

UCH - FC  
2 Ambiental  
P 659  
C 1

UNIVERSIDAD DE CHILE ESCUELA DE PREGRADO FACULTAD DE CIENCIAS



**“Mejoras en el Manejo de Recursos Hídricos y de Lodos en las Plantas  
Procesadoras de Áridos”**

Seminario de Título entregado a la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile en  
cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de

**QUÍMICO AMBIENTAL**

**NATALIA ISABEL PINTO SALINAS**

Director de Seminario de Título: Mg. María Paz Sánchez Puccio

Profesor Patrocinante: Dr. Antonio Galdámez

Mayo de 2015

Santiago – Chile



## INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile que el Seminario de Título presentado por el o (la) candidato (a):

**NATALIA ISABEL PINTO SALINAS**

### **“Mejoras en el Manejo de Recursos Hídricos y de Lodos en las Plantas Procesadoras de Áridos”**

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Químico Ambiental


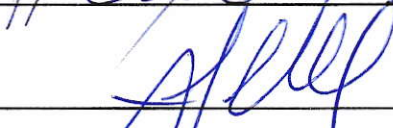
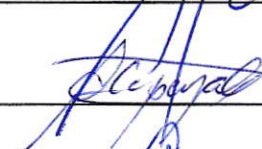

#### **COMISIÓN DE EVALUACIÓN**

*Mg. María Sánchez Puccio*  
**Director Seminario de Título**

*Dr. Antonio Galdámez Silva*  
**Profesor Patrocinante**

*M. Cs. Sylvia Copaja Castillo*  
**Presidente**

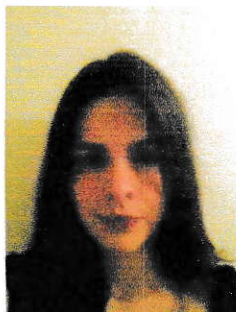
*Dra. Isel Cortés Nodarse*  
**Corrector**

*pp*  
  
  
  




Santiago de Chile, Mayo de 2015

## NATALIA ISABEL PINTO SALINAS



Nacida en Santiago de Chile, durante sus primeros años de vida siente una gran necesidad de comprender el medio físico y natural, lo cual se ve reflejado durante la época de enseñanza media cuando empieza a informarse sobre el problema de la contaminación atmosférica en la ciudad de Santiago en revistas de divulgación científica.

Ingresa el año 2007 a la carrera de Química Ambiental, debido a esta creciente inquietud.

Durante el año 2014 ingresa a Ingeniería Ecosam S.A para realizar su seminario de título. Es este periodo cuando se forma un interés particular en implementar en diversas temáticas del área industrial, una salida más sostenible a los residuos generados, así como también de un óptimo manejo de recursos hídricos.

## **DEDICATORIA**

*A mí querido Roberto, por ser quien me ayudó en mi desarrollo profesional, acompañó y apoyó en esta etapa de mi vida.*

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiese sido posible sin el apoyo de mi Directora de Seminario de Título María Paz Sánchez Puccio, quién me involucró en la industria de procesamiento de áridos, además de prestar su ayuda en el desarrollo del presente seminario.

Agradezco igualmente a los docentes de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile en especial quisiera destacar y agradecer a mi profesor patrocinante Dr. Antonio Galdámez, quién me prestó su ayuda y siempre se mostró dispuesto a recibirme, en especial por su ayuda para estructurar este trabajo de investigación . A la profesora M. Cs. Sylvia Copaja, quién aportó con valiosas críticas referente a este trabajo.

También quiero expresar mi enorme gratitud a mis amigas Daniela y Tamara, las cuales demostraron estar presentes en todo momento.



1.2.1	Procesamiento de áridos.....	14
1.2.2	Descripción del proyecto.....	16
1.2.3	Localización del proyecto .....	17
1.3	OBJETIVOS.....	19
1.3.1	Objetivo General:.....	19
1.3.2	Objetivos Específicos:.....	19
<b>II</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>20</b>
2.1	Análisis de la información disponible .....	20
2.2	Caracterización del proceso productivo, producción y gasto de recursos hídricos .....	20
2.2.1	Determinación del proceso productivo y producción estimada .....	20
2.2.2	Medición del caudal del efluente generado por el procesamiento de áridos .....	20
2.3	Caracterización del medio .....	21
2.3.1	Determinación de flora y fauna.....	21
2.3.2	Hidrología .....	22
2.3.3	Caracterización del agua superficial .....	22
2.4	Caracterización de los residuos generados por la planta procesadora de áridos .....	24
2.4.1	Caracterización de los residuos líquidos industriales.....	24

2.5	Caracterización de lodos .....	26
2.6	Propuesta para el manejo de residuos.....	26
2.6.1	Propuesta para aumentar la eficiencia hídrica de la planta procesadora de áridos .....	26
2.6.2	Propuestas sobre posibles aplicaciones de los lodos generados en las plantas de procesamiento de áridos .....	27
<b>III</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>28</b>
3.1	Caracterización del proceso productivo, producción y gasto de recursos hídricos .....	28
3.1.1	Proceso productivo.....	28
3.1.1.1	Procedimiento de extracción.....	28
3.1.1.2	Procesamiento de áridos en la planta de Áridos San Vicente.....	29
3.1.2	Producción estimada .....	30
3.1.3	Gasto estimado de recursos hídricos .....	30
3.2	Caracterización del medio .....	31
3.2.1	Flora y fauna en la zona del proyecto .....	31
3.2.2	Hidrología .....	34
3.2.3	Calidad del agua en la zona del proyecto.....	37
3.3	Caracterización de los residuos generados .....	43
3.3.1	Caracterización de lodos .....	43



3.3.2	Caracterización de los efluentes.....	44
3.4	Propuestas para el manejo de residuos .....	50
3.4.1	Propuesta para la gestión de efluentes líquidos .....	50
3.4.1.1	Recomendaciones para el proceso de lavado.....	50
3.4.1.2	Sistema propuesto para el reciclado del agua en la planta de tratamiento de efluentes .....	50
3.4.1.3	Operación previa.....	52
3.4.1.4	Operaciones en la unidad de reacción y mezcla .....	52
3.4.1.5	Operaciones en la unidad de sedimentación .....	53
3.4.1.6	Operación en el filtro prensa.....	54
3.4.1.7	Sistema de impulsión.....	54
3.4.1.8	Emisario y cámara de control .....	55
3.4.2	Propuesta de posibles aplicaciones de los lodos generados .....	55
3.4.2.1	Métodos para la minimización de lodos .....	55
3.4.2.1.1	Elaboración de morteros.....	56
3.4.2.1.2	En la elaboración de mezclas de cemento .....	57
3.4.2.1.3	Elaboración de ladrillos cerámicos.....	57
3.4.2.1.4	Venta para encamado de tubería .....	59
3.4.2.1.5	Restauración de suelos .....	60

<b>IV DISCUSIÓN</b> .....	<b>64</b>
<b>V CONCLUSIONES</b> .....	<b>69</b>
<b>VI REFERENCIAS</b> .....	<b>71</b>
<b>VII ANEXOS</b> .....	<b>75</b>
7.1    Valores de las bandas granulométricas .....	75
7.2    Características físicas de los áridos .....	76
7.3    Origen y formación de rocas .....	79
7.4    Características petrológicas y químicas de las rocas .....	81
7.5    Extracción de áridos .....	84
7.6    Procesamiento de áridos .....	86
7.7    Información geológica de áreas cercanas al proyecto .....	87
7.8    Guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas .....	88

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Impactos ambientales sobre el medio físico. ....	10
Tabla 2: Impactos ambientales sobre el medio biótico .....	11
Tabla 3: Impactos ambientales sobre el medio socioeconómico y cultural .....	11
Tabla 4: Impactos ambientales sobre el medio construido. ....	11
Tabla 5: Identificación de impactos sobre el medio físico por una planta procesadora de áridos. ....	12
Tabla 6: Identificación de impactos sobre el medio biótico por una planta procesadora de áridos .....	13
Tabla 7: Identificación de impactos sobre el medio humano por una planta procesadora de áridos .....	13
Tabla 8: Identificación de impactos sobre el medio humano por una planta procesadora de áridos. ....	14
Tabla 9: Metales medidos del agua superficial. ....	23
Tabla 10: Compuestos orgánicos medidos del agua superficial. ....	23
Tabla 11: Aniones medidos en el agua superficial.....	23
Tabla 12: Parámetros fisicoquímicos medidos en el agua superficial. ....	24
Tabla 13: Metales analizados del agua residual.....	25
Tabla 14: Compuestos orgánicos medidos del agua residual.....	25
Tabla 15: Aniones medidos en el agua residual.....	25
Tabla 16: Parámetros fisicoquímicos medidos en el agua residual.....	26
Tabla 17: Producción por hora de productos .....	30

Tabla 18: Especies de flora encontradas en el área de influencia del proyecto. FP: fuera de peligro; LC preocupación menor; NE: no evaluado.....	32
Tabla 19: Flora y fauna encontrada en el área de influencia del proyecto. LC: preocupación menor; NT: casi amenazada; R: rara. ....	33
Tabla 20: pH, temperatura, poder espumógeno, DBO <sub>5</sub> y SST del agua superficial. ....	42
Tabla 21: pH, temperatura, poder espumógeno, DBO <sub>5</sub> , y sólidos suspendidos totales del efluente.....	49
Tabla 23: Valores límites de bandas granulométricas.....	75
Tabla 24: Escala de Mohs para la dureza de los minerales.....	76
Tabla 25: Criterios para el establecimiento de normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales. ....	89

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Planta procesadora de áridos (Ecosam S.A).....	1
Figura 2: Sectores nacionales involucrados con la extracción de áridos. (Comisión Nacional de Áridos, 2001). .....	2
Figuras 3 y 4: Áridos que posee el río Cachapoal perteneciente a la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. (Ecosam S.A).....	3
Figura 5: Bandas granulométrica para áridos clasificados.....	5
Figura 6: Abanico aluvial extendido sobre una llanura de un río que transporta sedimentos de una zona alta. (Reineck & Sing, 1980).....	6
Figura 7: Se muestra los tipos de productos obtenidos de una planta procesadora de áridos perteneciente a la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. (Ecosam. S.A). .....	7
Figura 8: Margen del río Cachapoal donde se observan terrazas compuestas por depósitos fluviales estratificados (Foto de Andrés Fock, marzo del 2006). .....	17
Figura 9: División político administrativa del proyecto. ....	17
Figura 10: Localización del proyecto y sus partes. ....	18
Figura 11: Método de explotación del proyecto. ....	28
Figura 12: Procesamiento de áridos llevado a cabo en la planta.....	29
Figura 13: Gráfico del caudal de la planta procesadora de áridos vía húmeda. ....	30
Figura 14: Grafico del volumen horario de la planta procesadora de áridos. ....	31
Figura 15: Sapito de cuatro ojos.....	33
Figura 16: Cuenca del río Cachapoal (CNR, 2005). .....	35
Figura 17: Mapa geológico del proyecto. ....	36

Figura 18: Concentración de total de Al, B, Mn y Fe disuelto en el agua superficial. ....	38
Figura 19: Concentración total de As, Cu, Mo, Ni, Pb, Zn y Cr (VI) en el agua superficial.....	38
Figura 20: Concentración total de Cd, Hg y Se en el agua superficial. ....	39
Figura 21: Concentración de pentaclorofenol, tetracloroetano, tolueno, triclorometano, y xilenos totales en el agua superficial.....	40
Figura 22: Concentraciones de Cianuro, fluoruro, fósforo, nitrógeno (NKT) y sulfuro en al agua superficial. ....	41
Figura 23: Concentraciones de cloruro y sulfato en el agua superficial. ....	42
Figura 24: Concentración total de As, Cd, Hg, Mo, Ni, Zn, Cr (VI) y Hierro disuelto en el agua residual.....	44
Figura 25: Concentración total de B, Pb y Se en el efluente.....	45
Figura 26: Concentración total de Al, Cu, y Mn, en el efluente. ....	45
Figura 27: Concentración de pentaclorofenol, tetracloroetano, tolueno, triclorometano, y xilenos totales del efluente.....	46
Figura 28: Concentración de cloruros y sulfatos del efluente.....	47
Figura 29: Concentración de cianuro, sulfuro y fluoruro del efluente.....	48
Figura 30: Concentraciones de nitrógeno y fósforo del efluente. ....	48
Figura 31: Procesos propuesto para tratamiento del RIL.....	51
Figura 32: El floculante tiende un puente entre las partículas coloidales aglomeradas para formar floculos más fácilmente sedimentables. ....	52
Figura 33: Esquema de funcionamiento de un clarificador de alto rendimiento. ....	53
Figura 34: Esquema de un filtro prensa. ....	54

Figura 35: Esquema a seguir para una correcta toma de decisión. ....	55
Figura 36: Instalación estándar de una zanja o terraplén. ....	60
Figura 37: Restauración agrícola (ANEFA). ....	61
Figura 38: Representación del ciclo de las rocas. ....	80
Figura 39: Un tetraedro silicio-oxígeno. ....	82
Figura 40: Distribución de los átomos de silicio y oxígeno en una celdilla unidad de cristobalita. ....	83
Figura 41: Resonancia del ion carbonato. ....	83
Figura 42: Radical $(\text{SO}_4)^{2-}$ ....	84
Figura 43: Perfil de explotación del proyecto. ....	85

## RESUMEN

La industria de los áridos es fundamental para el desarrollo de un país, condicionando su infraestructura, puesto que provee los recursos básicos para la industria de la construcción. Sin embargo, en las plantas procesadoras de áridos se consumen grandes cantidades de agua debido a que en el momento de su extracción, suelen estar rodeados de una fina capa de arcilla, por lo que hay que someterlos a un proceso de limpieza que utiliza grandes volúmenes de agua para liberarlos de la arcilla y de los posibles restos orgánicos.

Este proceso de lavado constituye un fuerte impacto ambiental, puesto que el agua es un recurso escaso y componente básico e insustituible de las actividades socio económicas, por lo que se debe procurar un manejo eficiente y sustentable.

Por otro lado, los lodos se van acumulando constituyendo un serio problema dado que éstos tan sólo son dispuestos en un lugar autorizado por la autoridad competente y, a pesar de que no son tóxicos, darles una salida es complicado tanto para la autoridad como para las empresas que desarrollan esta actividad.

Por lo anterior se exponen formas de introducir mejoras en cuanto al manejo de recursos hídricos y de los lodos.

Para generar un adecuado manejo de recursos hídricos se propone un sistema de tratamiento para los efluentes, que disminuye las concentraciones de aluminio total, boro total, cobre total, manganeso total, plomo total, selenio total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), fosforo, nitrógeno Total Kjeldhal (NKT), y sólidos suspendidos



totales, puesto que estos son los que se encuentran sobrepasando lo estipulado en el D.S N°90/00 en la tabla N°1 en donde se establecen los límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales sin considerar la capacidad de dilución del receptor.

Además este sistema tiene la ventaja de recircular el agua, lo cual implica una disminución en el consumo de agua fresca.

En tanto para el manejo de los lodos generados se dan directrices para evaluar las posibilidades de utilización que presentan estos lodos, de tal forma que pasen de ser residuos a productos o subproductos.

## ABSTRACT

Aggregates Industry is essential for the development of a country, considering that it determines its infrastructure, because it provides the fundamental resources for the Construction Industry.

Nevertheless, a big quantity of water is used in the Aggregates Processing Plants, because when the aggregates are extracted, they are usually surrounded by a thin layer of clay. Thus, they must be subjected to a cleaning process which uses a great volume of water, in order to make them free from the clay and the probable organic residues.

This washing process has a strong impact on the environment for the reason that water is a scarce resource and an irreplaceable essential component of the socio economic activities. Therefore, an efficient and sustainable management must be performed.

On the other hand, the sludge that accumulates is a serious problem because it is only placed in an authorized site by the competent authority, and even though it is not toxic, it is very difficult to remove it, even by the companies and the authorities which perform this activity.

For the above mentioned reasons, methods to introduce improvements to water resource and sludge management are exposed.

A treatment system for effluent is proposed, in order to perform an appropriate water resource management, which reduces the concentration of total aluminium, total boron, total copper, total manganese, total lead, total selenium, biochemical oxygen demand, phosphorus, total Kjeldhal nitrogen, and total suspended solids, as they exceed what it is

stipulated in D.S N°90/00 table N°1, in which the maximum acceptable limits of the discharge of liquid residues to the bodies of water are established, without considering the dilution capacity of the receiving water body.

Additionally, recirculated water is one of the advantages of this system, which reduces the consumption of fresh water.

Guidelines are given for the management of sludge production in order to evaluate its usage; in this way, the residues can be transformed into products or sub products.

## I INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes Generales

En la actualidad la industria de procesamiento de áridos (Fig. 1) ha tenido un mayor desarrollo debido al constante aumento en su demanda. Esto en razón de que la cantidad de áridos disponibles en el mercado condiciona en qué medida se pueden satisfacer las necesidades del sector de la construcción, pues los materiales áridos constituyen las materias primas básicas. Están estrechamente comprometidos con las obras de infraestructura del país ya sean públicas o privadas. Sin los áridos no sería posible la construcción de viviendas, oficinas, aeropuertos, hospitales, calles, carreteras, autopistas, vías de ferrocarril y puertos, ni se podría disponer de muchos productos industriales de uso cotidiano (Lauces, C., 2007).



**Figura 1:** Planta procesadora de áridos (Ecosam S.A).

De esta forma los áridos facilitan el desarrollo de los diferentes sectores de la economía nacional, como minero, energía y forestal, entre otros (Fig.2).



**Figura 2:** Sectores nacionales involucrados con la extracción de áridos. (Comisión Nacional de Áridos, 2001).

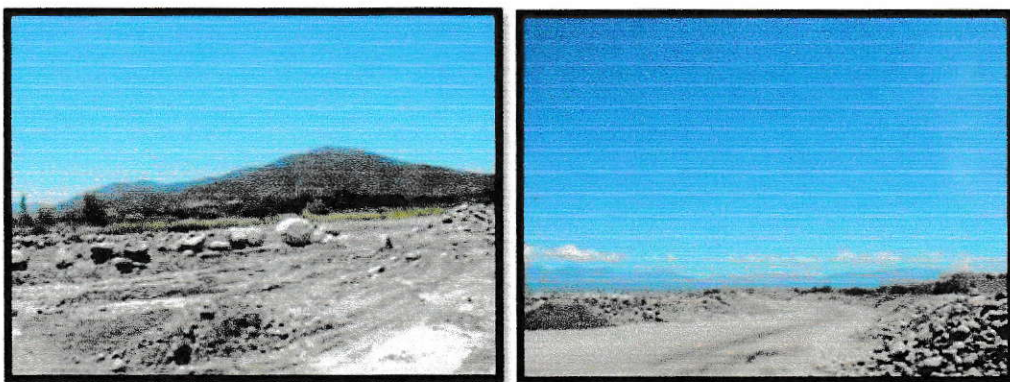
En Chile, esta actividad no es ajena a la tendencia global y ha tenido un marcado incremento, debido a la presión que ejerce el mercado de la construcción, con gran influencia en el desarrollo de las actividades, ha pasado a ser un indicador del bienestar económico de la nación.

Según consigna el estudio “Industria del Árido en Chile” realizado por la Comisión Nacional de Áridos, la industria del árido se desenvuelve por la variabilidad de la demanda, de acuerdo al comportamiento general de la economía. Dado que la demanda está en función del crecimiento económico que tenga el país (Comisión Nacional de Áridos, 2001).

### 1.1.1 Los Áridos

Los áridos son fragmentos rocosos, pétreos e inertes de diversos tamaños, provenientes de la disgregación de las rocas de la corteza terrestre ya sea por procesos naturales o por procesos artificiales. Los cuales son obtenidos de cauces de ríos (Fig. 3 y 4), de pozos secos y de canteras.

López Jimeno (2003) establece que áridos son "los materiales minerales, sólidos inertes, que con las granulometrías adecuadas se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla íntima con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cales, cementos, etc.)". Es decir, se trata de un conjunto de materiales pétreos lo suficientemente duros, estables e inertes en cementos y mezclas asfálticas, que son utilizados en la producción de morteros, del hormigón y de bases estabilizadas. Finalmente constituyen una materia prima necesaria en la construcción e infraestructura, por lo que en la actualidad han pasado a ser un insumo básico e imprescindible.



**Figuras 3 y 4:** Áridos que posee el río Cachapoal perteneciente a la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. (Ecosam S.A).

### **1.1.2 Aplicaciones y usos de los áridos**

Los áridos tienen variados usos, de acuerdo a los cuales se clasifican en áridos de aplicación directa y áridos utilizados como materia prima.

Los áridos de aplicación directa son aquellos empleados en estructuras, tal y como se obtienen de su procesamiento se usan en defensas fluviales, escolleras, terraplenes y pedraplenes, carpetas granulares de rodadura, bases, subbases y bermas granulares, balasto y subbalasto, drenes y capas filtrantes, rellenos estructurales y de respaldo.

Los áridos clasificados como materia prima, son aquellos que con o sin procesos previos, se usan como material integrante de la combinación o mezcla con otras sustancias, generando un producto diferente de cada uno de los elementos constituyentes. Destacando su uso en hormigones, morteros, mezclas asfálticas, tratamientos asfálticos y bases granulares tratadas.

### **1.1.3 Propiedades y características físicas de los áridos**

En función de la aplicación a la que están destinados, los áridos deben reunir características diferentes, asociadas a su naturaleza petrográfica o al proceso empleado para su producción.

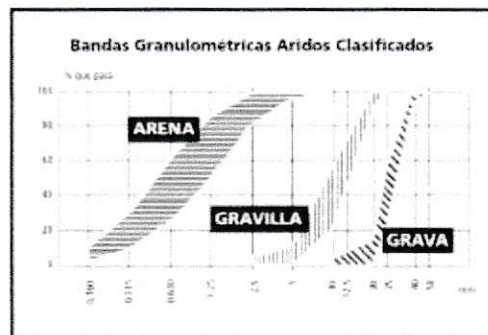
La determinación de las propiedades de los agregados utilizados en la construcción permite cuantificarlos para su correcta dosificación y de ello dependerá su comportamiento cuando ya se encuentra en uso.

#### 1.1.4 Granulometría de los áridos

La granulometría corresponde a la ordenación del tamaño de los áridos de forma decreciente. Está directamente relacionada con la manejabilidad del hormigón fresco, la demanda de agua, la compacidad (volumen de sólidos en una unidad de volumen), la resistencia mecánica del hormigón endurecido, y permite obtener el módulo de finura del árido. Esta se expresa en forma de porcentaje del peso total de una muestra que pasa por cada tamiz.

La NCh 165. Of.1977 establece el procedimiento para efectuar el tamizado y determinar la granulometría de los áridos, La representación gráfica de la granulometría se denomina curva granulométrica (Fig.5), en donde se indica la distribución de los tamaños de las partículas.

En la industria del árido se distinguen tres productos conocidos como grava, gravilla y arena (Anexo parte 7.1).



**Figura 5:** Bandas granulométrica para áridos clasificados.

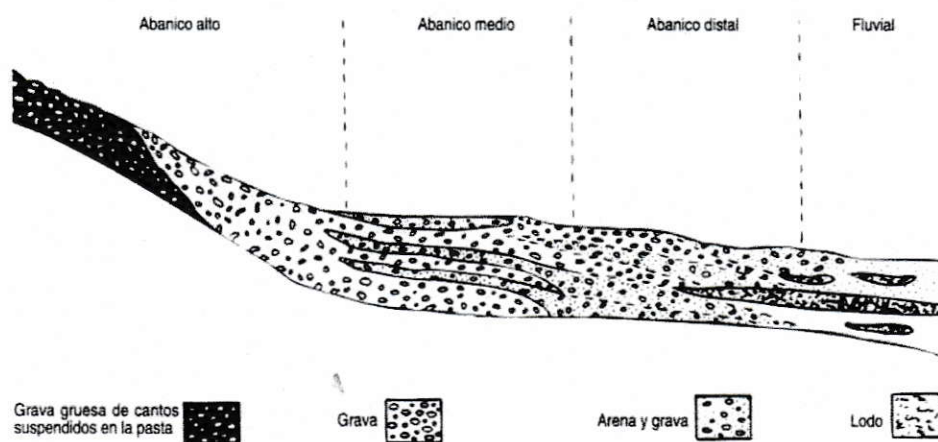
Para mayor información sobre otras características físicas de los áridos (Anexo parte 7.2).



### 1.1.5 Obtención de los áridos

Como fuente de abastecimiento se pueden distinguir las siguientes situaciones:

- **Cauce de río:** Estos son generados en las partes altas de las cuencas debido a fenómenos de meteorización y geológicos. Este material es transportado y degradado por las corrientes naturales, conformándose un equilibrio dinámico natural del cauce entre su morfología, sus condiciones hidráulicas y el material transportado (Fig.6).



**Figura 6:** Abanico aluvial extendido sobre una llanura de un río que transporta sedimentos de una zona alta. (Reineck & Sing, 1980).

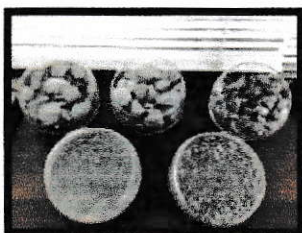
- **Pozos secos:** Corresponde a zonas de antiguos rellenos aluviales en valles cercanos a ríos.
- **Canteras:** Es la explotación de los mantos rocosos o formaciones geológicas, donde los materiales se extraen usualmente desde cerros mediante lo que se denomina tronadura o voladura (rotura mediante explosivos).

### 1.1.6 Clasificación de los áridos

Los áridos poseen diversas clasificaciones en función de su origen, su medida, a su sistema de obtención y en función a su naturaleza química, dependiendo de cómo se desee enfocar el tema. A continuación se expondrán las principales.

#### 1.1.6.1 Clasificación de los áridos según su medida

De acuerdo a su tamaño los áridos se clasifican según lo estipulado por la NCh 163 Of. 79 en grava, gravilla y arena. Según esta clasificación se tiene:



**Figura 7:** Se muestra los tipos de productos obtenidos de una planta procesadora de áridos perteneciente a la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.

(Ecosam. S.A).

- **Grava:** Comprende las rocas que se encuentran dentro de un tamaño determinado, el cual comprende a áridos retenidos en el tamiz de abertura nominal de 5 mm y bajo 50 mm ( $1/4''$  a  $2''$ ).
- **Gravilla:** Comprende tamaños que van entre 5 y 20 mm ( $1/4''$  a  $3/4''$ ).
- **Arena:** Es un árido fino, que pasa por tamiz de abertura nominal de 5 mm y es retenido en el de 0,08 mm.

### **1.1.6.2 Clasificación en función de su naturaleza química**

- **Áridos silíceos:** Son provenientes de la descomposición de cuarzo.
- **Áridos calizos:** Provenientes de rocas calizas.
- **Áridos silicatados:** Provenientes de la composición de los fedelpastos.
- **Áridos arcillosos:** Son áridos silíceos y que además contienen arcillas.

Para mayor información sobre el origen y formación de las rocas véase el Anexo parte 7.3 y el Anexo parte 7.4 para mayor información sobre características petrológicas y químicas de las rocas.

### **1.1.6.3 Clasificación en función del sistema de obtención**

Se refiere a si los áridos tuvieron o no algún tipo de tratamiento, existiendo dos tipos según esta clasificación.

- **Áridos naturales:** Son obtenidos al pie de la roca, ya sea en una montaña, en la orilla de ríos o en la playa.
- **Áridos artificiales:** Estos son obtenidos por chancadoras que trituran la piedra natural, por lo que resulta necesario lavarlos para soltar el polvillo resultante de la trituración.

### **1.1.7 Impactos ambientales generados por la industria del árido**

Como toda actividad industrial la extracción, y procesamiento de áridos, trae consigo potenciales impactos sobre el medio ambiente. Para cada tipo de proyecto se debe considerar su localización y la línea de base de cada uno de los componentes ambientales. Para efectos de una evaluación ambiental los componentes ambientales

suelen agruparse en medio físico, biótico, socioeconómico cultural y medio construido (Comisión Nacional de Áridos, 2001). La identificación de estos impactos ambientales que se presenta a continuación se basa en un análisis causa-efecto, el cual consiste en establecer los efectos y alternaciones que se producen debido a la ejecución ya sea de la extracción de áridos o de su procesamiento.

#### **1.1.7.1 Impactos ambientales generados en el proceso de extracción de áridos**

Durante la etapa de explotación del árido, los impactos más notorios están determinados por el aprovechamiento del recurso generándose un alto nivel de consumo de materias primas. Esto provoca un agotamiento importante en los recursos minerales, la afectación visual del paisaje y la modificación en la topografía del lugar.

A continuación se presentan los potenciales impactos asociados al proceso de extracción de áridos.

- **Medio físico:** El medio físico se ve afectado por las actividades de un proyecto en sus diferentes componentes ambientales, en donde diversos factores determinan que el impacto sea mayor en un componente u otro.

El potencial de desprendimientos de rocas y deslizamientos de tierra, contaminación acústica especialmente en los asentamientos cercanos, emisiones de material particulado (Korkmaz, H., y col., 2011).

En cauces de río la extracción altera el equilibrio dinámico del cauce y su morfología, condiciones hidráulicas, y el material transportado, aumentando el riesgo de inundación debido a la alteración de los patrones de flujo. (Quiróz, A., 2001).

Además la destrucción de la zona ribereña (vegetación, cubierta vegetal, ribera) puede incrementar la erosión.

En la Tabla 1 se indica los impactos ambientales sobre el medio físico en la extracción de áridos.

**Tabla 1:** Impactos ambientales sobre el medio físico.

<b>Componente ambiental</b>	<b>Impactos</b>
Calidad de Aire	Emisión de material particulado y gases.
Ruido y vibraciones	Generación de ruido sobre receptores cercanos a la planta.
Aguas	Alteración en la cantidad y calidad de agua. Riesgo de inundación. Alteración o modificación del cauce. Modificación de la tasa de recarga de acuíferos. Aumento de gasto sólido. Arrastre de material.
Suelo	Perdida de superficie de suelo ya sea por las instalaciones o por sectores de acopio. Erosión.
Geología y geomorfología	Aumento de la inestabilidad de laderas. Incremento del riesgo geofísico. Inestabilidad del escarpe ribereño.

- **Medio biótico:** El aspecto más destacado en la fase de extracción sobre el medio biótico es en cuanto a la alteración o modificación del hábitat lo cual repercute sobre las especies acuáticas. En la Tabla 2 se indica el impacto ambiental sobre el medio biótico en la extracción de áridos.

**Tabla 2:** Impactos ambientales sobre el medio biótico.

<b>Componente ambiental</b>	<b>Impactos</b>
Flora y vegetación	Disminución de la cobertura del follaje arbóreo. Alteración de especies protegidas.
Fauna de vertebrados terrestres	Alteración de la calidad del Hábitat.
Fauna acuática	Alteración de la calidad del Hábitat.

- **Medio socioeconómico y cultural:** En este tipo de proyecto el impacto es básicamente visual ya que el paisaje natural se ve seriamente modificado. En la Tabla 3 se indica el impacto ambiental sobre el medio socioeconómico y cultural en la extracción de áridos.

**Tabla 3:** Impactos ambientales sobre el medio socioeconómico y cultural.

<b>Componente ambiental</b>	<b>Impactos</b>
Paisaje y Estética	Alteraciones de forma de relieve Alteraciones en el valor paisajístico

- **Medio construido:** Dos componentes del medio construido se ven afectados por la extracción de áridos, los cuales corresponden a infraestructura y servicios. En la Tabla 4 se indica el impacto ambiental sobre el medio construido en la extracción de áridos.

**Tabla 4:** Impactos ambientales sobre el medio construido.

<b>Componente ambiental</b>	<b>Impactos</b>
Infraestructura	Deterioro de la infraestructura hidráulica
Servicios	Alteración de la infraestructura vial Alteración de la accesibilidad a caminos

### 1.1.7.2 Impactos ambientales generados en el procesamiento de áridos

El mayor impacto ambiental provocado por el procesamiento de áridos ocurre en de las plantas de lavado de áridos debido a efluentes líquidos y los lodos generados.

En las siguientes tablas se indica los impactos ambientales de una planta de procesamiento de áridos, sobre los distintos medios y sus componentes ambientales.

- **Medio físico:** El proceso de trituración conlleva la emisión de material particulado el cual se compone principalmente de dióxido de sílice, así como de diferentes óxidos metálicos. (Bhattacharjee, A., y col., 2010). También se destaca el ruido, uso y calidad del agua, y suelo. En la Tabla 5 se indica el impacto ambiental sobre el medio físico de una planta de procesamiento.

**Tabla 5:** Identificación de impactos sobre el medio físico por una planta procesadora de áridos.

<b>Componente ambiental</b>	<b>Impactos</b>
Calidad de Aire	Emisión de material particulado y gases.
Ruido	Generación de ruido sobre receptores cercanos a la planta.
Uso y Calidad del Agua	Generación de residuos líquidos, alteración de la cantidad y calidad de agua.
Suelo	Remoción y pérdida de superficie de suelo ya sea por las instalaciones o por sectores de acopio.

- **Medio biótico:** El efecto de actividades de trituración de la piedra puede causar varios problemas en especies vegetales tales como: deshidratación, capacidad de retención de polvo y disminución en el contenido de clorofila. En la Tabla 6 se

indica el impacto ambiental sobre el medio biótico de una planta de procesamiento.

La calidad del aire repercute en los trabajadores quienes generalmente inhalan una gran cantidad de polvo de material particulado durante la trituración. Se sabe de polvo de piedra contiene varias partículas finas de minerales convencionales magnético así como no magnética en la naturaleza. La inhalación de este tipo de partículas causa trastorno fisiológico grave en el largo plazo. (Naik, P., y col., 2007).

**Tabla 6:** Identificación de impactos sobre el medio biótico por una planta procesadora de áridos.

<b>Componente ambiental</b>	<b>Impactos</b>
Flora y vegetación	Disminución de la cobertura del follaje arbóreo. Alteración de especies protegidas.
Fauna de vertebrados terrestre	Alteración de la calidad del Hábitat.

- **Medio socioeconómico y cultural:** Durante el procesamiento de áridos se ven afectados el paisaje y el patrimonio histórico cultural. En la Tabla 7 se indica el impacto ambiental sobre el medio humano de una planta de procesamiento.

**Tabla 7:** Identificación de impactos sobre el medio humano por una planta procesadora de áridos.

<b>Componente ambiental</b>	<b>Impactos</b>
Paisaje y estética	Alteración de las vistas hacia áreas singulares y/o de interés Paisajístico y Alteración de la calidad visual del paisaje.
Patrimonio cultural	Alteración del patrimonio arqueológico.





- **Medio construido:** El medio construido se ve afectado en infraestructura, servicios y en su sistema territorial. En la Tabla 8 se indica el impacto ambiental sobre el medio construido de una planta de procesamiento.

**Tabla 8:** Identificación de impactos sobre el medio humano por una planta procesadora de áridos.

<b>Componente ambiental</b>	<b>Impactos</b>
Infraestructura	Alteración de la infraestructura en sectores aledaños.
Servicios	Alteración de la infraestructura vial Alteración de la accesibilidad a caminos
Sistema Territorial	Modificaciones al sistema de ordenamiento territorial.

## **1.2 Antecedentes Específicos**

### **1.2.1 Procesamiento de áridos**

Para el procesamiento de áridos, se puede realizar de dos formas distintas: proceso seco y proceso húmedo.

En el procesamiento de áridos en plantas vía húmeda se requiere importantes volúmenes de agua, debido a que en la operación de lavado se debe remover materia sólida adherida (finos, materia orgánica, arcillas, en otros), lo que trae como consecuencia la generación de residuos industriales líquidos (RILES), los cuales se caracterizan principalmente por tener una alta cantidad de sólidos en suspensión. Además producto del tratamiento de estos efluentes se producen lodos.

El consumo de grandes volúmenes de agua es perjudicial ya que se trata de un recurso escaso imprescindible, e insustituible, con un uso cada vez mayor en actividades socioeconómicas. En Chile, el estado de los recursos hídricos es muy importante, no tan

sólo por la relevancia del agua para la supervivencia de la población, sino también porque toda su economía se basa en el uso de este recurso. Esto se respalda por un estudio encargado por la Dirección General de Aguas a AC Ingenieros Consultores Ltda., en donde se tiene que hay aumento de demanda sobre los recursos hídricos asociado al mayor crecimiento socioeconómico del país. Por esta razón, el uso intensivo de este recurso hídrico requiere una garantía de eficiencia hidrológica, en donde se considere la sostenibilidad económica y ambiental.

Por otro lado los lodos, a pesar de ser considerados como residuos no peligrosos, y de la factibilidad de ser empleados como material de relleno en el sitio de extracción, a menudo resulta difícil encontrar una disposición adecuada. En estos casos terminan siendo acopiados, ocupando grandes volúmenes de espacio, que al secarse pueden desprender material particulado generando una fuente de contaminación atmosférica.

Con esto los lodos, seguirán acumulándose ya que el crecimiento del país cada vez requiere de más materiales para el desarrollo de infraestructura. Esto hace necesario, encontrar otra solución al problema dado a que es significativo tanto económica como ambientalmente. (Nuno, A., y col., 2007).

En este seminario, para estudiar el desarrollo del manejo de los recursos hídricos y de los lodos se seleccionó un proyecto localizado en la Provincia del Cachapoal Región del Libertador Bernardo O'Higgins, que pretende implementar mejoras en esta materia, en donde opera una planta procesadora de áridos vía húmeda. En ella se lleva a cabo la reducción y selección sucesiva del material pétreo, con trituración primaria, y secundaria.

En este proyecto, es importante el uso eficiente del recurso hídrico ya que está cercano a áreas agrícolas, ya que esta región se pretende potenciar como potencia agro-alimentaria por lo que el cuidado y protección ambiental de la cuenca del Cachapoal, ya que se requiere contar con un recurso hídrico de calidad.

Por lo anterior, se propone un sistema de gestión ambiental que permita mejorar la eficiencia hídrica y el manejo de lodos en el procesamiento de áridos, dado a que estos seguirán siendo requeridos por el país. Dado que Chile está adoptando cada vez más los estándares de los países desarrollados, siendo necesario optar por una “construcción sustentable”, en donde el medio ambiente se encuentre resguardado.

### **1.2.2 Descripción del proyecto**

El proyecto consiste en una extracción y procesamiento de áridos en el cauce del río Cachapoal en donde el material extraído será por un total de 770.000 m<sup>3</sup> por parte de la empresa Áridos San Vicente. El ritmo promedio de explotación será del orden de los 9.000 m<sup>3</sup>/mes por un periodo de 96 meses. El uso mayoritario se prevé que es para abastecer requerimientos principalmente regionales en construcción habitacional y en obras viales.

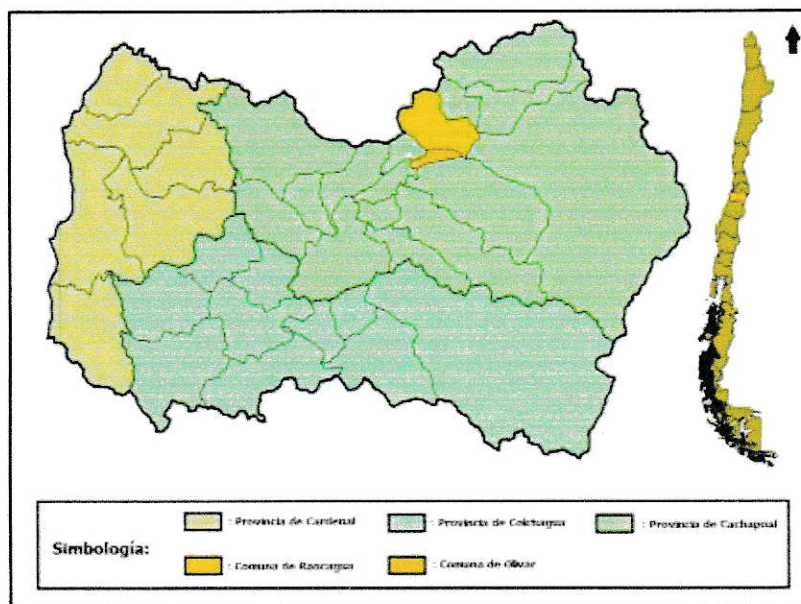
El proyecto contempla para sus operaciones de lavado de áridos utilizar agua procedente del río Cachapoal (Fig.8), sobre el cual posee derechos de agua no consuntivos, en este sentido es importante destacar que los sectores aledaños al proyecto son de uso agrícola.



**Figura 8:** Margen del río Cachapoal donde se observan terrazas compuestas por depósitos fluviales estratificados (Foto de Andrés Fock, marzo del 2006).

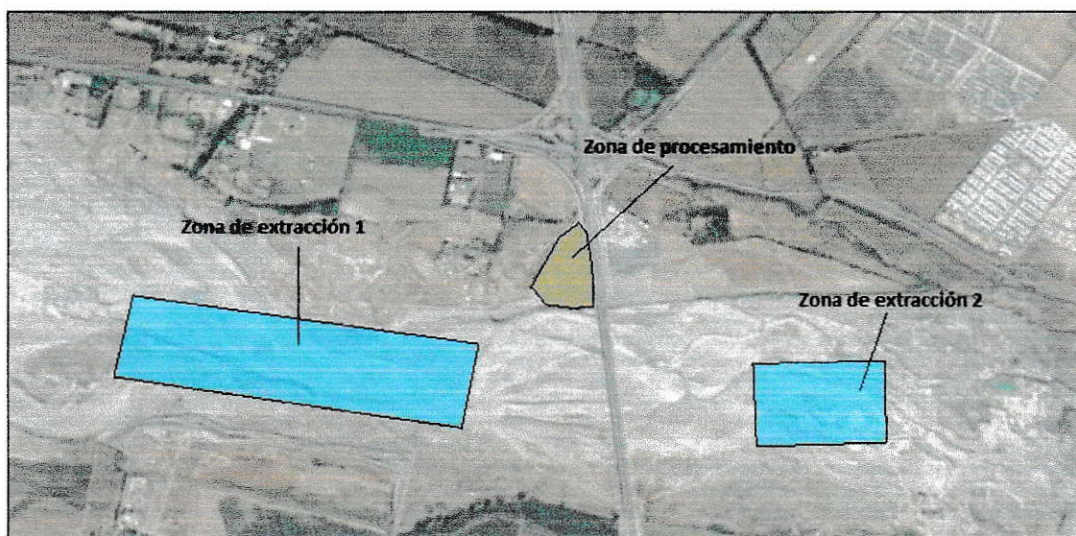
### 1.2.3 Localización del proyecto

El proyecto se inserta en el cauce del río Cachapoal, límite natural entre las comunas de Rancagua y Olivar, pertenecientes a la provincia de Cachapoal, VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. En la figura 9 se muestra la división político administrativa en la cual se inserta el proyecto destacando en amarillo las comunas de Rancagua y Olivar.



**Figura 9:** División político administrativa del proyecto.

El material extraído del cauce del río Cachapoal será entre sus kilómetros 2,05 y 4,75, aguas abajo del puente ubicado en la ex Ruta 5 Sur. En este se considera establecer 2 sectores de extracción, con una superficie total de 16,3 km<sup>2</sup>. El material extraído será procesado por una planta perteneciente a la misma empresa ubicada en la ribera derecha del cauce del río Cachapoal en el By Pass de la ex Ruta 5 Sur, kilómetro 89,7. La localización de las faenas de procesamiento y de los sectores de extracción se puede ver en la figura 10.



**Figura 10:** Localización del proyecto y sus partes.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 **Objetivo General:**

Proponer un manejo adecuado del recurso hídrico y de los lodos una planta procesadora de áridos.

#### 1.3.2 **Objetivos Específicos:**

- Proponer un sistema de tratamiento para los RILES provenientes del lavado de áridos, que permita reducir el gasto de agua fresca.
- Proponer un proceso que permita disminuir al mínimo las descargas de RILES al cauce natural.
- Proponer usos para los lodos generados por una planta de procesadora de áridos y características que deben poseer los lodos, para diversas aplicaciones.

## **II METODOLOGÍA**

### **2.1 Análisis de la información disponible**

Para el desarrollo del presente seminario de título se analizó la información disponible en documentos, libros, publicaciones de revistas científicas, bases de datos de universidades, entre otros.

En relación a:

- Origen y formación de rocas, clasificaciones existentes, y propiedades.
- Impactos ambientales directos o indirectos.

### **2.2 Caracterización del proceso productivo, producción y gasto de recursos hídricos**

#### **2.2.1 Determinación del proceso productivo y producción estimada**

Se realizó una visita de terreno a la zona del proyecto, para identificar como se procesan los áridos. La producción estimada de áridos se obtuvo del proceso productivo en donde según el rendimiento de los equipos que realizan la reducción y selección sucesiva del material pétreo.

#### **2.2.2 Medición del caudal del efluente generado por el procesamiento de áridos**

Para determinar el gasto de agua en la planta procesadora de áridos se encargó a un laboratorio certificado el cual efectuó una medición del caudal del efluente por un

intervalo de una hora durante 24 horas, midiéndose el caudal mínimo, el caudal máximo y el caudal promedio. Esto fue realizado mediante un caudalímetro.

### **2.3 Caracterización del medio**

Para la caracterización del medio se han tomado tres factores principales, puesto que son los directamente involucrados con el manejo de efluentes y lodos. Esto es:

- Flora y fauna.
- Hidrología.
- Caracterización del agua superficial de río.

#### **2.3.1 Determinación de flora y fauna**

Para determinar la flora vascular del área se encargó un estudio en donde se procedió a identificar en terreno las especies encontradas. En el caso de especies que no pudieron ser identificadas en terreno, fueron clasificadas posteriormente.

Para determinar la fauna del área se encargó un estudio, que realizó una campaña de terreno para evaluar la diversidad de fauna presente en el sector.

En el caso de los anfibios, se realizaron búsquedas activas en la vegetación y en los cuerpos de agua.

Para evaluar la diversidad de reptiles se efectuaron prospecciones sistemáticas en los sitios de mayor probabilidad de ocurrencia, como son los árboles, en torno a la vegetación de baja altura y a las rocas; esta actividad se realizó hasta antes del atardecer, es decir cuando existe el máximo de temperatura en el día ya que es entonces cuando estas especies están más activas.



Para las aves, se realizaron prospecciones en transectos de ancho variable con lo cual se registraron todas las especies dispuestas a lo largo del campo visual, así como las detectables en forma indirecta a través de estaciones de escucha a lo largo del área de estudio. Esta actividad se realizó durante todo el día, hasta antes del atardecer.

En el caso de mamíferos, se concentró el esfuerzo de muestreo en la búsqueda de signos de actividad tales como huellas y fecas en distintos sectores del área de estudio.

Para realizar la caracterización de biota acuática del área, se realizó una revisión bibliográfica de antecedentes de la zona. Se recopilaron estudios, con muestreos realizados en el río Cachapoal, y en su subcuenca. Además, se colectó bibliografía específica para cada grupo faunístico, que entregara información referente a su biogeografía y conservación.

### **2.3.2 Hidrología**

Para determinar la hidrología del sector se realizó una visita de terreno en el sector del proyecto.

Además utilizando el mapa geológico de Chile elaborado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), se determinó la información geológica.

### **2.3.3 Caracterización del agua superficial**

Se efectuó en la zona del proyecto un análisis de agua con fecha 5 Julio de 2014.

Los metales que fueron medidos tanto para el agua superficial se indican en la tabla 9.

**Tabla 9:** Metales medidos del agua superficial.

<b>Metales</b>	<b>Metodología empleada</b>
Manganeso total	NCh 2313/25 Of. 97
Hierro disuelto	NCh 2313/25 Of. 97
Boro total	NCh 2313/25 Of. 97
Aluminio total	NCh 2313/25 Of. 97
Zinc total	NCh 2313/25 Of. 97
Plomo total	NCh 2313/25 Of. 97
Níquel total	NCh 2313/25 Of. 97
Molibdeno total	NCh 2313/25 Of. 97
Cromo total	NCh 2313/25 Of. 97
Cobre total	NCh 2313/25 Of. 97
Arsénico total	NCh 2313/25 Of. 97
Selenio total	NCh 2313/25 Of. 97
Mercurio total	NCh 2313/12 Of. 96
Cadmio total	NCh 2313/25 Of. 97

Los compuestos orgánicos que fueron medidos se especifican en la tabla 10.

**Tabla 10:** Compuestos orgánicos medidos del agua superficial.

<b>Compuestos orgánicos</b>	<b>Metodología empleada</b>
Xilenos totales	NCh 2313/31 Of. 99
Triclorometano	NCh 2313/20 Of. 98
Tolueno	NCh 2313/31 Of. 99
Tetracloroetano	NCh 2313/20 Of. 98
Pentaclorofenol	NCh 2313/29 Of. 99

Los aniones medidos se especifican en la tabla 11.

**Tabla 11:** Aniones medidos en el agua superficial.

<b>Aniones</b>	<b>Metodología empleada</b>
Sulfato	NCh 2313/18 Of. 97
Cloruro	NCh 2313/32 Of. 99
Sulfuro	NCh 2313/17 Of. 97
Nitrógeno (NKT)	NCh 2313/28 Of. 98
Fosforo	NCh 2313/15 Of. 97
Fluoruro	NCh 2313/33 Of. 99
Cianuro	NCh 2313/14 Of. 97

Los parámetros fisicoquímicos medidos se especifican en la tabla 12.

**Tabla 12:** Parámetros fisicoquímicos medidos en el agua superficial.

<b>Parámetros fisicoquímicos</b>	<b>Metodología empleada</b>
pH	NCh 2313/1 Of. 95
Temperatura	NCh 2313/2 Of. 95
Poder espumógeno	NCh 2313/21 Of. 97
Demanda bioquímica de oxígeno DBO <sub>5</sub>	NCh 2313/5 Of. 2005
Sólidos suspendidos totales (SST)	NCh 2313/3 Of. 95

Estos análisis fueron realizados, según lo establecido por las normas chilenas oficializadas correspondientes a la serie NCh 2313, es decir, se implementaron los procedimientos establecidos, tales como la preparación que debe tener el material de ensayo, preparación del equipo, ensayo de las muestras, control de calidad del método de ensayo, ensayo de muestra duplicada, y ensayo de estándar. Además del procedimiento se indica la expresión de los resultados, interferencias, parámetros de verificación de desempeño del método y la información que debe contener el informe de los siguientes contaminantes que son analizados.

## **2.4 Caracterización de los residuos generados por la planta procesadora de áridos**

### **2.4.1 Caracterización de los residuos líquidos industriales**

Para la caracterización de los efluentes generados por el procesamiento de áridos, se efectuó un análisis de los RILES con fecha 5 Julio de 2014.

Los metales que fueron medidos se indican en la tabla 13.

**Tabla 13:** Metales analizados del agua residual.

<b>Metales</b>	<b>Metodología empleada</b>
Manganeso total	NCh 2313/25 Of. 97
Hierro disuelto	NCh 2313/25 Of. 97
Boro total	NCh 2313/25 Of. 97
Aluminio total	NCh 2313/25 Of. 97
Zinc total	NCh 2313/25 Of. 97
Plomo total	NCh 2313/25 Of. 97
Níquel total	NCh 2313/25 Of. 97
Molibdeno total	NCh 2313/25 Of. 97
Cromo total	NCh 2313/25 Of. 97
Cobre total	NCh 2313/25 Of. 97
Arsénico total	NCh 2313/25 Of. 97
Selenio total	NCh 2313/25 Of. 97
Mercurio total	NCh 2313/12 Of. 96
Cadmio total	NCh 2313/25 Of. 97

Los compuestos orgánicos que fueron medidos se especifican en la tabla 14.

**Tabla 14:** Compuestos orgánicos medidos del agua residual.

<b>Compuestos orgánicos</b>	<b>Metodología empleada</b>
Xilenos totales	NCh 2313/31 Of. 99
Triclorometano	NCh 2313/20 Of. 98
Tolueno	NCh 2313/31 Of. 99
Tetracloroetano	NCh 2313/20 Of. 98
Pentaclorofenol	NCh 2313/29 Of. 99

Los aniones medidos se especifican en la tabla 15.

**Tabla 15:** Aniones medidos en el agua residual.

<b>Aniones</b>	<b>Metodología empleada</b>
Sulfato	NCh 2313/18 Of. 97
Cloruro	NCh 2313/32 Of. 99
Sulfuro	NCh 2313/17 Of. 97
Nitrógeno (NKT)	NCh 2313/28 Of. 98
Fosforo	NCh 2313/15 Of. 97
Fluoruro	NCh 2313/33 Of. 99
Cianuro	NCh 2313/14 Of. 97

Los parámetros fisicoquímicos medidos se especifican en la tabla 16.

**Tabla 16:** Parámetros fisicoquímicos medidos en el agua residual.

<b>Parámetros fisicoquímicos</b>	<b>Metodología empleada</b>
pH	NCh 2313/1
Temperatura	NCh 2313/2
Poder espumógeno	NCh 2313/21 Of. 97
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	NCh 2313/5 Of. 2005
Sólidos suspendidos totales (SST)	NCh 2313/3 Of. 95

Es importante notar que estos análisis fueron efectuados de igual forma en que se caracterizó el agua superficial del proyecto. Esto es según lo establecido por las normas chilenas oficializadas correspondientes a la serie NCh 2313.

## **2.5 Caracterización de lodos**

Para la caracterización de los lodos se consideró clasificarlos, según estipula el D.S N°148/03, debido a la falta de ensayos.

## **2.6 Propuesta para el manejo de residuos**

### **2.6.1 Propuesta para aumentar la eficiencia hídrica de la planta procesadora de áridos**

Con los resultados obtenidos del análisis de los RILES, se propone un sistema de tratamiento en función de los parámetros que están por sobre lo establecido por el D.S N°90/00. Además se estudió la factibilidad de introducir una mejora en el proceso de lavado que permitiese reducir el gasto de agua, esto se efectuó revisando los distintos tipos de maquinarias empleadas.

### **2.6.2 Propuestas sobre posibles aplicaciones de los lodos generados en las plantas de procesamiento de áridos**

Para analizar qué decisión se puede tomar para el proyecto se consideró que los lodos no son residuos peligrosos, sin embargo, se requiere minimizarlos. Por lo que se propone diversas aplicaciones, en las que consideran una serie de variables técnico económicas, ya sean costos de traslado, legislación vigente, análisis de laboratorio y factores ambientales.

### III RESULTADOS

#### 3.1 Caracterización del proceso productivo, producción y gasto de recursos hídricos

##### 3.1.1 Proceso productivo

El proceso productivo para el proyecto de Áridos San Vicente se divide en dos etapas; extracción y procesamiento.

##### 3.1.1.1 Procedimiento de extracción

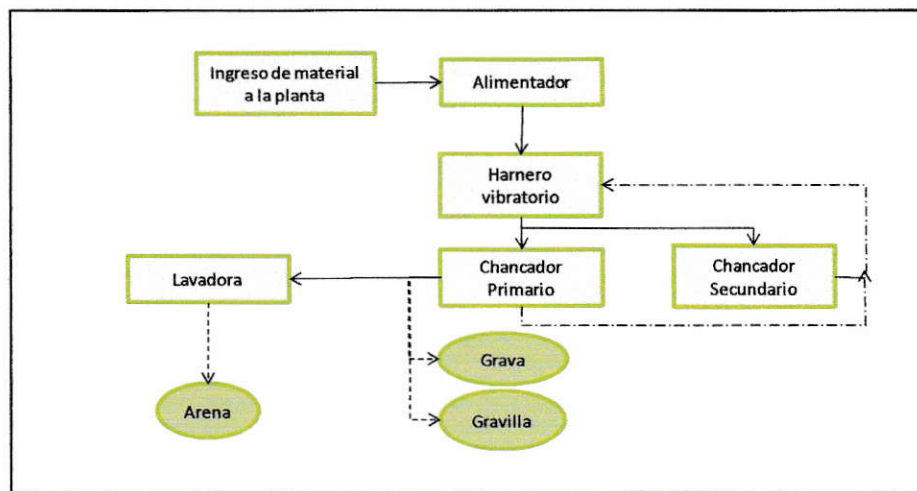
Como método de explotación para este proyecto en particular se contempla, la remoción y retiro de los materiales por medio del "Corte de Bloques Regulares", metodología que consiste en generar secciones geométricas de trabajo o unidades de explotación (UE) sobre la superficie a intervenir, las cuales quedan definidas por anchos dados y longitudes dadas, que generalmente se adaptan a las características y movilidad operacional de la maquinaria excavadora (Fig. 11). (Anexo parte 7.5).



Figura 11: Método de explotación del proyecto.

### 3.1.1.2 Procesamiento de áridos en la planta de Áridos San Vicente

El procesamiento de áridos de la planta comienza cuando el material extraído desde el río Cachapoal es transportado al alimentador de la planta comenzando un proceso basado en la reducción y selección sucesiva del material pétreo, con trituración primaria, secundaria y lavado, en los cuales se transforma en diversos subproductos: arena, grava gravilla (Fig.12).



**Figura 12:** Procesamiento de áridos llevado a cabo en la planta.

Es importante notar que solo las arenas pasan a un proceso de lavado, este proceso de lavado comienza cuando las arenas son transportadas mediante correas al tornillo lavador, en donde luego estas son mezcladas con agua para ser lavadas. Esta arena resultante debe ser deshidratada, por lo que tan solo queda con un 12% a 15% de humedad. Se debe considerar que durante el lavado de los áridos es cuando se produce el mayor gasto de agua y consecuentemente se produce la generación de RILES provenientes de esta actividad. (Anexo parte 7.6).



### 3.1.2 Producción estimada

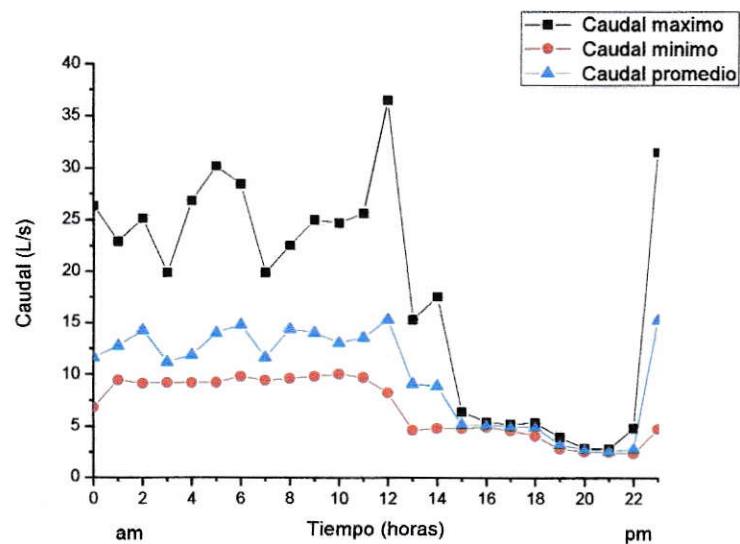
La sumatoria de los productos estimados entregados por la planta de procesamiento corresponde a un promedio de 43 toneladas por cada hora de funcionamiento, según la siguiente tabla de productos. En la tabla 17 se detalla los productos generados.

**Tabla 17:** Producción por hora de productos.

Producto	Producción (toneladas/hora)
Arena	27,95
Gravilla	8,600
Grava	4,300
Lodos	2,150
<b>Total</b>	<b>43,00</b>

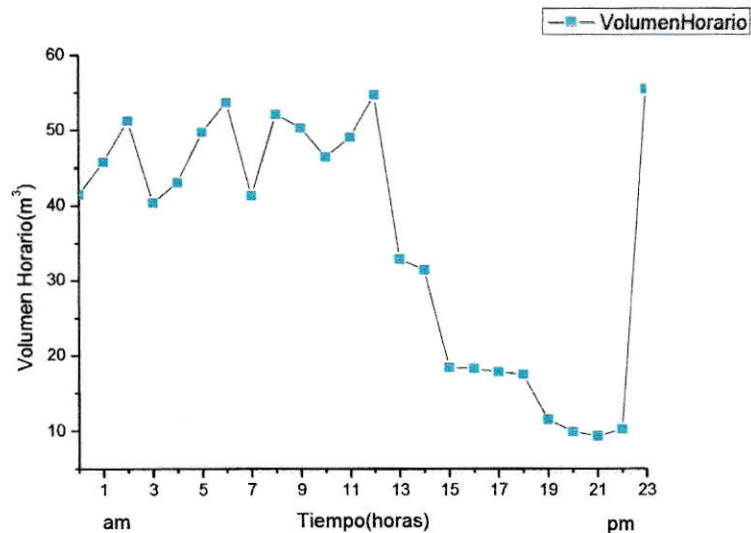
### 3.1.3 Gasto estimado de recursos hídricos

En el gráfico de la figura 13 se aprecia que el caudal de salida proveniente del proceso de lavado es variable, puesto que depende de las condiciones de operación.



**Figura 13:** Gráfico del caudal de la planta procesadora de áridos vía húmeda.

El volumen total de agua que se utilizó durante esta medición corresponde a  $851,5 \text{ m}^3$ , en la figura 14 se aprecia que el volumen horario no es constante, puesto que depende de las condiciones de operación y de la cantidad de material extraído.



**Figura 14:** Grafico del volumen horario de la planta procesadora de áridos.

A partir de la producción estimada se tiene que el consumo promedio aproximado de agua por el tornillo lavador es de  $100 \text{ m}^3$  por cada 138 toneladas de material integral, por lo que el consumo de agua es de  $0,72 \text{ m}^3/\text{t}$ .

## 3.2 Caracterización del medio

### 3.2.1 Flora y fauna en la zona del proyecto

De flora se identificaron y caracterizaron un total de 28 especies. Las especies exóticas (introducidas) representaron más de la mitad respecto al total observado (52,57%). La principal forma de vida fue la herbácea (67,85%, entre anuales y perennes), seguida por

la arbustiva (25%) y finalmente por la arbórea (7,14%). En la tabla 18 se indica las especies de flora encontradas en el área de influencia del proyecto.

**Tabla 18:** Especies de flora encontradas en el área de influencia del proyecto. FP: fuera de peligro; LC preocupación menor; NE: no evaluado.

<b>Familia</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Origen Fitogeográfico</b>	<b>Estado de conservación</b>
Apiaceae	Cicuta	Introducida	LC
	Diente de león	Introducida	No aplica
	Llaretilla	Nativa	LC
Asteraceae	Romerillo	Nativa	FP
	Brea	Nativa	LC
	Chilca	Nativa	FP
Brassicaceae	Yuyo	Introducida	No aplica
Convolvulaceae	Correhuela	Introducida	No aplica
Fabaceae	Espino	Nativa	LC
	Adesmia	Nativa	LC
	Alfalfa chilota	Nativa	NE
	Galega	Introducida	No aplica
	Trébol blanco	Nativa	NE
	Culen	Nativa	FP
Mimosaceae	Eucalipto	Introducida	No aplica
Poaceae	Ballica	Introducida	No aplica
	Pasto largo	Nativa	NE
	Césped	Introducida	No aplica
Poligonaceae	Duraznillo	Introducida	No aplica
	Vinagrillo	Introducida	No aplica
	Romaza	Introducida	No aplica
Rhamnaceae	Retanilla	Nativa	NE
Rosaceae	Zarzamora	Introducida	No aplica
Scrophulariaceae	Mitrún	Introducida	No aplica
Solanaceae	Chamico	Nativa	NE
	tabaquillo	Nativa	FP

De fauna fueron registradas un total de 21 especies. Fueron registrados sólo dos especies de anfibios, la rana de antifaz y el sapito de cuatro rojos (Fig. 15), dentro de las especies presentes.



**Figura 15:** Sapito de cuatro ojos.

En relación a los reptiles, sólo fueron detectados dos ejemplares el lagarto chileno y un ejemplar de lagartija esbelta, ambas especies estuvieron asociadas a las partes bajas de los árboles del sector. En relación a las aves, fueron registradas un total de 12 especies, de las cuales sólo una especie se encontró dentro de las exóticas, es decir, solo hay una especie introducida fuera de su distribución natural. Solamente fueron detectadas tres especies de mamíferos, todas introducidas: perros, vacunos, y conejos.

En la tabla 19 se indican las especies de fauna encontradas en el área de influencia del proyecto.

**Tabla 19:** Flora y fauna encontrada en el área de influencia del proyecto. LC:

preocupación menor; NT: casi amenazada; R: rara.

Clase	Nombre común	Origen	Estado de conservación
Anfibios	Rana de antifaz	Nativa	NT
	Sapito de cuatro ojos	Nativa	NT
Reptiles	Lagarto chileno	Nativa	LC
	Lagartija esbelta	Nativa	R
Aves	Garza pequeña	Nativa	LC
	Tiuque	Nativa	LC
	Queltehue	Nativa	LC
	Tórtola	Nativa	LC
	Golondrina chilena	Nativa	LC
	Loica	Nativa	LC

Clase	Nombre común	Origen	Estado de conservación
	Zorzal	Nativa	LC
	Churrete acanelado	Nativa	LC
	Tenca	Nativa	LC
	Diuca	Nativa	LC
	Colegial	Nativa	LC
	Gorrión	Introducida	LC
Mamíferos	Perro domestico	Introducida	No aplica
	Vacuno	Introducida	No aplica
	conejo	Introducida	No aplica

### 3.2.2 Hidrología

El río Cachapoal nace la cordillera de Los Andes en el sector del Volcán Overo, Pico del Barroso y Nevado de los Piuquenes a 5.160 m.s.n.m., con una longitud de aproximadamente 164 Km y con una hoya de 7.155 km<sup>2</sup>. Su régimen hidrológico es de tipo pluvio-nival, esto significa que sus mayores caudales se producen en los periodos de lluvia y de deshielo en primavera. Siendo el principal afluente del río Rapel.

Como se observa en la Figura 16 el río Cachapoal para la repartición de sus aguas está dividido en tres secciones, las cuales están reguladas por juntas de vigilancia que agrupan a los usuarios correspondientes a cada una de ellas. El proyecto está dentro de la primera junta de vigilancia., formando parte de la red de drenaje del río Cachapoal.



**Figura 16:** Cuenca del río Cachapoal (CNR, 2005).

Geomorfológicamente el cauce del río Cachapoal cuenta con un ancho medio de 850 metros, y su desarrollo se realiza a través de una suave pendiente.

Según el mapa geológico de Chile elaborado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), el área del proyecto corresponde a una secuencia sedimentaria de depósitos fluviales: gravas, arenas y limos (Fig. 17). Véase en el Anexo parte 7.7 información geológica de las áreas cercanas al proyecto.

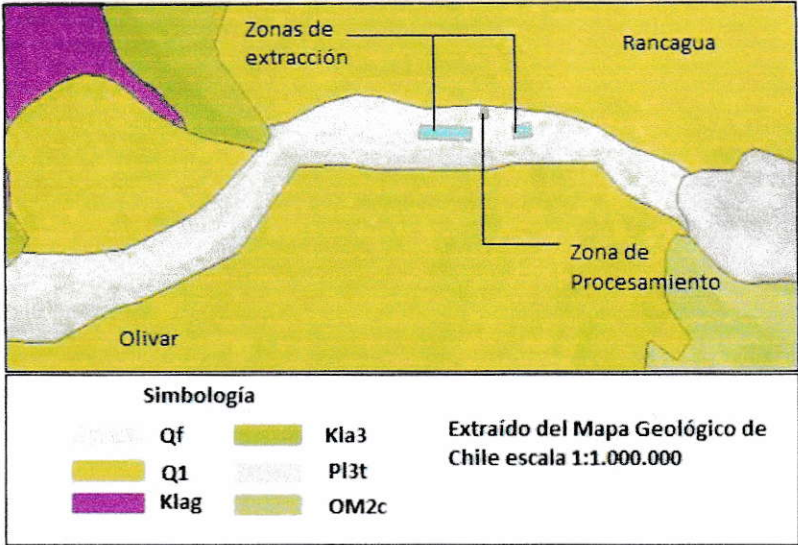


Figura 17: Mapa geológico del proyecto.

Es importante señalar que la variación temporal de la forma y geometría del cauce, es el resultado de los procesos de erosión hídrica, transporte de sedimentos y depositación. Es así como muchas zonas quedan expuestas a flujos de alta velocidad, sujetas al transporte de grandes cantidades de material, pudiendo generarse erosión en algunos sectores movilizado el material hacia aguas abajo. Mientras que la depositación de sedimentos ocurre durante la fase de disminución de las velocidades del flujo, o en zonas en que el cauce principal o las zonas de inundación mantienen un flujo lento o la pendiente no les permite mayor escorrentía lo que implica una mayor acumulación de sedimentos y materiales de distinta granulometría

En el caso del proyecto, la ribera derecha, se manifiesta como un plano, el cual se encuentra sobre una terraza de carácter fluvial, donde es fácil apreciar la suavidad de su relieve con pendientes bajas. En ese sector las características del suelo facilitan

actividades industriales en la zona. Por su parte, la ribera izquierda, se encuentra bien definida donde se destaca una altura media de talud de 1.5 metros, para luego pasar al desarrollo de una planicie inclinada, la cual genera terrenos con interés para el desarrollo de actividades agrícolas.

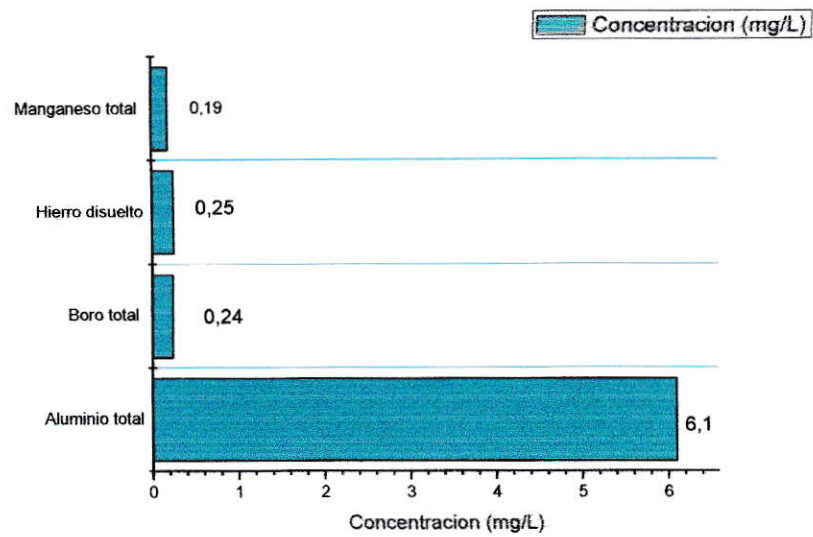
### **3.2.3 Calidad del agua en la zona del proyecto**

Estos resultados sirven como antecedentes para determinar la situación del área de influencia sin el proyecto, puesto que en la actualidad no se dispone de una norma de calidad secundaria para el río Cachapoal. Sin embargo, estos pueden ser contrastados con la "Guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas" que establece 4 tipos de clases de aguas, esto es una tipificación del agua de acuerdo a niveles de calidad por elemento o compuesto. Para mayor información véase el Anexo 7.8 donde se describen los diferentes criterios de calidad de agua superficial.

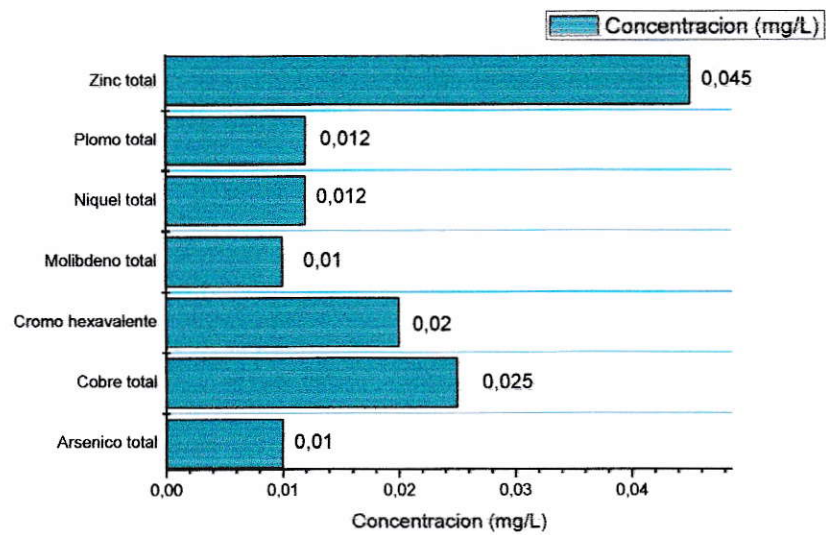
#### **a) Concentración de metales**

Las concentraciones de metales pesados se presentan en tres diferentes gráficos (Fig.18-20). En los cuales la diferencia que existe entre los metales totales y el hierro disuelto, se basa en que la normativa Chilena establece que para la determinar la concentración de hierro, este debe ser filtrado a través de un poro de 0,40 a 0,45 micrómetros de diámetro.

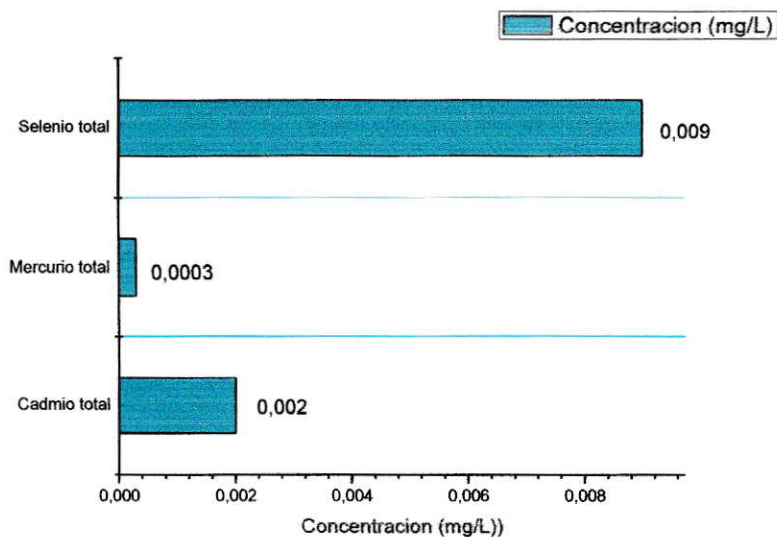




**Figura 18:** Concentración de total de Al, B, Mn y Fe disuelto en el agua superficial.



**Figura 19:** Concentración total de As, Cu, Mo, Ni, Pb, Zn y Cr (VI) en el agua superficial.



**Figura 20:** Concentración total de Cd, Hg y Se en el agua superficial.

De los resultados se observa que todos los metales analizados a excepción del aluminio están dentro de los rangos contemplados por esta guía.

Las concentraciones de aluminio exceden los 5 mg/L, lo cual implica que esta agua sea de mala calidad, es decir, no es adecuada para la conservación de las comunidades acuáticas o para riego. Lo cual es ratificado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) donde se indica que la toxicidad es considerada como una de las principales causas de no productividad en suelos ácidos.

Se tiene un agua de clase excepcional, para hierro disuelto, boro total, zinc total, níquel total, cobre total, arsénico total, selenio total, mercurio total y cadmio total. Lo que indica que esta agua para estos metales es de extraordinaria pureza, siendo adecuada para la protección y conservación de las comunidades acuáticas.

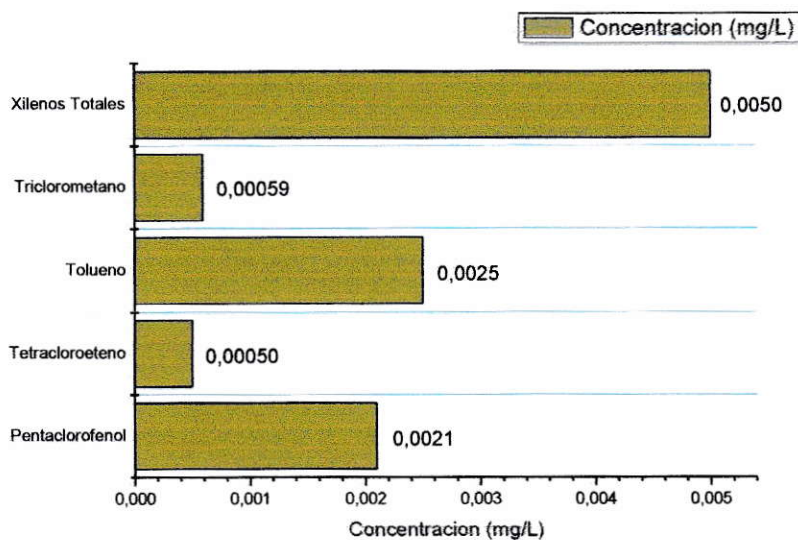


Mientras que se tiene una agua de clase 1 (muy buena calidad) para el molibdeno total. Es decir, es adecuada para la protección y conservación de las comunidades acuáticas, para el riego irrestricto, para el desarrollo de la acuicultura, de la pesca deportiva y recreativa y para bebida de animales.

Finalmente se tiene una clase 2 (Buena calidad) para el manganeso total y el plomo total. Esto es, adecuada para el desarrollo de la acuicultura, de la pesca deportiva y recreativa, y para riego restringido.

### b) Compuestos orgánicos

En la figura 21 se presentan las concentraciones de compuestos orgánicos presentes en el agua superficial del área del proyecto.

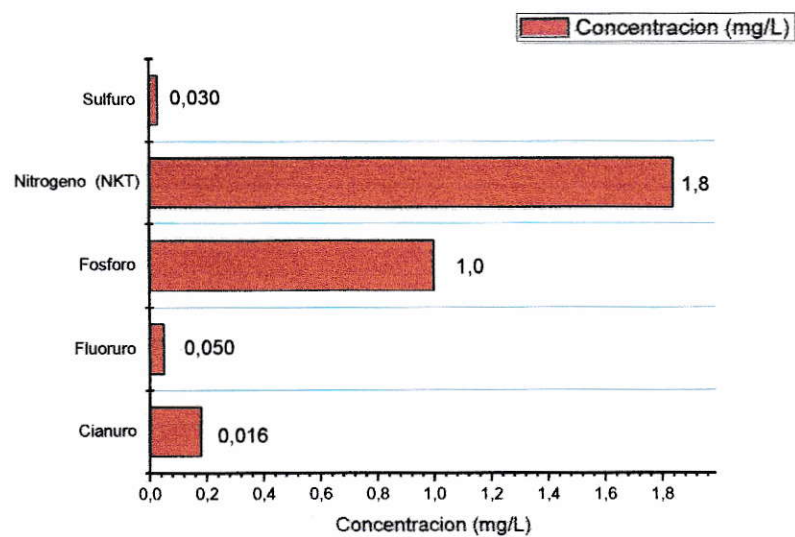


**Figura 21:** Concentración de pentaclorofenol, tetracloroeteno, tolueno, triclorometano, y xilenos totales en el agua superficial.

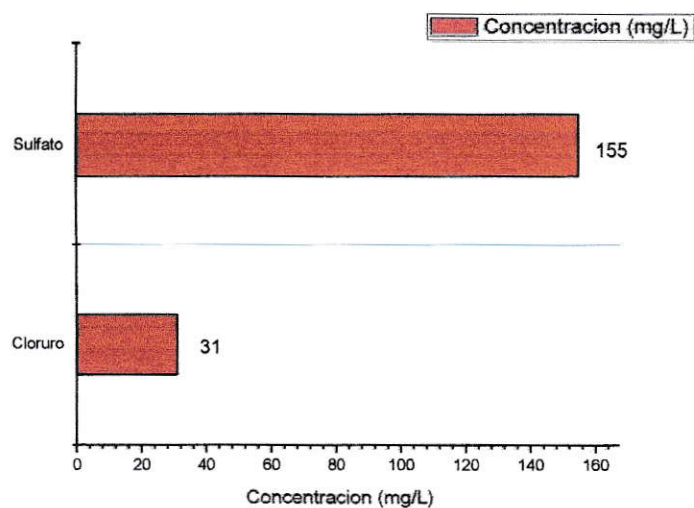
De esta información se desprende que la concentración de tolueno, tetracloroetano, y pentaclorofenol pertenecen a un tipo de agua clase de excepcional. Mientras que los xilenos totales y el triclorometano no están descritos en la mencionada guía.

### c) Concentración de aniones

Se presentan en la figuras 22 y 23 las concentraciones de aniones en el agua superficial.



**Figura 22:** Concentraciones de Cianuro, fluoruro, fosforo, nitrógeno (NKT) y sulfuro en al agua superficial.



**Figura 23:** Concentraciones de cloruro y sulfato en el agua superficial.

De estos gráficos se desprende que se tiene una clase excepcional para sulfato, cloruro, sulfuro, fluoruro, y cianuro. Mientras que nitrógeno (NKT) y fosforo no están considerados en la citada guía.

#### d) Parámetros fisicoquímicos

Se presentan en la tabla 20 los parámetros fisicoquímicos del agua superficial.

**Tabla 20:** pH, temperatura, poder espumógeno, DBO<sub>5</sub> y SST del agua superficial.

Parámetros medidos	Resultados obtenidos
pH	8,0
Temperatura promedio (°C)	11 ± 2
Poder Espumógeno (mm)	0,8
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	3
SST (mg/L)	116

De estos parámetros fisicoquímicos se tiene que corresponden a una clase de excepción el pH, y DBO<sub>5</sub>. La temperatura del río debido a su variación en el tramo corresponde a una clase 3. Los sólidos suspendidos totales (SST) están fuera del máximo establecido por la citada guía. Mientras que el poder espumógeno no está considerado en la citada guía.

### **3.3 Caracterización de los residuos generados**

#### **3.3.1 Caracterización de lodos**

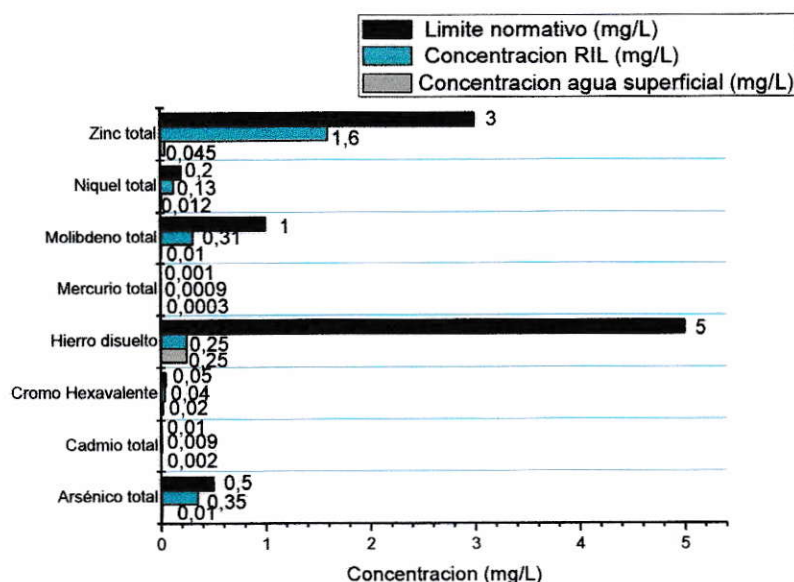
Estos lodos se caracterizan por tener un alto contenido de materia orgánica, arcillas, finos, entre otros, ya que la composición es variable y depende de la naturaleza química del material extraído, así como de los sedimentos que le rodeaban antes de su explotación. En Chile se consideran como residuos sólidos no peligrosos según lo estipulado por el D.S N°148/03. Por lo que en la práctica no se dispone de análisis para determinar su composición química.

### 3.3.2 Caracterización de los efluentes

Los resultados obtenidos se comparan con los valores normativos respecto a lo establecido por el D.S N° 90/00 en la tabla N°1 en relación a las descargas de efluentes a cuerpos de agua fluviales sin considerar la capacidad de dilución del receptor.

#### a) Concentración de metales

Se presentan los metales que no presentan problemas debido a su concentración en el efluente en la figura 24.



**Figura 24:** Concentración total de As, Cd, Hg, Mo, Ni, Zn, Cr (VI) y Hierro disuelto en el agua residual.

En las figuras 25 y 26 se indican los metales con concentraciones por sobre lo establecido según el D.S N°90/00.

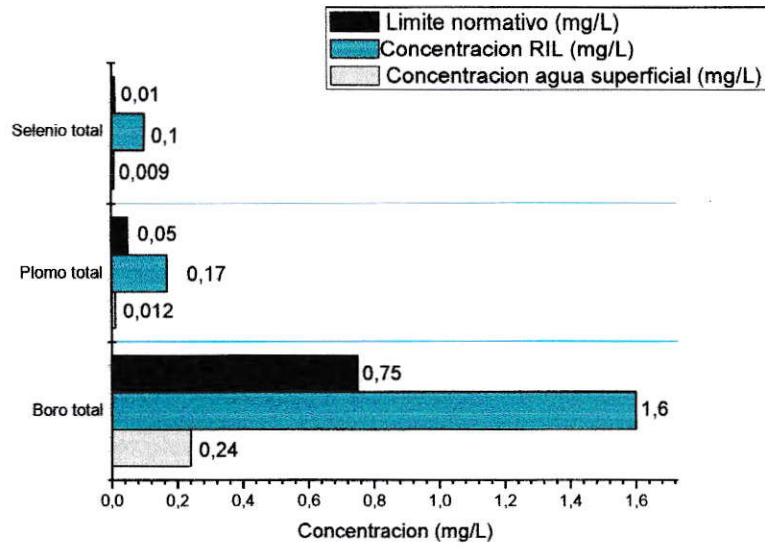


Figura 25: Concentración total de B, Pb y Se en el efluente.

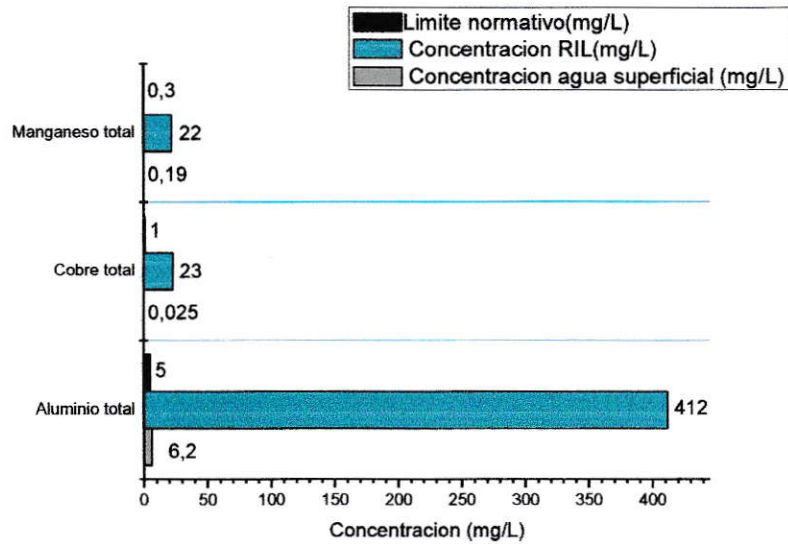


Figura 26: Concentración total de Al, Cu, y Mn, en el efluente.



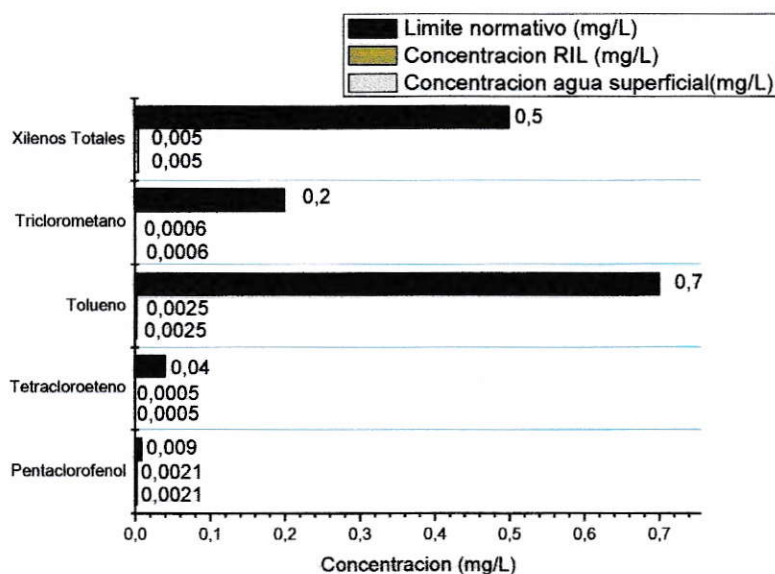
De los resultados se advierte que todos los metales salvo el hierro disuelto aumentan su concentración luego de pasar por el proceso de lavado de áridos.

En relación a lo establecido por el D.S N°90/00 los siguientes metales tienen concentraciones por fuera del límite establecido; aluminio total, boro total, cobre total, manganeso total, plomo total, y selenio total.

Mientras que el hierro disuelto se mantiene constante y no presenta problemas en su concentración en comparación a lo establecido por el límite normativo.

#### b) Concentración de compuestos orgánicos

En la figura 27 se indican las concentraciones de compuestos orgánicos en el efluente.

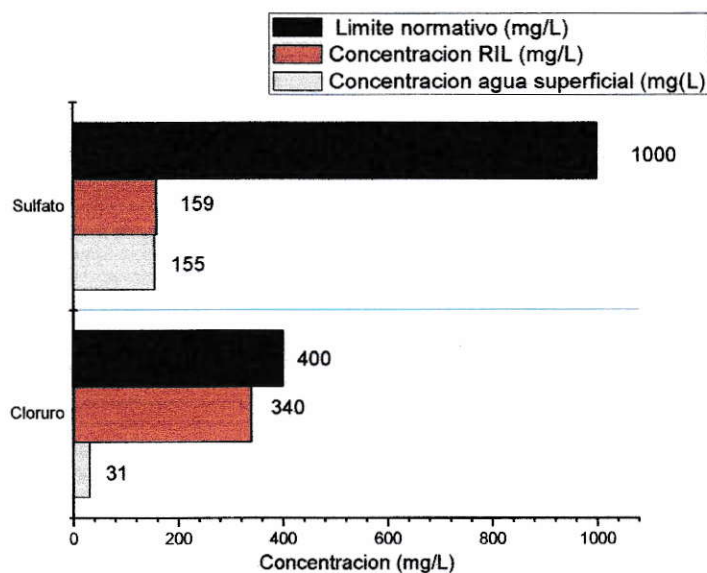


**Figura 27:** Concentración de pentaclorofenol, tetracloroetano, tolueno, triclorometano, y xilenos totales del efluente.

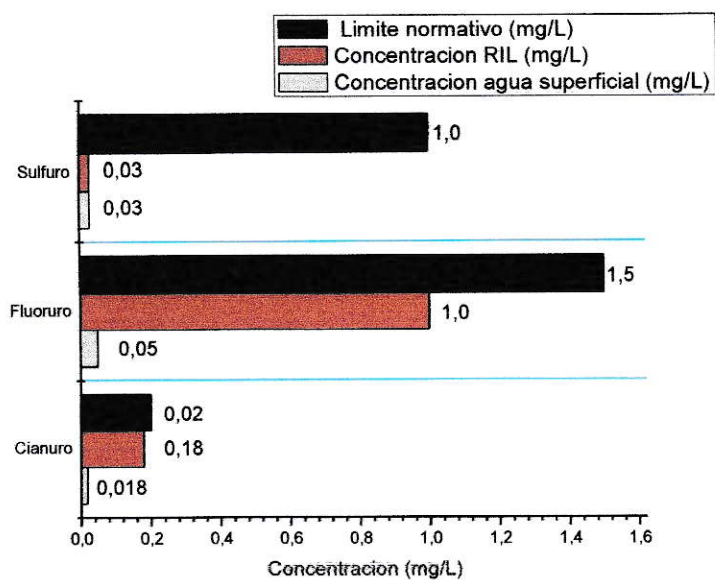
Se observa que los compuestos orgánicos no sobrepasan los valores normativos. Además no se producen un aumento de concentración en ninguno de estos, luego del proceso de lavado de áridos.

### c) Concentración de aniones

Las concentraciones de aniones presentes en el efluente residual del proyecto, se presentan en las figuras 28-30.

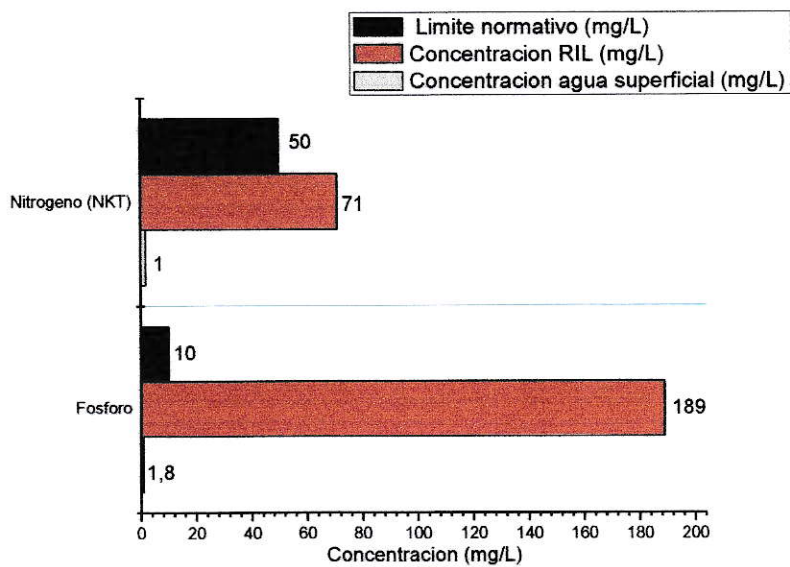


**Figura 28:** Concentración de cloruros y sulfatos del efluente.



**Figura 29:** Concentración de cianuro, sulfuro y fluoruro del efluente.

Concentraciones por sobre lo establecido por la norma.



**Figura 30:** Concentraciones de nitrógeno y fosforo del efluente.

De estos gráficos se observa que se produce un aumento en la concentración de cloruros, sulfatos, fluoruro, cianuro, nitrógeno (NKT) y fosforo, sin embargo, solo los niveles de nitrógeno (NKT) y fosforo sobrepasan lo establecido por el D.S N°90/00.

**d) Parámetros fisicoquímicos**

En la tabla 21 se presentan los parámetros fisicoquímicos del agua residual.

**Tabla 21:** pH, temperatura, poder espumógeno, DBO<sub>5</sub>, y sólidos suspendidos totales del efluente.

Parámetros medidos	Concentración agua superficial	Concentración RIL	Límite máximo permitido
pH	8	8,5	6-8
Temperatura promedio (°C)	13	15	20
Poder Espumógeno (mm)	0,8	0,8	7
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	3	91	35
SST (mg/L)	116	22170	80

De estas mediciones se informa que los parámetros que no cumplen con lo establecido por el D.S N°90/00 corresponden a pH, SST, y DBO<sub>5</sub>.

### **3.4 Propuestas para el manejo de residuos**

#### **3.4.1 Propuesta para la gestión de efluentes líquidos**

Para mejorar la gestión del recurso hídrico, desde la perspectiva de la eficiencia hídrica se propone un sistema que recicla el agua proveniente del proceso de lavado. Esto promueve la disminución del consumo de agua fresca y previene la contaminación del cauce por descargas de aguas tratadas al río.

##### **3.4.1.1 Recomendaciones para el proceso de lavado**

Para que el sistema opere de mejor manera se recomienda cambiar el tornillo lavador por un hidrociclón, puesto que este equipo resulta ser más eficiente en términos de consumo de agua, y a la vez trae como beneficio la recuperación de arenas que en caso contrario se quedan en los lodos.

##### **3.4.1.2 Sistema propuesto para el reciclado del agua en la planta de tratamiento de efluentes**

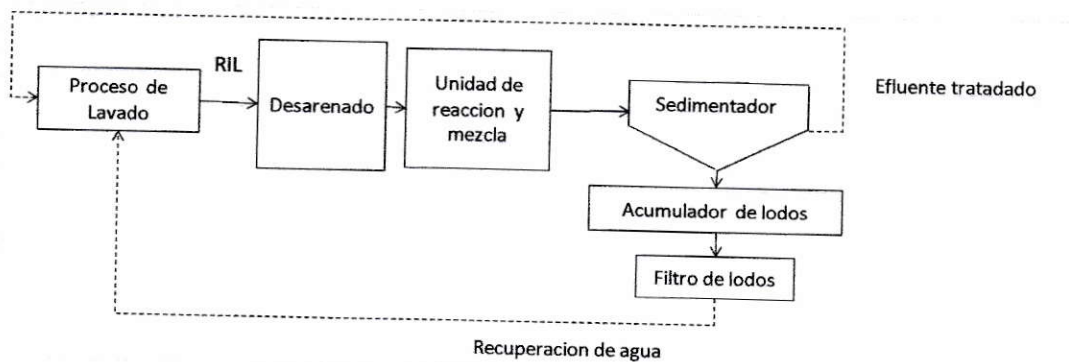
Se consideró la composición del efluente, en donde se sabe que sobrepasa los límites establecidos por la tabla N°1 del D.S N°90/00 en aluminio, boro total, cobre total, demanda bioquímica de oxígeno, fosforo, manganeso total, nitrógeno Total Kjeldhal (NKT), plomo total, selenio total, y sólidos suspendidos totales. Esto, en razón de que en algún momento del ciclo el agua tratada deberá ser devuelta al cauce, pues los derechos de aprovechamiento de la empresa son no consuntivos. Es decir, el agua puede ser empleada sin ser consumida, por lo cual existe la obligación de restituirla. Por este motivo se debe devolver agua en las condiciones que establece el D.S N°90/00 sobre

requerimientos finales para el vertido de efluentes a cuerpos de agua superficiales sin capacidad de dilución.

De la caracterización de los efluentes se observa que el mayor problema es el contenido de sólidos suspendidos. Por esta razón el diseño de la planta se compone de los siguientes procesos:

- Desarenado
- Homogenización
- Floculación
- Sedimentación
- Filtración

En la figura 31 se describen las unidades de operación por los que debe ser sometido el efluente.



**Figura 31:** Procesos propuesto para tratamiento del RIL.

### 3.4.1.3 Operación previa

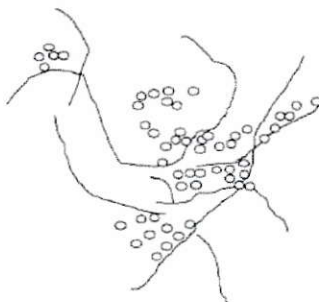
#### Desarenado

Se debe realizar en una piscina donde se decanta el polvo roca y arenas no controladas por la planta en el lavado de arenas que no son retenidas por el proceso normal de tamizado.

### 3.4.1.4 Operaciones en la unidad de reacción y mezcla

#### Unidad de mezclado y dosificación

Una vez que es filtrado el efluente debe ser trasladado al estanque ecualizador para obtener una mezcla uniforme. En esta unidad se realiza el acondicionamiento del agua de lavado. Este acondicionamiento corresponde a un proceso físico donde la aplicación de floculante provoca que las partículas sean sedimentables originando pequeños flóculos de tamaño y constitución apropiados.



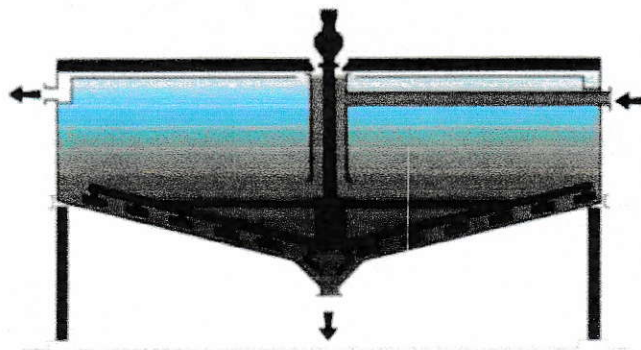
**Figura 32:** El floculante tiende un puente entre las partículas coloidales aglomeradas para formar flóculos más fácilmente sedimentables.

Es importante que la floculación se realice por un mezclado lento, que permite juntar poco a poco los flóculos, ya que en caso contrario estos pueden romperse.

#### 3.4.1.5 Operaciones en la unidad de sedimentación

En esta unidad se retiene arcillas y partículas de tierra (limos), resultantes del proceso de lavado de los áridos en planta. Una vez que se han formado los flóculos es posible separar las partículas sólidas contenidas en el líquido, por diferencia de densidad que hace que las partículas sedimenten en el fondo de donde se eliminan en forma de lodos. Es importante notar que en este proceso mientras mayor sea la viscosidad del líquido, tanto más se frena el movimiento de partículas.

Para un diseño más óptimo se recomienda la implementación de clarificadores de alto rendimiento, puesto que de esta forma aumenta la velocidad de tres a veinte veces en comparación a los tanques convencionales, además de tener una menor superficie de decantación. En la figura 33 se muestra un clarificador de alto rendimiento.

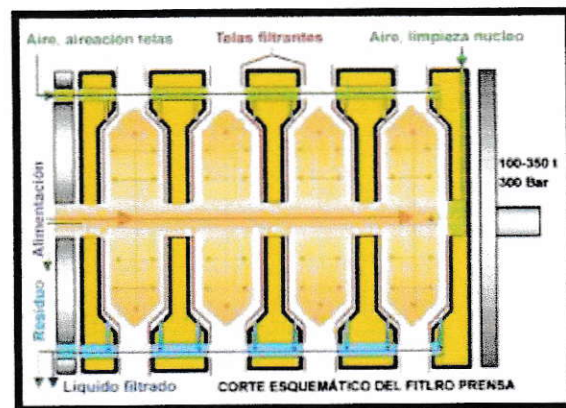


**Figura 33:** Esquema de funcionamiento de un clarificador de alto rendimiento.



### 3.4.1.6 Operación en el filtro prensa

Estos lodos obtenidos dada la naturaleza arcillosa de las partículas sólidas contenida en los efluentes, así como su fina granulometría hoy en día el único equipo eficaz y económico es el filtro prensa (Fig. 34), el cual es práctico y fácil de implementar. (Wichern, M., y col., 2008).



**Figura 34:** Esquema de un filtro prensa.

Este equipo está compuesto por varias placas filtrantes, variables en tamaño y número, colocadas paralelamente en horizontal o vertical, formando un paquete filtrante sobre un bastidor común. Una vez alcanzada la presión necesaria concluye el proceso de llenado, y se interrumpe la alimentación, procediéndose a la apertura del paquete filtrante. La duración del ciclo puede variar entre 10 min y 60 min, dependiendo de la dificultad de filtración, del tipo de filtro y número de cámaras del mismo.

### 3.4.1.7 Sistema de impulsión

El agua ya limpia es devuelta al depósito de agua para su nuevo uso mediante un sistema de impulsión.

### 3.4.1.8 Emisario y cámara de control

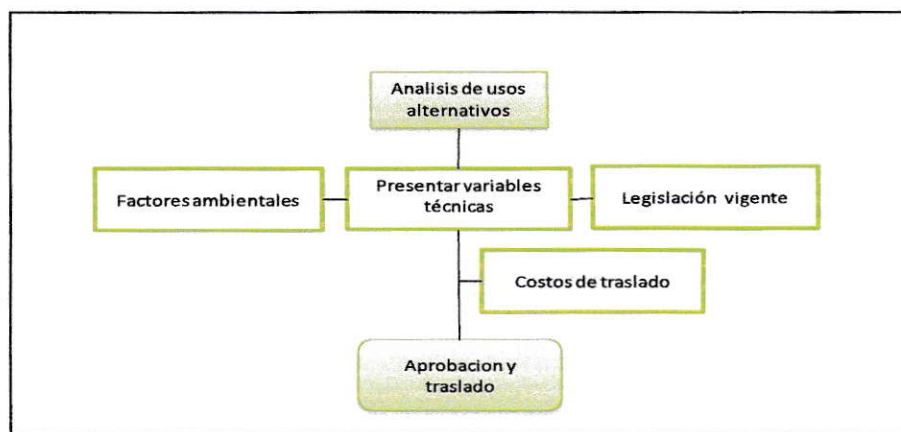
El sistema considera la descarga esporádica de aguas tratadas, por tanto se requiere de un emisario con cámara de control para la toma de muestras de autocontrol según lo establecido por el DS90/00.

### 3.4.2 Propuesta de posibles aplicaciones de los lodos generados

Se investigó las posibilidades de emplear los lodos con fines benéficos, en vez de ser retirados para ser dispuestos en un lugar autorizado. Lo cual contribuye en disminuir la contaminación ambiental.

#### 3.4.2.1 Métodos para la minimización de lodos

Para tomar una correcta decisión sobre la mejor alternativa para la minimización de lodos, se propone seguir el siguiente esquema de la figura 35, en donde se debe considerar los factores ambientales, variables técnicas, y evaluar la legislación ambiental aplicable. En donde se privilegia para la toma de decisión los costos de traslado.



**Figura 35:** Esquema a seguir para una correcta toma de decisión.

Para ello se investigó soluciones técnicas que consideran la incorporación de estos residuos en la industria de la construcción y en la restauración de suelos.

La elección de una o más de estas alternativas, dependerá de cuan factibles sea su aplicación, además de los costos de traslado y de la existencia de potenciales clientes interesados. Una vez tomada una o más decisiones considerando estos aspectos se puede dar la aprobación para su traslado.

#### **3.4.2.1.1 Elaboración de morteros**

Las posibilidades técnicas de la producción de morteros que contienen lodo de piedra han sido estudiadas con resultados positivos reportados por el Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de la Construcción (Soerio, A., y col., 2004), en donde pueden ser empleados como mortero de asentamiento sin necesidad de resistencia alta.

En la fabricación de morteros, se precisa conocer las propiedades físico mecánicas de los materiales y la naturaleza de sus componentes, a fin de determinar las resistencias características de dichos morteros y el uso posterior al que serán destinados.

Para determinar la idoneidad del lodo para esta aplicación del lodo este debe someterse a ensayos de:

- **Absorción por capilaridad:** Esto es la capacidad que tenga el mortero resultante de absorber agua y variar su peso.
- **Adherencia:** Propiedad que poseen los morteros de adherirse a los materiales con los cuales están en contacto.
- **Resistencia mecánica de flexión y compresión:** Capacidad de los materiales de oponerse a fuerzas que tratan de deformarlos, ya sea curvándose o acortándose.

- **Durabilidad a largo plazo:** Es la capacidad que se tenga de oponerse a agentes externos que alteren sus propiedades.

Todo esto a fin de determinar la durabilidad que presenta el mortero, es decir, si es capaz de mantener inalterables sus propiedades aún bajo la influencia de agresividad en el medio ambiente, diferencias de temperaturas, lluvias, agentes corrosivos, sales, etc.

En Chile, la aplicación de aditivos a morteros esta normada en relación a cómo modifican sus propiedades en forma susceptible de ser prevista y controlada. No está definido específicamente de que material se trate, sino más bien del efecto que tenga sobre las propiedades del mortero.

#### **3.4.2.1.2 En la elaboración de mezclas de cemento**

Existen antecedentes de viabilidad técnica en Brasil (Soares H.L.A., 1997) de incorporar cantidades masivas lodos provenientes del procesamiento de áridos como materia prima para en la producción de clinker, sin ningún tipo de complejos tratamientos anteriores esto en función de un difractograma obtenido del Clinker producido con lodos en comparación con uno producido mediante el proceso habitual. Sin embargo, la solución todavía no se ha adoptado en forma general.

Al igual que en el caso anterior la normativa establece que se pueden emplear siempre y cuando sean beneficiosos para la mezcla.

#### **3.4.2.1.3 Elaboración de ladrillos cerámicos**

Hay antecedentes de la Universidad del Valle de Colombia (Torres, P., y col., 2012) que indican que los lodos pueden ser aptos como materia prima, o como aditivos correctores

de determinadas propiedades (plasticidad, granulometría, entre otros) de los ladrillos cerámicos.

En la elaboración de ladrillos cerámicos el material de producción debe tener una composición mineralógica de preferencia basada en silicatos de alúmina hidratados con elementos alcalinos y alcalino térreos, el tamaño de grano debe ser inferior a los 2 mm, poseer plasticidad al ser mezclado con agua, y sonoridad y dureza al ser expuestos a altas temperaturas (mayor de 750°C).

Para estos fines el lodo debe ser sometido a:

- **Ensayos de humedad:** Para determinar el comportamiento del material frente a cambios de volumen, cohesión y de estabilidad mecánica.
- **Ensayos de granulometría por vía húmeda:** Para detectar alteraciones en la composición de los lodos.
- **Análisis químicos del residuo seco del agua de lavado tratado con HCl:** Para detectar la presencia de materia inorgánica y sales contaminantes que provoquen eflorescencia, es decir, cristales de sales generalmente blancas, que se depositan en la superficie.
- **Ensayo de plasticidad:** Para determinar el límite plástico, límite líquido y el índice de plasticidad de los materiales arcillosos al mezclarse con agua.
- **Ensayo de sensibilidad al secado:** Se debe determinar con el objetivo de conocer la relación entre la humedad y las contracciones de las briquetas durante el proceso de secado.

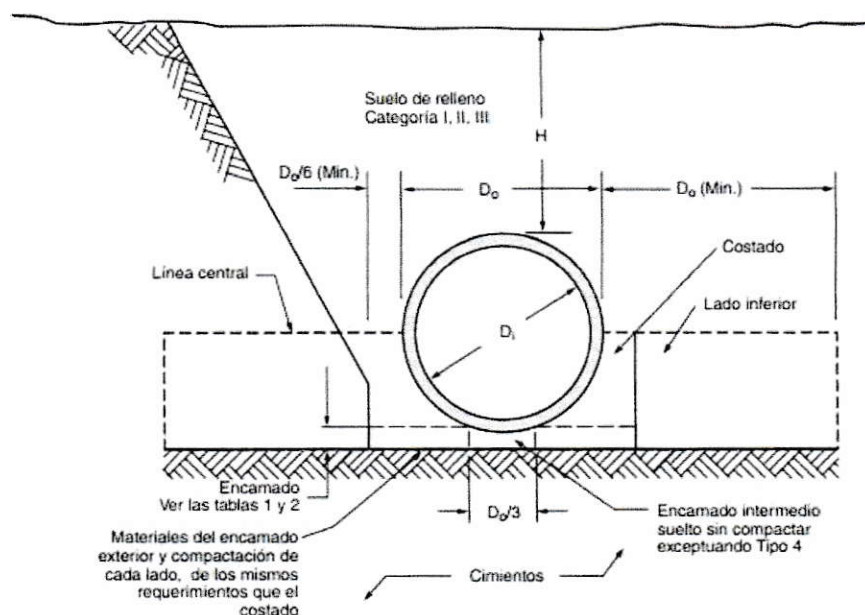
- **Ensayo de contracción a la quema:** Debido a que da una medida de la unión de las partículas después de cocida las piezas, y mediante su control, se pueden lograr productos cerámicos más o menos densos para cada una de las mezclas.
- **Ensayo de absorción:** Para establecer la cantidad de agua que llega a absorber el elemento cerámico después de horneado, dando una idea de la porosidad de la pieza.

En Chile, esta alternativa de minimización de residuos es aplicable solo si se cumple con las propiedades de calidad requeridas para el ladrillo cerámico.

#### **3.4.2.1.4 Venta para encamado de tubería**

Otra aplicación de los lodos es su uso para encamado de tuberías que se instalan en el suelo, de manera que se pueda establecer un contacto positivo entre el tubo y el encamado.

La carga que un tubo de concreto soportará depende del ancho del área de contacto del encamado y de la calidad del contacto entre el tubo y el encamado. Una importante consideración al seleccionar material para encamado, es asegurarse del contacto positivo entre la cama y el tubo, debido a que la mayor parte de los materiales granulares se moverán para lograr un contacto positivo conforme el tubo se asienta. En la figura 36 se muestra una instalación estándar.



**Figura 36:** Instalación estándar de una zanja o terraplén.

Actualmente este es uno de los mayores usos que se da a estos residuos, cuando no son empleados en otra aplicación. No hay impedimentos normativos que lo impidan.

#### 3.4.2.1.5 Restauración de suelos

Se utiliza con la finalidad de reacondicionar terrenos degradados y/ o explotados por la misma actividad, para la recuperación del paisaje, de la flora y fauna autóctonas.

En la restauración de suelos, los metales pesados que puedan contener los lodos, suponen un riesgo muy pequeño en las zonas restauradas, ya que se ha comprobado su baja movilidad en el suelo y la limitada transferencia a las plantas (Ortiz & Alcañiz, 2006). En cuanto a los contaminantes orgánicos habituales en los lodos, muchos se degradan en el suelo y no se han detectado efectos ecotóxicos que sean directamente atribuibles a estas sustancias (Domene, X., y col., 2007).

En la restauración un porcentaje menor prevé un uso agrícola (cereales, viticultura, frutales). Esto debido a que los lodos pueden aportar fósforo y/o nitrógeno que beneficia los cultivos, puesto que estimulan la actividad microbiana, contribuyendo a aumentar la materia orgánica, lo cual disminuye la pedregosidad del suelo, complementando las correcciones edáficas.



**Figura 37:** Restauración agrícola (ANEFA).

La restauración comprende tres fases principales: el modelado de la morfología final del terreno, la reposición del suelo y la recuperación de la vegetación mediante siembras y plantaciones. Donde la reposición de la capa más superficial del suelo natural es uno de los aspectos más relevantes ya que es determinante sobre la composición florística y el crecimiento de las plantas.

Para determinar su idoneidad es necesario analizar tanto el suelo en cual se pretende introducir el lodo, así como el lodo para determinar el aporte que este pueda tener en este suelo específico. Se debe evaluar los porcentajes de materia orgánica, nutrientes y



contaminantes, su aptitud según el tipo de sustrato, la situación geográfica y los aspectos geomorfológicos. Para ello se debe evaluar:

- **Impacto ambiental:** Que pueda tener la restauración sobre las aguas, la vegetación, la utilización ganadera, etc.
- **Condiciones climáticas:** Las cuales afectan directamente a la evolución de los lodos que se apliquen en ella y el desarrollo de la vegetación. Se debe tener en cuenta a fin de seleccionar los meses más adecuados para manipular los lodos y las tierras abonadas, evitar las épocas de fuertes lluvias o de heladas intensas, y escoger las plantas más adaptadas a cada ambiente.
- **Evaluar los acuíferos:** Se recomienda evitar la aplicación de lodos en aquellas zonas donde se puedan perjudicar acuíferos, fuentes o corrientes de agua, excepto si hay suficientes garantías de que no quedarán afectados.
- **Aspectos geomorfológicos:** Antes de la reposición final de las tierras enmendadas con lodos, es necesario que los taludes y las zonas que se deben restaurar se hayan adecuado desde el punto de vista geomorfológico. Con esto se tiene bajo control las aguas de escorrentía, y el riesgo de erosión.
- **Composición del suelo a restaurar:** Los materiales calcáreos, las margas y los sedimentos arcillosos son los más adecuados para la restauración con lodos, mientras que aquellos que presentan sustratos ácidos y arenosos que facilitan la movilidad o la lixiviación de algunos contaminantes que contienen los lodos. La salinidad de determinados sustratos condiciona el desarrollo vegetal.



- **Facilidad de disgregación de las rocas y la proporción de finos:** Esto es en los materiales residuales que se utilizarán en la restauración, puesto que es un inconveniente en muchas explotaciones de calizas duras, por la excesiva pedregosidad y por un contenido muy elevado de carbonatos en los materiales utilizados como sustrato para la restauración.
- **Composición de los lodos:** Es importante analizar la composición de los lodos, para verificar que los sustratos sean favorables de modo que no faciliten la movilidad de los contaminantes presentes en los lodos.

En Chile, esta alternativa es utilizada en la mayoría de las extracciones de pozos o de canteras, no existiendo un impedimento legal, sin embargo, esta medida no es efectuada considerando la composición de los lodos, ni de suelo, por lo que se recomienda que se realicen las correspondientes evaluaciones para que de esta forma se garantice que el suelo está siendo efectivamente restaurado. Es importante destacar que a pesar de lo ampliamente utilizada que es esta alternativa, actualmente no existe una normativa específica que regule como se debe llevar a cabo, ni las consideraciones ambientales que debiesen existir para su aplicación.

## IV DISCUSIÓN

### **Caracterización del medio**

En la zona del proyecto según los estudios de flora y fauna existe un ecosistema simplificado. En donde el alto grado de antropización, se ve reflejado en la gran cantidad de especies herbáceas registradas en el área de estudio. Además los hábitats para el desarrollo de fauna son limitados, en donde las especies exóticas afectan la presencia de especies nativas a todo nivel de taxa.

La ictiofauna es la más afectada por este tipo de proyectos, ya que son los peces los que directamente se relacionan con los impactos causados por la alteración del agua del río, por lo que la degradación del hábitat reproductivo ribereño podría causar la extinción local de estas especies. Por otra parte al ser una zona con una alta concentración de sólidos suspendidos la penetración de la luz en la columna de agua sufre una disminución, lo que limita o impide el crecimiento de las plantas afectando la alimentación de los peces reduciendo su supervivencia. Además del estudio hidrológico se sabe que en la zona hay una alta tasa de transporte de sedimentos, lo que favorece la actividad de extracción de áridos, sin embargo, este mismo hecho repercute en el desplazamiento de plantas, invertebrados e insectos del lecho del río, afectando las fuentes de alimento de los peces. También puede ser un factor de interés en la reproducción de los peces, ya que provoca entierro y sofocamiento de los huevos.

Del estudio de calidad natural del agua superficial, se observa que el aluminio se encuentra fuera de los límites establecidos por la guía de la CONAMA para la dictación de normas de calidad ambiental para aguas continentales superficiales. Por lo que se puede presumir que se debe a aportes litogénicos, esto en base a antecedentes de la Dirección General de Aguas (DGA), sin embargo, no se descarta que sea además proveniente de aportes antropogénicos ya que aguas arriba del proyecto hay localizadas actividades mineras cupríferas.

### **Caracterización de los residuos**

La caracterización de los residuos líquidos provenientes del proceso de lavado mostró un aumento en la concentración de todos los metales medidos, así como también se observa un aumento en la concentración de especies aniónicas. Por otra parte no se observó variación en la concentración de los compuestos orgánicos.

El aumento de fósforo, si bien está por debajo de lo establecido por la normativa vigente para la descarga a cuerpo de aguas superficiales, puede contribuir a la formación de compuestos poco solubles de metales pesados como, hierro, aluminio, etc.

Por último evaluar la columna de agua sin considerar los sedimentos, impide determinar la dinámica sedimento- agua, ya que estos constituyen o un indicador ambiental de la contaminación de un sistema acuático, puesto que son un reservorio de contaminantes. En este caso el procesamiento de áridos no tiene adición de algún elemento o componente, por lo que la alteración en la composición del efluente, se debe exclusivamente a esta dinámica.

### **Propuesta para el manejo de los residuos**

Para mejorar la eficiencia en el uso de los recursos hídricos durante el procesamiento del material, incluir hidrociclones durante el lavado de arenas trae mejoras significativas ya que requiere de una menor cantidad de agua, además tiene la ventaja de recuperar la fracción fina, simplificar la etapa de clarificación y filtración de efluentes. Con esto hay una reducción de la masa sólida lo cual implica una reducción del tamaño de los equipos de clarificación y filtrado.

Si bien, un sistema de lavado que contemple un hidrociclón es más eficiente en términos de consumo de agua, es importante destacar que es imprescindible contar con sistemas que sean capaces de reutilizar los efluentes en un circuito cerrado, de manera que el agua tratada sea apta para ser ingresada nuevamente al sistema de lavado de áridos.

De esta forma se asegura que la calidad de los ríos no se verá deteriorada por la continua remoción y descarga de aguas. Con el sistema propuesto además de mejorar la eficiencia hídrica del proyecto, al sacar menos se reduce el levantamiento de sedimentos, los cuales pueden aumentar la concentración de componentes en la columna de agua.

Es importante señalar que aunque las descargas de agua provenientes del procesamiento de áridos cumplan con la normativa vigente, estas pueden alterar significativamente la funcionalidad del ecosistema, puesto que al modificar la composición del agua se pueden introducir cambios que eventualmente puedan dañar la biota acuática. Además no todos los contaminantes que puedan afectar la biota acuática están normados, y además de que la afectación a cuerpos de agua es mucho más difícil corregir una vez que

el daño ambiental se ha producido, por esto su protección se debe centrar en la disminución de descargas de efluentes. La disponibilidad y calidad del recurso hídrico también es de suma importancia desde la perspectiva agrícola puesto que la Región tiene dentro de sus objetivos potenciarse como una zona agrícola, esto sumado al hecho que la mayor parte del territorio aledaño al proyecto es de uso agrícola. Por lo que es importante que la calidad de agua del río sea apta para este uso.

De las alternativas para la minimización de lodos, la selección de una o más de estas alternativas dependerá de las condiciones que se den en cada proyecto.

La utilización de lodos en morteros está determinada por la resistencia que estos puedan tener, puesto que serán aplicados a estructuras del sector construcción.

En la mezcla de cementos la implementación de estos lodos está sujeta a si la adición de estos resulta beneficioso para la mezcla, con esto se abre la posibilidad de realizar ensayos en Chile donde se demuestre o descarte esta aplicación.

En la industria cerámica su aplicación en ladrillos cerámicos es factible, si técnicamente los ensayos de plasticidad, coeficiente de sensibilidad, absorción, y resistencia a la comprensión, resultan favorables. Además se puede dar el caso que su agregado a las cerámicas rojas pueda bajar el punto de fusión de algunas arcillas plásticas, reducir la excesiva plasticidad, aumentar la porosidad y facilitar el secado. Por otro lado estos constituyen buenos materiales para la construcción de piezas de mampostería, teniendo el debido control puesto a que tienden a perder sus propiedades con la humedad y temperatura.

Para efectuar encamado de tuberías con estos lodos, se debe considerar los impactos ambientales que se puedan generar, además de las variables técnicas que determinan que un material sea apto para este relleno.

La implementación de lodos para la restauración de suelos, depende directamente si los lodos presentan características que mejoren el suelo, sin embargo, se debe tomar la precaución de que estos lodos no contengan componentes peligrosos y que como consecuencia los suelos se vean degradados, es decir, se trata de restaurar no para desprenderse de estos residuos.

Producto de la restauración de suelos se pueden obtener incluso suelos destinados a fines agrícolas .Con esto la agricultura se beneficia con estas propuestas de manejo, ya que por un lado se protege la calidad del agua y por el otro lado se puede emplear lodos para corregir suelos con déficit nutricional.

## V CONCLUSIONES

- Se establece que en plantas procesadoras de áridos, una adecuada propuesta para el manejo de recursos hídricos y de lodos, se debe enfocar en mejorar la eficiencia hídrica del sistema de lavado y del tratamiento de aguas residuales, mientras que para los lodos el enfoque debe estar en darle una salida comercial a los residuos.
- El sistema propuesto para el tratamiento de los efluentes, además de disminuir el consumo de agua en el proceso de lavado debido a la introducción de un hidrociclón tiene la ventaja de incorporar la recirculación de las aguas, con lo que se cumple con el objetivo de reducir el gasto de agua, y a la vez posibilita el reciclaje del agua. Además al implementar un filtro prensa al proceso se recupera agua de los lodos.
- Al disminuir el gasto de agua fresca se asegura una mayor disponibilidad del recurso, lo cual contribuiría a preservar la fauna biótica presente en el área del proyecto.
- La cantidad de descargas al río mediante el sistema propuesto se disminuye ya que solo debe realizarse por que se tienen derechos de agua no consuntivos.
- Es factible emplear los lodos en elaboración de morteros, ladrillos cerámicos, mezclas de cemento, para el encamado de tuberías y en la restauración de suelos. Esto siempre que se cumpla con los requisitos técnicos para cada uso, es decir, se debe analizar su composición específica y efectuar los ensayos específicos que requiere cada uso para que se cumpla con la calidad del producto. En donde La idoneidad de



los lodos para una aplicación determinada esta afecta no solo a su composición química, sino que además depende de sus propiedades mecánicas, puesto que debe cumplir con los requisitos técnicos para el uso propuesto.

- A pesar de que estos lodos son considerados como residuos no peligrosos, deben ser analizados si se desean emplear en restauración o como material de encamado de tuberías, ya que pueden contener algún elemento o compuesto que contamine el suelo con elementos potencialmente tóxicos. Los parámetros principales que se deben conocer en corresponden al porcentaje de materia seca, el pH, el porcentaje de materia orgánica, metales pesados (Cd, Cu, Ni, Cr, Pb, Zn y Hg), la densidad aparente y el contenido de nutrientes (N, P y K).

## VI REFERENCIAS

**American Water Works Association. (2012).** Manual de entrenamiento para operadores de sistemas de distribución de agua. 1ra edición. American Water Works Association. Capítulo 7. Pp 113-121. Denver. Estados Unidos.

**Bhattacharjee, A. Mandal, H. Roy, M. Kusz, J. Zubko, M. Gutlich P (2010).** Microstructural and magnetic characterization of dusts from a stone crushing industry in Birbhum, India. Rev.322: 3724-3727.

**Blanco, I., Rodas M., y Sánchez C.J.,(2000).** Caracterización mineralógica y aplicaciones cerámicas de los lodos procedentes del lavado de áridos naturales. Cuadernos Lab. Xeológico de Laxe, Rev.25: 377-380.

**Crespo, R. y Jiménez. R. (2011).** Utilización de lodos procedentes del lavado de áridos naturales en la producción de materiales de construcción. IX Congreso Cubano de Geología.

**Decreto Supremo N°90/2000 (2000).** Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a la descarga de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. Ministerio General de la Presidencia (MINGEPRES). Publicado en el diario oficial el 7 de marzo de 2001.

**Decreto Supremo N° 148/2003. (2003).** Reglamento sanitario sobre el manejo de residuos peligrosos por calles y caminos. Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT). Publicado en el diario oficial el 11 de febrero de 1995.

**Domene, X., Alcañiz, J.M., Andrés, P., (2007).** Ecotoxicological assessment of organic wastes using the soil collembolan *Folsomia candida*. *Applied Soil Ecology* .Rev.35: 461-472

**Korkmaz, H., Çetin, B., Ege İ., Karataş, A., Boma, A., Özşahina, E., (2011).** Environmental effects of stone pits in Hatay (Turkey). *Procedia Social and Behavioral Sciences*. Rev.19: 504–510

**Lara, J. F. (2009).** Manual práctico de mantenimiento de plantas de áridos. 1ra Eds .Ed. Fueyo Editores. Capítulo 12. Pp 256- 261. Madrid. España.

**López, C. (2003).** Manual de áridos: prospección, explotación y aplicaciones. 4ta Eds. Ed. E.T.S. de Ingenieros de Minas de Madrid. Capítulo 1. Pp 12 .Madrid. España.

**César Lauces. (2007).** Los áridos y el cemento: El recorrido de los minerales. Dirección General de Industrias, Energía y Minas. 1era Eds. Domènech e-learning multimedia, S.A. Madrid. España.

**Comisión Nacional del medio Ambiente (CONAMA) (2004).** Guía Conama para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas” Santiago. Chile.

**Ministerio de Obras Públicas (MOP) (2001).** Industria del Árido en Chile: Sistematización de antecedentes técnicos y ambientales. Ediciones de la Corporación de Desarrollo Tecnológico: Comisión Nacional de Áridos. Capítulo 3. Pp 47-83. Santiago, Chile.

**Nabil M. Al-Akhras ,(2010).** Using burnt stone slurry in mixesmortar. *Construction and Building Materials*. 24 2658–2663

**Norma Chilena N° 165. Oficio 1977. (1997).** Áridos para morteros y hormigones-tamizado y determinación granulométrica. Instituto Nacional de Normalización (INN). Publicada en el diario oficial el 21 de Febrero de 1977.

**Norma Chilena N°163. Oficio 1979. (1979).** Áridos para morteros y hormigones-Requisitos generales. Instituto Nacional de Normalización (INN). Publicada en el diario oficial el 1 de Octubre 1979.

**Nuno, A., Branco, F., y Santos, J.R., (2007).** Recycling of stone slurry in industrial activities: Application to concrete mixtures. *Building and Environment*. Rev.42: 810–819

**Núñez, J. (2000).** Fundamentos de edafología. 2da Eds. Ed. Universidad Estatal a Distancia. Capítulo 2. Pp 37-40 . San José. Costa Rica.

**Ortiz, O., Alcañiz, J. M., (2006).** Bioaccumulation of heavy metals in *Dactylis glomerata* L. growing in a calcareous soil amended with sewage sludge. *Bioresource Technology*. Rev. 97: 545-552

**Quiróz, A. (2001).** Metodología para el análisis de extracción de áridos en cauces naturales chilenos. Aplicación al río Aconcagua. Capítulo 2. Pp 11. Santiago. Chile

**Soares H.,L.,A.(1997).** Caracterização e Aplicabilidade na Indústria dos Cimentos de Lamas de Rochas Ornamentais Transformadas na Região de Pêro Pinheiro. Aveiro Geoscience MSc.

**Soeiro A, Veiga M.R, Branco F.A., (2004).** Incorporação de Lamas de Serraca de Mármore e Calcários em Argamassas de Cimento e Areia. Construlink Rev.2: 5.

**Tarbutck, E.J.; Lutgens F.K y Tasa D. (2005).** Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física., Pearson Educación, Prentice Hall. Madrid.

**Torres P, Hernández D, Paredes D. (2012).** Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos. Revista Ingeniería de Construcción Vol. 27 No3: 145 – 154.

**Wichern, M., Lindenblatt, C., Lübken, M., and Horn, H. (2008).** "Experimental results and mathematical modelling of an autotrophic and heterotrophic biofilm in a sand filter treating landfill leachate and municipal wastewater." Water Research, Rev 42: 3899-3909.

## VII ANEXOS

### 7.1 Valores de las bandas granulométricas

En la tabla 22 se indican los valores límites de las bandas granulométricas.

**Tabla 22:** Valores límites de bandas granulométricas.

Tamiz (abertura mm)		Arena 0- $\frac{3}{8}$ " (% que pasa en peso)		Gravilla $\frac{3}{8}$ "- $\frac{3}{4}$ " (% que pasa en peso)		Grava $\frac{3}{4}$ "- $1\frac{1}{2}$ " (% que pasa en peso)	
NCh	ASTM	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
63	$2\frac{1}{2}$ "						
50	2"						100
40	$1\frac{1}{2}$ "					90	100
25	1"				100	20	55
20	$\frac{3}{4}$ "			90	100	0	15
12,5	$\frac{1}{2}$ "						
10	$\frac{3}{8}$ "		100	20	55	0	
5	4	95	100	0	10		
2,5	8	80	100	0	5		
1,25	16	50	85				
0,630	30	25	60				
0,315	50	10	30				
0,160	100	2	10				
Retenido							

## 7.2 Características físicas de los áridos

### Dureza

La dureza de una roca viene determinada por su composición mineralógica, en donde la forma habitual de valorar la dureza es conocida como la escala de minerales de Mohs, en la cual se mide la resistencia al rayado de los minerales. Este es un aspecto relevante a considerar en la producción de áridos, puesto los granos de un aditivo o sustancia mineral deben tener una dureza suficiente para su respectivo uso. Por ejemplo para la aplicación de áridos para obras viales los granos no deben fracturarse demasiado por la compactación de los rodillos aplanadores, placas vibratorias ni por la acción del tráfico.

A continuación en la tabla 23 se indica la escala de Mohs la cual consiste en una relación de 10 minerales ordenados por su dureza de mayor a menor, en donde se asigna un numero equiparable a su grado de dureza.

**Tabla 23:** Escala de Mohs para la dureza de los minerales

Dureza	Mineral	Composición química
1	Talco	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
2	Yeso	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
3	Calcita	$CaCO_3$
4	Fluorita	$CaF_2$
5	Apatita	$Ca_5(PO_4)_3(OH-,Cl-,F-)$
6	Feldespato	$KAlSi_3O_8$
7	Cuarzo	$SiO_2$
8	Topacio	$Al_2SiO_4(OH-,F-)_2$
9	Corindón	$Al_2O_3$
10	Diamante	C

**Forma del grano**

La forma de los granos debe ser lo más compacta posible. Los granos de aspecto inadecuado, provocan que se vea disminuida la compresibilidad, la resistencia al choque y la estabilidad de las mezclas de granos ligadas y no ligadas. Un grano presenta una forma inadecuada si su relación largo-espesor es mayor que 3:1.

**Superficie del grano**

Una superficie áspera permite una mejor adhesión de la piedra de cemento y una mayor resistencia a la tracción del hormigón, pero la demanda de agua es algo mayor.

**Afinidad con el bitumen**

El bitumen es una mezcla de líquidos orgánicos altamente viscosa, la cual se utiliza primordialmente para pavimentar carreteras y calles, en forma de hormigón asfáltico. En el caso de la grava y de la gravilla con una alta proporción de cuarzo, puede producir una unión deficiente entre el grano y el bitumen. Por lo que su afinidad con el bitumen determina en qué medida un árido puede ser utilizado en la construcción de obras viales.

**Constancia en el volumen, pureza, resistencia al frío y a la disgregación por factores de la intemperie**

Todos estos factores son de gran relevancia en la evaluación técnica de un árido. Debe garantizarse que el árido esté libre de componentes dañino, de este modo se garantiza la producción de un material de construcción lo suficientemente resistente y constante en el tiempo.



**Aspecto y claridad**

El aspecto de las gravas y arenas tiene un significado práctico sólo en situaciones especiales. Por ejemplo en túneles, las sustancias minerales claras ayudan a la seguridad del tránsito y en las calles de zonas urbanas resultan favorables las cubiertas de calzada claras, porque requieren menos iluminación de noche.

**Resistencia a la abrasión y al desgaste**

La resistencia a la abrasión de las sustancias minerales influye en la calidad antideslizante de la superficie de la calzada. Los áridos con una alta proporción de cuarzo son especialmente resistentes al desgaste.

**Módulo de elasticidad y coeficiente de dilatación térmica**

La capacidad de recuperar la forma de manera espontánea y completa luego de desaparecer las fuerzas externas o torques que causaron la deformación, es el módulo de elasticidad y se obtiene del cociente de la tensión normal y la dilatación elástica. En el caso del hormigón, depende de las características del aditivo y de la piedra de cemento. El módulo de elasticidad de las rocas puede ser muy diferente y, en el caso de la grava y la gravilla, está determinado en gran medida por la composición petrográfica. El módulo de elasticidad del aditivo también influye en las deformaciones dependientes del tiempo. Así resulta que un árido rígido, es decir, un material con un alto módulo de elasticidad, disminuye la fluencia y la contracción del hormigón. La modificación de la extensión del árido por temperatura, que se señala como coeficiente de dilatación térmica, tiene

una gran influencia en el coeficiente de dilatación térmica del hormigón. La piedra caliza y el cuarzo presentan el coeficiente menor y mayor, respectivamente.

### **7.3 Origen y formación de rocas**

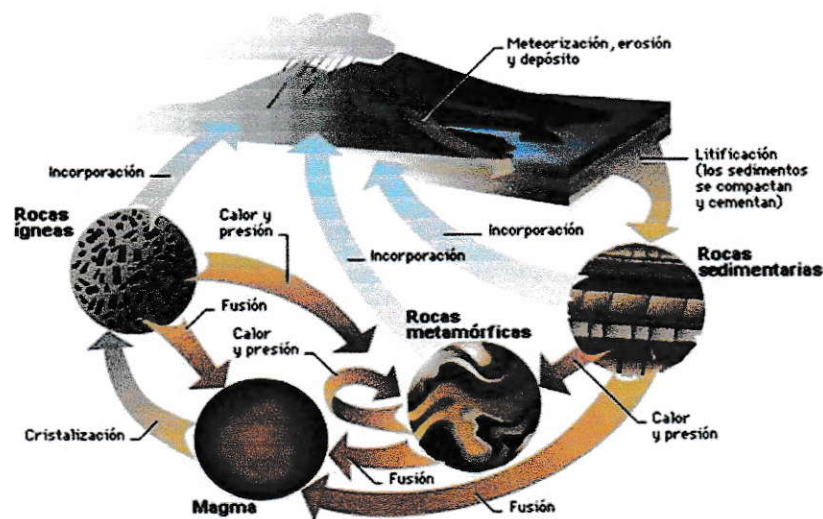
Los áridos, tienen su origen por alguna forma de degradación y disgregación de la roca basal presente en la corteza terrestre. En función de su origen, las rocas pueden dividirse en: rocas magmáticas, rocas metamórficas y rocas sedimentarias, sin embargo, en la naturaleza es posible encontrar un yacimiento donde exista más de un origen (Núñez J., 2000).

El ciclo de las rocas pone en evidencia las relaciones que guardan entre sí los tres tipos de rocas, en función de los mecanismos que les dieron origen y sus transformaciones. Este ciclo ha estado repitiéndose por millones de años, del cual solo podemos observar sus productos: las rocas que existen hoy. Según este parámetro, existen tres categorías, cuyos procesos de formación son bien distintivos: las rocas pueden ser ígneas, sedimentarias o metamórficas (Fig.38).

Este ciclo podría empezar con la generación de magma en el interior de la Tierra, donde las temperaturas y presiones son lo suficientemente altas como para fundir las rocas preexistentes. Esta actividad interna de la Tierra se conoce como el episodio plutónico.

El episodio plutónico da como resultado un líquido caliente denominado magma. El magma se abre camino hacia arriba, dado que es más liviano que las rocas que lo rodean, y es muy rico en elementos pesados, que abundan en las capas más internas de la Tierra. Este tenderá enfriarse y cristalizar, formando una roca ígnea plutónica. Dependiendo de

la temperatura y de la profundidad a la que este se encuentre las rocas ígneas pueden contener componentes más pesados y suelen ser de color oscuro, mientras que aquellas que poseen minerales más livianos, como el cuarzo, suelen ser claras.



**Figura 38:** Representación del ciclo de las rocas.

Esta última puede convertirse en roca metamórfica, o sedimentarias. Una roca sedimentaria se forma por acumulación y compactación de fragmentos minerales, depositados por el agua, el viento o el hielo, y posteriormente cementados. Entre ellos pueden mencionarse los conglomerados, las piedras areniscas, la grauvaca y las arcosas. Sin embargo, también pueden resultar, como en el caso de la piedra caliza, de la sedimentación y la compactación de organismos muertos.

Mientras que rocas metamórficas se formaron a partir de rocas magmáticas o sedimentarias, cuando una roca de cualquier tipo es sometida a altas presiones (dinamorfismo) y/o temperaturas (termomorfismo).

#### **7.4 Características petrológicas y químicas de las rocas**

Las rocas naturales están compuestas por uno o varios minerales, los cuales pueden ser esenciales, es decir, típicos y característicos de cada roca, o secundarios cuando solamente determinan variedades de la misma. Las rocas por lo general están formadas por uno o más minerales con impurezas en cantidades variables, por lo que su composición y estructura no son fijas.

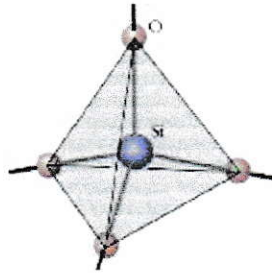
La naturaleza petrológica determina las características mineralógicas y de textura que establecen las propiedades mecánicas y la durabilidad de los áridos. La técnica usada para describir la composición mineralógica de una roca es la petrografía, mediante un microscopio electrónico de polarización se emite un haz de luz, que al estar polarizado vibra en un solo plano, el microscopio genera dos direcciones perpendiculares, lo que permite identificar los minerales de una roca. Del estudio petrológico se obtendrá una información muy valiosa como es la presencia en la roca, y por lo tanto en el agregado que procede de esta, de minerales como los sulfuros, los sulfatos, la sílice amorfa, o los carbonatos magnésicos, que pueden inutilizar un compuesto industrial como el concreto hidráulico o la mezcla asfáltica fabricada con este agregado.

Los minerales se pueden clasificar en cuatro grupos químicos principales, que son los siguientes:

##### **Grupo: Silicatos**

Son materiales compuestos principalmente por silicio y oxígeno, los dos elementos más abundantes en la corteza terrestre. Por consiguiente, la mayor parte de suelos, rocas,

arcillas y arenas son clasificados como silicatos. En lugar de caracterizar las estructuras cristalinas de estos materiales en términos de celdillas unidad, es más conveniente utilizar varias combinaciones de tetraedros de  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  (Fig. 39).

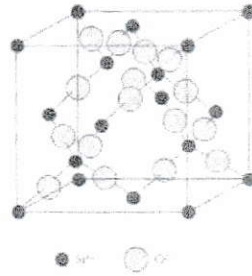


**Figura 39:** Un tetraedro silicio-oxígeno.

En los silicatos, uno, dos, o tres de los átomos de oxígeno del tetraedro  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  son compartidos por otros tetraedros para formar estructuras complejas, en donde los cationes cargados positivamente, compensan las cargas negativas de las unidades  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  de manera que se alcance la neutralidad de la carga y sirven de enlace iónico entre dichas unidades.

### **Grupo: Silíceos**

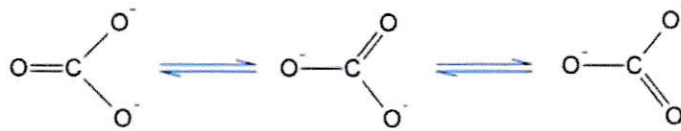
El silicato más sencillo es el dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ). Estructuralmente, es una red tridimensional que se genera cuando todos los átomos de oxígeno de cada tetraedro son compartidos con tetraedros adyacentes. Por consiguiente, el material es eléctricamente neutro y todos los átomos tienen estructuras electrónicas estables. Existen tres formas cristalinas polimórficas primarias de la sílice: cuarzo, cristobalita (Fig.40) y tridimita.



**Figura 40:** Distribución de los átomos de silicio y oxígeno en una celdilla unidad de cristobalita.

### Grupo: Carbonatos

Los carbonatos son compuestos que presentan como característica común la presencia del complejo aniónico  $(\text{CO}_3)^{2-}$  (Fig.41).

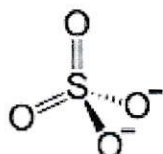


**Figura 41:** Resonancia del ion carbonato.

Los principales minerales de este grupo son la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y la dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ). La calcita es el carbonato cálcico ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) cristaliza en el sistema hexagonal, formando parte de las rocas calizas, areniscas calizas y mármoles. La dolomita es el carbonato de calcio y magnesio ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ,  $\text{CO}_3\text{Mg}$ ). Mientras que la magnesita es el carbonato de magnesio ( $\text{CO}_3\text{Mg}$ ).

**Grupo: Sulfatos**

Los minerales con el radical  $(\text{SO}_4)^{2-}$  pudiendo estar enlazados entre sí por cationes de aluminio, sodio, calcio, potasio, magnesio y hierro. Son bastante comunes en la corteza terrestre y entre ellos destaca la anhidrita y el yeso (Fig.42).



**Figura 42:** Radical  $(\text{SO}_4)^{2-}$ .

**7.5 Extracción de áridos**

El diseño depende de las condiciones geomorfológicas, las características del material y las distancias entre los puntos de procesamiento y acopio. Se realiza de acuerdo a lo señalado en la memoria técnica, planos y perfiles longitudinales y transversales del estudio hidráulico de extracción de áridos. La secuencia de extracción estará definida aguas arriba, la cual dependerá de la depositación de los tramos.

La explotación del cauce, se realizará mediante la división en franjas longitudinales de ancho máximo 50 m, por el largo del tramo solicitado. Las actividades de extracción se iniciarán desde el eje del cauce hacia las riberas y desde aguas abajo hacia aguas arriba.

La cota máxima de excavación no superará la cota de proyecto, indicada en los perfiles transversales y perfil longitudinal, la cual no sobrepasará las cotas de fundaciones de las estructuras adyacentes, a fin de evitar que los procesos de socavación y erosión del lecho afecten a las riberas, estructuras viales y fluviales (puentes, enrocados, etc).



**Figura 43:** Perfil de explotación del proyecto.

Para favorecer el escurrimiento de las aguas, se deberá explotar en franjas paralelas al eje del proyecto, en un máximo de 50 m. Se iniciará con la franja 1 y solo una vez agotada en todos los tramos autorizados, se continuará con la franja siguiente y así sucesivamente para las franjas restantes (Fig. 43).

Con respecto al esquema de explotación es importante mencionar que:

- El tramo evaluado se subdivide en dos sectores o áreas de trabajo.
- Cada sector a su vez se subdivide en diez franjas longitudinales, las que serán extraídas consecutivamente durante cada año de vigencia del proyecto por la respectiva empresa titular del proyecto.
- Geométricamente, cada unidad de explotación tendrá una longitud de 50 m y un ancho de 30 m, mientras que su espesor estará dado por la altura existente ente la rasante de corte y la línea de tierra.

El número de UE correspondiente a cada sector es variable y depende de:

1. Longitud total del sector de producción
2. Geometría del trazado de explotación del sector.



- Las excavaciones, se realizan desde aguas abajo en dirección aguas arriba, en sentido contrario al vector que genera el escurrimiento de las aguas del río.
- Los cortes, no deben sobrepasar en profundidad los sellos indicados en la rasante proyectada.

## **7.6 Procesamiento de áridos**

El procesamiento de material pétreo en la planta procesadora de áridos San Vicente se basa en un modo de operación vía húmeda en una planta del tipo fija con trituración primaria y secundaria.

El proceso se inicia con la descarga del material integral desde los camiones tolva a un alimentador de placas, el cual cumple la finalidad de eliminar el material de sobre tamaño.

El material pasante se dirige a una cinta transportadora de alimentación, que lo conduce a un harnero vibratorio que generalmente saca el material bajo 4". El que está sobre esta medida, pasa a un chancador de cono. De la segunda bandeja del harnero, el material se dirige a un segundo chancador, de manera tal de obtener un material de menor granulometría. El material de salida de ambos chancadores pasa a una cinta transportadora de retorno, donde vuelve a ingresar al harnero vibratorio y pasar por las mallas respectivas para su clasificación, dependiendo de la abertura de éstas.

Una parte del material pasante de las bandejas vibratorias cae a cintas transportadoras de salida, para formarlos pulmones de acopio de productos de grava (3/4" a 1 1/2") y gravilla (3/8" a 3/4"). El material de salida de la última bandeja (bajo 3/8") pasa a un

lavador de arenas, a objeto de limpiar el producto y eliminar los finos. Cabe señalar que el material que pasa por el harnero es continuamente humedecido por rociadores que evitan la emisión de polvo en esta parte del proceso.

Tanto la grava como la gravilla son depositadas en su lugar de acopio definitivo, y la arena es seleccionada por un tornillo lavador de roscas sinfín, que separa la arena pura de la arcilla (lavador de arenas). Posteriormente, el producto lavado cae a una cinta transportadora de salida, para formar el pulmón de acopio de arenas finas.

### **7.7 Información geológica de áreas cercanas al proyecto**

Del mapa geológico del SERNAGEOMIN se tiene que los sectores cercanos al área del proyecto corresponden a:

- **Q1:** Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa; en menor proporción fluvioglaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. Se trata de abanicos mixtos de depósitos aluviales y fluvioglaciales con intercalación de depósitos volcanoclásticos.
- **Klag:** Dioritas y monzodioritas de piroxeno y hornblenda, granodioritas, monzogranitos de hornblenda y biotita.
- **Kla3:** Secuencias y complejos volcánicos continentales lavas y brechas basálticas a andesíticas, rocas piroclásticas andesíticas a riolíticas, escasas intercalaciones sedimentarias.
- **PI3t:** Depósitos piroclásticos principalmente riolíticos, asociados a calderas de colapso.

- **OM2c:** Secuencias volcanosedimentarias: lavas basálticas a dacíticas, rocas epiclásticas y piroclásticas.

#### **7.8 Guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas**

La “Guía para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas”, ha sido elaborada por el Departamento de Control de la Contaminación de la CONAMA.

Distinguiéndose diferentes clases de calidad, para la protección y conservación de las comunidades acuáticas y los usos prioritarios:

- Clase excepcional: Indica un agua de mejor calidad que la Clase 1, que por su extraordinaria pureza y escasez, forma parte única del patrimonio ambiental de la República.
- Clase 1: Muy buena calidad. Indica un agua adecuada para la protección y conservación de las comunidades acuáticas, para el riego irrestricto y para los usos comprendidos en las Clases 2 y 3.
- Clase 2: Indica un agua adecuada para el desarrollo de la acuicultura, de la pesca deportiva y recreativa, y para los usos comprendidos en la Clase 3
- Clase 3: Indica un agua adecuada para bebida de animales y para riego restringido.

En la tabla 24 se indica los valores máximos y mínimos.

**Tabla 24:** Criterios para el establecimiento de normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales.

Grupo de elementos o compuestos	Unidad	Clase de excepción	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Aluminio	mg/L	<0,07	0,09	0,1	5
Arsénico	mg/L	<0,04	0,05	0,1	0,1
Boro	mg/L	<0,4	0,5	0,75	0,75
Cadmio	µg/L	<1,8	2	10	10
Cobre total	µg/L	<7,2	9	200	1000
Cromo total	µg/L	<8	10	100	100
Hierro disuelto	mg/L	<0,8	1	5	5
Manganeso total	mg/L	<0,04	0,05	0,2	0,2
Mercurio total	µg/L	<0,04	0,05	0,05	1
Molibdeno total	mg/L	<0,008	0,01	0,15	0,5
Níquel total	µg/L	<42	52	200	200
Plomo total	mg/L	<0,002	0,0025	0,2	5
Selenio total	µg/L	<4	5	20	50
Zinc total	mg/L	<0,096	0,120	1	5
Pentaclorofenol	µg/L	*	0,5	0,5	0,7
Tetracloroetano	mg/L	*	0,26	0,26	>0,26
Tolueno	mg/L	*	0,3	0,3	>0,3
Cianuro	µg/L	<4	5	10	50
Cloruro	mg/L	<80	100	150	200
Fluoruro	mg/L	<0,8	1	1,5	2
Sulfato	mg/L	<120	150	500	1000
Sulfuro	mg/L	<0,04	0,05	0,05	0,05
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	<2	5	10	20
pH	Rango	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	<24	30	50	80
Temperatura	ΔT°C	<0,5	1,5	1,5	3

\*= La determinación de estos compuestos o elementos deberá estar bajo el límite de detección del instrumental analítico más sensible.