31.283	31.283	65.145	60.308	31.928
Quirihue	53.535	27.090	39.345	74.820	20.963	22.575	28.703	59.663	35.475	37.733	39.023	54.503	72.885	68.048	55.148
San Carlo	67.403	16.125	28.380	89.010	8.708	9.353	15.803	63.210	21.930	29.348	53.213	43.538	87.075	82.238	44.828
San Ignac	60.953	10.965	21.930	82.560	8.385	8.708	11.933	67.725	8.385	23.220	46.763	37.088	80.625	75.788	37.733
Laja	48.698	28.380	17.415	59.018	35.475	34.830	45.473	59.340	38.378	39.990	33.863	5.644	68.048	63.533	15.480
Sta Barba	58.695	42.893	31.928	61.275	46.440	49.343	59.985	71.595	50.310	52.245	64.500	27.735	78.045	73.208	13.223
Sta Clara	56.115	70.628	18.060	77.723	13.868	12.578	22.898	63.210	16.125	18.705	41.603	33.218	75.465	70.628	21.930
Sta Juana	39.345	46.118	42.570	39.668	54.180	53.858	64.500	30.638	55.470	31.283	24.188	29.670	37.733	32.895	29.348
Yumbel	44.505	18.383	6.128	66.113	25.478	25.155	35.798	58.695	28.703	30.315	14.513	11.288	63.855	59.340	19.350
Yungay	60.630	24.510	13.868	74.175	22.898	20.318	26.768	77.078	11.610	32.573	46.440	25.155	80.303	75.465	23.865

	Mulchen	Negrete	Ninhue	Pemuco	Quilleco	Quirihue	San Carlo	San Fabi	San Igna	San Nico	Sta Clara	Sta Juana	Tucapel	Yumbel	Yungay
Arauco	50.955	40.635	57.083	59.663	59.340	53.535	67.403	78.690	60.963	64.178	56.115	39.345	64.823	44.505	60.630
Bulnes	39.668	37.733	19.673	16.125	36.120	27.090	16.125	27.413	10.965	12.900	70.628	46.118	28.380	18.383	24.510
Cabrero	29.025	27.090	31.928	22.575	25.478	39.345	28.380	39.668	21.930	22.898	18.060	42.570	17.738	6.128	13.868
Canete	52.568	46.763	78.368	81.270	65.468	74.820	89.010	100.298	82.560	85.463	77.723	39.668	72.240	66.113	74.175
Chillan	46.763	44.828	14.190	14.513	46.118	20.963	8.708	19.995	8.385	7.418	13.868	54.180	35.798	25.478	22.898
Cobquecur	76.433	74.498	19.350	49.988	72.885	10.965	31.605	45.473	41.925	25.155	42.570	57.728	65.790	55.470	61.275
Coelemu	58.050	56.115	16.770	34.508	54.503	10.643	31.605	42.893	29.670	19.995	38.378	37.733	46.763	33.218	42.893
Coihueco	56.760	54.825	21.285	19.995	53.213	28.703	15.803	11.288	11.933	14.513	22.898	64.500	45.795	35.798	26.768
Concepcion	49.343	39.023	35.153	38.055	50.633	31.605	45.795	57.405	39.345	42.248	34.185	16.770	42.893	21.930	39.023
Contulmo	41.603	35.798	87.398	68.370	54.503	94.815	83.850	95.460	77.400	80.625	73.530	53.858	60.963	61.275	63.210
Dichato	62.565	52.890	29.670	46.440	59.018	25.800	49.020	50.955	39.990	31.605	31.928	30.638	51.278	33.540	47.408
Hualqui	56.760	44.828	38.378	45.473	58.050	39.023	53.213	57.405	46.763	42.893	41.603	24.188	35.798	14.513	46.440
Huepil	26.768	28.058	45.473	13.868	10.320	52.890	41.925	53.213	22.253	38.378	31.283	46.763	1.935	21.285	7.095
Los Alamo	61.920	55.148	71.918	74.498	74.175	68.048	82.238	93.525	75.788	78.690	70.628	32.895	79.335	59.340	75.465
Los Angel	10.320	10.643	47.408	27.735	12.900	55.148	44.828	55.470	37.733	40.635	21.930	29.348	15.480	19.350	23.865
Monteag	26.123	29.993	34.830	25.800	25.800	42.570	31.605	42.893	25.800	28.058	11.610	34.830	20.963	3.870	17.093
Mulchen	3.870	10.320	58.373	39.345	22.253	65.790	55.470	66.113	54.180	51.278	44.505	33.863	28.703	29.993	34.185
Nacimient	16.125	5.805	56.115	37.088	23.220	63.533	51.923	63.855	46.118	49.020	42.248	18.060	29.670	28.058	31.605
Nipas	50.633	48.698	11.610	27.090	47.085	18.060	23.865	35.475	22.253	13.545	16.125	40.313	39.990	29.348	35.475
Pemuco	39.345	37.410	31.928	33.863	23.543	39.345	23.220	34.508	8.385	25.155	20.963	54.503	18.705	27.735	6.773
Pinto	54.503	52.890	22.253	15.803	51.278	29.670	16.448	15.803	8.063	15.158	20.963	62.243	32.895	33.540	22.898
Quilaco	7.740	18.060	62.565	43.538	9.998	69.983	51.278	70.305	52.568	55.793	48.698	42.570	29.025	34.185	38.378
Quilleco	22.253	23.543	54.825	23.543	4.838	62.243	53.535	62.565	31.605	48.053	40.958	42.248	12.255	29.670	16.770
Quillon	42.570	40.958	16.770	19.350	39.345	23.543	21.930	33.218	15.480	18.383	10.320	40.635	31.605	21.608	27.735
Quirihue	65.790	63.855	8.385	39.345	62.243	5.321	20.640	34.508	30.960	14.513	31.928	48.375	54.825	44.505	50.955
San Carlo	55.470	52.890	15.480	23.220	53.535	20.640	4.354	13.868	18.060	9.998	20.963	62.243	43.860	33.863	29.670
San Ignac	54.180	46.440	23.543	8.385	31.605	30.960	18.060	23.220	4.031	16.770	15.803	56.115	28.380	27.413	14.835
Laja	24.510	18.383	46.763	28.058	28.380	54.503	43.538	54.825	37.088	39.990	33.218	29.670	35.153	11.288	25.155
Sta Barba	8.708	22.898	61.598	42.570	9.675	69.015	88.050	89.338	51.600	54.503	47.730	41.603	31.605	33.218	37.410
Sta Clara	44.505	42.570	24.510	20.963	40.958	31.928	20.963	32.250	15.803	17.738	5.160	50.955	26.445	23.220	29.348
Sta Juana	33.863	23.220	51.923	54.503	42.248	48.375	62.243	73.853	56.115	59.018	50.955	8.385	48.698	38.700	50.955
Yumbel	29.993	28.380	37.088	27.735	29.670	44.505	44.828	44.828	27.413	30.315	23.220	38.700	23.865	1.935	19.028
Yungay	34.185	32.250	43.215	6.773	16.770	50.955	29.670	41.280	14.835	36.120	29.348	50.955	9.998	19.028	3.386

Fuente: Elaboración propia.

## COSTO TRANSPORTE EN PESOS POR TONELADA DE LODO

PTL	RELLENO SANITARIO		
	Copiulemu	Ecobio	Laguna Verde
Arauco	32.250	61.598	49.343
Bulnes	25.155	10.965	13.868
Cabrero	13.545	22.575	3.225
Canete	47.730	83.205	70.305
Chillan	34.830	3.225	24.188
Chillan Viejo	33.863	2.258	23.220
Coihueco	41.603	14.190	30.638
Curanilahue	44.505	73.853	61.598
El Carmen	38.055	23.865	26.768
Florida	19.673	23.220	29.348
Hualqui	16.125	45.150	37.733
Laja	30.960	34.830	9.675
Lebu	54.825	86.108	76.433
Los Alamos	43.215	76.433	64.823
Los Angeles	24.833	38.378	12.900
Mulchen	39.668	49.020	21.930
Negrete	35.475	46.440	23.543
Ninhue	49.665	18.060	39.023
Pemuco	36.120	12.255	24.188
Quilleco	39.023	43.860	25.155
Quirihue	34.830	23.220	43.860
San Carlos	34.185	10.965	29.993
San Fabian	43.215	11.610	32.573
San Ignacio	43.538	7.418	32.250
San Nicolas	42.570	10.965	31.928
Santa Clara	25.478	18.383	9.030
Santa Juana	20.640	56.438	67.080
Tucapel	32.895	41.925	22.575
Yumbel	19.995	28.380	9.030
Yungay	27.413	20.640	15.480

Fuente: Elaboración propia.



## ANEXO 2: PRODUCCION MENSUAL DE LODO

### RESUMEN PROYECCION EN LA PRODUCCION DE LODO ESSBIO AL 2021

PTAS	Producción Ton/Mes
Arauco	18
Bulnes	41
Cabrero	69
Cañete	40
Chillán	824
Cobquecura	20
Coelemu	42
Coihueco	28
Concepción	891
Contulmo	6
Dichato	33
Hualqui	75
Huépil	10
Laja	85
Los Alamos	31
Los Angeles	667
Monteágula	10
Mulchén	19
Nacimiento	16
Nipas	6
Pemuco	3
Pinto	5
Quilaco	7
Quilleco	3
Quillon	20
Quirihue	12
San Carlos	24
San Ignacio	3
Santa Bárbara	11
Santa Clara	3
Santa Juana	16
Yumbel	58
Yungay	5
	<b>3.101</b>

Año	Producción Anual (Ton)	Crecimiento Anual
2008	37.212	
2009	38.347	3,05%
2010	39.518	3,05%
2011	40.513	2,52%
2012	41.516	2,48%
2013	42.440	2,22%
2014	43.297	2,02%
2015	44.086	1,82%
2016	44.817	1,66%
2017	45.488	1,50%
2018	46.109	1,37%
2019	46.562	0,98%
2020	46.884	0,69%
2021	47.065	0,39%

Fuente: Declaración de Impacto Ambiental de PTAS

Fuente: Essbio 2008, Informe de Operación Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas.

## DETALLE PROYECCION DE CLIENTES CON ALCANTARILLADO Y PRODUCCION DE LODO POR LOCALIDAD

Año	Arauco		Bulnes		Cabrero		Canete		Chillan	
	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)
2007	4290	216	3242	492	3463	828	4257	480	54410	9888
2008	4420	223	3327	505	3662	852	4387	495	55848	10149
2009	4555	229	3413	518	3661	875	4521	510	57293	10412
2010	4672	235	3499	531	3757	898	4642	524	58707	10669
2011	4788	241	3585	544	3851	921	4763	537	60121	10926
2012	4896	246	3663	556	3939	942	4876	550	61427	11163
2013	4996	252	3736	567	4020	961	4980	562	62631	11382
2014	5088	256	3804	577	4095	979	5077	573	63737	11583
2015	5172	260	3865	587	4164	996	5167	583	64753	11767
2016	5250	264	3922	595	4228	1011	5250	592	65683	11937
2017	5322	268	3974	603	4287	1025	5327	601	66535	12091
2018	5376	271	4006	608	4336	1037	5384	607	67131	12200
2019	5413	273	4029	611	4370	1045	5426	612	67536	12273
2020	5434	274	4041	613	4389	1049	5451	615	67746	12312

Año	Cobquecura		Coelemu		Coihueco		Concepción		Contulmo	
	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)
2007	239	240	1973	504	1820	336	63356	10692	603	72
2008	249	249	2026	518	1869	345	65077	10982	626	75
2009	259	260	2079	531	1918	354	66813	11275	650	78
2010	266	266	2133	545	1966	363	68494	11559	675	81
2011	272	273	2188	559	2014	372	70174	11843	699	84
2012	278	279	2239	572	2058	380	71729	12105	723	86
2013	284	284	2287	584	2099	387	73165	12347	747	89
2014	289	290	2332	596	2136	394	74487	12571	770	92
2015	294	294	2374	607	2170	401	75704	12776	792	95
2016	298	299	2414	617	2201	406	76822	12964	813	97
2017	302	303	2452	626	2230	412	77847	13137	834	100
2018	305	306	2476	632	2245	414	78587	13262	854	102
2019	307	308	2495	637	2255	416	79100	13349	870	104
2020	308	309	2508	641	2260	417	79379	13396	885	106

Año	Dichato		Hualqui		Huepil		Los Alamos		Los Angeles	
	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)
2007	309	396	3319	900	1874	120	923	372	33921	8004
2008	358	459	3409	925	1942	124	965	389	34833	8219
2009	420	539	3501	949	2014	129	1008	406	35754	8437
2010	431	552	3591	974	2066	132	1044	421	36636	8645
2011	441	566	3681	998	2117	136	1081	436	37520	8853
2012	451	579	3764	1021	2165	139	1116	450	38335	9046
2013	460	591	3841	1042	2209	141	1150	463	39086	9223
2014	469	602	3913	1061	2249	144	1181	476	39777	9386
2015	477	612	3979	1079	2287	146	1211	488	40412	9536
2016	485	622	4040	1095	2321	149	1239	499	40993	9673
2017	492	631	4096	1111	2353	151	1266	510	41526	9798
2018	501	642	4147	1125	2381	152	1280	516	41913	9890
2019	507	650	4183	1134	2401	154	1292	521	42176	9952
2020	511	655	4203	1140	2412	154	1304	525	42313	9984

Año	Monteaguila		Mulchen		Nacimiento		Nipas		Pemuco	
	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)
2007	1502	120	5715	228	5615	192	440	72	1194	36
2008	1551	124	5868	234	5773	197	460	75	1228	37
2009	1601	128	6023	240	5934	203	481	79	1261	38
2010	1644	131	6171	246	6085	208	503	82	1292	39
2011	1687	135	6318	252	6237	213	525	86	1323	40
2012	1726	138	6454	257	6377	218	548	90	1352	41
2013	1763	141	6581	263	6507	223	570	93	1379	42
2014	1797	144	6698	267	6627	227	592	97	1403	42
2015	1829	146	6807	272	6737	230	614	101	1425	43
2016	1858	148	6909	276	6838	234	636	104	1446	44
2017	1885	151	7004	279	6931	237	658	108	1464	44
2018	1909	153	7075	282	6997	239	677	111	1480	45
2019	1927	154	7126	284	7044	241	695	114	1491	45
2020	1937	155	7157	286	7069	242	712	117	1496	45

Fuente: Declaración de Impacto Ambiental de PTAS y proyección de aumento de clientes con alcantarillado declarado en los Planes de Desarrollo de Essbio.

Año	Pinto		Quilaco		Quilleco		Quillon		Quirihue	
	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)
2007	238	60	504	84	535	36	1743	240	2093	144
2008	477	120	519	87	555	37	1801	248	2148	148
2009	746	188	535	89	575	39	1858	256	2204	152
2010	746	188	550	92	595	40	1918	264	2258	155
2011	775	195	564	94	616	41	1977	272	2313	159
2012	775	195	577	96	635	43	2034	280	2362	163
2013	788	198	590	98	655	44	2088	287	2409	166
2014	788	198	601	100	673	45	2139	295	2451	169
2015	801	202	611	102	691	47	2188	301	2490	171
2016	801	202	621	104	708	48	2234	308	2526	174
2017	814	205	630	105	725	49	2279	314	2559	176
2018	814	205	637	106	737	50	2328	321	2581	178
2019	828	208	642	107	747	50	2368	326	2596	179
2020	828	208	645	108	752	51	2396	330	2604	179

Año	San Carlos		San Ignacio		Laja		Sta Barbara		Sta Clara	
	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)
2007	9089	288	836	36	4258	1020	2139	132	478	36
2008	9332	296	860	37	4379	1049	2196	136	493	37
2009	9577	303	886	38	4502	1079	2256	139	508	38
2010	9815	311	909	39	4613	1105	2312	143	521	39
2011	10054	319	931	40	4722	1131	2369	146	534	40
2012	10275	326	951	41	4825	1156	2422	149	547	41
2013	10479	332	970	42	4921	1179	2470	152	558	42
2014	10666	338	987	43	5011	1200	2515	155	569	43
2015	10839	343	1003	43	5094	1220	2556	158	579	44
2016	10998	348	1018	44	5173	1239	2594	160	588	44
2017	11143	353	1032	44	5247	1257	2628	162	596	45
2018	11238	356	1040	45	5302	1270	2663	164	603	45
2019	11304	358	1046	45	5343	1280	2686	166	608	46
2020	11339	359	1049	45	5371	1287	2699	167	611	46

Año	Sta Juana		Yumbel		Yungay	
	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)	N° Clientes con alcantarillado	Producción Anual de Lodo (Ton)
2007	2051	192	3501	696	2475	60
2008	2107	197	3611	718	2542	62
2009	2162	202	3723	740	2610	63
2010	2218	208	3836	763	2680	65
2011	2274	213	3951	785	2751	67
2012	2326	218	4059	807	2819	68
2013	2376	222	4162	827	2884	70
2014	2422	227	4259	847	2947	71
2015	2465	231	4351	865	3007	73
2016	2506	235	4438	882	3066	74
2017	2544	238	4521	899	3123	76
2018	2573	241	4581	911	3181	77
2019	2595	243	4631	921	3230	78
2020	2610	244	4669	928	3267	79

Fuente: Declaración de Impacto Ambiental de PTAS y proyección de aumento de clientes con alcantarillado declarado en los Planes de Desarrollo de Essbio.

**ANEXO 3: CUADRO DE DISTANCIAS EN KM ENTRE PTAS - PTL**

PTAS	Arauco	Bulnes	Cabrero	Cañete	Chillán	Chillan Viejo	Coihueco	Curanilahue	El Carmen	Florida	Hualqui	San Rosendo L	Lebu	Los Alamos	Los Angeles
Arauco	0	159	147	76	184	183	216	38	191	115	93	151	63	55	193
Bulnes	159	0	41	226	28	24	56	186	40	48	88	88	219	204	89
Cabrero	147	41	0	214	63	61	94	215	71	77	103	54	208	193	56
Cañete	76	226	214	0	251	250	282	47	255	178	160	183	56	29	258
Chillán	184	28	63	251	0	4	33	192	42	67	133	110	245	230	112
Cobquecura	195	117	155	262	102	103	123	218	144	150	151	202	255	241	204
Coelemu	134	104	98	200	73	71	104	152	112	84	75	145	193	179	146
Coihueco	216	56	94	282	33	36	0	219	68	93	150	141	276	261	143
Concepción	70	91	80	137	117	116	148	94	120	45	23	82	130	116	134
Contulmo	111	213	180	36	235	234	267	83	244	215	195	149	92	65	129
Dichato	111	135	124	181	127	97	130	132	125	77	67	125	171	157	161
Hualqui	93	88	103	160	133	117	150	116	144	69	0	105	154	139	157
Huepil	195	82	49	217	105	103	136	237	53	119	105	84	255	240	54
Los Alamos	55	204	193	29	230	229	261	29	237	161	139	197	27	0	241
Los Angeles	193	89	56	258	112	111	143	183	121	126	157	48	204	241	0
Monteaquila	150	51	10	215	73	71	123	225	81	87	113	47	98	196	66
Mulchén	158	123	90	163	145	144	176	219	149	155	176	76	218	192	32
Nacimiento	109	116	83	146	138	137	169	148	147	152	127	37	189	154	32
Nipas	141	35	75	208	50	48	81	160	76	49	84	122	201	187	124
Pemuco	185	50	70	252	45	42	62	218	15	80	141	87	246	231	86
Pinto	209	50	87	275	22	28	13	217	66	91	164	134	269	255	136
Quilaco	185	136	103	187	158	157	190	226	160	165	204	89	245	231	45
Quilleco	184	112	79	203	143	133	165	223	84	149	180	88	244	230	40
Quillón	141	17	53	208	45	42	74	162	52	23	97	97	202	187	99
Quirihue	166	84	122	232	65	70	89	185	110	117	121	169	226	211	171
San Carlos	209	50	88	276	27	29	49	196	68	91	165	135	270	255	139
San Ignacio	189	34	68	256	26	27	37	210	26	72	145	115	250	235	117
San Rosendo	151	88	54	183	110	108	141	184	119	124	105	0	211	197	48
Santa Bárbara	182	133	99	190	144	153	186	222	156	162	200	86	242	227	41
Santa Clara	174	219	56	241	43	39	71	196	50	58	129	103	234	219	68
Santa Juana	122	143	132	123	168	167	200	95	172	97	75	92	117	102	91
Yumbel	138	57	19	205	79	78	111	182	89	94	45	35	198	184	60
Yungay	188	76	43	230	71	63	83	239	36	101	144	78	249	234	74

PTAS	Mulchén	Negrete	Ninhue	Pemuco	Quilleco	Quirihue	San Carlos	San Fabián	San Ignacio	San Nicolás	Santa Clara	Santa Juana	Tucapel	Yumbel	Yungay
Arauco	158	126	177	185	184	166	209	244	189	199	174	122	201	138	188
Bulnes	123	117	61	50	112	84	50	85	34	40	219	143	88	57	76
Cabrero	90	84	99	70	79	122	88	123	68	71	56	132	55	19	43
Cañete	163	145	243	252	203	232	276	311	256	265	241	123	224	205	230
Chillán	145	139	44	45	143	65	27	62	26	23	43	168	111	79	71
Cobquecura	237	231	60	155	226	34	98	141	130	78	132	179	204	172	190
Coelemu	180	174	52	107	169	33	98	133	92	62	119	117	145	103	133
Coihueco	176	170	66	62	165	89	49	35	37	45	71	200	142	111	83
Concepción	153	121	109	118	157	98	142	178	122	131	106	52	133	68	121
Contulmo	129	111	271	212	169	294	260	296	240	250	228	167	189	190	196
Dichato	194	164	92	144	183	80	152	158	124	98	99	95	159	104	147
Hualqui	176	139	119	141	180	121	165	178	145	133	129	75	111	45	144
Huepil	83	87	141	43	32	164	130	165	69	119	97	145	6	66	22
Los Alamos	192	171	223	231	230	211	255	290	235	244	219	102	246	184	234
Los Angeles	32	33	147	86	40	171	139	172	117	126	68	91	48	60	74
Monteaquila	81	93	108	80	80	132	98	133	80	87	36	108	65	12	53
Mulchén	0	32	181	122	69	204	172	205	168	159	138	105	89	93	106
Nacimiento	50	18	174	115	72	197	161	198	143	152	131	56	92	87	98
Nipas	157	151	36	84	146	56	74	110	69	42	50	125	124	91	110
Pemuco	122	116	99	0	73	122	72	107	26	78	65	169	58	86	21
Pinto	169	164	69	49	159	92	51	49	25	47	65	193	102	104	71
Quilaco	24	56	194	135	31	217	159	218	163	173	151	132	90	106	119
Quilleco	69	73	170	73	0	193	166	194	98	149	127	131	38	92	52
Quillón	132	127	52	60	122	73	68	103	48	57	32	126	96	67	86
Quirihue	204	198	26	122	193	0	64	107	96	45	99	150	170	138	158
San Carlos	172	164	48	72	166	64	0	43	56	31	65	193	136	105	92
San Ignacio	168	144	73	26	98	96	56	72	0	52	49	174	88	85	46
San Rosendo Laja	76	57	145	87	88	169	135	170	115	124	103	92	109	35	78
Santa Bárbara	27	71	191	132	30	214	180	215	160	169	148	129	86	103	116
Santa Clara	138	132	76	65	127	99	65	100	49	55	0	158	82	72	91
Santa Juana	105	72	161	169	131	150	193	229	174	183	158	0	151	120	158
Yumbel	93	88	115	86	92	138	105	139	85	94	72	120	74	0	59
Yungay	106	100	134	21	52	158	92	128	46	112	91	158	31	59	0

Fuente: Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Vialidad.

**CUADRO DE DISTANCIAS EN KM ENTRE PTL- RELLENOS SANITARIOS**

LOCALIDAD	RELLENO SANITARIO		
	Copiulemu	Ecobio	Laguna Verde
Arauco	100	191	153
Bulnes	78	34	43
Cabrero	42	70	10
Cañete	148	258	218
Chillán	108	10	75
Chillan Viejo	105	7	72
Coihueco	129	44	95
Curanilahue	138	229	191
El Carmen	118	74	83
Florida	61	72	91
Hualqui	50	140	117
Laja	96	108	30
Lebu	170	267	237
Los Alamos	134	237	201
Los Angeles	77	119	40
Mulchén	123	152	68
Negrete	110	144	73
Ninhue	154	56	121
Pemuco	112	38	75
Quilleco	121	136	78
Quirihue	108	72	136
San Carlos	106	34	93
San Fabián	134	36	101
San Ignacio	135	23	100
San Nicolás	132	34	99
Santa Clara	79	57	28
Santa Juana	64	175	208
Tucapel	102	130	70
Yumbel	62	88	28
Yungay	85	64	48

Fuente: Ministerio de Obras Publicas, Dirección de Vialidad.

**ANEXO 4: DETALLE COMUNAS OCTAVA REGION**

N°	Localidad	Falta de Terreno	Zona X	Sin PTAS	Localidad Candidata
1	Alto Bio Bio		x	x	NO
2	Antuco		x	x	NO
3	Arauco				SI
4	Bulnes				SI
5	Cabrero				SI
6	Cañete				SI
7	Chiguayante	x			NO
8	Chillán				SI
9	Chillan Viejo (*)			x	SI
10	Cobquecura	x			NO
11	Coelemu		x		NO
12	Coihueco			x	SI
13	Concepción	x			NO
14	Contulmo	x			NO
15	Coronel	x		x	NO
16	Curanilahue (*)				SI
17	El Carmen (*)				SI
18	Florida (*)				SI
19	Hualpén	x		x	NO
20	Hualqui				SI
21	Laja				SI
22	Lebu (*)			x	SI
23	Los Alamos				SI
24	Los Angeles				SI
25	Lota	x			NO
26	Mulchén				SI
27	Nacimiento	x			NO
28	Negrete			x	SI
29	Ninhue			x	SI
31	Pemuco				SI
32	Penco	x		x	NO
33	Pinto		x	x	NO
34	Portezuelo			x	SI
35	Quilaco	x			NO
36	Quilleco				SI
37	Quillón	x			NO
38	Quirihue				SI
39	Ranquil	x			NO
40	San Carlos				SI
41	San Fabián (*)			x	SI
42	San Ignacio				SI
43	San Nicolás			x	SI
44	San Pedro de la Paz	x			NO
45	San Rosendo	x			NO
46	Santa Bárbara	x			NO
47	Santa Juana	x			NO
48	Talcahuano	x		x	NO
49	Tirua		x	x	NO
50	Tomé	x			NO
51	Trehuaco	x		x	NO
52	Tucapel			x	SI
53	Yumbel				NO
54	Yungay				SI

Fuente: Análisis realizado por integrantes de Comité Gestión Transversal de RSE ESSBIO 2007.

Falta de Terreno: No existe terreno disponible en la localidad

Zona X: Localidad no candidata por política de Relación con la Comunidad ESSBIO.

Sin PTAS: Localidad sin planta productora de iodo.

## ANEXO 5: PROGRAMACION Y RESPUESTA DE MODELO

```

$offlisting;
option solprint=off
    limcol=0
    limrow=0;
set i /m1*m33/
    j/n1*n30/
    k/o1*o3/
    q/p1*p30/;
parameter a(i) Produccion de lodo de planta i
/m1  18
m2  41
m3  69
m4  40
m5  824
m6  20
m7  42
m8  28
m9  891
m10 6
m11 33
m12 75
m13 10
m14 85
m15 31
m16 667
m17 10
m18 19
m19 16
m20 6
m21 3
m22 5
m23 7
m24 3
m25 20
m26 12
m27 24
m28 3
m29 11
m30 3
m31 16
m32 58
m33 5/
b(j) Capacidad de tto de planta j
/n1  9303
n2  9303
n3  9303
n4  9303
n5  9303
n6  9303
n7  9303
n8  9303
n9  9303
n10 9303
n11 9303
n12 9303
n13 9303
n14 9303
n15 9303
n16 9303
n17 9303
n18 9303
n19 9303
n20 9303
n21 9303
n22 9303
n23 9303
n24 9303
n25 9303
n26 9303
n27 9303
n28 9303
    
```

n29 9303  
 n30 9303/  
 d(k) Capacidad máxima de recepción del Relleno Sanitario k  
 /o1 10000  
 o2 10000  
 o3 10000/  
 co(q) costo operacion al instalar p plantas  
 /p1 2531120495  
 p2 2564984495  
 p3 2598318495  
 p4 2631122495  
 p5 2663396495  
 p6 2695140495  
 p7 2726354495  
 p8 2757356495  
 p9 2787510495  
 p10 2817134495  
 p11 2786702320  
 p12 2874792495  
 p13 2902826495  
 p14 2929864095  
 p15 2955915895  
 p16 2982359895  
 p17 3008273895  
 p18 3033657895  
 p19 3058511895  
 p20 3082835895  
 p21 3106629895  
 p22 4680017228  
 p23 4773792310  
 p24 4865447393  
 p25 4954982475  
 p26 5042397558  
 p27 5127692640  
 p28 5210867723  
 p29 5291922805  
 p30 5370857888  
 p29 5291922805  
 p30 5370857888/;

Table c(i,j) Costo de transporte de i a j

	n1	n2	n3	n4	n5	n6	n7	n8	n9	n10	n11	n12	n13
n14		n15	n16	n17	n18	n19	n20	n21	n22	n23	n24	n25	
n26		n27	n28	n29	n30								
m1	8869	51278	51278	47408	24510	59340	59018	69660	12255	61598	37088		
29993	48698	20318	17738	62243	50955	40635	57083	59663	59340	53535			
67403	78690	60953	64178	56115	39345	64823	44505	60630					
m2	51278	2741	13223	72885	9030	7740	18060	59985	12900	15480	28380		
28380	70628	65790	28703	39668	37733	19673	16125	36120	27090	16125			
27413	10965	12900	70628	46118	28380	18383	24510						
m3	47408	13223	1613	69015	20318	19673	30315	69338	22898	24833			
33218	17415	67080	62243	18060	29025	27090	31928	22575	25478	39345			
28380	39668	21930	22898	18060	42570	17738	6128	13868					
m4	24510	72885	69015	4676	80948	80625	90945	15158	82238	57405			
51600	59018	18060	9353	83205	52568	46763	78368	81270	65468	74820			
89010	100298	82560	85463	77723	39668	72240	66113	74175					
m5	59340	9030	20318	80948	3548	1290	10643	61920	13545	21608	42893		
35475	79013	74175	36120	46763	44828	14190	14513	46118	20963	8708			
19995	8385	7418	13868	54180	35798	25478	22898						
m6	62888	37733	49988	84495	32895	33218	39668	70305	46440	48375			
48698	65145	82238	77723	65790	76433	74498	19350	49988	72885	10965			
31605	45473	41925	25155	42570	57728	65790	55470	61275					
m7	43215	33540	31605	64500	23543	22898	33540	49020	36120	27090			
24188	46763	62243	57728	47085	58050	56115	16770	34508	54503	10643			
31605	42893	29670	19995	38378	37733	46763	33218	42893					
m8	69660	18060	30315	90945	10643	11610	2096	70628	21930	29993			
48375	45473	89010	84173	46118	56760	54825	21285	19995	53213	28703			
15803	11288	11933	14513	22898	64500	45795	35798	26768					
m9	22575	29348	25800	44183	37733	37410	47730	30315	38700	14513			
7418	26445	41925	37410	43215	49343	39023	35153	38055	50633	31605			
45795	57405	39345	42248	34185	16770	42893	21930	39023					
m10	35798	68693	58050	11610	75788	75465	86108	26768	78690	69338			
62888	48053	29670	20963	41603	41603	35798	87398	68370	54503	94815			
83850	95460	77400	80625	73530	53858	60953	61275	63210					



m11	35798	43538	39990	58373	40958	31283	41925	42570	40313	24833
21608	40313	55148	50633	51923	62565	52890	29670	46440	59018	25800
49020	50955	39990	31605	31928	30638	51278	33540	47408		
m12	29993	28380	33218	51600	42893	37733	48375	37410	46440	22253
3709	33863	49665	44828	50633	56760	44828	38378	45473	58050	39023
53213	57405	46763	42893	41603	24188	35798	14513	46440		
m13	62888	26445	15803	69983	33863	33218	43860	76433	17093	38378
33863	27090	82238	77400	17415	26768	28058	45473	13868	10320	52890
41925	53213	22253	38378	31283	46763	1935	21285	7095		
m14	17738	65790	62243	9353	74175	73853	84173	9353	76433	51923
44828	63533	8708	4676	77723	61920	55148	71918	74498	74175	68048
82238	93525	75788	78690	70628	32895	79335	59340	75465		
m15	62243	28703	18060	83205	36120	35798	46118	59018	39023	40635
50633	15480	65790	77723	5160	10320	10643	47408	27735	12900	55148
44828	55470	37733	40635	21930	29348	15480	19350	23865		
m16	48375	16448	3225	69338	23543	22898	39668	72563	26123	28058
36443	15158	31605	63210	21285	26123	29993	34830	25800	25800	42570
31605	42893	25800	28058	11610	34830	20963	3870	17093		
m17	50955	39668	29025	52568	46763	46440	56760	70628	48053	49988
56760	24510	70305	61920	10320	3870	10320	58373	39345	22253	65790
55470	66113	54180	51278	44505	33863	28703	29993	34185		
m18	35153	37410	26768	47085	44505	44183	54503	47730	47408	49020
40958	11933	54503	49665	10320	16125	5805	56115	37088	23220	63533
51923	63855	46118	49020	42248	18060	29670	28058	31605		
m19	45473	11288	24188	67080	16125	15480	26123	51600	24510	15803
27090	39345	64823	60308	39990	50633	48698	11610	27090	47085	18060
23865	35475	22253	13545	16125	40313	39990	29348	35475		
m20	59663	16125	22575	81270	14513	13545	19995	70305	4838	25800
45473	28058	79335	74498	27735	39345	37410	31928	33863	23543	39345
23220	34508	8385	25155	20963	54503	18705	27735	6773		
m21	67403	16125	28058	88688	7095	9030	4193	69983	21285	29348
52890	43215	86753	82238	43860	54503	52890	22253	15803	51278	29670
16448	15803	8063	15158	20963	62243	32895	33540	22898		
m22	59663	43860	33218	60308	50955	50633	61275	72885	51600	53213
65790	28703	79013	74498	14513	7740	18060	62565	43538	9998	69983
51278	70305	52568	55793	48698	42570	29025	34185	38378		
m23	59340	36120	25478	65468	46118	42893	53213	71918	27090	48053
58050	28380	78690	74175	12900	22253	23543	54825	23543	4838	62243
53535	62565	31605	48053	40958	42248	12255	29670	16770		
m24	45473	5483	17093	67080	14513	13545	23865	52245	16770	7418
31283	31283	65145	60308	31928	42570	40958	16770	19350	39345	23543
21930	33218	15480	18383	10320	40635	31605	21608	27735		
m25	53535	27090	39345	74820	20963	22575	28703	59663	35475	37733
39023	54503	72885	68048	55148	65790	63855	8385	39345	62243	5321
20640	34508	30960	14513	31928	48375	54825	44505	50955		
m26	67403	16125	28380	89010	8708	9353	15803	63210	21930	29348
53213	43538	87075	82238	44828	55470	52890	15480	23220	53535	20640
4354	13868	18060	9998	20963	62243	43860	33863	29670		
m27	60953	10965	21930	82560	8385	8708	11933	67725	8385	23220
46763	37088	80625	75788	37733	54180	46440	23543	8385	31605	30960
18060	23220	4031	16770	15803	56115	28380	27413	14835		
m28	48698	28380	17415	59018	35475	34830	45473	59340	38378	39990
33863	5644	68048	63533	15480	24510	18383	46763	28058	28380	54503
43538	54825	37088	39990	33218	29670	35153	11288	25155		
m29	58695	42893	31928	61275	46440	49343	59985	71595	50310	52245
64500	27735	78045	73208	13223	8708	22898	61598	42570	9675	69015
58050	69338	51600	54503	47730	41603	31605	33218	37410		
m30	56115	70628	18060	77723	13868	12578	22898	63210	16125	18705
41603	33218	75465	70628	21930	44505	42570	24510	20963	40958	31928
20963	32250	15803	17738	5160	50955	26445	23220	29348		
m31	39345	46118	42570	39668	54180	53858	64500	30638	55470	31283
24188	29670	37733	32895	29348	33863	23220	51923	54503	42248	48375
62243	73853	56115	59018	50955	8385	48698	38700	50955		
m32	44505	18383	6128	66113	25478	25155	35798	58695	28703	30315
14513	11288	63855	59340	19350	29993	28380	37088	27735	29670	44505
33863	44828	27413	30315	23220	38700	23865	1935	19028		
m33	60630	24510	13868	74175	22898	20318	26768	77078	11610	32573
46440	25155	80303	75465	23865	34185	32250	43215	6773	16770	50955
29670	41280	14835	36120	29348	50955	9998	19028	3386;		

Table c2(j,k) costo transporte de j a k

	o1	o2	o3
n1	32250	61597	49342
n2	25155	10965	13867
n3	13545	22575	3225
n4	47730	83205	70305
n5	34830	3225	24187
n6	33862	2257	23220
n7	41602	14190	30637
n8	44505	73852	61597
n9	38055	23865	26767
n10	19672	23220	29347
n11	16125	45150	37732
n12	30960	34830	9675
n13	54825	86107	76432
n14	43215	76432	64822
n15	24832	38377	12900
n16	39667	49020	21930
n17	35475	46440	23542
n18	49665	18060	39022
n19	36120	12255	24187
n20	39022	43860	25155
n21	34830	23220	43860
n22	34185	10965	29992
n23	43215	11610	32572
n24	43537	7417	32250
n25	42570	10965	31927
n26	25477	18382	9030
n27	20640	56437	67080
n28	32895	41925	22575
n29	19995	28380	9030
n30	27412	20640	15480;

scalar

NP numero de PTL j a instalar /1/;

Variable

x(i,j) cantidad de lodo transportado de i a j

x2(j,k) cantidad de lodo transportado de j a k

y(j) cantidad de PTL

z objetivo

positive variable x,x2;

binary variable y;

equation

objetivo costo de total

produccion (i) produccion de cada planta i

demanda (j) capacidad de tto de planta j

capacidad (j) capacidad de j

demanda2 (k) capacidad RS k

igualdad(j) igualdad de x e x2

NJ numero de PTL j a instalar;

objetivo..  $\sum((i,j), c(i,j)*x(i,j))+\sum((j,k),c2(j,k)*x2(j,k))=e=z;$

produccion(i)..  $\sum(j, x(i,j))=g= a(i);$

demanda (j)..  $\sum(i, x(i,j))=l= b(j);$

capacidad (j)..  $\sum(i, x(i,j))=l= b(j)*y(j);$

demanda2 (k)..  $\sum(j,x2(j,k))=l=d(k);$

igualdad(j)..  $0.6* \sum(i, x(i,j))=e=\sum(k, x2(j,k));$

NJ..  $\sum(j,y(j))=e=NP;$

model transporte /all/

option optcr=0.00000001;

scalar CT

ct1 costo transporte1

ct2 costo transporte2

cc costo construccion

cope costo operacion

cc costo construccion;

for(NP=1 to 30 by 1,

  solve transporte using mip minimizing z;

  ct1= $\sum((i,j),c(i,j)*x(i,j));$

  ct2= $\sum((j,k),c2(j,k)*x2.l(j,k));$

  cope= $\sum(q$(ord(q)=np), co(q));$

  ct=z.l+ $\sum(q$(ord(q)=np), co(q));$

  display x.l,x2.l,y.l,z.l,ct,ct1,ct2;

);

# RESPUESTA DEL MODELO PROGRAMADO

\*\*\*\*\*

NEOS Server Version 5.0  
 Job# : 1796924  
 Password : yAwZGbOJ  
 Solver : milp:Glpk:GAMS  
 Start : 2009-02-10 14:36:02  
 End : 2009-02-10 14:36:50  
 Host : newton.mcs.anl.gov  
 Disclaimer:

This information is provided without any express or implied warranty. In particular, there is no warranty of any kind concerning the fitness of this information for any particular purpose.

\*\*\*\*\*

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 1  
 General Algebraic Modeling System  
 Compilation  
 COMPILATION TIME = 0.003 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 2

General Algebraic Modeling System  
 Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FORWHILE 1  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128  
 BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111  
 NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30  
 GENERATION TIME = 0.018 SECONDS 4 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 EXECUTION TIME = 0.018 SECONDS 4 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 3

General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FORWHILE 1  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 70511067.0000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.200 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 289 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin

Solved optimal.  
 Best solution: 70511067 (289 iterations, 0.2 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 4  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

---- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j  
 n3  
 m1 18.000  
 m2 41.000  
 m3 69.000  
 m4 40.000  
 m5 824.000

m6 20.000  
 m7 42.000  
 m8 28.000  
 m9 891.000  
 m10 6.000  
 m11 33.000  
 m12 75.000  
 m13 10.000  
 m14 85.000  
 m15 31.000  
 m16 667.000  
 m17 10.000  
 m18 19.000  
 m19 16.000  
 m20 6.000  
 m21 3.000  
 m22 5.000  
 m23 7.000  
 m24 3.000  
 m25 20.000  
 m26 12.000  
 m27 24.000  
 m28 3.000  
 m29 11.000  
 m30 3.000  
 m31 16.000  
 m32 58.000  
 m33 5.000  
 ---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k  
       o3  
 n3 1860.600  
 ---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL  
 n3 1.000  
 ---- 261 VARIABLE z.L                   = 7.051107E+7 objetivo  
       PARAMETER CT                    = 2.291532E+9  
       PARAMETER ct1                   = 6.451063E+7 costo transporte1  
       PARAMETER ct2                   = 6000435.000 costo transporte2

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 5  
 General Algebraic Modeling System  
 Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 2  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128  
 BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111  
 NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30  
 GENERATION TIME = 0.160 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 EXECUTION TIME = 0.163 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 6

General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 2  
 SOLVE SUMMARY  
 MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 51311933.0000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.590 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 407 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin  
 Solved optimal.  
 Best solution: 51311933 (407 iterations, 0.59 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 7  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

--- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n3	n6
m1	18.000	
m2		41.000
m3	69.000	
m4	40.000	
m5		824.000
m6		20.000
m7		42.000
m8		28.000
m9	891.000	
m10	6.000	
m11		33.000
m12	75.000	
m13	10.000	
m14	85.000	
m15	31.000	
m16	667.000	
m17	10.000	
m18	19.000	
m19		16.000
m20		6.000
m21		3.000
m22	5.000	
m23	7.000	
m24		3.000

m25	20.000		
m26	12.000		
m27	24.000		
m28	3.000		
m29	11.000		
m30	3.000		
m31	16.000		
m32	58.000		
m33	5.000		
----	261 VARIABLE x2.L	cantidad de lodo transportado de j a k	
	o2	o3	
n3	1215.600		
n6	645.000		
----	261 VARIABLE y.L	cantidad de PTL	
n3	1.000,	n6	1.000
----	261 VARIABLE z.L	= 5.131193E+7	objetivo
	PARAMETER CT	= 2.410628E+9	
	PARAMETER ct1	= 4.593586E+7	costo transporte1
	PARAMETER ct2	= 5376075.000	costo transporte2

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 8  
 General Algebraic Modeling System  
 Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 3  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128  
 LOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111  
 NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30  
 GENERATION TIME = 0.140 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 EXECUTION TIME = 0.142 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 9

General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 3  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 38598750.4000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.260 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 321 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin  
 Solved optimal.  
 Best solution: 38598750.4 (321 iterations, 0.26 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 10  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

--- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n3	n6	n11
m1			18.000
m2		41.000	
m3	69.000		
m4			40.000
m5		824.000	
m6		20.000	
m7		42.000	
m8		28.000	
m9			891.000
m10	6.000		
m11			33.000
m12			75.000
m13	10.000		
m14			85.000
m15	31.000		
m16	667.000		
m17	10.000		
m18	19.000		
m19		16.000	
m20		6.000	
m21		3.000	
m22	5.000		
m23	7.000		
m24		3.000	

```

m25      20.000
m26      12.000
m27      24.000
m28      3.000
m29     11.000
m30      3.000
m31      16.000
m32     58.000
m33      5.000
---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1      o2      o3
n3      540.600
n6      625.200
n11     694.800
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n3 1.000, n6 1.000, n11 1.000
---- 261 VARIABLE z.L          = 3.859875E+7 objetivo
      PARAMETER CT           = 2.534089E+9
      PARAMETER ct1          = 2.424059E+7 costo transporte1
      PARAMETER ct2          = 1.435816E+7 costo transporte2
GAMS Rev 228 x86/Linux          02/10/09 14:36:06 Page 11
General Algebraic Modeling System
Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254
LOOPS              FOR/WHILE 4
MODEL STATISTICS
BLOCKS OF EQUATIONS      7 SINGLE EQUATIONS      128
BLOCKS OF VARIABLES     4 SINGLE VARIABLES     1,111
NON ZERO ELEMENTS      5,281 DISCRETE VARIABLES    30
GENERATION TIME      = 0.136 SECONDS   3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008
EXECUTION TIME      = 0.138 SECONDS   3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008

```



GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 12  
 General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254

LOOPS FOR/WHILE 4  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 35449142.4000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.590 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 377 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin

Solved optimal.

Best solution: 35449142.4 (377 iterations, 0.59 seconds)

\*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 13  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

---- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n3	n6	n11	n14
m1			18.000	
m2		41.000		
m3	69.000			
m4			40.000	
m5		824.000		
m6		20.000		
m7		42.000		
m8		28.000		
m9			891.000	
m10				6.000
m11			33.000	
m12			75.000	
m13	10.000			
m14			85.000	
m15	31.000			
m16	667.000			
m17	10.000			
m18	19.000			
m19		16.000		
m20		6.000		
m21		3.000		
m22	5.000			
m23	7.000			
m24		3.000		
m25		20.000		
m26		12.000		
m27		24.000		
m28	3.000			
m29	11.000			
m30		3.000		
m31			16.000	
m32	58.000			
m33	5.000			

---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k

```

      o1      o2      o3
n3              537.000
n6            625.200
n11  619.800
n14  78.600
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n3 1.000, n6 1.000, n11 1.000, n14 1.000
---- 261 VARIABLE z.L          = 3.544914E+7 objetivo
      PARAMETER CT            = 2.664995E+9
      PARAMETER ct1           = 1.891527E+7 costo transporte1
      PARAMETER ct2           = 1.653388E+7 costo transporte2
GAMS Rev 228 x86/Linux          02/10/09 14:36:06 Page 14
General Algebraic Modeling System
Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254
LOOPS              FOR/WHILE 5
MODEL STATISTICS
BLOCKS OF EQUATIONS      7  SINGLE EQUATIONS      128
BLOCKS OF VARIABLES     4  SINGLE VARIABLES     1,111
NON ZERO ELEMENTS      5,281  DISCRETE VARIABLES      30
GENERATION TIME      = 0.147 SECONDS   3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008
EXECUTION TIME      = 0.149 SECONDS   3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008

```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 15  
 General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254

LOOPS FOR/WHILE 5  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 34644169.4000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.290 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 399 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin

Solved optimal.  
 Best solution: 34644169.4 (399 iterations, 0.29 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 16  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

---- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j  
 n3 n6 n11 n14 n15

m1			18.000		
m2		41.000			
m3	69.000				
m4			40.000		
m5		824.000			
m6		20.000			
m7		42.000			
m8		28.000			
m9			891.000		
m10				6.000	
m11			33.000		
m12			75.000		
m13	10.000				
m14			85.000		
m15				31.000	
m16	667.000				
m17				10.000	
m18				19.000	
m19		16.000			
m20		6.000			
m21		3.000			
m22				5.000	
m23				7.000	
m24		3.000			
m25		20.000			
m26		12.000			
m27		24.000			
m28	3.000				
m29				11.000	
m30		3.000			
m31			16.000		
m32	58.000				
m33	5.000				

---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k

```

      o1      o2      o3
n3              487.200
n6            625.200
n11  619.800
n14  78.600
n15              49.800
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n3 1.000, n6 1.000, n11 1.000, n14 1.000, n15 1.000
---- 261 VARIABLE z.L = 3.464417E+7 objetivo
      PARAMETER CT = 2.796125E+9
      PARAMETER ct1 = 1.762848E+7 costo transporte1
      PARAMETER ct2 = 1.701569E+7 costo transporte2

```

```

GAMS Rev 228 x86/Linux          02/10/09 14:36:06 Page 17
General Algebraic Modeling System
Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254
LOOPS              FORWHILE 6
MODEL STATISTICS
BLOCKS OF EQUATIONS      7 SINGLE EQUATIONS      128
BLOCKS OF VARIABLES      4 SINGLE VARIABLES      1,111
NON ZERO ELEMENTS      5,281 DISCRETE VARIABLES      30
GENERATION TIME =      0.173 SECONDS      3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008
EXECUTION TIME =      0.175 SECONDS      3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008
GAMS Rev 228 x86/Linux          02/10/09 14:36:06 Page 18

```

```

General Algebraic Modeling System
Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254

```

```

      L O O P S      F O R W H I L E 6
      S O L V E      S U M M A R Y
      MODEL transporte OBJECTIVE z
      TYPE MIP          DIRECTION MINIMIZE
      SOLVER COINGLPK   FROM LINE 254
**** SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS 1 OPTIMAL
**** OBJECTIVE VALUE 34357141.4000
RESOURCE USAGE, LIMIT 0.540 1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT 593 10000
GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )
written by A. Makhorin
Solved optimal.
Best solution: 34357141.4 (593 iterations, 0.54 seconds)
**** REPORT SUMMARY : 0 NONOPT
                    0 INFEASIBLE
                    0 UNBOUNDED

```

```

GAMS Rev 228 x86/Linux          02/10/09 14:36:06 Page 19
General Algebraic Modeling System
Execution

```

```

---- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j
      n3      n6      n11      n14      n15      n21
m1              18.000
m2            41.000
m3  69.000
m4              40.000
m5            824.000
m6              20.000
m7            42.000
m8            28.000

```

```

m9          891.000
m10         6.000
m11         33.000
m12         75.000
m13    10.000
m14         85.000
m15         31.000
m16    667.000
m17         10.000
m18         19.000
m19         16.000
m20         6.000
m21         3.000
m22         5.000
m23         7.000
m24         3.000
m25         20.000
m26         12.000
m27         24.000
m28         3.000
m29         11.000
m30         3.000
m31         16.000
m32         58.000
m33         5.000
---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1      o2      o3
n3          487.200
n6          601.200
n11    619.800
n14    78.600
n15          49.800
n21          24.000
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n3 1.000, n6 1.000, n11 1.000, n14 1.000, n15 1.000, n21 1.000
---- 261 VARIABLE z.L          = 3.435714E+7 objetivo
      PARAMETER CT          = 2.925653E+9
      PARAMETER ct1         = 1.683834E+7 costo transporte1
      PARAMETER ct2         = 1.751880E+7 costo transporte2

```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 21  
 General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254

LOOPS FOR/WHILE 7  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 34147637.4000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 1.040 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 766 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin  
 Solved optimal.

Best solution: 34147637.4 (766 iterations, 1.04 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 22  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

---- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j  
 n3 n6 n11 n14 n15 n21

m1			18.000			
m2		41.000				
m3	69.000					
m4			40.000			
m5		824.000				
m6					20.000	
m7		42.000				
m8		28.000				
m9			891.000			
m10				6.000		
m11			33.000			
m12			75.000			
m13	10.000					
m14			85.000			
m15					31.000	
m16	667.000					
m17					10.000	
m18					19.000	
m19		16.000				
m20		6.000				
m21		3.000				
m22					5.000	
m23					7.000	
m24		3.000				
m25						20.000
m26		12.000				
m27		24.000				
m28	3.000					
m29						11.000
m30		3.000				
m32	58.000					
m33	5.000					
+	n27					
m31	16.000					

```

---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1      o2      o3
n3              487.200
n6          601.200
n11      610.200
n14      78.600
n15              49.800
n21          24.000
n27      9.600
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n3 1.000, n6 1.000, n11 1.000, n14 1.000, n15 1.000, n21 1.000
n27 1.000
---- 261 VARIABLE z.L          = 3.414764E+7 objetivo
      PARAMETER CT          = 3.053139E+9
      PARAMETER ct1         = 1.658549E+7 costo transporte1
      PARAMETER ct2         = 1.756215E+7 costo transporte2
GAMS Rev 228 x86/Linux          02/10/09 14:36:06 Page 23
General Algebraic Modeling System
Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254
LOOPS          FORWHILE 8
MODEL STATISTICS
BLOCKS OF EQUATIONS      7 SINGLE EQUATIONS      128
BLOCKS OF VARIABLES      4 SINGLE VARIABLES      1,111
NON ZERO ELEMENTS      5,281 DISCRETE VARIABLES      30
GENERATION TIME = 0.149 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008
EXECUTION TIME = 0.152 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008

```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 24  
 General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254

LOOPS FOR/WHILE 8  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 33941555.4000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.940 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 748 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin

Solved optimal.  
 Best solution: 33941555.4 (748 iterations, 0.94 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 25  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

---- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j  
 n1 n3 n6 n11 n14 n15

m1	18.000					
m2			41.000			
m3		69.000				
m4				40.000		
m5			824.000			
m7			42.000			
m8			28.000			
m9				891.000		
m10					6.000	
m11				33.000		
m12				75.000		
m13		10.000				
m14				85.000		
m15						31.000
m16		667.000				
m17						10.000
m18						19.000
m19			16.000			
m20			6.000			
m21			3.000			
m22						5.000
m23						7.000
m24			3.000			
m26			12.000			
m27			24.000			
m28		3.000				
m29						11.000
m30			3.000			
m32		58.000				
m33		5.000				
+	n21	n27				
m6	20.000					
m25	20.000					
m31		16.000				



```

---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1      o2      o3
n1    10.800
n3                487.200
n6          601.200
n11   599.400
n14   78.600
n15                49.800
n21          24.000
n27    9.600
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n1 1.000, n3 1.000, n6 1.000, n11 1.000, n14 1.000, n15 1.000
n21 1.000, n27 1.000
---- 261 VARIABLE z.L          = 3.394156E+7 objetivo
      PARAMETER CT          = 3.178508E+9
      PARAMETER ct1         = 1.620526E+7 costo transporte1
      PARAMETER ct2         = 1.773630E+7 costo transporte2
GAMS Rev 228 x86/Linux          02/10/09 14:36:06 Page 26
General Algebraic Modeling System
Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254
LOOPS          FOR/WHILE 9
MODEL STATISTICS
BLOCKS OF EQUATIONS      7 SINGLE EQUATIONS      128
BLOCKS OF VARIABLES      4 SINGLE VARIABLES      1,111
NON ZERO ELEMENTS        5,281 DISCRETE VARIABLES    30
GENERATION TIME =        0.156 SECONDS    3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008
EXECUTION TIME  =        0.196 SECONDS    3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008

```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 27  
 General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254

LOOPS FOR/WHILE 9  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 33822971.4000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.950 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 746 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin

Solved optimal.

Best solution: 33822971.4 (746 iterations, 0.95 seconds)

\*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 28  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

--- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n1	n3	n4	n6	n11	n14
m1	18.000					
m2			41.000			
m3		69.000				
m4			40.000			
m5				824.000		
m7				42.000		
m8				28.000		
m9					891.000	
m10			6.000			
m11					33.000	
m12					75.000	
m13		10.000				
m14						85.000
m16		667.000				
m19				16.000		
m20				6.000		
m21				3.000		
m24				3.000		
m26				12.000		
m27				24.000		
m28		3.000				
m30				3.000		
m32		58.000				
m33		5.000				
+	n15	n21	n27			
m6		20.000				
m15	31.000					
m17	10.000					
m18	19.000					
m22	5.000					
m23	7.000					
m25		20.000				
m29	11.000					
m31			16.000			

```

---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1      o2      o3
n1    10.800
n3                    487.200
n4    27.600
n6          601.200
n11   599.400
n14   51.000
n15                    49.800
n21          24.000
n27    9.600
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n1 1.000, n3 1.000, n4 1.000, n6 1.000, n11 1.000, n14 1.000
n15 1.000, n21 1.000, n27 1.000
---- 261 VARIABLE z.L          = 3.382297E+7 objetivo
      PARAMETER CT          = 3.301844E+9
      PARAMETER ct1        = 1.596206E+7 costo transporte1
      PARAMETER ct2        = 1.786091E+7 costo transporte2
    
```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 29  
 General Algebraic Modeling System  
 Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 10  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128  
 BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111  
 NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30  
 GENERATION TIME = 0.155 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 EXECUTION TIME = 0.303 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 30

General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 10  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\* OBJECTIVE VALUE 33757053.8000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 1.070 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 827 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin  
 Solved optimal.  
 Best solution: 33757053.8 (827 iterations, 1.07 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY: 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 31  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

---- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n1	n3	n4	n6	n7	n11
m1	18.000					
m2				41.000		
m3		69.000				
m4			40.000			
m5				824.000		
m7				42.000		
m8					28.000	
m9						891.000
m10			6.000			
m11						33.000
m12						75.000
m13		10.000				
m16		667.000				
m19				16.000		
m20				6.000		
m21				3.000		
m24				3.000		
m26				12.000		
m27				24.000		
m28		3.000				
m30				3.000		

```

m32          58.000
m33          5.000
+   n14      n15      n21      n27
m6           20.000
m14      85.000
m15          31.000
m17          10.000
m18          19.000
m22          5.000
m23          7.000
m25           20.000
m29          11.000
m31                   16.000
---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1      o2      o3
n1     10.800
n3           487.200
n4     27.600
n6           584.400
n7           16.800
n11    599.400
n14    51.000
n15           49.800
n21           24.000
n27     9.600
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n1 1.000, n3 1.000, n4 1.000, n6 1.000, n7 1.000, n11 1.000
n14 1.000, n15 1.000, n21 1.000, n27 1.000
---- 261 VARIABLE z.L          = 3.375705E+7 objetivo
      PARAMETER CT           = 3.423113E+9
      PARAMETER ct1          = 1.569567E+7 costo transporte1
      PARAMETER ct2          = 1.806138E+7 costo transporte2

```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 32  
 General Algebraic Modeling System  
 Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FORWHILE 11  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128  
 BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111  
 NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30  
 GENERATION TIME = 0.140 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 EXECUTION TIME = 0.234 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 33

General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FORWHILE 11  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 33706725.8000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 1.920 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 1269 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin  
 Solved optimal.  
 Best solution: 33706725.8 (1269 iterations, 1.92 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 34  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

--- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n1	n3	n4	n6	n7	n11
m1	18.000					
m2				41.000		
m3		69.000				
m4			40.000			
m5				824.000		
m7				42.000		
m8					28.000	
m9						891.000
m10			6.000			
m11						33.000
m12						75.000
m13		10.000				
m16		667.000				
m19				16.000		
m21				3.000		
m24				3.000		
m26				12.000		
m28		3.000				
m30				3.000		
m32		58.000				
m33		5.000				
+	n14	n15	n21	n24	n27	
m6			20.000			
m14	85.000					

```

m15      31.000
m17      10.000
m18      19.000
m20              6.000
m22      5.000
m23      7.000
m25              20.000
m27              24.000
m29      11.000
m31              16.000
---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1      o2      o3
n1      10.800
n3              487.200
n4      27.600
n6              566.400
n7              16.800
n11     599.400
n14     51.000
n15              49.800
n21              24.000
n24              18.000
n27     9.600
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n1 1.000, n3 1.000, n4 1.000, n6 1.000, n7 1.000, n11 1.000
n14 1.000, n15 1.000, n21 1.000, n24 1.000, n27 1.000
---- 261 VARIABLE z.L          = 3.370673E+7 objetivo
      PARAMETER CT          = 3.542278E+9
      PARAMETER ct1         = 1.555246E+7 costo transporte1
      PARAMETER ct2         = 1.815426E+7 costo transporte2

```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 35  
 General Algebraic Modeling System  
 Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 12  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128  
 BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111  
 NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30  
 GENERATION TIME = 0.162 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 EXECUTION TIME = 0.313 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 36

General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 12  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 33657613.8000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 1.200 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 846 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin  
 Solved optimal.  
 Best solution: 33657613.8 (846 iterations, 1.2 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 37  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

--- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n1	n3	n4	n6	n7	n11
m1	18.000					
m2				41.000		
m3		69.000				
m4			40.000			
m5				824.000		
m7				42.000		
m8					28.000	
m9						891.000
m10			6.000			
m11						33.000
m12						75.000
m13		10.000				
m16		667.000				
m19				16.000		
m21				3.000		
m24				3.000		
m26				12.000		
m30				3.000		
m33		5.000				
+	n14	n15	n21	n24	n27	n29
m6			20.000			
m14	85.000					
m15		31.000				
m17		10.000				



```

m18      19.000
m20              6.000
m22      5.000
m23      7.000
m25              20.000
m27              24.000
m28              3.000
m29      11.000
m31              16.000
m32              58.000
---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1      o2      o3
n1      10.800
n3              450.600
n4      27.600
n6              566.400
n7              16.800
n11     599.400
n14     51.000
n15              49.800
n21              24.000
n24              18.000
n27     9.600
n29              36.600
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n1 1.000, n3 1.000, n4 1.000, n6 1.000, n7 1.000, n11 1.000
n14 1.000, n15 1.000, n21 1.000, n24 1.000, n27 1.000, n29 1.000
---- 261 VARIABLE z.L = 3.365761E+7 objetivo
      PARAMETER CT = 3.659324E+9
      PARAMETER ct1 = 1.529089E+7 costo transporte1
      PARAMETER ct2 = 1.836673E+7 costo transporte2
GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 38
General Algebraic Modeling System
Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254
LOOPS FOR/WHILE 13
MODEL STATISTICS
BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128
BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111
NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30
GENERATION TIME = 0.152 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008
EXECUTION TIME = 0.233 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008

```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 39  
 General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254

LOOPS FOR/WHILE 13  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 33628418.8000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 1.000 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 783 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin

Solved optimal.

Best solution: 33628418.8 (783 iterations, 1 seconds)

\*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 40  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

---- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n1	n3	n4	n6	n7	n11
m1	18.000					
m2				41.000		
m3		69.000				
m4			40.000			
m5				824.000		
m7				42.000		
m8					28.000	
m9						891.000
m10			6.000			
m11						33.000
m12						75.000
m16		667.000				
m19				16.000		
m21				3.000		
m24				3.000		
m26				12.000		
m30				3.000		
+	n14	n15	n21	n24	n27	n29
m6			20.000			
m14	85.000					
m15		31.000				
m17		10.000				
m18		19.000				
m20				6.000		
m22		5.000				
m23		7.000				
m25			20.000			
m27				24.000		
m28						3.000
m29		11.000				
m31				16.000		
m32						58.000
+	n30					
m13	10.000					

```

m33    5.000
----  261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1    o2    o3
n1    10.800
n3                441.600
n4    27.600
n6                566.400
n7                16.800
n11   599.400
n14   51.000
n15                49.800
n21                24.000
n24                18.000
n27    9.600
n29                36.600
n30                9.000
----  261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n1 1.000, n3 1.000, n4 1.000, n6 1.000, n7 1.000, n11 1.000
n14 1.000, n15 1.000, n21 1.000, n24 1.000, n27 1.000, n29 1.000
n30 1.000
----  261 VARIABLE z.L          = 3.362842E+7 objetivo
      PARAMETER CT            = 3.774270E+9
      PARAMETER ct1           = 1.515140E+7 costo transporte1
      PARAMETER ct2           = 1.847702E+7 costo transporte2
    
```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 41  
 General Algebraic Modeling System  
 Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 14  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128  
 BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111  
 NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30  
 GENERATION TIME = 0.165 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 EXECUTION TIME = 0.168 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 42

General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 14  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 33606529.8000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.920 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 677 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin  
 Solved optimal.  
 Best solution: 33606529.8 (677 iterations, 0.92 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 43  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

--- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n1	n3	n4	n6	n7	n11
m1	18.000					
m2				41.000		
m3		69.000				
m4			40.000			
m5				824.000		
m7				42.000		
m8					28.000	
m9						891.000
m10			6.000			
m11						33.000
m12						75.000
m16		667.000				
m19				16.000		
m21				3.000		
m24				3.000		
m26				12.000		
m30				3.000		
+	n12	n14	n15	n21	n24	n27
m6				20.000		
m14		85.000				
m15			31.000			
m17			10.000			
m18	19.000					
m20				6.000		

```

m22          5.000
m23          7.000
m25          20.000
m27          24.000
m28    3.000
m29          11.000
m31          16.000
+   n29    n30
m13          10.000
m32    58.000
m33          5.000
---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1    o2    o3
n1    10.800
n3          441.600
n4    27.600
n6          566.400
n7          16.800
n11   599.400
n12          13.200
n14   51.000
n15          38.400
n21          24.000
n24          18.000
n27    9.600
n29          34.800
n30          9.000
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n1 1.000, n3 1.000, n4 1.000, n6 1.000, n7 1.000, n11 1.000
n12 1.000, n14 1.000, n15 1.000, n21 1.000, n24 1.000, n27 1.000
n29 1.000, n30 1.000
---- 261 VARIABLE z.L          = 3.360653E+7 objetivo
      PARAMETER CT          = 3.887103E+9
      PARAMETER ct1         = 1.516511E+7 costo transporte1
      PARAMETER ct2         = 1.844142E+7 costo transporte2
GAMS Rev 228 x86/Linux          02/10/09 14:36:06 Page 44
General Algebraic Modeling System
Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254
LOOPS          FOR/WHILE 15
MODEL STATISTICS
BLOCKS OF EQUATIONS      7 SINGLE EQUATIONS      128
BLOCKS OF VARIABLES      4 SINGLE VARIABLES      1,111
NON ZERO ELEMENTS        5,281 DISCRETE VARIABLES      30
GENERATION TIME = 0.152 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008
EXECUTION TIME = 0.428 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008

```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 45  
 General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254

LOOPS FOR/WHILE 15  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 33589434.8000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.780 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 635 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin

Solved optimal.

Best solution: 33589434.8 (635 iterations, 0.78 seconds)

\*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 46  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

---- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n1	n3	n4	n6	n7	n11
m1	18.000					
m2			41.000			
m3		69.000				
m4			40.000			
m5				824.000		
m7				42.000		
m8					28.000	
m9						891.000
m10			6.000			
m11						33.000
m12						75.000
m16		667.000				
m19				16.000		
m21				3.000		
m24				3.000		
m26				12.000		
m30				3.000		
+	n12	n14	n15	n16	n21	n24
m6				20.000		
m14		85.000				
m15			31.000			
m17				10.000		
m18	19.000					
m20					6.000	
m22				5.000		
m23			7.000			
m25				20.000		
m27					24.000	
m28	3.000					
m29			11.000			
+	n27	n29	n30			
m13			10.000			
m31	16.000					
m32		58.000				

```

m33          5.000
---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1      o2      o3
n1      10.800
n3          441.600
n4      27.600
n6          566.400
n7          16.800
n11     599.400
n12          13.200
n14     51.000
n15          29.400
n16          9.000
n21          24.000
n24          18.000
n27     9.600
n29          34.800
n30          9.000
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n1 1.000, n3 1.000, n4 1.000, n6 1.000, n7 1.000, n11 1.000
n12 1.000, n14 1.000, n15 1.000, n16 1.000, n21 1.000, n24 1.000
n27 1.000, n29 1.000, n30 1.000
---- 261 VARIABLE z.L          = 3.358943E+7 objetivo
      PARAMETER CT          = 3.997821E+9
      PARAMETER ct1         = 1.506675E+7 costo transporte1
      PARAMETER ct2         = 1.852269E+7 costo transporte2

```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 47  
 General Algebraic Modeling System  
 Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 16  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128  
 BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111  
 NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30  
 GENERATION TIME = 0.122 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 EXECUTION TIME = 0.201 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 48

General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 16  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 33579372.2000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.980 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 755 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin  
 Solved optimal.  
 Best solution: 33579372.2 (755 iterations, 0.98 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 49  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

--- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n1	n3	n4	n6	n7	n11
m1	18.000					
m2				41.000		
m3		69.000				
m4			40.000			
m5				824.000		
m7				42.000		
m8					28.000	
m9						891.000
m10			6.000			
m11						33.000
m12						75.000
m16		667.000				
m19				16.000		
m21				3.000		
m24				3.000		
m26				12.000		
+	n12	n14	n15	n16	n21	n24
m6				20.000		
m14		85.000				
m15			31.000			
m17				10.000		
m18	19.000					
m20					6.000	
m22			5.000			



```

m23          7.000
m25          20.000
m27          24.000
m28    3.000
m29          11.000
+   n26    n27    n29    n30
m13          10.000
m30    3.000
m31          16.000
m32          58.000
m33          5.000
---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1    o2    o3
n1    10.800
n3          441.600
n4    27.600
n6          564.600
n7          16.800
n11   599.400
n12          13.200
n14   51.000
n15          29.400
n16          9.000
n21          24.000
n24          18.000
n26          1.800
n27    9.600
n29          34.800
n30          9.000
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n1 1.000, n3 1.000, n4 1.000, n6 1.000, n7 1.000, n11 1.000
n12 1.000, n14 1.000, n15 1.000, n16 1.000, n21 1.000, n24 1.000
n26 1.000, n27 1.000, n29 1.000, n30 1.000
---- 261 VARIABLE z.L
PARAMETER CT          = 3.357937E+7 objetivo
PARAMETER ct1         = 4.106426E+9
PARAMETER ct2         = 1.504449E+7 costo transporte1
PARAMETER ct2         = 1.853488E+7 costo transporte2

```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 50  
 General Algebraic Modeling System  
 Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 17  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128  
 BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111  
 NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30  
 GENERATION TIME = 0.158 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 EXECUTION TIME = 0.229 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 51

General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 17  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\* OBJECTIVE VALUE 33570342.2000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 1.070 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 820 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin  
 Solved optimal.  
 Best solution: 33570342.2 (820 iterations, 1.07 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 52  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

--- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n1	n3	n4	n6	n7	n11
m1	18.000					
m2				41.000		
m3		69.000				
m4			40.000			
m5				824.000		
m7				42.000		
m8					28.000	
m9						891.000
m10			6.000			
m11						33.000
m12						75.000
m16		667.000				
m19				16.000		
m21				3.000		
m24				3.000		
m26				12.000		
+	n12	n14	n15	n16	n21	n24
m6				20.000		
m14		85.000				
m15			31.000			
m17				10.000		
m18	19.000					
m20					6.000	
m22				5.000		

```

m23          7.000
m25          20.000
m27          24.000
m28    3.000
m29          11.000
+   n26    n27    n28    n29    n30
m13          10.000
m30    3.000
m31          16.000
m32          58.000
m33          5.000
---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1    o2    o3
n1    10.800
n3          441.600
n4    27.600
n6          564.600
n7          16.800
n11   599.400
n12          13.200
n14   51.000
n15          29.400
n16          9.000
n21          24.000
n24          18.000
n26          1.800
n27    9.600
n28          6.000
n29          34.800
n30          3.000
--- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n1 1.000, n3 1.000, n4 1.000, n6 1.000, n7 1.000, n11 1.000
n12 1.000, n14 1.000, n15 1.000, n16 1.000, n21 1.000, n24 1.000
n26 1.000, n27 1.000, n28 1.000, n29 1.000, n30 1.000
---- 261 VARIABLE z.L          = 3.357034E+7 objetivo
      PARAMETER CT          = 4.212912E+9
      PARAMETER ct1         = 1.499289E+7 costo transporte1
      PARAMETER ct2         = 1.857745E+7 costo transporte2

```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 53  
 General Algebraic Modeling System  
 Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 18  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128  
 BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111  
 NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30  
 GENERATION TIME = 0.156 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 EXECUTION TIME = 0.195 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 54

General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 18  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 33561830.6000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.650 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 574 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin  
 Solved optimal.  
 Best solution: 33561830.6 (574 iterations, 0.65 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 55  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

--- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n1	n2	n3	n4	n6	n7
m1	18.000					
m2				41.000		
m3			69.000			
m4			40.000			
m5				824.000		
m7				42.000		
m8					28.000	
m10				6.000		
m16			667.000			
m19				16.000		
m21				3.000		
m24		3.000				
m26				12.000		
+	n11	n12	n14	n15	n16	n21
m6					20.000	
m9	891.000					
m11	33.000					
m12	75.000					
m14			85.000			
m15				31.000		
m17					10.000	
m18		19.000				
m22					5.000	
m23				7.000		

```

m25                                20.000
m28                                3.000
m29                                11.000
+   n24    n26    n27    n28    n29    n30
m13                                10.000
m20    6.000
m27    24.000
m30    3.000
m31    16.000
m32    58.000
m33    5.000
---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1    o2    o3
n1    10.800
n2    1.800
n3    441.600
n4    27.600
n6    562.800
n7    16.800
n11   599.400
n12    13.200
n14   51.000
n15    29.400
n16    9.000
n21    24.000
n24    18.000
n26    1.800
n27    9.600
n28    6.000
n29    34.800
n30    3.000
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n1 1.000, n2 1.000, n3 1.000, n4 1.000, n6 1.000, n7 1.000
n11 1.000, n12 1.000, n14 1.000, n15 1.000, n16 1.000, n21 1.000
n24 1.000, n26 1.000, n27 1.000, n28 1.000, n29 1.000, n30 1.000
---- 261 VARIABLE z.L = 3.356183E+7 objetivo
      PARAMETER CT = 4.317279E+9
      PARAMETER ct1 = 1.496871E+7 costo transporte1
      PARAMETER ct2 = 1.859312E+7 costo transporte2

```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 56  
 General Algebraic Modeling System  
 Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 19  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128  
 BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111  
 NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30  
 GENERATION TIME = 0.126 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 EXECUTION TIME = 0.199 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 57

General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 19  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 33556867.6000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.170 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 282 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin  
 Solved optimal.  
 Best solution: 33556867.6 (282 iterations, 0.17 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 58  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

--- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n1	n2	n3	n4	n6	n7
m1	18.000					
m2				41.000		
m3			69.000			
m4			40.000			
m5				824.000		
m7				42.000		
m8					28.000	
m10				6.000		
m16			667.000			
m19				16.000		
m21				3.000		
m24		3.000				
m26				12.000		
+	n11	n12	n14	n15	n16	n20
m9	891.000					
m11	33.000					
m12	75.000					
m14			85.000			
m15			31.000			
m17				10.000		
m18		19.000				
m22				5.000		
m23					7.000	
m28		3.000				

```

m29          11.000
+   n21      n24      n26      n27      n28      n29
m6  20.000
m13          10.000
m20         6.000
m25  20.000
m27         24.000
m30          3.000
m31          16.000
m32          58.000
+   n30
m33  5.000
---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1      o2      o3
n1   10.800
n2         1.800
n3          441.600
n4   27.600
n6         562.800
n7         16.800
n11  599.400
n12          13.200
n14   51.000
n15          25.200
n16          9.000
n20          4.200
n21         24.000
n24         18.000
n26          1.800
n27   9.600
n28          6.000
n29         34.800
n30          3.000
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n1 1.000, n2 1.000, n3 1.000, n4 1.000, n6 1.000, n7 1.000
11 1.000, n12 1.000, n14 1.000, n15 1.000, n16 1.000, n20 1.000
n21 1.000, n24 1.000, n26 1.000, n27 1.000, n28 1.000, n29 1.000
n30 1.000
---- 261 VARIABLE z.L          = 3.355687E+7 objetivo
      PARAMETER CT          = 4.419529E+9
      PARAMETER ct1         = 1.491227E+7 costo transporte1
      PARAMETER ct2         = 1.864460E+7 costo transporte2

```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 59  
 General Algebraic Modeling System  
 Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 20  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128  
 BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111  
 NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30  
 GENERATION TIME = 0.131 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 EXECUTION TIME = 0.163 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 60

General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 20  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 33552034.6000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.180 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 277 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin  
 Solved optimal.  
 Best solution: 33552034.6 (277 iterations, 0.18 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY: 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 61  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

--- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n1	n2	n3	n4	n5	n6
m1	18.000					
m2					41.000	
m3			69.000			
m4				40.000		
m5					824.000	
m7					42.000	
m10				6.000		
m16			667.000			
m19					16.000	
m21					3.000	
m24		3.000				
m26				12.000		
+	n7	n11	n12	n14	n15	n16
m8	28.000					
m9		891.000				
m11		33.000				
m12		75.000				
m14			85.000			
m15				31.000		
m17					10.000	
m18			19.000			
m22					5.000	
m28			3.000			



```

m29                                11.000
+   n20      n21      n24      n26      n27      n28
m6           20.000
m13                                     10.000
m20           6.000
m23      7.000
m25           20.000
m27           24.000
m30           3.000
m31           16.000
+   n29      n30
m32      58.000
m33           5.000
---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1      o2      o3
n1     10.800
n2           1.800
n3           441.600
n4     27.600
n5           9.000
n6           553.800
n7           16.800
n11    599.400
n12           13.200
n14    51.000
n15           25.200
n16           9.000
n20           4.200
n21           24.000
n24           18.000
n26           1.800
n27     9.600
n28           6.000
n29           34.800
n30           3.000
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n1 1.000, n2 1.000, n3 1.000, n4 1.000, n5 1.000, n6 1.000
n7 1.000, n11 1.000, n12 1.000, n14 1.000, n15 1.000, n16 1.000
n20 1.000, n21 1.000, n24 1.000, n26 1.000, n27 1.000, n28 1.000
n29 1.000, n30 1.000
---- 261 VARIABLE z.L          = 3.355203E+7 objetivo
      PARAMETER CT          = 4.519659E+9
      PARAMETER ct1         = 1.489873E+7 costo transporte1
      PARAMETER ct2         = 1.865331E+7 costo transporte2

```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 62  
 General Algebraic Modeling System  
 Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 21  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128  
 BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111  
 NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30  
 GENERATION TIME = 0.171 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 EXECUTION TIME = 0.212 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 63

General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 21  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 33551394.6000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.080 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 243 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin  
 Solved optimal.  
 Best solution: 33551394.6 (243 iterations, 0.08 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 64  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

--- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n1	n2	n3	n4	n5	n6
m1	18.000					
m2					41.000	
m3			69.000			
m4				40.000		
m5					824.000	
m7					42.000	
m10				6.000		
m16			667.000			
m19						16.000
m21					3.000	
m24		3.000				
m26					12.000	
+	n7	n11	n12	n14	n15	n16
m8	28.000					
m9		891.000				
m11		33.000				
m12		75.000				
m14			85.000			
m15				31.000		
m17					10.000	
m18			19.000			
m22					5.000	
m28			3.000			
m29				11.000		

```

+      n18      n20      n21      n24      n26      n27
m6
m20
m23
m25      20.000
m27
m30
m31
+      n28      n29      n30
m13      10.000
m32
m33
---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1      o2      o3
n1      10.800
n2
n3
n4      27.600
n5
n6
n7
n11     599.400
n12
n14     51.000
n15
n16
n18
n20
n21
n24
n26
n27     9.600
n28
n29
n30
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n1 1.000, n2 1.000, n3 1.000, n4 1.000, n5 1.000, n6 1.000
n7 1.000, n11 1.000, n12 1.000, n14 1.000, n15 1.000, n16 1.000
n18 1.000, n20 1.000, n21 1.000, n24 1.000, n26 1.000, n27 1.000
n28 1.000, n29 1.000, n30 1.000
---- 261 VARIABLE z.L
PARAMETER CT = 3.355139E+7 objetivo
PARAMETER ct1 = 4.617674E+9
PARAMETER ct2 = 1.496001E+7 costo transporte1
PARAMETER ct3 = 1.859139E+7 costo transporte2

```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 65  
 General Algebraic Modeling System  
 Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 22  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128  
 BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111  
 NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30  
 GENERATION TIME = 0.166 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 EXECUTION TIME = 0.227 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 66

General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 22  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 33551394.6000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.070 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 244 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin  
 Solved optimal.  
 Best solution: 33551394.6 (244 iterations, 0.08 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 67  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

--- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n1	n2	n3	n4	n5	n6
m1	18.000					
m2					41.000	
m3			69.000			
m4				40.000		
m5					824.000	
m7					42.000	
m10				6.000		
m16			667.000			
m19					16.000	
m21					3.000	
m24		3.000				
m26					12.000	
+	n7	n11	n12	n14	n15	n16
m8	28.000					
m9		891.000				
m11		33.000				
m12		75.000				
m14			85.000			
m15				31.000		
m17					10.000	
m18			19.000			
m22					5.000	
m28			3.000			
m29				11.000		

	+	n18	n20	n21	n24	n26	n27
m6				20.000			
m20					6.000		
m23			7.000				
m25	20.000						
m27				24.000			
m30					3.000		
m31						16.000	
	+	n28	n29	n30			
m13		10.000					
m32			58.000				
m33				5.000			
----	261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k						
		o1	o2	o3			
n1	10.800						
n2		1.800					
n3			441.600				
n4	27.600						
n5		9.000					
n6		553.800					
n7		16.800					
n11	599.400						
n12			13.200				
n14	51.000						
n15			25.200				
n16			9.000				
n18		12.000					
n20			4.200				
n21		12.000					
n24		18.000					
n26			1.800				
n27	9.600						
n28			6.000				
n29			34.800				
n30			3.000				
----	261 VARIABLE y.L cantidad de PTL						
n1	1.000,	n2	1.000,	n3	1.000,	n4	1.000,
n5	1.000,	n6	1.000				
n7	1.000,	n10	1.000,	n11	1.000,	n12	1.000,
n14	1.000,	n15	1.000				
n16	1.000,	n18	1.000,	n20	1.000,	n21	1.000,
n24	1.000,	n26	1.000				
n27	1.000,	n28	1.000,	n29	1.000,	n30	1.000
----	261 VARIABLE z.L						
					= 3.355139E+7	objetivo	
	PARAMETER CT				= 4.713569E+9		
	PARAMETER ct1				= 1.496001E+7	costo transporte1	
	PARAMETER ct2				= 1.859139E+7	costo transporte2	

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 68  
 General Algebraic Modeling System  
 Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 23  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128  
 BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111  
 NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30  
 GENERATION TIME = 0.156 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 EXECUTION TIME = 0.317 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 69

General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 23  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 33551394.6000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.080 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 246 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin  
 Solved optimal.  
 Best solution: 33551394.6 (246 iterations, 0.08 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 70  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

--- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n1	n2	n3	n4	n5	n6
m1	18.000					
m2					41.000	
m3			69.000			
m4				40.000		
m5					824.000	
m7					42.000	
m10				6.000		
m16			667.000			
m19					16.000	
m21					3.000	
m24		3.000				
m26					12.000	
+	n7	n11	n12	n14	n15	n16
m8	28.000					
m9		891.000				
m11		33.000				
m12		75.000				
m14			85.000			
m15				31.000		
m17					10.000	
m18			19.000			
m22					5.000	
m28			3.000			
m29				11.000		

```

+      n18      n20      n21      n24      n26      n27
m6
m20
m23
m25      20.000
m27
m30
m31
+      n28      n29      n30
m13      10.000
m32
m33
---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1      o2      o3
n1      10.800
n2
n3
n4      27.600
n5
n6
n7
n11     599.400
n12
n14     51.000
n15
n16
n18
n20
n21
n24
n26
n27     9.600
n28
n29
n30
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n1 1.000, n2 1.000, n3 1.000, n4 1.000, n5 1.000, n6 1.000
n7 1.000, n9 1.000, n10 1.000, n11 1.000, n12 1.000, n14 1.000
n15 1.000, n16 1.000, n18 1.000, n20 1.000, n21 1.000, n24 1.000
n26 1.000, n27 1.000, n28 1.000, n29 1.000, n30 1.000
--- 261 VARIABLE z.L
PARAMETER CT = 3.355139E+7 objetivo
PARAMETER ct1 = 4.807344E+9
PARAMETER ct2 = 1.496001E+7 costo transporte1
PARAMETER ct3 = 1.859139E+7 costo transporte2

```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 71  
 General Algebraic Modeling System  
 Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 24  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128  
 BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111  
 NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30  
 GENERATION TIME = 0.128 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 EXECUTION TIME = 0.315 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 72

General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 24  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 33551394.6000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.080 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 246 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin  
 Solved optimal.  
 Best solution: 33551394.6 (246 iterations, 0.08 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 73  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

--- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n1	n2	n3	n4	n5	n6
m1	18.000					
m2					41.000	
m3			69.000			
m4				40.000		
m5					824.000	
m7					42.000	
m10				6.000		
m16			667.000			
m19					16.000	
m21					3.000	
m24		3.000				
m26					12.000	
+	n7	n11	n12	n14	n15	n16
m8	28.000					
m9		891.000				
m11		33.000				
m12		75.000				
m14			85.000			
m15				31.000		
m17					10.000	
m18			19.000			
m22					5.000	
m28			3.000			
m29				11.000		



```

+      n18      n20      n21      n24      n26      n27
m6                20.000
m20                6.000
m23      7.000
m25      20.000
m27                24.000
m30                3.000
m31                16.000
+      n28      n29      n30
m13      10.000
m32                58.000
m33                5.000
---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1      o2      o3
n1      10.800
n2                1.800
n3                441.600
n4      27.600
n5                9.000
n6                553.800
n7                16.800
n11     599.400
n12                13.200
n14     51.000
n15                25.200
n16                9.000
n18                12.000
n20                4.200
n21                12.000
n24                18.000
n26                1.800
n27     9.600
n28                6.000
n29                34.800
n30                3.000
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n1 1.000, n2 1.000, n3 1.000, n4 1.000, n5 1.000, n6 1.000
n7 1.000, n8 1.000, n9 1.000, n10 1.000, n11 1.000, n12 1.000
n14 1.000, n15 1.000, n16 1.000, n18 1.000, n20 1.000, n21 1.000
n24 1.000, n26 1.000, n27 1.000, n28 1.000, n29 1.000, n30 1.000
---- 261 VARIABLE z.L          = 3.355139E+7 objetivo
      PARAMETER CT          = 4.898999E+9
      PARAMETER ct1         = 1.496001E+7 costo transporte1
      PARAMETER ct2         = 1.859139E+7 costo transporte2

```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 74  
 General Algebraic Modeling System  
 Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 25  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128  
 BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111  
 NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30  
 GENERATION TIME = 0.150 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 EXECUTION TIME = 0.192 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 75

General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 25  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 33551394.6000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.060 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 238 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin  
 Solved optimal.  
 Best solution: 33551394.6 (238 iterations, 0.06 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 76  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

--- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n1	n2	n3	n4	n5	n6
m1	18.000					
m2					41.000	
m3			69.000			
m4				40.000		
m5					824.000	
m7					42.000	
m10				6.000		
m16			667.000			
m19					16.000	
m21					3.000	
m24		3.000				
m26					12.000	
+	n7	n11	n12	n14	n15	n16
m8	28.000					
m9		891.000				
m11		33.000				
m12		75.000				
m14			85.000			
m15				31.000		
m17					10.000	
m18			19.000			
m22					5.000	
m28			3.000			
m29				11.000		

```

+      n18      n20      n21      n24      n26      n27
m6                20.000
m20                6.000
m23              7.000
m25      20.000
m27                24.000
m30                3.000
m31                16.000
+      n28      n29      n30
m13      10.000
m32              58.000
m33                5.000
---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1      o2      o3
n1      10.800
n2              1.800
n3                441.600
n4      27.600
n5              9.000
n6              553.800
n7              16.800
n11     599.400
n12                13.200
n14     51.000
n15                25.200
n16                9.000
n18              12.000
n20                4.200
n21              12.000
n24              18.000
n26                1.800
n27     9.600
n28                6.000
n29              34.800
n30                3.000
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n1 1.000, n2 1.000, n3 1.000, n4 1.000, n5 1.000, n6 1.000
n7 1.000, n8 1.000, n9 1.000, n10 1.000, n11 1.000, n12 1.000
n13 1.000, n14 1.000, n15 1.000, n16 1.000, n18 1.000, n20 1.000
n21 1.000, n24 1.000, n26 1.000, n27 1.000, n28 1.000, n29 1.000
n30 1.000
---- 261 VARIABLE z.L          = 3.355139E+7 objetivo
      PARAMETER CT          = 4.988534E+9
      PARAMETER ct1         = 1.496001E+7 costo transporte1
      PARAMETER ct2         = 1.859139E+7 costo transporte2

```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 77  
 General Algebraic Modeling System  
 Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 26  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128  
 BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111  
 NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30  
 GENERATION TIME = 0.138 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 EXECUTION TIME = 0.255 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 78

General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 26  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 33551394.6000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.060 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 242 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin  
 Solved optimal.  
 Best solution: 33551394.6 (242 iterations, 0.06 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 79  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

--- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n1	n2	n3	n4	n5	n6
m1	18.000					
m2					41.000	
m3			69.000			
m4				40.000		
m5					824.000	
m7					42.000	
m10				6.000		
m16			667.000			
m19					16.000	
m21					3.000	
m24		3.000				
m26					12.000	
+	n7	n11	n12	n14	n15	n16
m8	28.000					
m9		891.000				
m11		33.000				
m12		75.000				
m14			85.000			
m15				31.000		
m17					10.000	
m18			19.000			
m22					5.000	
m28			3.000			
m29				11.000		

	+	n18	n20	n21	n24	n26	n27
m6				20.000			
m20					6.000		
m23			7.000				
m25		20.000					
m27				24.000			
m30					3.000		
m31						16.000	
	+	n28	n29	n30			
m13		10.000					
m32			58.000				
m33				5.000			
----	261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k						
		o1	o2	o3			
n1		10.800					
n2			1.800				
n3				441.600			
n4		27.600					
n5			9.000				
n6			553.800				
n7			16.800				
n11		599.400					
n12				13.200			
n14		51.000					
n15				25.200			
n16				9.000			
n18			12.000				
n20				4.200			
n21			12.000				
n24			18.000				
n26				1.800			
n27		9.600					
n28				6.000			
n29				34.800			
n30				3.000			
----	261 VARIABLE y.L cantidad de PTL						
n1	1.000,	n2	1.000,	n3	1.000,	n4	1.000,
n5	1.000,	n6	1.000,	n7	1.000,	n8	1.000,
n9	1.000,	n10	1.000,	n11	1.000,	n12	1.000,
n13	1.000,	n14	1.000,	n15	1.000,	n16	1.000,
n17	1.000,	n18	1.000,	n20	1.000,	n21	1.000,
n24	1.000,	n26	1.000,	n27	1.000,	n28	1.000,
n29	1.000,	n30	1.000,				
----	261 VARIABLE z.L						
					= 3.355139E+7	objetivo	
	PARAMETER CT				= 5.075949E+9		
	PARAMETER ct1				= 1.496001E+7	costo transporte1	
	PARAMETER ct2				= 1.859139E+7	costo transporte2	

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 80  
 General Algebraic Modeling System  
 Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 27  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128  
 BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111  
 NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30  
 GENERATION TIME = 0.121 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 EXECUTION TIME = 0.162 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 81  
 General Algebraic Modeling System

Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254

LOOPS FOR/WHILE 27

SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 33551394.6000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.060 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 235 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin

Solved optimal.

Best solution: 33551394.6 (235 iterations, 0.06 seconds)

\*\*\*\* REPORT SUMMARY: 0 NONOPT

0 INFEASIBLE

0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 82

General Algebraic Modeling System

Execution

---- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n1	n2	n3	n4	n5	n6
m1	18.000					
m2					41.000	
m3			69.000			
m4				40.000		
m5					824.000	
m7					42.000	
m10				6.000		
m16			667.000			
m19					16.000	
m21					3.000	
m24		3.000				
m26					12.000	
+	n7	n11	n12	n14	n15	n16
m8	28.000					
m9		891.000				
m11		33.000				
m12		75.000				
m14				85.000		
m15					31.000	
m17						10.000
m18			19.000			
m22						5.000
m28			3.000			

```

m29                11.000
+   n18      n20      n21      n24      n26      n27
m6                20.000
m20                6.000
m23                7.000
m25      20.000
m27                24.000
m30                3.000
m31                16.000
+   n28      n29      n30
m13      10.000
m32                58.000
m33                5.000
---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1      o2      o3
n1      10.800
n2                1.800
n3                441.600
n4      27.600
n5                9.000
n6                553.800
n7                16.800
n11     599.400
n12                13.200
n14     51.000
n15                25.200
n16                9.000
n18                12.000
n20                4.200
n21                12.000
n24                18.000
n26                1.800
n27     9.600
n28                6.000
n29                34.800
n30                3.000
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n1 1.000, n2 1.000, n3 1.000, n4 1.000, n5 1.000, n6 1.000
n7 1.000, n8 1.000, n9 1.000, n10 1.000, n11 1.000, n12 1.000
n13 1.000, n14 1.000, n15 1.000, n16 1.000, n17 1.000, n18 1.000
n19 1.000, n20 1.000, n21 1.000, n24 1.000, n26 1.000, n27 1.000
n28 1.000, n29 1.000, n30 1.000
---- 261 VARIABLE z.L                = 3.355139E+7 objetivo
      PARAMETER CT                  = 5.161244E+9
      PARAMETER ct1                  = 1.496001E+7 costo transporte1
      PARAMETER ct2                  = 1.859139E+7 costo transporte2

```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 83  
 General Algebraic Modeling System  
 Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 28  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128  
 BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111  
 NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30  
 GENERATION TIME = 0.132 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 EXECUTION TIME = 0.217 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 84

General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 28  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 33551394.6000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.060 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 231 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin  
 Solved optimal.  
 Best solution: 33551394.6 (231 iterations, 0.06 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY: 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 85  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

--- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n1	n2	n3	n4	n5	n6
m1	18.000					
m2					41.000	
m3			69.000			
m4				40.000		
m5					824.000	
m7					42.000	
m10				6.000		
m16			667.000			
m19					16.000	
m21					3.000	
m24		3.000				
m26					12.000	
+	n7	n11	n12	n14	n15	n16
m8	28.000					
m9		891.000				
m11		33.000				
m12		75.000				
m14			85.000			
m15				31.000		
m17					10.000	
m18			19.000			
m22					5.000	
m28			3.000			
m29				11.000		



```

+      n18      n20      n21      n24      n26      n27
m6                20.000
m20                6.000
m23              7.000
m25      20.000
m27                24.000
m30                3.000
m31                16.000
+      n28      n29      n30
m13      10.000
m32              58.000
m33                5.000
---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1      o2      o3
n1      10.800
n2              1.800
n3                441.600
n4      27.600
n5              9.000
n6              553.800
n7              16.800
n11     599.400
n12                13.200
n14     51.000
n15                25.200
n16                9.000
n18              12.000
n20                4.200
n21              12.000
n24              18.000
n26                1.800
n27     9.600
n28                6.000
n29                34.800
n30                3.000
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n1 1.000, n2 1.000, n3 1.000, n4 1.000, n5 1.000, n6 1.000
n7 1.000, n8 1.000, n9 1.000, n10 1.000, n11 1.000, n12 1.000
n13 1.000, n14 1.000, n15 1.000, n16 1.000, n17 1.000, n18 1.000
n19 1.000, n20 1.000, n21 1.000, n22 1.000, n24 1.000, n26 1.000
n27 1.000, n28 1.000, n29 1.000, n30 1.000
---- 261 VARIABLE z.L          = 3.355139E+7 objetivo
      PARAMETER CT          = 5.244419E+9
      PARAMETER ct1         = 1.496001E+7 costo transporte1
      PARAMETER ct2         = 1.859139E+7 costo transporte2

```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 86  
 General Algebraic Modeling System  
 Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 29  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128  
 BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111  
 NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30  
 GENERATION TIME = 0.159 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 EXECUTION TIME = 0.162 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 87

General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 29  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 33551394.6000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.040 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 226 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin  
 Solved optimal.  
 Best solution: 33551394.6 (226 iterations, 0.04 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 88  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

--- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n1	n2	n3	n4	n5	n6
m1	18.000					
m2					41.000	
m3			69.000			
m4				40.000		
m5					824.000	
m7					42.000	
m10				6.000		
m16			667.000			
m19					16.000	
m21					3.000	
m24		3.000				
m26					12.000	
+	n7	n11	n12	n14	n15	n16
m8	28.000					
m9		891.000				
m11		33.000				
m12		75.000				
m14			85.000			
m15				31.000		
m17					10.000	
m18			19.000			
m22					5.000	
m28			3.000			
m29				11.000		

```

+      n18      n20      n21      n24      n26      n27
m6
m20
m23
m25      20.000
m27
m30
m31
+      n28      n29      n30
m13      10.000
m32
m33
---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1      o2      o3
n1      10.800
n2
n3
n4      27.600
n5
n6
n7
n11     599.400
n12
n14     51.000
n15
n16
n18
n20
n21
n24
n26
n27     9.600
n28
n29
n30
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n1 1.000, n2 1.000, n3 1.000, n4 1.000, n5 1.000, n6 1.000
n7 1.000, n8 1.000, n9 1.000, n10 1.000, n11 1.000, n12 1.000
n13 1.000, n14 1.000, n15 1.000, n16 1.000, n17 1.000, n18 1.000
n19 1.000, n20 1.000, n21 1.000, n22 1.000, n23 1.000, n24 1.000
n26 1.000, n27 1.000, n28 1.000, n29 1.000, n30 1.000
---- 261 VARIABLE z.L
PARAMETER CT = 3.355139E+7 objetivo
PARAMETER ct1 = 5.325474E+9
PARAMETER ct2 = 1.496001E+7 costo transporte1
PARAMETER ct3 = 1.859139E+7 costo transporte2

```

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 89  
 General Algebraic Modeling System  
 Model Statistics SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 30  
 MODEL STATISTICS  
 BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 128  
 BLOCKS OF VARIABLES 4 SINGLE VARIABLES 1,111  
 NON ZERO ELEMENTS 5,281 DISCRETE VARIABLES 30  
 GENERATION TIME = 0.162 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 EXECUTION TIME = 0.165 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008  
 GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 90

General Algebraic Modeling System  
 Solution Report SOLVE transporte Using MIP From line 254  
 LOOPS FOR/WHILE 30  
 SOLVE SUMMARY

MODEL transporte OBJECTIVE z  
 TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER COINGLPK FROM LINE 254  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 33551394.6000  
 RESOURCE USAGE, LIMIT 0.030 1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT 186 10000  
 GAMS/CoinGlpk LP/MIP Solver (Glpk Library 4.26 )  
 written by A. Makhorin  
 Solved optimal.  
 Best solution: 33551394.6 (186 iterations, 0.03 seconds)  
 \*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 228 x86/Linux 02/10/09 14:36:06 Page 91  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

--- 261 VARIABLE x.L cantidad de lodo transportado de i a j

	n1	n2	n3	n4	n5	n6
m1	18.000					
m2					41.000	
m3			69.000			
m4				40.000		
m5					824.000	
m7					42.000	
m10				6.000		
m16			667.000			
m19					16.000	
m21					3.000	
m24		3.000				
m26					12.000	
+	n7	n11	n12	n14	n15	n16
m8	28.000					
m9		891.000				
m11		33.000				
m12		75.000				
m14			85.000			
m15				31.000		
m17					10.000	
m18			19.000			
m22					5.000	
m28			3.000			
m29				11.000		

```

+      n18      n20      n21      n24      n26      n27
m6                20.000
m20                6.000
m23              7.000
m25      20.000
m27                24.000
m30                3.000
m31                16.000
+      n28      n29      n30
m13      10.000
m32              58.000
m33              5.000
---- 261 VARIABLE x2.L cantidad de lodo transportado de j a k
      o1      o2      o3
n1      10.800
n2              1.800
n3              441.600
n4      27.600
n5              9.000
n6              553.800
n7              16.800
n11     599.400
n12              13.200
n14     51.000
n15              25.200
n16              9.000
n18              12.000
n20              4.200
n21              12.000
n24              18.000
n26              1.800
n27     9.600
n28              6.000
n29              34.800
n30              3.000
---- 261 VARIABLE y.L cantidad de PTL
n1 1.000, n2 1.000, n3 1.000, n4 1.000, n5 1.000, n6 1.000
n7 1.000, n8 1.000, n9 1.000, n10 1.000, n11 1.000, n12 1.000
n13 1.000, n14 1.000, n15 1.000, n16 1.000, n17 1.000, n18 1.000
n19 1.000, n20 1.000, n21 1.000, n22 1.000, n23 1.000, n24 1.000
n25 1.000, n26 1.000, n27 1.000, n28 1.000, n29 1.000, n30 1.000
---- 261 VARIABLE z.L          = 3.355139E+7 objetivo
      PARAMETER CT          = 5.404409E+9
      PARAMETER ct1         = 1.496001E+7 costo transporte1
      PARAMETER ct2         = 1.859139E+7 costo transporte2
EXECUTION TIME = 0.076 SECONDS 3 Mb LNX228-228 Jul 26, 2008
USER: MCS Department: NEOS Server G080625:1209AS-LNX
      Argonne National Labs DC7116
      License for teaching and research at degree granting institutions
**** FILE SUMMARY
Input /nfs/mcs-homes64/neosotc/.neos5/jobs/1796924/gams.mod
Output /nfs/mcs-homes64/neosotc/.neos5/jobs/1796924/solve.out

```

## ANEXO 6: DETALLE LOCALIDADES Y RELLENOS SANITARIOS SELECCIONADOS

N° PTL a Construir	Localidad	Cantidad de Lodo a Tratar (Ton/mes)	Relleño Sanitario	Canidad de Lodo a Disponer (Ton/mes)
1	Cabrero	3101	Laguna Verde	1861
2	Cabrero	2026	Laguna Verde	1216
	Chillan Viejo	1075	Ecobio	645
3	Cabrero	901	Laguna Verde	541
	Chillan Viejo	1042	Ecobio	625
	Hualqui	1158	Copiulemu	695
4	Cabrero	895	Laguna Verde	537
	Chillan Viejo	1042	Ecobio	625
	Hualqui	1033	Copiulemu	620
	Los Alamos	131	Copiulemu	79
5	Cabrero	812	Laguna Verde	487
	Chillan Viejo	1042	Ecobio	625
	Hualqui	1033	Copiulemu	620
	Los Alamos	131	Copiulemu	79
	Los Angeles	83	Laguna Verde	50
6	Cabrero	812	Laguna Verde	487
	Chillan Viejo	1002	Ecobio	601
	Hualqui	1033	Copiulemu	620
	Los Alamos	131	Copiulemu	79
	Los Angeles	83	Laguna Verde	50
	Quirihue	40	Ecobio	24
7	Cabrero	812	Laguna Verde	487
	Chillan Viejo	1002	Ecobio	601
	Hualqui	1017	Copiulemu	610
	Los Alamos	131	Copiulemu	79
	Los Angeles	83	Laguna Verde	50
	Quirihue	40	Ecobio	24
	Santa Juana	16	Copiulemu	10
8	Arauco	18	Copiulemu	11
	Cabrero	812	Laguna Verde	487
	Chillan Viejo	1002	Ecobio	601
	Hualqui	999	Copiulemu	599
	Los Alamos	131	Copiulemu	79
	Los Angeles	83	Laguna Verde	50
	Quirihue	40	Ecobio	24
	Santa Juana	16	Copiulemu	10
9	Arauco	18	Copiulemu	11
	Cabrero	812	Laguna Verde	487
	Cañete	46	Copiulemu	28
	Chillan Viejo	1002	Ecobio	601
	Hualqui	999	Copiulemu	599
	Los Alamos	85	Copiulemu	51
	Los Angeles	83	Laguna Verde	50
	Quirihue	40	Ecobio	24
	Santa Juana	16	Copiulemu	10
10	Arauco	18	Copiulemu	11
	Cabrero	812	Laguna Verde	487
	Cañete	46	Copiulemu	28
	Chillan Viejo	974	Ecobio	584
	Coihueco	28	Ecobio	17
	Hualqui	999	Copiulemu	599
	Los Alamos	85	Copiulemu	51
	Los Angeles	83	Laguna Verde	50
	Quirihue	40	Ecobio	24
	Santa Juana	16	Copiulemu	10

Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado.

N° PTL a Construir	Localidad	Cantidad de Lodo a Tratar (Ton/mes)	Relleno Sanitario	Canidad de Lodo a Disponer (Ton/mes)
11	Arauco	18	Copiulemu	11
	Cabrero	812	Laguna Verde	487
	Cañete	46	Copiulemu	28
	Chillan Viejo	944	Ecobio	566
	Coihueco	28	Ecobio	17
	Hualqui	999	Copiulemu	599
	Los Alamos	85	Copiulemu	51
	Los Angeles	83	Laguna Verde	50
	Quirihue	40	Ecobio	24
	San Ignacio	30	Ecobio	18
Santa Juana	16	Copiulemu	10	
12	Arauco	18	Copiulemu	11
	Cabrero	751	Laguna Verde	451
	Cañete	46	Copiulemu	28
	Chillan Viejo	944	Ecobio	566
	Coihueco	28	Ecobio	17
	Hualqui	999	Copiulemu	599
	Los Alamos	85	Copiulemu	51
	Los Angeles	83	Laguna Verde	50
	Quirihue	40	Ecobio	24
	San Ignacio	30	Ecobio	18
Santa Juana	16	Copiulemu	10	
Yumbel	61	Laguna Verde	37	
13	Arauco	18	Copiulemu	11
	Cabrero	736	Laguna Verde	442
	Cañete	46	Copiulemu	28
	Chillan Viejo	944	Ecobio	566
	Coihueco	28	Ecobio	17
	Hualqui	999	Copiulemu	599
	Los Alamos	85	Copiulemu	51
	Los Angeles	83	Laguna Verde	50
	Quirihue	40	Ecobio	24
	San Ignacio	30	Ecobio	18
Santa Juana	16	Copiulemu	10	
Yumbel	61	Laguna Verde	37	
Yungay	15	Laguna Verde	9	
14	Arauco	18	Copiulemu	11
	Cabrero	736	Laguna Verde	442
	Cañete	46	Copiulemu	28
	Chillan Viejo	944	Ecobio	566
	Coihueco	28	Ecobio	17
	Hualqui	999	Copiulemu	599
	Laja	22	Laguna Verde	13
	Los Alamos	85	Copiulemu	51
	Los Angeles	64	Laguna Verde	38
	Quirihue	40	Ecobio	24
San Ignacio	30	Ecobio	18	
Santa Juana	16	Copiulemu	10	
Yumbel	58	Laguna Verde	35	
Yungay	15	Laguna Verde	9	
15	Arauco	18	Copiulemu	11
	Cabrero	736	Laguna Verde	442
	Cañete	46	Copiulemu	28
	Chillan Viejo	944	Ecobio	566
	Coihueco	28	Ecobio	17
	Hualqui	999	Copiulemu	599
	Laja	22	Laguna Verde	13
	Los Alamos	85	Copiulemu	51
	Los Angeles	49	Laguna Verde	29
	Mulchen	15	Laguna Verde	9
Quirihue	40	Ecobio	24	
San Ignacio	30	Ecobio	18	
Santa Juana	16	Copiulemu	10	
Yumbel	58	Laguna Verde	35	
Yungay	15	Laguna Verde	9	
16	Arauco	18	Copiulemu	11
	Cabrero	736	Laguna Verde	442
	Cañete	46	Copiulemu	28
	Chillan Viejo	941	Ecobio	565
	Coihueco	28	Ecobio	17
	Hualqui	999	Copiulemu	599
	Laja	22	Laguna Verde	13
	Los Alamos	85	Copiulemu	51
	Los Angeles	49	Laguna Verde	29
	Mulchen	15	Laguna Verde	9
Quirihue	40	Ecobio	24	
San Ignacio	30	Ecobio	18	
Santa Clara	3	Laguna Verde	2	
Santa Juana	16	Copiulemu	10	
Yumbel	58	Laguna Verde	35	
Yungay	15	Laguna Verde	9	

Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado.

N° PTL a Construir	Localidad	Cantidad de Lodo a Tratar (Ton/mes)	Relleno Sanitario	Canidad de Lodo a Disponer (Ton/mes)
17	Arauco	18	Copiulemu	11
	Cabrero	736	Laguna Verde	442
	Cañete	46	Copiulemu	28
	Chillan Viejo	941	Ecobio	565
	Coihueco	28	Ecobio	17
	Hualqui	999	Copiulemu	599
	Laja	22	Laguna Verde	13
	Los Alamos	85	Copiulemu	51
	Los Angeles	49	Laguna Verde	29
	Mulchen	15	Laguna Verde	9
	Quirihue	40	Ecobio	24
	San Ignacio	30	Ecobio	18
	Santa Clara	3	Laguna Verde	2
	Santa Juana	16	Copiulemu	10
18	Tucapel	10	Laguna Verde	6
	Yumbel	58	Laguna Verde	35
	Yungay	5	Laguna Verde	3
	Arauco	18	Copiulemu	11
	Bulnes	3	Ecobio	2
	Cabrero	736	Laguna Verde	442
	Cañete	46	Copiulemu	28
	Chillan Viejo	938	Ecobio	563
	Coihueco	28	Ecobio	17
	Hualqui	999	Copiulemu	599
	Laja	22	Laguna Verde	13
	Los Alamos	85	Copiulemu	51
	Los Angeles	49	Laguna Verde	29
	Mulchen	15	Laguna Verde	9
19	Quirihue	40	Ecobio	24
	San Ignacio	30	Ecobio	18
	Santa Clara	3	Laguna Verde	2
	Santa Juana	16	Copiulemu	10
	Tucapel	10	Laguna Verde	6
	Yumbel	58	Laguna Verde	35
	Yungay	5	Laguna Verde	3
	Arauco	18	Copiulemu	11
	Bulnes	3	Ecobio	2
	Cabrero	736	Laguna Verde	442
	Cañete	46	Copiulemu	28
	Chillan Viejo	938	Ecobio	563
	Coihueco	28	Ecobio	17
	Hualqui	999	Copiulemu	599
Laja	22	Laguna Verde	13	
20	Los Alamos	85	Copiulemu	51
	Los Angeles	42	Laguna Verde	25
	Mulchen	15	Laguna Verde	9
	Quilleco	7	Laguna Verde	4
	Quirihue	40	Ecobio	24
	San Ignacio	30	Ecobio	18
	Santa Clara	3	Laguna Verde	2
	Santa Juana	16	Copiulemu	10
	Tucapel	10	Laguna Verde	6
	Yumbel	58	Laguna Verde	35
	Yungay	5	Laguna Verde	3
	Arauco	18	Copiulemu	11
	Bulnes	3	Ecobio	2
	Cabrero	736	Laguna Verde	442
Cañete	46	Copiulemu	28	
Chillan	15	Ecobio	9	
Chillan Viejo	923	Ecobio	554	
Coihueco	28	Ecobio	17	
Hualqui	999	Copiulemu	599	
Laja	22	Laguna Verde	13	
21	Los Alamos	85	Copiulemu	51
	Los Angeles	42	Laguna Verde	25
	Mulchen	15	Laguna Verde	9
	Ninhue	20	Ecobio	12
	Quilleco	7	Laguna Verde	4
	Quirihue	20	Ecobio	12
	San Ignacio	30	Ecobio	18
	Santa Clara	3	Laguna Verde	2
	Santa Juana	16	Copiulemu	10
	Tucapel	10	Laguna Verde	6
	Yumbel	58	Laguna Verde	35
	Yungay	5	Laguna Verde	3

Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado.



**ANEXO 7: RESUMEN LOCALIDADES ORIGEN**

N° PTL	LOCALIDAD DESTINO	LOCALIDAD ORIGEN												
1	Cabrero	Arauco	Bulnes	Cabrero	Cañete	Chillán	Cobquecura	Coelemu	Coihuco	Concepción	Contulmo	Dichato	Hualqui	
		Huepil	Los Alamos	Los Angeles	Monteagulla	Mulchen	Nacimiento	Ñipas	Pemuco	Pinto	Quilaco	Quilleco	Quillón	
		Quirihue	San Carlos	San Ignacio	Laja	Santa Barbara	Santa Clara	Santa Juana	Yumbel	Yungay				
2	Cabrero	Arauco	Cabrero	Cañete	Concepción	Contulmo	Hualqui	Huepil	Los Alamos	Los Angeles	Monteagulla	Mulchen	Nacimiento	
	Chillán Viejo	Quilaco	Quilleco	Laja	Santa Barbara	Santa Juana	Yumbel	Yungay						
3	Cabrero	Cabrero	Contulmo	Huepil	Los Angeles	Monteagulla	Mulchen	Nacimiento	Quilaco	Quilleco	Laja	Santa Barbara	Yumbel	Yungay
	Chillán Viejo	Bulnes	Chillán	Cobquecura	Coelemu	Coihuco	Ñipas	Pemuco	Pinto	Quillón	Quirihue	San Carlos	San Ignacio	Santa Clara
	Hualqui	Arauco	Cañete	Concepción	Dichato	Hualqui	Los Alamos	Santa Juana						
4	Cabrero	Cabrero	Huepil	Los Angeles	Monteagulla	Mulchen	Nacimiento	Quilaco	Quilleco	Laja	Santa Barbara	Yumbel	Yungay	
	Chillán Viejo	Bulnes	Chillán	Cobquecura	Coelemu	Coihuco	Ñipas	Pemuco	Pinto	Quillón	Quirihue	San Carlos	San Ignacio	Santa Clara
	Hualqui	Arauco	Concepción	Dichato	Hualqui	Santa Juana								
5	Cabrero	Cabrero	Huepil	Monteagulla	Laja	Yumbel	Yungay							
	Chillán Viejo	Bulnes	Chillán	Cobquecura	Coelemu	Coihuco	Ñipas	Pemuco	Pinto	Quillón	Quirihue	San Carlos	San Ignacio	Santa Clara
	Hualqui	Arauco	Concepción	Dichato	Hualqui	Santa Juana								
6	Cabrero	Cabrero	Huepil	Monteagulla	Laja	Yumbel	Yungay							
	Chillán Viejo	Bulnes	Chillán	Coelemu	Coihuco	Ñipas	Pemuco	Pinto	Quillón	San Carlos	San Ignacio	Santa Clara		
	Hualqui	Arauco	Concepción	Dichato	Hualqui	Santa Juana								
7	Cabrero	Cabrero	Huepil	Monteagulla	Laja	Yumbel	Yungay							
	Chillán Viejo	Bulnes	Chillán	Coelemu	Coihuco	Ñipas	Pemuco	Pinto	Quillón	San Carlos	San Ignacio	Santa Clara	Santa Juana	
	Hualqui	Arauco	Concepción	Dichato	Hualqui	Santa Juana								
8	Cabrero	Cabrero	Huepil	Monteagulla	Laja	Yumbel	Yungay							
	Chillán Viejo	Bulnes	Chillán	Coelemu	Coihuco	Ñipas	Pemuco	Pinto	Quillón	San Carlos	San Ignacio	Santa Clara		
	Hualqui	Concepción	Dichato	Hualqui										
9	Cabrero	Cabrero	Huepil	Monteagulla	Laja	Yumbel	Yungay							
	Chillán Viejo	Bulnes	Chillán	Coelemu	Coihuco	Ñipas	Pemuco	Pinto	Quillón	San Carlos	San Ignacio	Santa Clara	Santa Juana	
	Hualqui	Concepción	Dichato	Hualqui										
10	Cabrero	Cabrero	Huepil	Monteagulla	Laja	Yumbel	Yungay							
	Chillán Viejo	Bulnes	Chillán	Coelemu	Ñipas	Pemuco	Pinto	Quillón	San Carlos	San Ignacio	Santa Clara			
	Hualqui	Concepción	Dichato	Hualqui	Santa Juana									

N° PTL	LOCALIDAD DESTINO	LOCALIDAD ORIGEN
11	Arauco	Arauco
	Cabrero	Cabrero Huepil Monteagulla Laja Yumbel Yungay
	Cañete	Cañete Contulmo
	Chillán Viejo	Bulnes Chillán Coelemu Ñipas Pinto Quillón San Carlos Santa Clara
	Coihueco	Coihueco
	Hualqui	Concepción Dichato Hualqui
	Los Alamos	Los Alamos
	Los Angeles	Los Angeles Mulchen Nacimiento Quilaco Quilleco Santa Barbara
	Quirihue	Cobquecura Quirihue
	San Ignacio	Pemuco San Ignacio
Santa Juana	Santa Juana	
12	Arauco	Arauco
	Cabrero	Cabrero Huepil Monteagulla Yungay
	Cañete	Cañete Contulmo
	Chillán Viejo	Bulnes Chillán Coelemu Ñipas Pinto Quillón San Carlos Santa Clara
	Coihueco	Coihueco
	Hualqui	Concepción Dichato Hualqui
	Los Alamos	Los Alamos
	Los Angeles	Los Angeles Mulchen Nacimiento Quilaco Quilleco Santa Barbara
	Quirihue	Cobquecura Quirihue
	San Ignacio	Pemuco San Ignacio
Santa Juana	Santa Juana	
Yumbel	Laja Yumbel	
13	Arauco	Arauco
	Cabrero	Cabrero Monteagulla
	Cañete	Cañete Contulmo
	Chillán Viejo	Bulnes Chillán Coelemu Ñipas Pinto Quillón San Carlos Santa Clara
	Coihueco	Coihueco
	Hualqui	Concepción Dichato Hualqui
	Los Alamos	Los Alamos
	Los Angeles	Los Angeles Mulchen Nacimiento Quilaco Quilleco Santa Barbara
	Quirihue	Cobquecura Quirihue
	San Ignacio	Pemuco San Ignacio
Santa Juana	Santa Juana	
Yumbel	Laja Yumbel	
Yungay	Huepil Yungay	
14	Arauco	Arauco
	Cabrero	Cabrero Monteagulla
	Cañete	Cañete Contulmo
	Chillán Viejo	Bulnes Chillán Coelemu Ñipas Pinto Quillón San Carlos Santa Clara
	Coihueco	Coihueco
	Hualqui	Concepción Dichato Hualqui
	Laja	Nacimiento Laja
	Los Alamos	Los Alamos
	Los Angeles	Los Angeles Mulchen Quilaco Quilleco Santa Barbara
	Quirihue	Cobquecura Quirihue
San Ignacio	Pemuco San Ignacio	
Santa Juana	Santa Juana	
Yumbel	Yumbel	
Yungay	Huepil Yungay	
15	Arauco	Arauco
	Cabrero	Cabrero Monteagulla
	Cañete	Cañete Contulmo
	Chillán Viejo	Bulnes Chillán Coelemu Ñipas Pinto Quillón San Carlos Santa Clara
	Coihueco	Coihueco
	Hualqui	Concepción Dichato Hualqui
	Laja	Nacimiento Laja
	Los Alamos	Los Alamos
	Los Angeles	Los Angeles Quilleco Santa Barbara
	Mulchen	Mulchen Quilaco
Quirihue	Cobquecura Quirihue	
San Ignacio	Pemuco San Ignacio	
Santa Juana	Santa Juana	
Yumbel	Yumbel	
Yungay	Huepil Yungay	
16	Arauco	Arauco
	Cabrero	Cabrero Monteagulla
	Cañete	Cañete Contulmo
	Chillán Viejo	Bulnes Chillán Coelemu Ñipas Pinto Quillón San Carlos
	Coihueco	Coihueco
	Hualqui	Concepción Dichato Hualqui
	Laja	Nacimiento Laja
	Los Alamos	Los Alamos
	Los Angeles	Los Angeles Quilleco Santa Barbara
	Mulchen	Mulchen Quilaco
Quirihue	Cobquecura Quirihue	
San Ignacio	Pemuco San Ignacio	
Santa Clara	Santa Clara	
Santa Juana	Santa Juana	
Yumbel	Yumbel	
Yungay	Huepil Yungay	
17	Arauco	Arauco
	Cabrero	Cabrero Monteagulla
	Cañete	Cañete Contulmo
	Chillán Viejo	Bulnes Chillán Coelemu Ñipas Pinto Quillón San Carlos
	Coihueco	Coihueco
	Hualqui	Concepción Dichato Hualqui
	Laja	Nacimiento Laja
	Los Alamos	Los Alamos
	Los Angeles	Los Angeles Quilleco Santa Barbara
	Mulchen	Mulchen Quilaco
Quirihue	Cobquecura Quirihue	
San Ignacio	Pemuco San Ignacio	
Santa Clara	Santa Clara	
Santa Juana	Santa Juana	
Tucapel	Huepil	
Yumbel	Yumbel	
Yungay	Yungay	

N° PTL	LOCALIDAD DESTINO	LOCALIDAD ORIGEN
18	Arauco	Arauco
	Bulnes	Quillón
	Cabrero	Cabrero Monteaguila
	Cañete	Cañete Contulmo
	Chillán Viejo	Bulnes Chillán Coelemu Ñipas Pinto San Carlos
	Coihueco	Coihueco
	Hualqui	Concepción Dichato Hualqui
	Laja	Nacimiento Laja
	Los Alamos	Los Alamos
	Los Angeles	Los Angeles Quilleco Santa Barbara
	Mulchen	Mulchen Quilaco
	Quirihue	Cobquecura Quirihue
	San Ignacio	Pemuco San Ignacio
	Santa Clara	Santa Clara
	Santa Juana	Santa Juana
	Tucapel	Huepil
	Yumbel	Yumbel
	Yungay	Yungay
19	Arauco	Arauco
	Bulnes	Quillón
	Cabrero	Cabrero Monteaguila
	Cañete	Cañete Contulmo
	Chillán Viejo	Bulnes Chillán Coelemu Ñipas Pinto San Carlos
	Coihueco	Coihueco
	Hualqui	Concepción Dichato Hualqui
	Laja	Nacimiento Laja
	Los Alamos	Los Alamos
	Los Angeles	Los Angeles Santa Barbara
	Mulchen	Mulchen Quilaco
	Quilleco	Quilleco
	Quirihue	Cobquecura Quirihue
	San Ignacio	Pemuco San Ignacio
	Santa Clara	Santa Clara
	Santa Juana	Santa Juana
	Tucapel	Huepil
	Yumbel	Yumbel
20	Arauco	Arauco
	Bulnes	Quillón
	Cabrero	Cabrero Monteaguila
	Cañete	Cañete Contulmo
	Chillán	Pinto San Carlos
	Chillán Viejo	Bulnes Chillán Coelemu Ñipas
	Coihueco	Coihueco
	Hualqui	Concepción Dichato Hualqui
	Laja	Nacimiento Laja
	Los Alamos	Los Alamos
	Los Angeles	Los Angeles Santa Barbara
	Mulchen	Mulchen Quilaco
	Quilleco	Quilleco
	Quirihue	Cobquecura Quirihue
	San Ignacio	Pemuco San Ignacio
	Santa Clara	Santa Clara
	Santa Juana	Santa Juana
	Tucapel	Huepil
Yumbel	Yumbel	
Yungay	Yungay	
21	Arauco	Arauco
	Bulnes	Quillón
	Cabrero	Cabrero Monteaguila
	Cañete	Cañete Contulmo
	Chillán	Pinto San Carlos
	Chillán Viejo	Bulnes Chillán Coelemu Ñipas
	Coihueco	Coihueco
	Hualqui	Concepción Dichato Hualqui
	Laja	Nacimiento Laja
	Los Alamos	Los Alamos
	Los Angeles	Los Angeles Santa Barbara
	Mulchen	Mulchen Quilaco
	Ninhue	Quirihue
	Quilleco	Quilleco
	Quirihue	Cobquecura
	San Ignacio	Pemuco San Ignacio
	Santa Clara	Santa Clara
	Santa Juana	Santa Juana
Tucapel	Huepil	
Yumbel	Yumbel	
Yungay	Yungay	

Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado

**ANEXO 8: RESUMEN COSTOS DE TRANSPORTE EN PESOS**

<b>N° Plantas a Construir</b>	<b>Costo Transporte PTAS-PTL (\$)</b>	<b>Costo Transporte PTL- RS (\$)</b>	<b>Costo Transporte Total (\$)</b>
1	64.510.632	6.000.435	70.511.067
2	45.935.858	5.376.075	51.311.933
3	24.240.590	14.358.160	38.598.750
4	18.915.262	16.533.880	35.449.142
5	17.628.479	17.015.690	34.644.169
6	16.838.341	17.518.800	34.357.141
7	16.585.487	17.562.150	34.147.637
8	16.205.255	17.736.300	33.941.555
9	15.962.061	17.860.910	33.822.971
10	15.695.674	18.061.380	33.757.054
11	15.552.466	18.154.260	33.706.726
12	15.290.884	18.366.730	33.657.614
13	15.151.399	18.477.020	33.628.419
14	15.165.110	18.441.420	33.606.530
15	15.066.745	18.522.690	33.589.435
16	15.044.492	18.534.880	33.579.372
17	14.992.892	18.577.450	33.570.342
18	14.968.711	18.593.120	33.561.831
19	14.912.268	18.644.600	33.556.868
20	14.898.725	18.653.310	33.552.035
21	14.960.005	18.591.390	33.551.395

Fuente: Elaboración propia, información extraída de respuesta de modelo programado

## ANEXO 9: RESUMEN COSTOS DE OPERACIÓN MENSUAL EN PESOS

Los costos mensuales del personal se basan en la política de remuneraciones de la Gerencia de Recursos Humanos y se detallan a continuación.

Función de Trabajador	Costo Mensual (\$)
Operador	\$ 530.000
Ayudante	\$ 320.000
Guardia	\$ 320.000

N° PTL	Lodo maximo a tratar (m3)	Tiempo trabajado (Hr)	N° Operarios	N° Ayudante	N° Guardia	Costo HH	Costo Combustible	Costo EE	PTL	Costo Operación	Costo Operación Total
1	9303	46,5	2	2	3	2.660.000	348.863	664.500	1	3.673.363	3.673.363
2	6078	30,4	2	2	3	2.660.000	250.718	434.143	1	3.344.860	6.368.249
	3225	16,1	2	2	3	2.660.000	133.031	230.357	2	3.023.388	
3	2703	13,5	2	2	2	2.340.000	121.635	193.071	1	2.654.706	8.743.135
	3126	15,6	2	2	3	2.660.000	140.670	223.286	2	3.023.956	
	3474	17,4	2	2	3	2.660.000	156.330	248.143	3	3.064.473	
4	2685	13,4	2	2	2	2.340.000	130.894	191.786	1	2.662.679	10.798.021
	3126	15,6	2	2	3	2.660.000	152.393	223.286	2	3.035.678	
	3099	15,5	2	2	3	2.660.000	151.076	221.357	3	3.032.433	
	393	2,0	2	2	1	2.020.000	19.159	28.071	4	2.067.230	
5	2436	12,2	2	2	2	2.340.000	127.890	174.000	1	2.641.890	12.852.908
	3126	15,6	2	2	3	2.660.000	164.115	223.286	2	3.047.401	
	3099	15,5	2	2	3	2.660.000	162.698	221.357	3	3.044.055	
	393	2,0	2	2	1	2.020.000	20.633	28.071	4	2.068.704	
	249	1,2	2	2	1	2.020.000	13.073	17.786	5	2.050.858	
6	2436	12,2	2	2	2	2.340.000	137.025	174.000	1	2.651.025	14.907.794
	3006	15,0	2	2	3	2.660.000	169.088	214.714	2	3.043.802	
	3099	15,5	2	2	3	2.660.000	174.319	221.357	3	3.055.676	
	393	2,0	2	2	1	2.020.000	22.106	28.071	4	2.070.178	
	249	1,2	2	2	1	2.020.000	14.006	17.786	5	2.051.792	
	120	1,0	2	2	1	2.020.000	6.750	8.571	6	2.035.321	
7	2436	12,2	2	2	2	2.340.000	146.160	174.000	1	2.660.160	16.962.680
	3006	15,0	2	2	3	2.660.000	180.360	214.714	2	3.055.074	
	3051	15,3	2	2	3	2.660.000	183.060	217.929	3	3.060.989	
	393	2,0	2	2	1	2.020.000	23.580	28.071	4	2.071.651	
	249	1,2	2	2	1	2.020.000	14.940	17.786	5	2.052.726	
	120	1,0	2	2	1	2.020.000	7.200	8.571	6	2.035.771	
8	48	1,0	2	2	1	2.020.000	2.880	3.429	7	2.026.309	18.377.566
	54	1,0	2	2	1	2.020.000	3.443	3.857	1	2.027.300	
	2436	12,2	2	2	2	2.340.000	155.295	174.000	2	2.669.295	
	3006	15,0	2	2	3	2.660.000	191.633	214.714	3	3.066.347	
	2997	15,0	2	2	1	2.020.000	191.059	214.071	4	2.425.130	
	393	2,0	2	2	1	2.020.000	25.054	28.071	5	2.073.125	
	249	1,2	2	2	1	2.020.000	15.874	17.786	6	2.053.659	
9	120	1,0	2	2	1	2.020.000	7.650	8.571	7	2.036.221	20.432.453
	48	1,0	2	2	1	2.020.000	3.060	3.429	8	2.026.489	
	54	1,0	2	2	1	2.020.000	3.645	3.857	1	2.027.502	
	2436	12,2	2	2	2	2.340.000	164.430	174.000	2	2.678.430	
	138	1,0	2	2	1	2.020.000	9.315	9.857	3	2.039.172	
	3006	15,0	2	2	3	2.660.000	202.905	214.714	4	3.077.619	
	2997	15,0	2	2	1	2.020.000	202.298	214.071	5	2.436.369	
	255	1,3	2	2	1	2.020.000	17.213	18.214	6	2.055.427	
	249	1,2	2	2	1	2.020.000	16.808	17.786	7	2.054.593	
10	120	1,0	2	2	1	2.020.000	8.100	8.571	8	2.036.671	22.167.339
	48	1,0	2	2	1	2.020.000	3.240	3.429	9	2.026.669	
	54	1,0	2	2	1	2.020.000	3.848	3.857	1	2.027.705	
	2436	12,18	2	2	2	2.340.000	173.565	174.000	2	2.687.565	
	138	1,0	2	2	1	2.020.000	9.833	9.857	3	2.039.690	
	2922	14,61	2	2	2	2.340.000	208.193	208.714	4	2.756.907	
	84	1,0	2	2	1	2.020.000	5.985	6.000	5	2.031.985	
	2997	14,985	2	2	1	2.020.000	213.536	214.071	6	2.447.608	
	255	1,275	2	2	1	2.020.000	18.169	18.214	7	2.056.383	
	249	1,245	2	2	1	2.020.000	17.741	17.786	8	2.055.527	
120	1,0	2	2	1	2.020.000	8.550	8.571	9	2.037.121		
48	1,0	2	2	1	2.020.000	3.420	3.429	10	2.026.849		

Fuente: Elaboración propia

**Costo Combustible:** Gasto en petróleo de equipo volteador de lodo

**Costo Energía eléctrica:** Gasto de energía de los extractores de aire, iluminación y funcionamiento de planta

**Costo Operación:** Es la suma de HH, combustible y energía por planta

**Costo Operación Total:** Es la suma de HH, combustible y energía por planta por alternativa

N° PTL	Lodo maximo a tratar (m3)	Tiempo trabajado (Hr)	N° Operarios	N° Ayudante	N° Guardia	Costo HH	Costo Combustible	Costo EE	PTL	Costo Operación	Costo Operación Total
11	54	1,0	2	2	1	2.020.000	4.050	3.857	1	2.027.907	24.222.225
	2436	12,18	2	2	2	2.340.000	182.700	174.000	2	2.696.700	
	138	1,0	2	2	1	2.020.000	10.350	9.857	3	2.040.207	
	2832	14,16	2	2	2	2.340.000	212.400	202.286	4	2.754.686	
	84	1,0	2	2	1	2.020.000	6.300	6.000	5	2.032.300	
	2997	14,985	2	2	1	2.020.000	224.775	214.071	6	2.458.846	
	255	1,275	2	2	1	2.020.000	19.125	18.214	7	2.057.339	
	249	1,245	2	2	1	2.020.000	18.675	17.786	8	2.056.461	
	120	1,0	2	2	1	2.020.000	9.000	8.571	9	2.037.571	
	90	1,0	2	2	1	2.020.000	6.750	6.429	10	2.033.179	
	48	1,0	2	2	1	2.020.000	3.600	3.429	11	2.027.029	
12	54	1,0	2	2	1	2.020.000	4.253	3.857	1	2.028.110	26.277.111
	2253	11,265	2	2	2	2.340.000	177.424	160.929	2	2.678.352	
	138	1,0	2	2	1	2.020.000	10.868	9.857	3	2.040.725	
	2832	14,16	2	2	2	2.340.000	223.020	202.286	4	2.765.306	
	84	1,0	2	2	1	2.020.000	6.615	6.000	5	2.032.615	
	2997	14,985	2	2	1	2.020.000	236.014	214.071	6	2.470.085	
	255	1,275	2	2	1	2.020.000	20.081	18.214	7	2.058.296	
	249	1,245	2	2	1	2.020.000	19.609	17.786	8	2.057.394	
	120	1,0	2	2	1	2.020.000	9.450	8.571	9	2.038.021	
	90	1,0	2	2	1	2.020.000	7.088	6.429	10	2.033.516	
	48	1,0	2	2	1	2.020.000	3.780	3.429	11	2.027.209	
183	1,0	2	2	1	2.020.000	14.411	13.071	12	2.047.483		
13	54	1,0	2	2	1	2.020.000	4.455	3.857	1	2.028.312	28.011.998
	2208	11,04	2	2	1	2.020.000	182.160	157.714	2	2.359.874	
	138	1,0	2	2	1	2.020.000	11.385	9.857	3	2.041.242	
	2832	14,16	2	2	2	2.340.000	233.640	202.286	4	2.775.926	
	84	1,0	2	2	1	2.020.000	6.930	6.000	5	2.032.930	
	2997	14,985	2	2	1	2.020.000	247.253	214.071	6	2.481.324	
	255	1,275	2	2	1	2.020.000	21.038	18.214	7	2.059.252	
	249	1,245	2	2	1	2.020.000	20.543	17.786	8	2.058.328	
	120	1,0	2	2	1	2.020.000	9.900	8.571	9	2.038.471	
	90	1,0	2	2	1	2.020.000	7.425	6.429	10	2.033.854	
	48	1,0	2	2	1	2.020.000	3.960	3.429	11	2.027.389	
183	1,0	2	2	1	2.020.000	15.098	13.071	12	2.048.169		
45	1,0	2	2	1	2.020.000	3.713	3.214	13	2.026.927		
14	54	1,0	2	2	1	2.020.000	4.658	3.857	1	2.028.515	30.066.884
	2208	11,04	2	2	1	2.020.000	190.440	157.714	2	2.368.154	
	138	1,0	2	2	1	2.020.000	11.903	9.857	3	2.041.760	
	2832	14,16	2	2	2	2.340.000	244.260	202.286	4	2.786.546	
	84	1,0	2	2	1	2.020.000	7.245	6.000	5	2.033.245	
	2997	14,985	2	2	1	2.020.000	258.491	214.071	6	2.492.563	
	66	1,0	2	2	1	2.020.000	5.693	4.714	7	2.030.407	
	255	1,275	2	2	1	2.020.000	21.994	18.214	8	2.060.208	
	192	0,96	2	2	1	2.020.000	16.560	13.714	9	2.050.274	
	120	1,0	2	2	1	2.020.000	10.350	8.571	10	2.038.921	
	90	1,0	2	2	1	2.020.000	7.763	6.429	11	2.034.191	
48	1,0	2	2	1	2.020.000	4.140	3.429	12	2.027.569		
174	1,0	2	2	1	2.020.000	15.008	12.429	13	2.047.436		
45	1,0	2	2	1	2.020.000	3.881	3.214	14	2.027.096		
15	54	1,0	2	2	1	2.020.000	4.860	3.857	1	2.028.717	32.121.770
	2208	11,04	2	2	1	2.020.000	198.720	157.714	2	2.376.434	
	138	1,0	2	2	1	2.020.000	12.420	9.857	3	2.042.277	
	2832	14,16	2	2	2	2.340.000	254.880	202.286	4	2.797.166	
	84	1,0	2	2	1	2.020.000	7.560	6.000	5	2.033.560	
	2997	14,985	2	2	1	2.020.000	269.730	214.071	6	2.503.801	
	66	1,0	2	2	1	2.020.000	5.940	4.714	7	2.030.654	
	255	1,275	2	2	1	2.020.000	22.950	18.214	8	2.061.164	
	147	1,0	2	2	1	2.020.000	13.230	10.500	9	2.043.730	
	45	1,0	2	2	1	2.020.000	4.050	3.214	10	2.027.264	
	120	1,0	2	2	1	2.020.000	10.800	8.571	11	2.039.371	
90	1,0	2	2	1	2.020.000	8.100	6.429	12	2.034.529		
48	1,0	2	2	1	2.020.000	4.320	3.429	13	2.027.749		
174	1,0	2	2	1	2.020.000	15.660	12.429	14	2.048.089		
45	1,0	2	2	1	2.020.000	4.050	3.214	15	2.027.264		
16	54	1,0	2	2	1	2.020.000	5.063	3.857	..	2.028.920	34.176.656
	2208	11,04	2	2	1	2.020.000	207.000	157.714	2	2.384.714	
	138	1,0	2	2	1	2.020.000	12.938	9.857	3	2.042.795	
	2823	14,115	2	2	2	2.340.000	264.656	201.643	4	2.806.299	
	84	1,0	2	2	1	2.020.000	7.875	6.000	5	2.033.875	
	2997	14,985	2	2	1	2.020.000	280.969	214.071	6	2.515.040	
	66	1,0	2	2	1	2.020.000	6.188	4.714	7	2.030.902	
	255	1,275	2	2	1	2.020.000	23.906	18.214	8	2.062.121	
	147	1,0	2	2	1	2.020.000	13.781	10.500	9	2.044.281	
	45	1,0	2	2	1	2.020.000	4.219	3.214	10	2.027.433	
	120	1,0	2	2	1	2.020.000	11.250	8.571	11	2.039.821	
90	1,0	2	2	1	2.020.000	8.438	6.429	12	2.034.866		
9	1,0	2	2	1	2.020.000	844	643	13	2.021.487		
48	1,0	2	2	1	2.020.000	4.500	3.429	14	2.027.929		
174	1,0	2	2	1	2.020.000	16.313	12.429	15	2.048.741		
45	1,0	2	2	1	2.020.000	4.219	3.214	16	2.027.433		

Fuente: Elaboración propia

N° PTL	Lodo maximo a tratar (m3)	Tiempo trabajado (Hr)	N° Operarios	N° Ayudante	N° Guardia	Costo HH	Costo Combustible	Costo EE	PTL	Costo Operación	Costo Operación Total
17	54	1,0	2	2	1	2.020.000	5.265	3.857	1	2.029.122	36.231.543
	2208	11,04	2	2	1	2.020.000	215.280	157.714	2	2.392.994	
	138	1,0	2	2	1	2.020.000	13.455	9.857	3	2.043.312	
	2823	14,115	2	2	2	2.340.000	275.243	201.643	4	2.816.885	
	84	1,0	2	2	1	2.020.000	8.190	6.000	5	2.034.190	
	2997	14,985	2	2	1	2.020.000	292.208	214.071	6	2.526.279	
	66	1,0	2	2	1	2.020.000	6.435	4.714	7	2.031.149	
	255	1,275	2	2	1	2.020.000	24.863	18.214	8	2.063.077	
	147	1,0	2	2	1	2.020.000	14.333	10.500	9	2.044.833	
	45	1,0	2	2	1	2.020.000	4.388	3.214	10	2.027.602	
	120	1,0	2	2	1	2.020.000	11.700	8.571	11	2.040.271	
	90	1,0	2	2	1	2.020.000	8.775	6.429	12	2.035.204	
	9	1,0	2	2	1	2.020.000	878	643	13	2.021.520	
	48	1,0	2	2	1	2.020.000	4.680	3.429	14	2.028.109	
	30	1,0	2	2	1	2.020.000	2.925	2.143	15	2.025.068	
174	1,0	2	2	1	2.020.000	16.965	12.429	16	2.049.394		
15	1,0	2	2	1	2.020.000	1.463	1.071	17	2.022.534		
18	54	1,0	2	2	1	2.020.000	5.468	3.857	1	2.029.325	38.286.429
	9	1,0	2	2	1	2.020.000	911	643	2	2.021.554	
	2208	11,04	2	2	1	2.020.000	223.560	157.714	3	2.401.274	
	138	1,0	2	2	1	2.020.000	13.973	9.857	4	2.043.830	
	2814	14,07	2	2	2	2.340.000	284.918	201.000	5	2.825.918	
	84	1,0	2	2	1	2.020.000	8.505	6.000	6	2.034.505	
	2997	14,985	2	2	1	2.020.000	303.446	214.071	7	2.537.518	
	66	1,0	2	2	1	2.020.000	6.683	4.714	8	2.031.397	
	255	1,275	2	2	1	2.020.000	25.819	18.214	9	2.064.033	
	147	1,0	2	2	1	2.020.000	14.884	10.500	10	2.045.384	
	45	1,0	2	2	1	2.020.000	4.556	3.214	11	2.027.771	
	120	1,0	2	2	1	2.020.000	12.150	8.571	12	2.040.721	
	90	1,0	2	2	1	2.020.000	9.113	6.429	13	2.035.541	
	9	1,0	2	2	1	2.020.000	911	643	14	2.021.554	
	48	1,0	2	2	1	2.020.000	4.860	3.429	15	2.028.289	
30	1,0	2	2	1	2.020.000	3.038	2.143	16	2.025.180		
174	1,0	2	2	1	2.020.000	17.618	12.429	17	2.050.046		
15	1,0	2	2	1	2.020.000	1.519	1.071	18	2.022.590		
19	54	1,0	2	2	1	2.020.000	5.670	3.857	1	2.029.527	40.341.315
	9	1,0	2	2	1	2.020.000	945	643	2	2.021.588	
	2208	11,04	2	2	1	2.020.000	231.840	157.714	3	2.409.554	
	138	1,0	2	2	1	2.020.000	14.490	9.857	4	2.044.347	
	2814	14,07	2	2	2	2.340.000	295.470	201.000	5	2.836.470	
	84	1,0	2	2	1	2.020.000	8.820	6.000	6	2.034.820	
	2997	14,985	2	2	1	2.020.000	314.685	214.071	7	2.548.756	
	66	1,0	2	2	1	2.020.000	6.930	4.714	8	2.031.644	
	255	1,275	2	2	1	2.020.000	26.775	18.214	9	2.064.989	
	126	1,0	2	2	1	2.020.000	13.230	9.000	10	2.042.230	
	45	1,0	2	2	1	2.020.000	4.725	3.214	11	2.027.939	
	21	1,0	2	2	1	2.020.000	2.205	1.500	12	2.023.705	
	120	1,0	2	2	1	2.020.000	12.600	8.571	13	2.041.171	
	90	1,0	2	2	1	2.020.000	9.450	6.429	14	2.035.879	
	9	1,0	2	2	1	2.020.000	945	643	15	2.021.588	
48	1,0	2	2	1	2.020.000	5.040	3.429	16	2.028.469		
30	1,0	2	2	1	2.020.000	3.150	2.143	17	2.025.293		
174	1,0	2	2	1	2.020.000	18.270	12.429	18	2.050.699		
15	1,0	2	2	1	2.020.000	1.575	1.071	19	2.022.646		
20	54	1,0	2	2	1	2.020.000	5.873	3.857	1	2.029.730	42.396.201
	9	1,0	2	2	1	2.020.000	979	643	2	2.021.622	
	2208	11,04	2	2	1	2.020.000	240.120	157.714	3	2.417.834	
	138	1,0	2	2	1	2.020.000	15.008	9.857	4	2.044.865	
	45	1,0	2	2	1	2.020.000	4.894	3.214	5	2.028.108	
	2769	13,845	2	2	2	2.340.000	301.129	197.786	6	2.838.914	
	84	1,0	2	2	1	2.020.000	9.135	6.000	7	2.035.135	
	2997	14,985	2	2	1	2.020.000	325.924	214.071	8	2.559.995	
	66	1,0	2	2	1	2.020.000	7.178	4.714	9	2.031.892	
	255	1,275	2	2	1	2.020.000	27.731	18.214	10	2.065.946	
	126	1,0	2	2	1	2.020.000	13.703	9.000	11	2.042.703	
	45	1,0	2	2	1	2.020.000	4.894	3.214	12	2.028.108	
	21	1,0	2	2	1	2.020.000	2.284	1.500	13	2.023.784	
	120	1,0	2	2	1	2.020.000	13.050	8.571	14	2.041.621	
	90	1,0	2	2	1	2.020.000	9.788	6.429	15	2.036.216	
9	1,0	2	2	1	2.020.000	979	643	16	2.021.622		
48	1,0	2	2	1	2.020.000	5.220	3.429	17	2.028.649		
30	1,0	2	2	1	2.020.000	3.263	2.143	18	2.025.405		
174	1,0	2	2	1	2.020.000	18.923	12.429	19	2.051.351		
15	1,0	2	2	1	2.020.000	1.631	1.071	20	2.022.703		
21	54	1,0	2	2	1	2.020.000	6.075	3.857	1	2.029.932	44.451.088
	9	1,0	2	2	1	2.020.000	1.013	643	2	2.021.655	
	2208	11,04	2	2	1	2.020.000	248.400	157.714	3	2.426.114	
	138	1,0	2	2	1	2.020.000	15.525	9.857	4	2.045.382	
	45	1,0	2	2	1	2.020.000	5.063	3.214	5	2.028.277	
	2769	13,845	2	2	2	2.340.000	311.513	197.786	6	2.849.298	
	84	1,0	2	2	1	2.020.000	9.450	6.000	7	2.035.450	
	2997	14,985	2	2	1	2.020.000	337.163	214.071	8	2.571.234	
	66	1,0	2	2	1	2.020.000	7.425	4.714	9	2.032.139	
	255	1,275	2	2	1	2.020.000	28.688	18.214	10	2.066.902	
	126	1,0	2	2	1	2.020.000	14.175	9.000	11	2.043.175	
	45	1,0	2	2	1	2.020.000	5.063	3.214	12	2.028.277	
	60	1,0	2	2	1	2.020.000	6.750	4.286	13	2.031.036	
	21	1,0	2	2	1	2.020.000	2.363	1.500	14	2.023.863	
	60	1,0	2	2	1	2.020.000	6.750	4.286	15	2.031.036	
90	1,0	2	2	1	2.020.000	10.125	6.429	16	2.036.554		
9	1,0	2	2	1	2.020.000	1.013	643	17	2.021.655		
48	1,0	2	2	1	2.020.000	5.400	3.429	18	2.028.829		
30	1,0	2	2	1	2.020.000	3.375	2.143	19	2.025.518		
174	1,0	2	2	1	2.020.000	19.575	12.429	20	2.052.004		
15	1,0	2	2	1	2.020.000	1.688	1.071	21	2.022.759		

Fuente: Elaboración propia

### ANEXO 10: RESUMEN COSTO DE INSTALAR

N° Plantas a Construir	Volumen de Lodo producido (m3)	Volumen de Lodo a Tratar (m3)	Superficie Galpón (m2)	Superficie Total (m2)	Superficie Total hectareas	Costo Terreno (\$)	N° Equipos	Costo Equipos (\$)	Costo Construcción (\$)	Costo Instalar (\$)
1	3101	9.303	23.934,90	28.721,88	2,8722	617.520.495,15	1	53.000.000	1.860.600.000	2.531.120.495
2	2026	6.078	15.637,57	18.765,09	1,8765	403.449.378,64	1	53.000.000	1.215.600.000	2.564.984.495
	1075	3.225	8.297,33	9.956,80	0,9957	214.071.116,50	1	52.470.000	645.000.000	
3	901	2.703	6.954,32	8.345,18	0,8345	179.421.466,02	1	53.000.000	540.600.000	2.598.318.495
	1.042	3.126	8.042,62	9.651,15	0,9651	207.499.631,07	1	52.470.000	625.200.000	
	1.158	3.474	8.937,96	10.725,55	1,0726	230.599.398,06	1	51.940.000	694.800.000	
4	895	2.685	6.908	8.290	0,8290	178.226.650,49	1	53.000.000	537.000.000	2.631.122.495
	1042	3.126	8.043	9.651	0,9651	207.499.631,07	1	52.470.000	625.200.000	
	1033	3.099	7.973	9.568	0,9568	205.707.407,77	1	51.940.000	619.800.000	
	131	393	1.011	1.213	0,1213	26.086.805,83	1	51.410.000	78.600.000	
5	812	2.436	6.267	7.521	0,7521	161.698.368,93	1	53.000.000	487.200.000	2.663.396.495
	1042	3.126	8.043	9.651	0,9651	207.499.631,07	1	52.470.000	625.200.000	
	1033	3.099	7.973	9.568	0,9568	205.707.407,77	1	51.940.000	619.800.000	
	131	393	1.011	1.213	0,1213	26.086.805,83	1	51.410.000	78.600.000	
	83	249	641	769	0,0769	16.528.281,55	1	50.880.000	49.800.000	
6	812	2.436	6.267	7.521	0,7521	161.698.368,93	1	53.000.000	487.200.000	2.695.140.495
	1002	3.006	7.734	9.281	0,9281	199.534.194,17	1	52.470.000	601.200.000	
	1033	3.099	7.973	9.568	0,9568	205.707.407,77	1	51.940.000	619.800.000	
	131	393	1.011	1.213	0,1213	26.086.805,83	1	51.410.000	78.600.000	
	83	249	641	769	0,0769	16.528.281,55	1	50.880.000	49.800.000	
	40	120	309	370	0,0370	7.965.436,89	1	50.350.000	24.000.000	
7	812	2.436	6.267	7.521	0,7521	161.698.368,93	1	53.000.000	487.200.000	2.726.354.495
	1002	3.006	7.734	9.281	0,9281	199.534.194,17	1	52.470.000	601.200.000	
	1017	3.051	7.850	9.420	0,9420	202.521.233,01	1	51.940.000	610.200.000	
	131	393	1.011	1.213	0,1213	26.086.805,83	1	51.410.000	78.600.000	
	83	249	641	769	0,0769	16.528.281,55	1	50.880.000	49.800.000	
	40	120	309	370	0,0370	7.965.436,89	1	50.350.000	24.000.000	
8	16	48	123	148	0,0148	3.186.174,76	1	49.820.000	9.600.000	2.757.356.495
	18	54	139	167	0,0167	3.584.446,60	1	53.000.000	10.800.000	
	812	2.436	6.267	7.521	0,7521	161.698.368,93	1	52.470.000	487.200.000	
	1002	3.006	7.734	9.281	0,9281	199.534.194,17	1	51.940.000	601.200.000	
	999	2.997	7.711	9.253	0,9253	198.936.786,41	1	51.410.000	599.400.000	
	131	393	1.011	1.213	0,1213	26.086.805,83	1	50.880.000	78.600.000	
	83	249	641	769	0,0769	16.528.281,55	1	50.350.000	49.800.000	
9	40	120	309	370	0,0370	7.965.436,89	1	49.820.000	24.000.000	2.787.510.495
	16	48	123	148	0,0148	3.186.174,76	1	48.760.000	9.600.000	
	18	54	139	167	0,0167	3.584.446,60	1	53.000.000	10.800.000	
	812	2.436	6.267	7.521	0,7521	161.698.368,93	1	52.470.000	487.200.000	
	46	138	365	426	0,0426	9.160.252,43	1	51.940.000	27.600.000	
	1002	3.006	7.734	9.281	0,9281	199.534.194,17	1	51.410.000	601.200.000	
	999	2.997	7.711	9.253	0,9253	198.936.786,41	1	50.880.000	599.400.000	
	85	255	656	787	0,0787	16.926.553,40	1	50.350.000	51.000.000	
10	83	249	641	769	0,0769	16.528.281,55	1	49.820.000	49.800.000	2.817.134.495
	40	120	309	370	0,0370	7.965.436,89	1	49.820.000	24.000.000	
	16	48	123	148	0,0148	3.186.174,76	1	48.760.000	9.600.000	
	18	54	139	167	0,0167	3.584.446,60	1	53.000.000	10.800.000	
	812	2.436	6.267	7.521	0,7521	161.698.368,93	1	52.470.000	487.200.000	
	46	138	365	426	0,0426	9.160.252,43	1	51.940.000	27.600.000	
	974	2.922	7.518	9.021	0,9021	193.958.388,35	1	51.410.000	584.400.000	
10	28	84	216	259	0,0259	5.575.805,83	1	50.880.000	16.800.000	2.817.134.495
	999	2.997	7.711	9.253	0,9253	198.936.786,41	1	50.350.000	599.400.000	
	85	255	656	787	0,0787	16.926.553,40	1	49.820.000	51.000.000	
	83	249	641	769	0,0769	16.528.281,55	1	49.820.000	49.800.000	
	40	120	309	370	0,0370	7.965.436,89	1	48.760.000	24.000.000	
	16	48	123	148	0,0148	3.186.174,76	1	48.230.000	9.600.000	

Fuente: Elaboración propia

- Volumen de Lodo producido:** Es la cantidad de lodo que producen las 33 PTAS mensualmente.
- Volumen de Lodo a Tratar:** Es la cantidad de lodo que se deberá tratar en las PTL, el proceso de tratamiento de lodo dura 2 meses y medio, con factor de seguridad de 2 semanas.
- Superficie de galpón a construir:** Se obtiene de la relación que existe en la única PTL construida, Lodo producido: 824 TON - Superficie Galpón PTL: 2544 m2 [13]
- Costo de terreno:** Se obtiene del costo promedio de compra de terrenos para Planta de Tratamiento de Aguas Servidas en la octava región, 1 UF por m2.
- Factor de descuento:** Es el descuento que se obtiene al comprar un equipo volteador de lodo adicional.
- Costo de Construcción:** Se obtiene de la relación que significa construir infraestructura para tratar 1m3 cuesta \$200.000. [13]
- Costo de Instalar:** Se obtiene del costo del terreno, maquinaria y costo en construcción.



N° Plantas a Construir	Volumen de Lodo producido (m3)	Volumen de Lodo a Tratar (m3)	Superficie Galpón (m2)	Superficie Total (m2)	Superficie Total hectareas	Costo Terreno (\$)	N° Equipos	Costo Equipos (\$)	Costo Construcción (\$)	Costo Instalar (\$)
11	18	54	139	167	0,0167	3.584.446,60	1	53.000.000	10.800.000	2.786.702.320
	812	2.436	6.267	7.521	0,7521	161.698.368,93	1	52.470.000	487.200.000	
	46	138	355	426	0,0426	9.160.252,43	1	51.940.000	27.600.000	
	944	2.832	7.286	8.743	0,8743	187.984.310,68	1	51.410.000	566.400.000	
	28	84	216	259	0,0259	5.575.805,83	1	50.880.000	16.800.000	
	999	2.997	7.711	9.253	0,9253	198.936.786,41	1	50.350.000	599.400.000	
	85	255	656	787	0,0787	16.926.553,40	1	49.820.000	51.000.000	
	83	249	641	769	0,0769	16.528.281,55	1	49.608.000	49.800.000	
	40	120	309	370	0,0370	7.965.436,89	1	48.760.000	24.000.000	
	30	90	232	278	0,0278	5.974.077,67	1	48.230.000	18.000.000	
16	48	123	148	0,0148	3.186.174,76	1	47.700.000	9.600.000		
12	18	54	139	167	0,0167	3.584.446,60	1	53.000.000	10.800.000	2.874.792.495
	751	2.253	5.797	6.956	0,6956	149.551.077,67	1	52.470.000	450.600.000	
	46	138	355	426	0,0426	9.160.252,43	1	51.940.000	27.600.000	
	944	2.832	7.286	8.743	0,8743	187.984.310,68	1	51.410.000	566.400.000	
	28	84	216	259	0,0259	5.575.805,83	1	50.880.000	16.800.000	
	999	2.997	7.711	9.253	0,9253	198.936.786,41	1	50.350.000	599.400.000	
	85	255	656	787	0,0787	16.926.553,40	1	49.820.000	51.000.000	
	83	249	641	769	0,0769	16.528.281,55	1	49.608.000	49.800.000	
	40	120	309	370	0,0370	7.965.436,89	1	48.760.000	24.000.000	
	30	90	232	278	0,0278	5.974.077,67	1	48.230.000	18.000.000	
	16	48	123	148	0,0148	3.186.174,76	1	47.700.000	9.600.000	
61	183	471	565	0,0565	12.147.291,26	1	47.170.000	36.600.000		
13	18	54	139	167	0,0167	3.584.446,60	1	53.000.000	10.800.000	2.902.826.495
	736	2.208	5.681	6.817	0,6817	146.564.038,83	1	52.470.000	441.600.000	
	46	138	355	426	0,0426	9.160.252,43	1	51.940.000	27.600.000	
	944	2.832	7.286	8.743	0,8743	187.984.310,68	1	51.410.000	566.400.000	
	28	84	216	259	0,0259	5.575.805,83	1	50.880.000	16.800.000	
	999	2.997	7.711	9.253	0,9253	198.936.786,41	1	50.350.000	599.400.000	
	85	255	656	787	0,0787	16.926.553,40	1	49.820.000	51.000.000	
	83	249	641	769	0,0769	16.528.281,55	1	49.608.000	49.800.000	
	40	120	309	370	0,0370	7.965.436,89	1	48.760.000	24.000.000	
	30	90	232	278	0,0278	5.974.077,67	1	48.230.000	18.000.000	
	16	48	123	148	0,0148	3.186.174,76	1	47.700.000	9.600.000	
61	183	471	565	0,0565	12.147.291,26	1	47.170.000	36.600.000		
15	45	116	139	0,0139	2.987.038,83	1	46.640.000	9.000.000		
14	18	54	139	167	0,0167	3.584.446,60	1	53.000.000	10.800.000	2.929.864.095
	736	2.208	5.681	6.817	0,6817	146.564.038,83	1	52.470.000	441.600.000	
	46	138	355	426	0,0426	9.160.252,43	1	51.940.000	27.600.000	
	944	2.832	7.286	8.743	0,8743	187.984.310,68	1	51.410.000	566.400.000	
	28	84	216	259	0,0259	5.575.805,83	1	50.880.000	16.800.000	
	999	2.997	7.711	9.253	0,9253	198.936.786,41	1	50.350.000	599.400.000	
	22	66	170	204	0,0204	4.380.990,29	1	49.820.000	13.200.000	
	85	255	656	787	0,0787	16.926.553,40	1	49.608.000	51.000.000	
	64	192	494	593	0,0593	12.744.699,03	1	48.760.000	38.400.000	
	40	120	309	370	0,0370	7.965.436,89	1	48.230.000	24.000.000	
	30	90	232	278	0,0278	5.974.077,67	1	47.700.000	18.000.000	
	16	48	123	148	0,0148	3.186.174,76	1	47.170.000	9.600.000	
	58	174	448	537	0,0537	11.549.883,50	1	46.173.600	34.800.000	
15	45	116	139	0,0139	2.987.038,83	1	46.110.000	9.000.000		
15	18	54	139	167	0,0167	3.584.446,60	1	53.000.000	10.800.000	2.955.915.895
	736	2.208	5.681	6.817	0,6817	146.564.038,83	1	52.470.000	441.600.000	
	46	138	355	426	0,0426	9.160.252,43	1	51.940.000	27.600.000	
	944	2.832	7.286	8.743	0,8743	187.984.310,68	1	51.410.000	566.400.000	
	28	84	216	259	0,0259	5.575.805,83	1	50.880.000	16.800.000	
	999	2.997	7.711	9.253	0,9253	198.936.786,41	1	50.350.000	599.400.000	
	22	66	170	204	0,0204	4.380.990,29	1	49.820.000	13.200.000	
	85	255	656	787	0,0787	16.926.553,40	1	49.608.000	51.000.000	
	49	147	378	454	0,0454	9.757.660,19	1	48.760.000	29.400.000	
	15	45	116	139	0,0139	2.987.038,83	1	48.230.000	9.000.000	
	40	120	309	370	0,0370	7.965.436,89	1	47.700.000	24.000.000	
	30	90	232	278	0,0278	5.974.077,67	1	47.170.000	18.000.000	
	16	48	123	148	0,0148	3.186.174,76	1	46.173.600	9.600.000	
58	174	448	537	0,0537	11.549.883,50	1	45.187.800	34.800.000		
15	45	116	139	0,0139	2.987.038,83	1	45.580.000	9.000.000		
16	18	54	139	167	0,0167	3.584.446,60	1	53.000.000	10.800.000	2.982.359.895
	736	2.208	5.681	6.817	0,6817	146.564.038,83	1	52.470.000	441.600.000	
	46	138	355	426	0,0426	9.160.252,43	1	51.940.000	27.600.000	
	941	2.823	7.263	8.716	0,8716	187.386.902,91	1	51.410.000	564.600.000	
	28	84	216	259	0,0259	5.575.805,83	1	50.880.000	16.800.000	
	999	2.997	7.711	9.253	0,9253	198.936.786,41	1	50.350.000	599.400.000	
	22	66	170	204	0,0204	4.380.990,29	1	49.820.000	13.200.000	
	85	255	656	787	0,0787	16.926.553,40	1	49.608.000	51.000.000	
	49	147	378	454	0,0454	9.757.660,19	1	48.760.000	29.400.000	
	15	45	116	139	0,0139	2.987.038,83	1	48.230.000	9.000.000	
	40	120	309	370	0,0370	7.965.436,89	1	47.700.000	24.000.000	
	30	90	232	278	0,0278	5.974.077,67	1	47.170.000	18.000.000	
	3	9	23	28	0,0028	597.407,77	1	46.173.600	1.800.000	
16	48	123	148	0,0148	3.186.174,76	1	45.187.800	9.600.000		
58	174	448	537	0,0537	11.549.883,50	1	45.580.000	34.800.000		
15	45	116	139	0,0139	2.987.038,83	1	45.050.000	9.000.000		

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 11: RESUMEN COSTO ACTUAL NETO

N° de PTL a Construir	CAN (\$)
1	8.321.481.085
2	7.067.129.399
3	6.293.522.318
4	6.240.879.362
5	6.370.713.571
6	6.540.445.243
7	6.715.697.941
8	6.841.051.445
9	7.022.340.775
10	7.182.233.759
11	7.308.264.540
12	7.552.912.584
13	7.714.081.899
14	7.899.802.220
15	8.084.910.930
16	8.270.960.745
17	8.456.561.157
18	8.641.672.032
19	8.826.529.889
20	9.010.867.892
21	9.195.003.174

Fuente: Elaboración propia

### Costos Actual Neto con factores de sensibilidad

N° de PTL a Construir	CAN Factor 0,5	CAN Factor 1	CAN Factor 1,25	CAN Factor 1,5	CAN Factor 1,75	CAN Factor 2
1	7.378	8.321	10.169	11.552	12.935	15.713
2	6.131	7.067	8.536	9.545	10.554	12.944
3	5.365	6.294	7.511	8.272	9.033	11.162
4	5.321	6.241	7.393	8.093	8.794	10.848
5	5.459	6.371	7.503	8.188	8.874	10.899
6	5.636	6.540	7.663	8.344	9.024	11.031
7	5.819	6.716	7.830	8.507	9.185	11.174
8	5.953	6.841	7.948	8.621	9.295	11.267
9	6.142	7.022	8.123	8.795	9.467	11.423
10	6.310	7.182	8.277	8.949	9.620	11.562
11	6.448	7.308	8.396	9.067	9.739	11.660
12	6.696	7.553	8.638	9.309	9.980	11.893
13	6.865	7.714	8.795	9.466	10.137	12.036
14	7.059	7.900	8.976	9.647	10.319	12.204
15	7.252	8.085	9.157	9.829	10.500	12.372
16	7.446	8.271	9.339	10.011	10.683	12.542
17	7.640	8.457	9.520	10.193	10.866	12.711
18	7.833	8.642	9.701	10.374	11.048	12.879
19	8.026	8.827	9.882	10.556	11.230	13.048
20	8.218	9.011	10.062	10.737	11.411	13.216
21	8.410	9.195	10.242	10.917	11.592	13.384

Fuente: Elaboración propia