

donde:

Q: Caudal de diseño [m^3/s]
 n: Número de Manning
 i: Pendiente de la obra hidráulica
 Ω : Área de escurrimiento [m^2]
 Rh: Radio hidráulico [m]

La pendiente en el sector aguas arriba donde se ubica el muro de desvío es de aproximadamente 9%. Tomando un número de Manning de 0,05 para corrientes naturales con matorrales y piedras (Ref. 1), se obtiene un escurrimiento de torrente con las siguientes características:

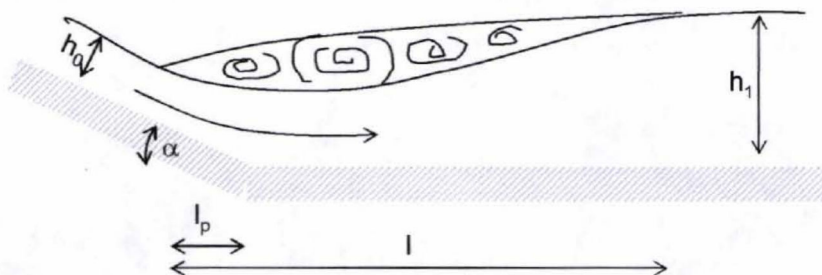
Variable	Valor	Unidad
Altura del agua	0,49	m
Area Hidráulica	15,31	m^2
Espejo de Agua	32,92	m
Perímetro Mojado	33,08	m
Radio Hidráulico	0,46	m
Velocidad	3,59	m/s
Energía Específica	1,14	m
Número de Froude	1,68	-

Como se explicaba en la sección anterior, se modificará la pendiente del cauce de manera de disipar la energía y de disminuir el riesgo de que las piedras impacten con el muro. Con el cambio de pendiente se produce un resalto hidráulico el que según el número de Froude del escurrimiento supercrítico se encuentra en el límite de un resalto de ondas y un resalto débil.

Dicho resalto no es fácil de representar, pues se encuentra en una condición de pendiente mixta y en un curso que se aproxima a uno trapezoidal.

Tomando la aproximación a una canal rectangular se pueden utilizar los abacos para resaltos en pendiente mixta incluidos en la Ref 5 (Pág. 364-365) y desarrollados por C. Bachler y M. Serani. Los elementos básicos de esta configuración se muestran en la *Figura 4.3*.

Figura 4.3. Resalto en Pendiente Mixta



Donde:

h_0 : Altura de escurrimiento aguas arriba del resalto
 h_1 : Altura de escurrimiento aguas abajo del resalto
 l_p : Longitud del resalto en el tramo con pendiente
 l : Longitud del resalto en el tramo con pendiente nula
 α : Ángulo que define la pendiente

Utilizando los resultados empíricos de la experimentación mencionada, se logra determinar las características de este resalto.

Variable	Valor	Unidad
h_0	0,49	m
h_1	0,98	m
l_p	0,68	m
l	3,40	m

Estos resultados indican que la boca del canal de desvío debe estar aproximadamente 3 m alejado del cambio de pendiente para no perturbar la zona de toma. Sin embargo, para tomar mayores resguardos se considera una planicie de 30 metros para que se forme la piscina y se acumulen las piedras, antes de la entrada del canal de desvío.

Para definir la altura del muro de desvío, se puede suponer que en la entrada del canal existe altura normal, debido a la extensión de éste. Tema que se desarrolla en el documento 911-3700-HI-MC-003. Esta condición implica un nivel de energía de aproximadamente 4,4 m.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores y agregando 3,6 m de revancha por seguridad, la cota de coronamiento del muro de desvío será 1561 msnm.

5 CONCLUSIONES

La obra de toma del desvío de la quebrada Coloradito permite detener el agua proveniente de la misma para un período de retorno de 100 años, lo que asegura que no se interfieran las pilas de lixiviación durante la operación de la mina.

El desvío de la quebrada Coloradito se realiza mediante una barrera fija en el cauce de la quebrada, previa intervención de la pendiente de manera de disipar y aquietar el agua. Una vez detenido el flujo, se proyecta un ensanche del canal de desvío aguas arriba del muro para el ingreso más fácil del agua.

La altura del muro de desvío se define a partir de las condiciones hidráulicas del canal de desvío, debido a que el régimen del canal es subcrítico y está influenciado por aguas abajo. Por esto es que el muro deberá tener por lo menos la altura normal del canal, más una revancha que debido a la importancia de la obra se considera de 3,6 metros.

**PROYECTO PUQUIOS
DISEÑO PILAS DE LIXIVIACIÓN
INGENIERÍA BÁSICA AVANZADA**

**MEMORIA DE CALCULO HIDRAULICO
CANAL DESVIO QUEBRADA COLORADITO**

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	3
2	OBJETIVO Y ALCANCE.....	3
3	REFERENCIAS	3
4	METODOLOGIA.....	4
4.1	GENERALIDADES.....	4
4.2	CANAL DE DESVIO.....	4
4.2.1	Escurrimiento en canal.....	4
4.2.2	Sobreelevacion canal.....	6
4.2.3	Infiltración en canal.....	7
4.2.4	Restitución a quebrada.....	8
5	CONCLUSIONES.....	8

1 INTRODUCCIÓN

El proyecto Puquios corresponde a la evaluación de un plan minero realizado por Tommy S.A. que tiene como objetivo el procesamiento y obtención de mineral cobre por medio de lixiviación, buscando obtener el aprovechamiento del yacimiento en 8 años.

El proyecto minero contempla la disposición del mineral en pilas de lixiviación en el cauce de la quebrada Coloradito, por lo que es necesario el desvío de la quebrada de manera que el agua no interfiera con las pilas.

El desvío de la quebrada se proyecta mediante un muro en el cauce que detiene el agua y la desvía por medio de un canal de 2,5 km de largo hasta su descarga a una quebrada aledaña.

2 OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo del presente documento es entregar el diseño hidráulico del desvío de la quebrada Coloradito, con el propósito que no interfiera con las pilas de lixiviación que se proyectan sobre su cauce.

El desvío de la quebrada se realizará durante el período de operación de la mina, por lo que por exigencias de Tommy S.A se considera para diseño el desvío del caudal asociado a un período de retorno de 100 años.

Este documento trata en particular del canal de desvío que se desarrolla de la obra de toma hasta la descarga a una quebrada afluente a la quebrada Puquios.

3 REFERENCIAS

Los siguientes documentos fueron considerados como referencias para la elaboración del presente informe:

- Ref. 1: Ven Te Chow (Marzo 2004). "Hidráulica de canales abiertos",
- Ref. 2: Ministerio de Obras Públicas (Junio 2002). "Manual de Carreteras",
- Ref. 3: CPH Consultores Ltda. (Abril 2008). "Informe técnico de crecidas Quebrada Coloradito"
- Ref. 4: US Army Corps of Engineers (Julio 1991). "Hydraulic Design of Flood Control Channels"
- Ref. 5: ARCADIS Geotécnica (Junio 2008). "Memoria de cálculo hidráulico. Obra de toma, 3325-5100-HI-MC-001"

4 METODOLOGIA

4.1 GENERALIDADES

Se consideran como antecedentes los caudales calculados en la Ref. 3 para el diseño del desvío de la quebrada. Estos caudales se indican en la *Tabla 4.1*:

Tabla 4.1. Caudales de la quebrada Coloradito

PERIODO DE RETORNO [años]	CAUDAL [m ³ /s]
50	33
100	55

Debido a que el desvío se realizará para la operación de la mina, se diseña el canal para un período de retorno de 100 años, es decir 55 m³/s.

Los elementos que constituyen el sistema de desvío de la quebrada Coloradito, son: un ajuste de la pendiente del cauce de la quebrada Coloradito, un muro y un canal de desvío.

Para el ingreso del agua al canal de desvío, se proyecta un ensanche al inicio de 30 metros el cual se va angostando hasta los 5,5 metros en un tramo de 40 metros.

La disposición y detalles del canal de desvío de la quebrada Coloradito, se muestran en los planos 911-3700-HI-PL-001, 911-3700-HI-PL-004, 5, 6, 7, 8 y 9.

4.2 CANAL DE DESVIO

4.2.1 Escurrimiento en canal

Este canal tendrá un largo de aproximadamente 2,5 Km y descargará en la cota 1.551 a la quebrada Rajo (tributaria a la quebrada Puquíos). Con estos valores se obtiene una pendiente longitudinal del canal promedio de 0,08%.

La capacidad de conducción del canal trapecial se determina utilizando la fórmula de Manning.

$$\frac{Q \cdot n}{\sqrt{i}} = \Omega \cdot Rh^{2/3}$$

Donde:

Q: Caudal de diseño [m³/s]

n: Número de Manning

i: Pendiente de la obra hidráulica

Ω: Área de escurrimiento [m²]

Rh: Radio hidráulico [m]

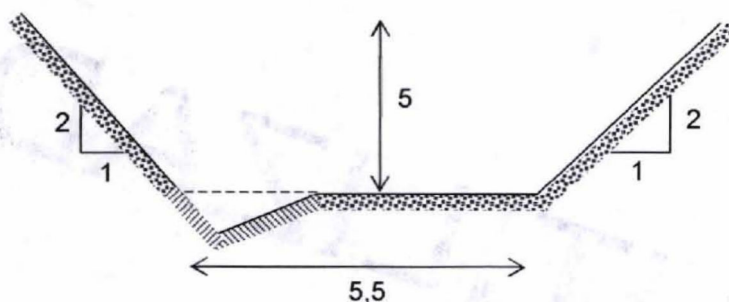
El número de Manning adoptado en el canal de desvío es de 0,028, considerando que el canal es excavado con pala o dragado y sin vegetación (Ref. 1).

Debido a que el desvío de la quebrada operará en forma eventual y considerando la calidad del material encontrado en el sector, se toma en cuenta las recomendaciones de velocidades de diseño presentados en la Ref. 2 para proyectar el canal sin revestimiento.

Según la Ref. 2 se recomienda una velocidad máxima de 2,0 m/s para evitar la erosión y socavación en canales no revestidos, en que el material que se encuentre sea asimilable entre arcilla y grava, como es el caso de este sector.

Tomando en consideración los criterios antes mencionados, se considera una sección como se presenta en la *Figura 4.1*.

Figura 4.1. Sección canal de desvío



Con esta sección de canal, se obtienen las características de escurrimiento, tanto para un régimen normal como crítico, según se describe con la siguiente información:

Variable	Normal	Crítica
Altura del agua (m)	4,3	2,0
Area Hidráulica (m ²)	32,5	13,2
Espejo de Agua (m)	9,8	7,5
Perímetro Mojado (m)	15,0	10,0
Radio Hidráulico (m)	2,2	1,3
Velocidad (m/s)	1,7	4,2
Energía Específica (m)	4,4	2,9
Número de Froude (-)	0,3	1,0

El escurrimiento con estas características es subcrítico, debido a que el número de Froude es menor a 1.

La razón entre la energía específica del escurrimiento normal y el crítico es:

$$\frac{E_n}{E_c} = 1,5 > 1,1$$

Considerando que este caudal no se produce con mucha frecuencia, se proyecta una cuneta triangular con algún grado de impermeabilización a un lado de la sección del canal, la cual permite que los caudales bajos sean conducidos minimizando el riesgo de infiltración.

La revancha de este canal se establece como el 15% de la altura normal, de esta forma se tiene:

Altura Normal (m)	Revancha (m)	Alt. Normal + Revancha (m)	Altura de Muro Adoptada
4,3	0,65	4,95	5,0

Ante ciertas eventualidades el canal permitirá conducir $72 \text{ m}^3/\text{s}$ utilizando la totalidad de la sección del canal, es decir, una altura de 5 metros.

4.2.2 Radio de Curvatura

El trazado del canal de aducción deberá adaptarse a la topografía de la zona, por lo cual su trazado en planta deberá necesariamente contemplar curvas horizontales. En las curvas de un canal el agua se sobreeleva por el talud exterior de la curva disminuyendo la revancha hidráulica. Para garantizar revanchas aceptables en flujos subcríticos (Froude < 1) el radio de curvatura mínimo está dado por:

$$R_{\min} = 3 \cdot l$$

Donde:

l: Espejo de agua [m]

Bajo esta consideración, el radio de curvatura mínimo para este canal corresponde a 29,4 m adoptándose un valor de 30 m.

4.2.3 Sobre elevación canal

Para el cálculo de la sobre elevación del canal en las zonas de curvas, se utilizará la fórmula propuesta por Woodward y Posey y que se indica en la Ref. 4:

$$\Delta y = C \cdot \frac{v^2 l}{gr}$$

Donde:

Δy : Sobre elevación del agua producto de la curvatura del canal [m]

C: Coeficiente según tipo de flujo y curvatura = 0,5 (Flujo subcrítico y curvatura circular)

v: Velocidad media del canal [m/s]

l: Ancho del canal [m]
 g: Aceleración de gravedad [m/s²]
 r: Radio de curvatura del canal [m]

Reemplazando los datos de escurrimiento del canal, se verifica que la sobreelevación producto de las curvas presentes en el trazado corresponde a 3 cm.

Tomando la relación en forma inversa se establece que el radio de curvatura del canal debiera ser menor a 2 m para que la revancha considerada sea sobrepasada por un efecto de sobreelevación.

4.2.4 Infiltración en canal

Para tener una estimación del caudal que se pierde a causa de la infiltración por el fondo y las paredes del canal de desvío, se utiliza la siguiente fórmula de Moritz (USBR):

$$I = 0,0379 \cdot C \cdot \sqrt{\frac{Q}{v}}$$

Donde:

I: Infiltración en el canal [m³/s/km]
 Q: Caudal de desvío [m³/s]
 v: Velocidad media [m/s]
 C: Constante de infiltración

El valor de la constante C dependerá del tipo de terreno, como se indica en la *Tabla 4.2*:

Tabla 4.2. Constante de infiltración por tipo de terreno

TIPO DE TERRENO	C
Roca sana	0
Gravilla cementada	0,104
Arcilla y limo arcilloso	0,125
Limo arenoso	0,201
Ceniza volcánica	0,207
Ceniza volcánica y arena	0,299
Arena con ceniza y arcilla	0,366
Suelo de arena y piedras	0,512
Suelo arenoso con gravas	0,671

La clasificación del suelo por donde va a pasar el canal de desvío, es una roca meteorizada la cual para efectos prácticos se podría asimilar a un limo arenoso en la *Tabla 4.2*.

Los resultados de las tasas de infiltración en el canal, en función del caudal de escurrimiento, son los que se presentan en la *Tabla 4.3*:

Tabla 4.3. Infiltración en el canal en función del caudal

CAUDAL [m ³ /s]	VELOCIDAD [m/s]	INFILTRACION [m ³ /s]
55	1,69	0,11
50	1,65	0,10
40	1,56	0,10
30	1,44	0,09
20	1,29	0,07
10	1,05	0,06
5	0,85	0,05

Con estos resultados se verifica que el porcentaje de infiltración respecto al caudal conducido por el canal, aumenta a medida que disminuye el caudal. Aún así con estos valores el diseño del sistema de drenaje de las pilas tiene contemplado este caudal.

4.2.5 Restitución a quebrada

El canal de desvío finaliza en la cota 1.551, lugar donde descarga a una quebrada tributaria a la quebrada Puquíos.

Debido a la presencia de roca y a las bajas velocidades en la salida del canal, no se prevé efectos negativos en la descarga de este canal a la quebrada. Sin embargo, para mayor resguardo se especificará una protección de mampostería en piedra o bien alguna solución similar definida por los materiales disponibles en terreno. Esta protección se dispondrá tanto en el lecho como en la riberas del canal y la quebrada.

5 CONCLUSIONES

El diseño del canal de desvío permite la conducción del agua proveniente de la quebrada Coloradito para un período de retorno de 100 años, lo que asegura que no se interfieran las pilas de lixiviación durante la operación de la mina.

El desvío de la quebrada Coloradito se realiza mediante un muro de desvío en el cauce de la quebrada. Una vez detenido el flujo, aguas arriba del muro se proyecta un ensanche del canal de desvío el que conduce el agua hasta una quebrada aledaña, la cual descarga finalmente a la quebrada Puquíos.

Con los criterios adoptados para el canal de desvío, se obtienen velocidades de aproximadamente 1,7 m/s para un caudal de 55 m³/s, lo que permite que el agua escurra por el canal excavado sin que se erosione según recomendaciones de la Ref. 2. Además las bajas infiltraciones calculadas ratifican la decisión de no revestir el canal. También se toman resguardos en el diseño del canal mediante la definición de revanchas y radios de curvatura adecuados.

Finalmente, la restitución a la quebrada se realiza directamente sin obras de disipación adicional, debido a las bajas velocidades con las cuales se diseña el canal. Sin embargo, para seguridad adicional se proyecta una protección tanto en el lecho como en la riberas del canal y la quebrada.

**PROYECTO PUQUIOS
DISEÑO PILAS DE LIXIVIACIÓN
INGENIERÍA BÁSICA AVANZADA**

**MEMORIA DE CALCULO HIDRAULICO
DESVIO QUEBRADAS AFLUENTES**

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	3
2	OBJETIVO Y ALCANCE	3
3	REFERENCIAS	3
4	METODOLOGIA	4
4.1	GENERALIDADES	4
4.2	CAUDALES APORTANTES	5
4.3	QUEBRADAS AFLUENTES	6
4.3.1	Generalidades	6
4.3.2	Escurrimiento por quebradas	7
4.4	CANAL DE DESVIO	8
4.5	RESTITUCIÓN A QUEBRADA COLORADITO	10
5	CONCLUSIONES	11

1 INTRODUCCIÓN

El proyecto Puquios corresponde a la evaluación de un plan minero realizado por Tommy S.A. que tiene como objetivo el procesamiento y obtención de mineral cobre por medio de lixiviación, buscando obtener el aprovechamiento del yacimiento en 8 años.

El proyecto minero contempla la disposición del mineral en pilas de lixiviación en el cauce de la quebrada Coloradito, por lo que es necesario el desvío de la quebrada junto a las quebradas afluentes de manera que el agua no interfiera con las pilas.

Se contempla por un lado el desvío de la quebrada Coloradito mediante un muro de gaviones en el cauce de la quebrada, que detiene el agua y la conduce por medio de un canal de desvío hasta que descarga a la quebrada Rajo y finalmente a la quebrada Puquios.

Debido a que aguas abajo del muro de desvío existen dos quebradas en la ladera Norte, éstas tendrán que ser captadas y desviadas hasta donde está contemplado el muro de desvío de la quebrada Coloradito. De esta manera el agua de estas quebradas se conducirá hasta la quebrada rajo y posteriormente a la quebrada Puquios, junto al agua desviada de la quebrada Coloradito.

2 OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo del presente documento es entregar el diseño hidráulico del desvío de las quebradas afluentes a Coloradito, con el propósito que no interfiera con las pilas de lixiviación que se proyectan sobre su cauce.

El desvío de estas quebradas se realizará durante el período de operación de la mina, por lo que por exigencias de Tommy S.A se considera para diseño el desvío del caudal asociado a un período de retorno de 100 años.

En particular este documento aborda el diseño de los canales que desvían los cursos de quebradas menores que fluyen a la quebrada Coloradito aguas abajo del muro que desvía dicha quebrada.

3 REFERENCIAS

Los siguientes documentos fueron considerados como referencias para la elaboración del presente informe:

- Ref. 1: Ven Te Chow (Marzo 2004). "Hidráulica de canales abiertos",
- Ref. 2: Ministerio de Obras Públicas (Junio 2002). "Manual de Carreteras",
- Ref. 3: CPH Consultores Ltda. (Abril 2008). "Informe técnico de crecidas Quebrada Coloradito"
- Ref. 4: ARCADIS Geotécnica (Julio 2008). "Memoria de cálculo hidráulico canal de desvío Quebrada Coloradito, 911-3700-HI-MC-001"
- Ref. 5: ARCADIS Geotécnica (Julio 2008). "Plano desvío quebradas afluentes, 911-3700-HI-PL-003".

- Ref. 6: US Army Corps of Engineers (Julio 1991). "Hydraulic Design of Flood Control Channels"

4 METODOLOGIA

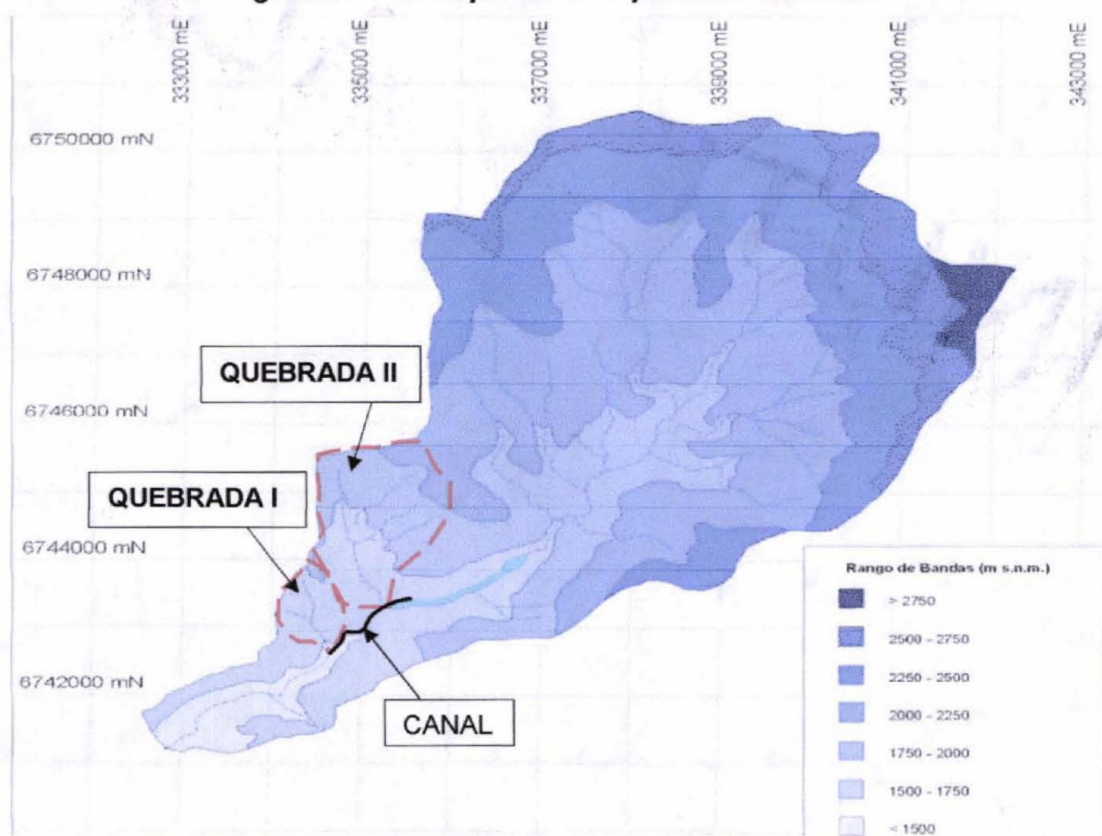
4.1 GENERALIDADES

El desvío de las quebradas afluentes a la quebrada Coloradito, aguas abajo del muro de desvío, se diseña considerando un período de retorno de 100 años.

Los elementos que constituyen el sistema de desvío de las quebradas, son: unos muros de gaviones dispuestos transversales en las quebradas y un canal trapecial excavado en suelo al costado de una plataforma. Este canal comienza en la quebrada I (Ver Figura 4.1) y termina aguas abajo del muro de desvío de la quebrada Coloradito.

Las cuencas de las quebradas se obtuvieron de la topografía del sector en estudio, y son la que se presentan en la Figura 4.1.

Figura 4.1. Áreas aportantes a quebrada Coloradito



Referencia: Informe técnico de crecidas Quebrada Coloradito. CPH Consultores

La disposición y detalles de las obras de desvío de las quebradas afluentes, se muestran en el plano 911-3700-HI-PL-003.

4.2 CAUDALES APORTANTES

El caudal de las quebradas I y II se calcula utilizando transposición de cuencas, mediante la expresión siguiente:

$$\frac{Q_I}{A_I \cdot P_I} = \frac{Q_{II}}{A_{II} \cdot P_{II}} = \frac{Q_T}{A_T \cdot P_T}$$

Donde:

Q_I : Caudal de las quebrada I [m^3/s]

A_I : Área de las quebrada I [km^2]

P_I : Precipitación media de la quebrada I [mm]

Q_{II} : Caudal de las quebrada II [m^3/s]

A_{II} : Área de las quebrada II [km^2]

P_{II} : Precipitación media de la quebrada II [mm]

Q_T : Caudal de la cuenca total de la quebrada Coloradito = $55 m^3/s$ (T=100 años)

A_T : Área de la cuenca total de la quebrada Coloradito = $43 Km^2$

P_T : Precipitación media de la cuenca total de la quebrada Coloradito [mm]

La precipitación media de la cuenca total de la quebrada Coloradito, se calcula mediante la siguiente sumatoria:

$$P_m = \frac{\sum P_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

Donde:

P_i : Precipitación por banda [mm]

A_i : Área de cada banda [km^2]

Con esta expresión se obtiene que la precipitación media de la cuenca de la quebrada Coloradito, es de 183 mm.

Aplicando la expresión de transposición de caudales, y considerando las precipitaciones medias de la Ref. 3 para ambas quebradas, se obtienen los resultados que se presentan en la *Tabla 4.1*.

Tabla 4.1. Transposición de caudales a quebradas I y II

VARIABLE	UNIDAD	VALOR
Quebrada I		
Área de la cuenca	[Km ²]	1,0
Precipitación media	[mm]	136
Caudal de escorrentía (T=100 años)	[m ³ /s]	0,9
Quebrada II		
Área de la cuenca	[Km ²]	2,5
Precipitación media	[mm]	120
Caudal de escorrentía (T=100 años)	[m ³ /s]	2,1

4.3 QUEBRADAS AFLUENTES

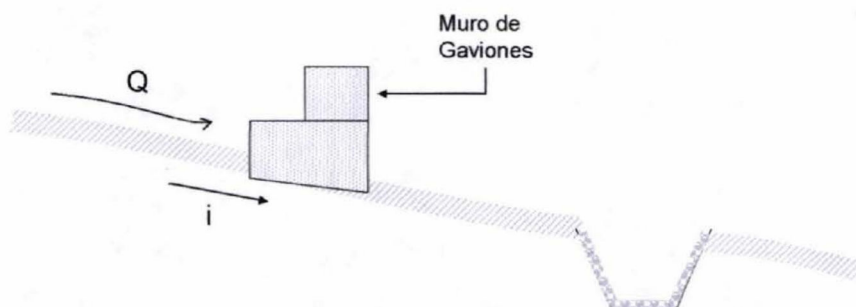
4.3.1 Generalidades

El desvío del agua de las quebradas afluentes a la quebrada Coloradito se realiza mediante un canal trapecial para un caudal asociado a un período de retorno de 100 años.

El canal comienza en la quebrada I en la cota 1566 msnm y se conduce por 1,6 Km siguiendo las curvas de nivel hasta descargar en la cota 1558 msnm, aguas arriba del muro de desvío.

Se considera un muro de gaviones en cada quebrada antes del ingreso al canal de desvío, de manera de detener el flujo y encauzarla con mayor facilidad al canal. El muro además tendrá la función de impedir que piedras se depositen y obstruyan el canal, por lo que es necesaria una limpieza periódica de estas piedras.

Figura 4.2. Sección captación de quebradas



4.3.2 Escurrimiento por quebradas

Las condiciones de escurrimiento por las quebradas se calculan utilizando la fórmula de Manning.

$$Q = \frac{1}{n} \cdot \Omega \cdot Rh^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

Donde:

n: Número de Manning

Ω : Área de la sección [m²]

Rh: Radio hidráulico [m]

i: Pendiente longitudinal de la quebrada

El número de Manning considerado para las quebradas es de 0,05, considerando que se trata de corrientes montañosas sin vegetación en el canal con el fondo con cantos rodados y rocas (Ref. 1).

La sección de las quebradas se puede asimilar a un canal trapecial con las siguientes características.

Tabla 4.2. Características quebradas afluentes

VARIABLE	UNIDADES	VALOR
Quebrada I		
Caudal de escurrimiento	[m ³ /s]	0,9
Ancho de quebrada	[m]	8
Talud lateral	[V:H]	1:2
Pendiente longitudinal	[-]	0,36
Quebrada II		
Caudal de escurrimiento	[m ³ /s]	2,1
Ancho de quebrada	[m]	6
Talud lateral	[V:H]	1:3,5
Pendiente longitudinal	[-]	0,19

Con estas consideraciones las condiciones hidráulicas por las quebradas, antes de ser captadas, son las que se presentan en la *Tabla 4.3*.

Tabla 4.3. Escurrimiento en las quebradas

VARIABLE	UNIDADES	VALOR
Quebrada I		
Caudal de escurrimiento	[m ³ /s]	0,9
Altura de escurrimiento	[m]	0,06
Área de escurrimiento	[m ²]	0,5
Ancho superficial	[m]	8,2
Velocidad de escurrimiento normal	[m/s]	1,8
Número de Froude	[-]	2,4
Quebrada II		
Caudal de escurrimiento	[m ³ /s]	2,1
Altura de escurrimiento	[m]	0,1
Área de escurrimiento	[m ²]	0,9
Ancho superficial	[m]	7,0
Velocidad de escurrimiento normal	[m/s]	2,3
Número de Froude	[-]	1,9

4.4 CANAL DE DESVIO

Debido a que el canal recibe el aporte de dos quebradas en distintos puntos, éste se divide en dos tramos de manera de tener una sección de canal acorde al caudal conducido. El canal en el primer tramo tendrá una sección trapezoidal de 1,2 x 0,8 (b x h) con taludes homogéneos de 1:05 (V:H), mientras que en el segundo tramo, donde el caudal aumenta a 3,0 m³/s, el canal tendrá una sección de trapezoidal de 1,8 x 1,3 (b x h) con taludes homogéneos. Ambas secciones se ilustran en la Figura 4.3.

Figura 4.3. Sección Típica Canales de Desvío



La pendiente longitudinal del canal es de 0,25%, que es la mínima recomendada para canales longitudinales no revestidos según Ref. 2.

Las condiciones de escurrimiento por el canal de desvío, se calculan utilizando la fórmula de Manning mencionada anteriormente. El número de Manning adoptado en el canal de desvío

es de 0,028, considerando que el canal es excavado con pala o dragado y sin vegetación (Ref. 1).

Para ambos tramos se definen las siguientes características de escurrimiento:

Tramo I (L = 1,1 km)	Normal	Crítica
Altura del agua (m)	0,64	0,37
Area Hidráulica (m ²)	0,98	0,51
Espejo de Agua (m)	1,84	1,57
Perímetro Mojado (m)	2,63	2,02
Radio Hidráulico (m)	0,37	0,25
Velocidad (m/s)	0,92	1,78
Energía Específica (m)	0,69	0,53
Número de Froude (-)	0,40	1,00

Tramo II (L = 0,5 km)	Normal	Crítica
Altura del agua (m)	1,04	0,62
Area Hidráulica (m ²)	2,41	1,30
Espejo de Agua (m)	2,84	2,42
Perímetro Mojado (m)	4,12	3,18
Radio Hidráulico (m)	0,58	0,41
Velocidad (m/s)	1,25	2,30
Energía Específica (m)	1,12	0,89
Número de Froude (-)	0,43	1,00

El escurrimiento con estas características es subcrítico, debido a que el número de Froude es menor a 1.

La razón entre la energía específica del escurrimiento normal y el crítico para ambos tramos corresponde a:

$$\frac{E_n}{E_c} \Big|_{TramoI} = 1,3 > 1,1$$

$$\frac{E_n}{E_c} \Big|_{TramoII} = 1,26 > 1,1$$

Según la Ref. 2 se recomienda una velocidad máxima de 2,0 m/s para evitar la erosión y socavación en canales no revestidos, en que el material que se encuentre sea asimilable entre arcilla y grava, como es el caso de este sector.

La revancha de este canal se establece como el 15% de la altura normal, de esta forma se tiene:

Tramo	Altura Normal (m)	Alt. Normal + Revancha (m)	Altura de Muro Adoptada
I	0,64	0,736	0,80
II	1,04	1,196	1,30

Según estos cálculos, el canal tiene que tener una altura suficiente para poder conducir el caudal para los 100 años de período de retorno sin riesgos de desborde.

El trazado del canal de desvío deberá adaptarse a la topografía de la zona, por lo cual su trazado en planta deberá necesariamente contemplar curvas horizontales. En las curvas de un canal el agua se sobreeleva por el talud exterior de la curva disminuyendo la revancha hidráulica. Para garantizar revanchas aceptables en flujos subcríticos (Froude < 1) el radio de curvatura mínimo está dado por:

$$R_{min} = 3 \cdot l$$

Donde:

l: Espejo de agua [m]

Bajo esta consideración, el radio de curvatura mínimo para este canal corresponde a 5,52 m para el Tramo I y 8,52 para el Tramo II, adoptándose para toda la extensión del canal un valor de 10 m.

Para el cálculo de la sobreelevación del canal en las zonas de curvas, se utilizará la fórmula propuesta por Woodward y Posey y que se indica en la Ref. 6:

$$\Delta y = C \cdot \frac{v^2 l}{gr}$$

Donde:

Δy : Sobreelevación del agua producto de la curvatura del canal [m]

C: Coeficiente según tipo de flujo y curvatura = 0,5 (Flujo subcrítico y curvatura circular)

v: Velocidad media del canal [m/s]

l: Ancho del canal [m]

g: Aceleración de gravedad [m/s²]

r: Radio de curvatura del canal [m]

Reemplazando los datos de escurrimiento del canal, se verifica que la sobreelevación producto de las curvas presentes en el trazado corresponde a menos de un centímetro para el Tramo I y 2 cm para el Tramo II.

Tomando la relación en forma inversa se establece que el radio de curvatura del canal debiera ser menor a 0,5 m para el Tramo I y 0,9 m para el Tramo II, de forma que la revancha considerada sea sobrepasada por un efecto de sobreelevación.

4.5 RESTITUCIÓN A QUEBRADA COLORADITO

El canal de desvío de las quebradas afluentes a la quebrada Coloradito conduce las aguas y la descarga aguas arriba del muro de desvío en la cota 1558 msnm.

Debido a la presencia de roca y a las bajas velocidades en la salida del canal, no habrá necesidad de proyectar obras de disipación. Sin embargo, para tomar mayores resguardos se dispondrá de una protección local de enrocados con las características que se definen a continuación.

El tamaño mínimo del enrocado utilizado en la protección se estima utilizando la fórmula de Neill, que calcula la velocidad crítica para la que se produzca la condición de arrastre ($Fr > Fr_c$):

$$Fr_c = 1,81 \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^{0,33}$$

donde:

h: Altura de escurrimiento en la sección [m]

d: Diámetro representativo del sedimento [m]

Fr: Número de Froude = $\frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$ [-]

Reemplazando los valores de escurrimiento en la fórmula de Neill, se estima un diámetro mínimo de enrocado para que no se produzca arrastre de 0,014 m. Se adopta un diámetro de 0,10 m de manera de tener una seguridad adicional.

El agua proveniente de las quebradas desviadas se junta con el agua de la quebrada Coloradito y se conducen por el canal de desvío hasta su descarga a la quebrada Rajo y finalmente hasta la quebrada Puquios.

5 CONCLUSIONES

El diseño del canal de desvío permite el desvío del agua proveniente de dos quebradas afluentes a la quebrada Coloradito para un período de retorno de 100 años, lo que asegura que éstas no interfieran con las pilas de lixiviación durante la operación de la mina.

El desvío de estas quebradas se realiza mediante un canal trapecial excavado en suelo al costado de un camino de servicio que comienza en la quebrada I y que continúa por 1,6 Km hasta su descarga aguas arriba del muro de desvío en la cota 1558 msnm.

La captación del agua proveniente de las quebradas se realiza por medio de un muro de gaviones transversal al lecho de la quebrada, lo que permite que se detenga el flujo y queden retenidas las piedras antes de su ingreso al canal de desvío.

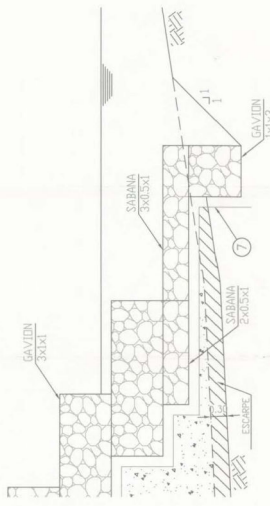
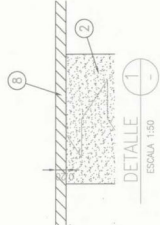
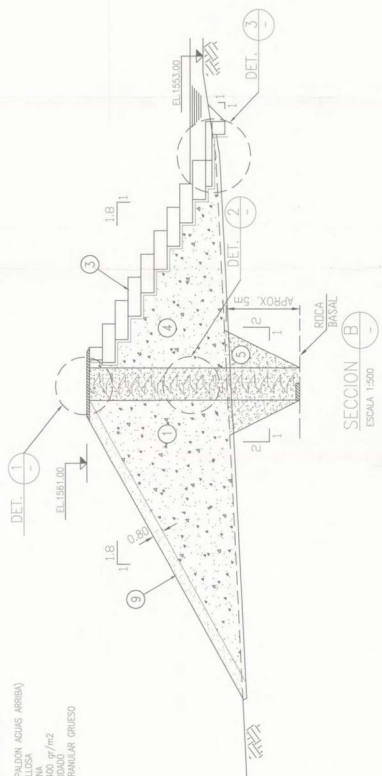
Debido a que el canal tiene dos aportes puntuales mayores, al comienzo tendrá una sección de 1,2 x 0,8 (b x h) con taludes homogéneos de 1:0,5 (V:H) para conducir 0,9 m³/s provenientes de la quebrada I y después se agranda a 1,8 x 1,3 (b x h) con taludes homogéneos de 1:0,5 (V:H) para conducir el aporte de la quebrada II lo que totaliza un caudal de 3,0 m³/s.

La pendiente longitudinal del canal es de 0,25%, lo que permite entregar aguas arriba del muro de desvío de la quebrada Coloradito y a la vez captar la mayor cantidad de agua proveniente de las quebradas I y II. Esta pendiente longitudinal cumple con las recomendaciones mínimas de la Ref. 2.

Con los criterios adoptados para el canal de desvío, se obtienen velocidades de aproximadamente 1,2 m/s para un caudal de 3,0 m³/s, lo que permite que el agua escurra por el canal excavado sin que se erosione según recomendaciones de la Ref. 2.

Finalmente la restitución a la quebrada se realiza directamente sin obra de disipación adicional debido a las bajas velocidades con las cuales se diseña el canal. Sin embargo, para tomar mayores resguardos se dispondrá de una protección local de enrocados.

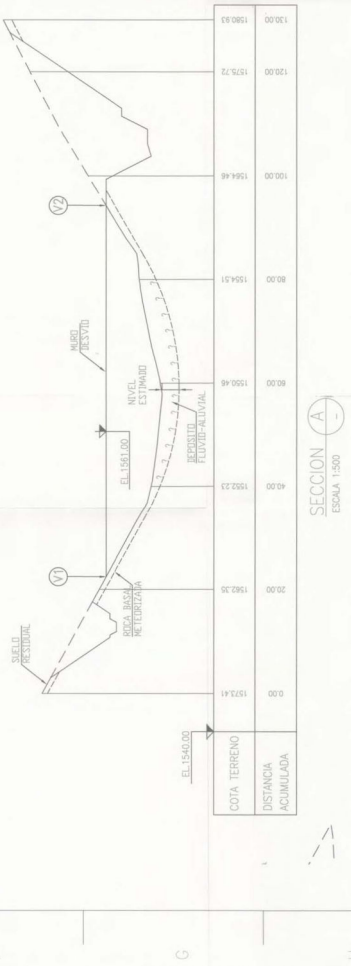
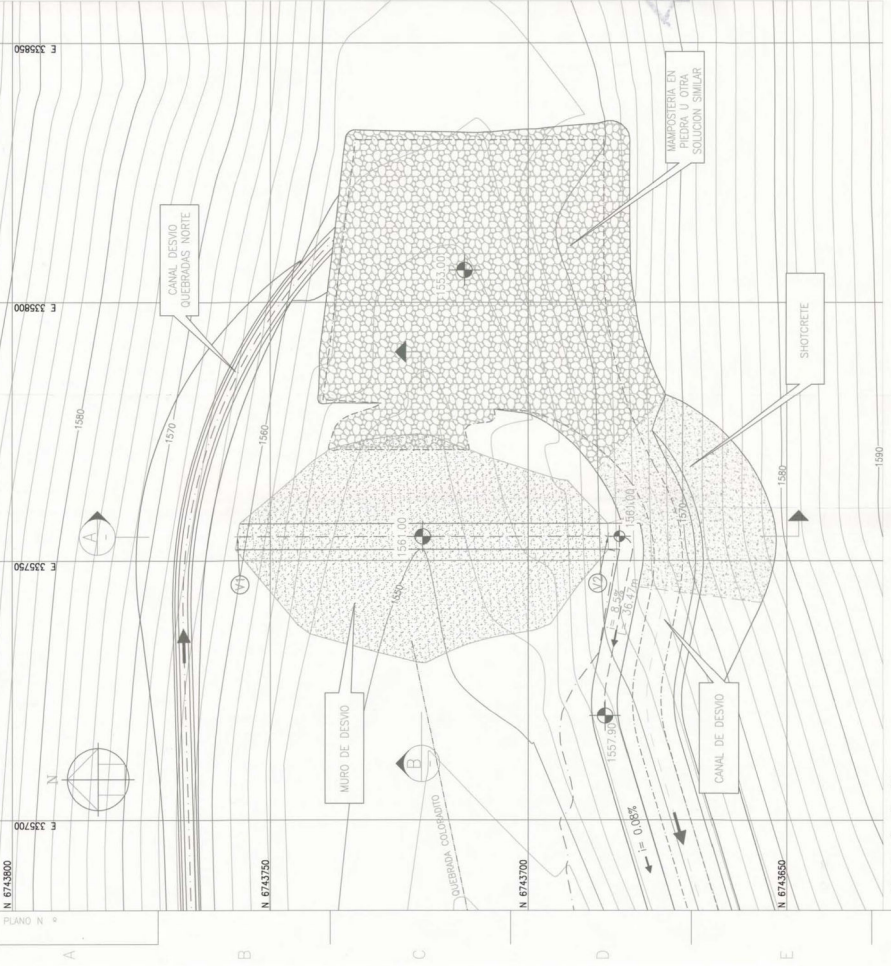
- MATERIALES**
- 1- LASTRE (ESPALDON AGUAS ABAJO)
 - 2- ARENA LIMPIA O ACILIOSA
 - 3- LASTRE (ESPALDON AGUAS ARRIBA)
 - 4- ARENA ACILIOSA
 - 5- GEOTEXTIL 400 gr/m²
 - 6- CEMENTA RODADO
 - 7- SOBRECIMENTO EN GRISES



CUBICACIONES MURO DESVIO	
PARTIDA	CANTIDAD
ESCARPE	m ² 2230
MAT 1	m ³ 4380
MAT 2	m ³ 2880
MAT 3	m ³ 2100
MAT 4	m ³ 2080
MAT 5	m ³ 400
MAT 6	m ² 3700
MAT 7	m ² 2030
MAT 8	m ³ 120
MAT 9	m ³ 1040

CUADRO COORDENADAS

VERTICE	ESE	NORTE
V1	335294.63	6743756.33
V2	335294.68	6743884.55



COTA TERRENO	1573.41	1573.35	1594.66	1594.51	1594.46	1575.72	1580.63
DISTANCIA ACUMULADA	0	20.00	60.00	80.00	100.00	120.00	130.00

ARCADIS GEOTECNICA

INGENIERIA BASICA AVANZADA PROYECTO PUQUIOS DESVIO QUEBRADA COLORADITO MURO DE DESVIO PLANTA, SECCIONES Y DETALLES

CLIENTE: TOMMY S.A.

PROYECTO: J.U.N. JUL. 2008

DIBUJO: C.L.P. JUL. 2008

REVISO: J.U.N. JUL. 2008

APROBADO: R.L.D. JUL. 2008

JEFE ING.: J.W.B. JUL. 2008

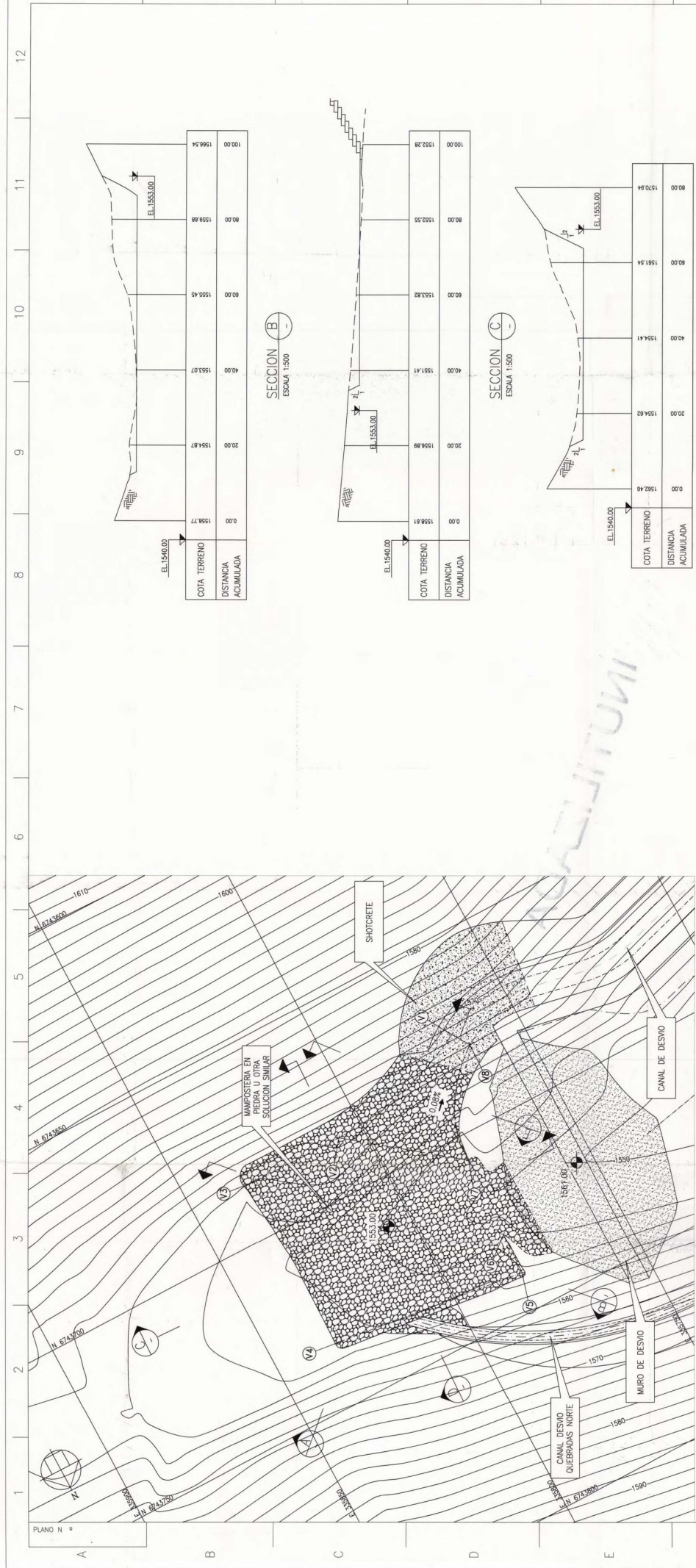
NOTAS:

- 1.- RESTITUCION AEROFOTOMETRICA PROPORCIONADA POR TOMMY S.A.
- 2.- DIMENSIONES EN METROS (S.I.C.)
- 3.- ELEVACIONES EN METROS (m.a.s.n.m.)
- 4.- TOPOGRAFIA EN SISTEMA U.T.M.

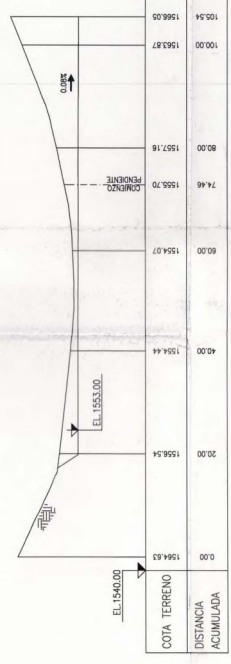
REVISIONES	DESCRIPCION	FECHA	REVISIONES
Nº 1			
Nº 2			
Nº 3			
Nº 4			
Nº 5			
Nº 6			
Nº 7			
Nº 8			
Nº 9			
Nº 10			
Nº 11			
Nº 12			

FORMADO: A1

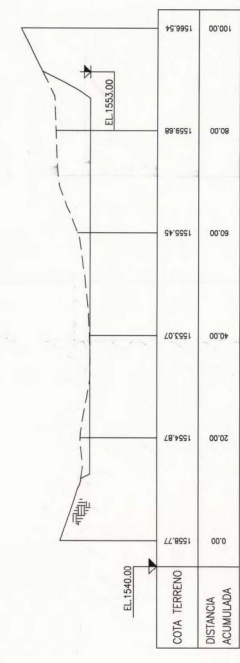
REV. A



PLANTA OBRA DE TOMA
ESCALA 1:500



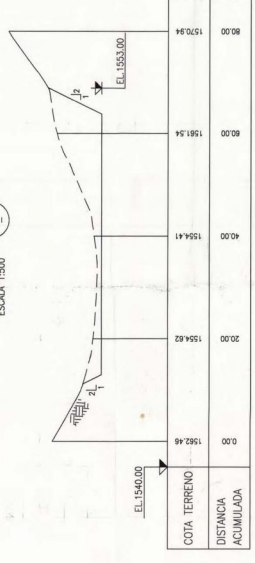
SECCION A
ESCALA 1:500



SECCION B
ESCALA 1:500



SECCION C
ESCALA 1:500



SECCION D
ESCALA 1:500



SECCION E
ESCALA 1:500

CUADRO DE CUBICACIONES

OBRA DE TOMA (M3)		320
TERRAPLEN	CORTE	SECCION I
		11900

CUADRO COORDENADAS

VERTICE	ESTE	NORTE
V1	335597.22	674326.22
V2	335597.22	674326.22
V3	335581.42	674326.22
V4	335581.42	674326.22
V5	335781.19	674326.22
V6	335781.19	674326.22
V7	335784.40	674326.22
V8	335784.40	674326.22

PROYECTO: I.D.Z. JUL. 2008
 DIBUJO: C.L.P. JUL. 2005
 REVISO: J.J.N. JUL. 2008
 APROBADO: R.L.D. JUL. 2008
 JEFE INC.: JUL. 2008
 JEFE PROJ.: W.B. JUL. 2008

CLIENTE: **ARCADIS GEOTECNICA**
 INGENIERIA BASICA AVANZADA PROYECTO PUQUIOS
 DESVIO QUEBRADA COLORADO
 OBRA DE TOMA
 PLANTA, CUADROS Y SECCIONES

FORMATO: A1 REV: 1/1

NOTAS:
 1.- RESTITUCION AEROFOTOMETRICA PROPORCIONADA POR TOMAR S.A.
 2.- DIMENSIONES EN METROS (S.L.)
 3.- ELEVACIONES EN METROS (S.N.M.)
 4.- DIBUJADA EN SISTEMA U.T.M.

REVISIONES

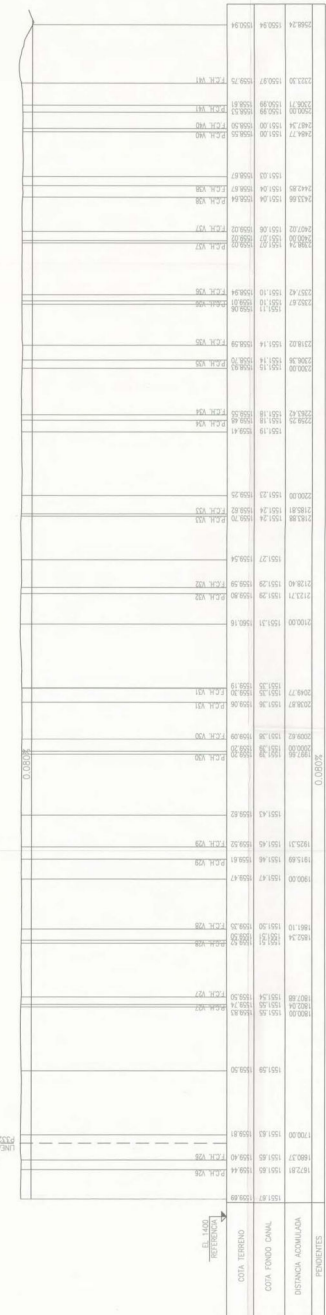
N°	DESCRIPCION	FECHA	REVISOR	PROYECTISTA
1	DESCRIPCION			
2	DESCRIPCION			
3	DESCRIPCION			
4	DESCRIPCION			
5	DESCRIPCION			
6	DESCRIPCION			
7	DESCRIPCION			
8	DESCRIPCION			
9	DESCRIPCION			
10	DESCRIPCION			
11	DESCRIPCION			
12	DESCRIPCION			



PLANTA GENERAL
ESCALA 1:1000

CUADRO COORDENADAS

CURVA	VERTICE		NORTE	ESTE
	P.C.H.	V.		
27	P.C.H. 27	33478.85	6742556.42	
	V.	33479.05	6742556.91	
28	P.C.H. 28	33479.44	6742554.97	
	V.	33479.63	6742554.97	
29	P.C.H. 29	33480.21	6742558.99	
	V.	33480.21	6742558.99	
30	P.C.H. 30	33480.67	6742400.61	
	V.	33480.67	6742400.61	
31	P.C.H. 31	33481.13	6742324.48	
	V.	33481.13	6742324.48	
32	P.C.H. 32	33481.51	6742271.40	
	V.	33481.51	6742271.40	
33	P.C.H. 33	33482.05	6742203.83	
	V.	33482.05	6742203.83	
34	P.C.H. 34	33482.50	6742165.40	
	V.	33482.50	6742165.40	



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA 1:2000 V



CLIENTE:
INGENIERIA BASICA AVANZADA PROYECTO PUQUIOS DESAGUADERA COLORADO CANAL DE OLVIO CUERPO COORDINADO PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL (3 DE 5)

PROYECTO: I.D.Z. JUL. 2008
DISEÑO: C.L.P. JUL. 2008
REVISOR: J.J.N. JUL. 2008
APROBADO: R.L.D. JUL. 2008
JEFE INCL.: JUL. 2008
JEFE PROC. W.B. JUL. 2008

NOTAS:
1.- RESTITUCION AEROFOTOMETRICA PROPORCIONADA POR TOMMY S.A.
2.- ELEVACIONES EN METROS (m.s.n.m.)
3.- ELEVACIONES EN METROS (m.s.l.m.)
4.- TOPOGRAFIA EN SISTEMA U.T.M.

NOTAS
REVISIONES

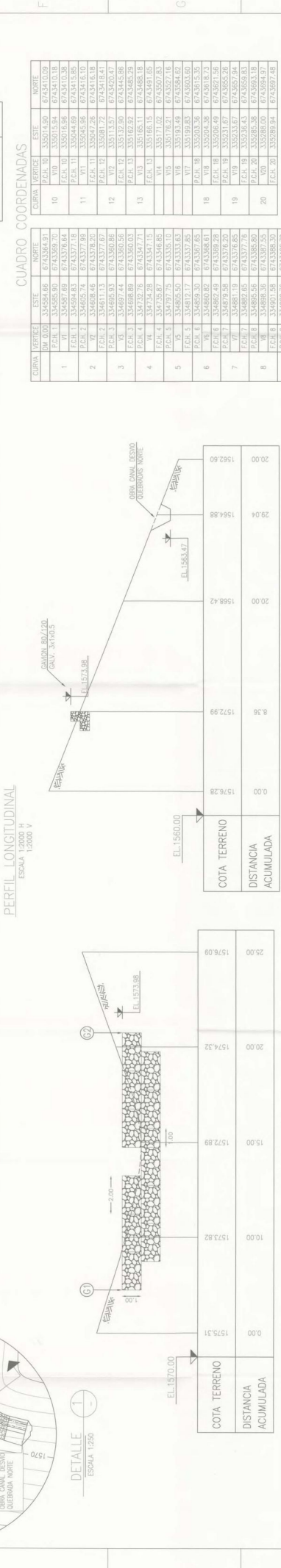
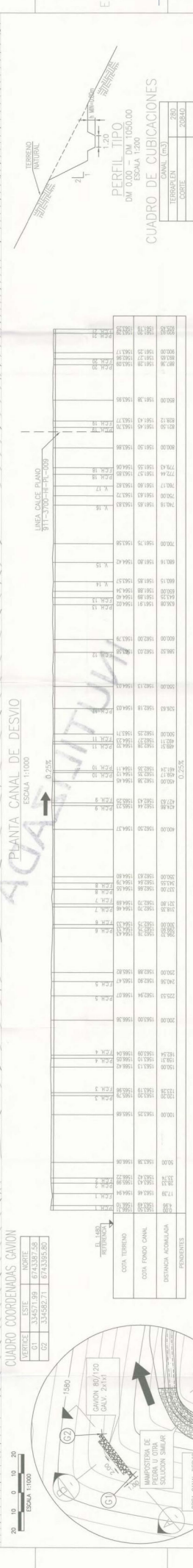
REVISIONES

REVISIONES

REVISIONES

REVISIONES

REVISIONES



CUADRO COORDENADAS CANION

VERTICE 334521.96 6743397.58
 GZ 334582.71 6743395.80

CUADRO COORDENADAS

CURVA	VERTICE	ESTE	NORTE
10	DM 0.00	334584.66	6743394.91
11	PC 1.1	335015.94	6743403.18
12	PC 1.1	335015.94	6743403.18
13	PC 1.1	335015.94	6743403.18
14	PC 1.1	335015.94	6743403.18
15	PC 1.1	335015.94	6743403.18
16	PC 1.1	335015.94	6743403.18
17	PC 1.1	335015.94	6743403.18
18	PC 1.1	335015.94	6743403.18
19	PC 1.1	335015.94	6743403.18
20	PC 1.1	335015.94	6743403.18

PROYECTO: I.D.Z. JUL. 2008

DIBUJO: I.C.P. JUL. 2008

REVISO: J.I.N. JUL. 2008

APPROBADO: R.L.D. JUL. 2008

JEFE ING.: JUL. 2008

JEFE PROJ. / W.B.: JUL. 2008

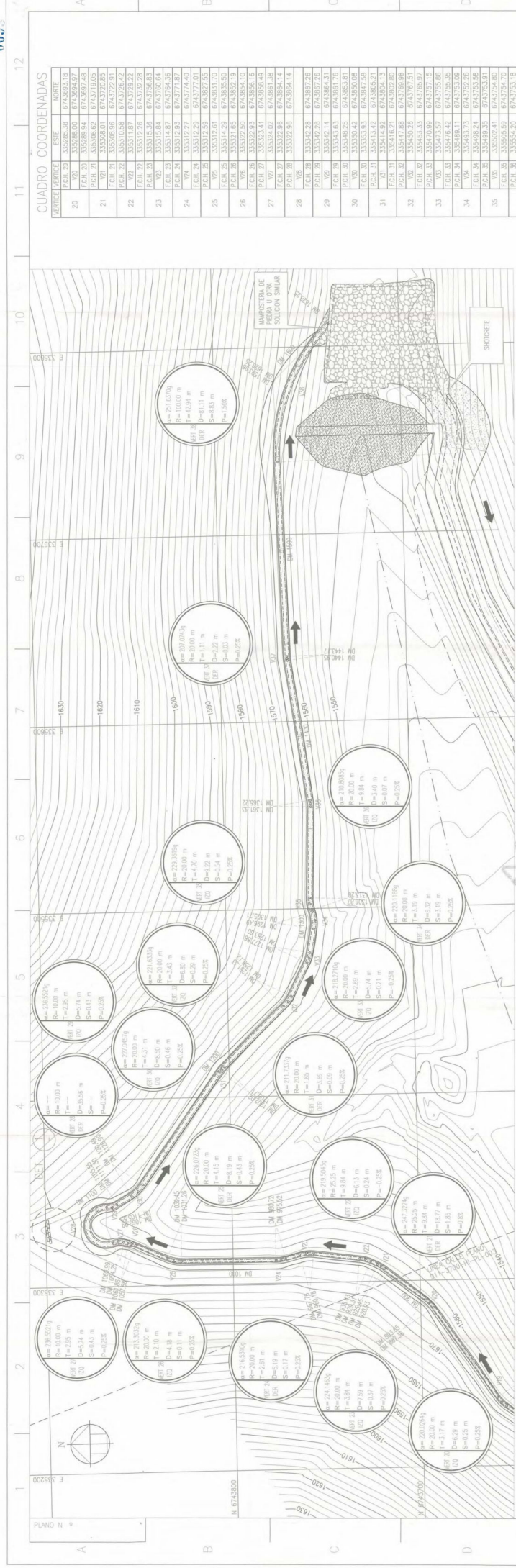
NOTAS:

- 1.- RESTITUCION AEROFOTOMETRICA PROPORCIONADA POR TOMMY S.A.
- 2.- DIMENSIONES EN METROS (M.A.N.)
- 3.- ELEVACIONES EN METROS (M.A.N.)
- 4.- TOPOGRAFIA EN SISTEMA U.T.M.

CLIENTE: ARCADIS GEOTECNICA

TITULO: INGENIERIA BASICA AVANZADA PROYECTO DE PUQUIOS DESVIO QUEBRADA COLORADO CANAL DESVIO QUEBRADAS NORTE PLANTA, SECCIONES Y DETALLES (1 DE 3)

ESCALA INDICADAS: PLANO DESVIO: 1:11 - 3:700 - HI-PI-008 FORMATO: A1 REV: A



CUADRO COORDENADAS

VERTICE	VERTECE	ESTE	NORTE
20	V01	335568.00	6743897.48
21	V02	335568.00	6743897.48
22	V03	335568.00	6743897.48
23	V04	335568.00	6743897.48
24	V05	335568.00	6743897.48
25	V06	335568.00	6743897.48
26	V07	335568.00	6743897.48
27	V08	335568.00	6743897.48
28	V09	335568.00	6743897.48
29	V10	335568.00	6743897.48
30	V11	335568.00	6743897.48
31	V12	335568.00	6743897.48
32	V13	335568.00	6743897.48
33	V14	335568.00	6743897.48
34	V15	335568.00	6743897.48
35	V16	335568.00	6743897.48
36	V17	335568.00	6743897.48
37	V18	335568.00	6743897.48
38	V19	335568.00	6743897.48

CUADRO COORDENADAS CANYON

VERTICE	ESTE	NORTE
03	335523.63	6743897.01
04	335523.54	6743898.49



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA 1:2000 H
1:2000 V

ESTACION	COTA TERRENO	COTA FONDO CANAL	DISTANCIA ACUMULADA
0+00	1558.00	1558.00	0.00
0+05	1558.00	1558.00	5.00
0+10	1558.00	1558.00	10.00
0+15	1558.00	1558.00	15.00
0+20	1558.00	1558.00	20.00
0+25	1558.00	1558.00	25.00
0+30	1558.00	1558.00	30.00
0+35	1558.00	1558.00	35.00
0+38	1558.00	1558.00	38.00



SECCION A
ESCALA 1:100

ESTACION	COTA TERRENO	DISTANCIA ACUMULADA
0+00	1572.07	0.00
0+05	1568.07	5.00
0+10	1568.07	10.00
0+15	1567.23	15.00
0+20	1569.98	20.00
0+25	1572.86	25.00
0+30	1569.45	30.00
0+35	1573.52	35.00
0+38	1572.30	38.00



SECCION B
ESCALA 1:200

ESTACION	COTA TERRENO	DISTANCIA ACUMULADA
0+00	1569.19	0.00
0+05	1569.19	5.00
0+10	1569.19	10.00
0+15	1569.19	15.00
0+20	1569.19	20.00
0+25	1569.19	25.00
0+30	1569.19	30.00
0+35	1569.19	35.00
0+38	1569.19	38.00



SECCION C
ESCALA 1:200

ESTACION	COTA TERRENO	DISTANCIA ACUMULADA
0+00	1569.19	0.00
0+05	1569.19	5.00
0+10	1569.19	10.00
0+15	1569.19	15.00
0+20	1569.19	20.00
0+25	1569.19	25.00
0+30	1569.19	30.00
0+35	1569.19	35.00
0+38	1569.19	38.00



SECCION D
ESCALA 1:200

ESTACION	COTA TERRENO	DISTANCIA ACUMULADA
0+00	1569.19	0.00
0+05	1569.19	5.00
0+10	1569.19	10.00
0+15	1569.19	15.00
0+20	1569.19	20.00
0+25	1569.19	25.00
0+30	1569.19	30.00
0+35	1569.19	35.00
0+38	1569.19	38.00



SECCION E
ESCALA 1:200

ESTACION	COTA TERRENO	DISTANCIA ACUMULADA
0+00	1569.19	0.00
0+05	1569.19	5.00
0+10	1569.19	10.00
0+15	1569.19	15.00
0+20	1569.19	20.00
0+25	1569.19	25.00
0+30	1569.19	30.00
0+35	1569.19	35.00
0+38	1569.19	38.00

ARCADIS GEOTECNICA

TOMMY S.A.

CLIENTE: TOMMY S.A.

PROYECTO: I.D.Z. JUL. 2008

DIBUJO: I.C.L.P. JUL. 2008

REVISOR: J.J.N. JUL. 2008

APROBADO: R.L.D. JUL. 2008

JEFE INC.: JUL. 2008

NOTAS:

- 1.- RESTITUCION AEROFOTOMETRICA PROPORCIONADA POR TOMMY S.A.
- 2.- DIMENSIONES EN METROS (S.I.C)
- 3.- ELEVACIONES EN METROS (m.n.m.)
- 4.- TOPOGRAFIA EN SISTEMA U.T.M.

INDICADAS: 911-5700-HI-PL-009

FORMATO: A1

REV: A

ANEXO N°3:

PERMISO AMBIENTAL SECTORIAL N° 96

Plano superficie cambio uso de suelo: N° 911-3400-GE-PL-100

ANEXO N°4:

Carta Gantt de manejo de cactáceas y algarrobillas comprometidas en acuerdo con el SAG Región de Coquimbo.

CARTA GANTT MANEJO DE CACTACEAS

ACTIVIDADES PLAN MANEJO CACTACEAS

Duración SEMANAS	TIEMPO ESTIMADO											
	2010		2011		2012		2013		2014		2015	
	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin
88	03-05-11	11-12-2012										
4	01-06-2008	31-06-2008										

PROGRAMACION GENERAL
 RESCATE DE CACTACEAS
 TRASLADO DE EROSIVOS AURATA
 MONITOREO DE CACTACEAS RELOCALIZAS
 INFORMES DE MANEJO Y MONITOREO DE CACTACEAS

CARTA GANTT DE MANEJO DE ALGARROBILLA

ACTIVIDADES PLAN MANEJO ALGARROBILLA

Duración SEMANAS	TIEMPO ESTIMADO																							
	2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin
88	03-05-11	11-12-2012																						
25	01-10-2010	25-03-2011																						
104	01-04-2011	28-03-2013																						
26	01-10-2011	25-03-2012																						
25	01-04-2012	25-03-2013																						
82	01-04-2012	25-03-2019																						
265	01-04-2014	25-04-2019																						
626	01-05-2014	30-05-2024																						

PROGRAMACION GENERAL
 REPLANTACION DE ALGARROBILLA
 RECOLECCION SEMILLAS Y ESQUEJES AMO1
 ENSAYOS DE PROPAGACION
 RECOLECCION DE SEMILLAS Y ESQUEJES AMO2
 CONTINUACION DE ENSAYOS
 RECOLECCION SEMILLAS Y ESQUEJES PARA PLANTACION
 VERIFICACION GRAN ESCALA
 PLANTACION GRAN ESCALA
 MONITOREO Y REQUERIMIENTOS
 INFORMES DE AVANCE PM FLORA RISAVIOS Y PLANTACION

ANEXO 15

**Programa de Ensayos de Propagación y Plantación
de *Balsamocarpon brevifolium*****Introducción**

Muchos son los factores que determinan la dinámica de poblaciones de plantas, entre los cuales están los factores demográficos (ecología de poblaciones, variabilidad ambiental), reproductivos (ecología reproductiva), fisiológicos (ecología fisiológica) y genéticos (variabilidad genética, deriva génica). El entendimiento de estos factores y el de sus efectos sobre la tasa de cambio poblacional es básico para diseñar planes de conservación efectivos que reduzcan la probabilidad de extinción. El ciclo natural de regeneración de cualquier especie leñosa puede estar limitado, incluso colapsado, en cualquier etapa demográfica. El ciclo natural de regeneración de una especie desde semilla hasta planta adulta, pasando por los estados intermedios de plántula, juvenil y subadulto incluye una serie de procesos (reproductivos, reclutamiento, crecimiento y sobrevivencia), cada uno de los cuales puede influir drásticamente en el resultado final. Esto depende no sólo de las condiciones iniciales, sino también de los efectos en cada etapa.

La restauración o reintroducción de especies vegetales en zonas semiáridas presenta numerosas dificultades debido a la escasez de recursos fundamentales para la vegetación, especialmente agua y nutrientes, condiciones ambientales limitantes para el desarrollo de las plantas, otro factor a considerara es el efecto de los animales (herbivoría) sobre la sobrevivencia de las plantas. Estos hechos resaltan la necesidad de conocer y entender el funcionamiento de los ecosistemas para realizar la restauración o reintroducción de especies. Una de las principales características que presentan los ambientes semiáridos es su marcada heterogeneidad en la distribución espacial de los recursos bióticos y abióticos que juegan un papel fundamental en su funcionamiento y dinámica. Desde esta perspectiva se hace imprescindible la caracterización ecológica de los sistemas a restaurar.

Antecedentes del área de estudio

El emplazamiento del Proyecto Minero Puquíos se localiza a 110 km al norte-orienté de la ciudad de La Serena, específicamente al orienté del sector Punta Colorada. Este ambiente se ubica dentro de la región climática tipo mediterráneo-árido.

De acuerdo a la información de línea de base, en el área del proyecto, en Quebrada Los Choros, existe una alta fluctuación en las precipitaciones del periodo más seco y los del periodo más humedo. Los datos de las estaciones El Tofo y El Trapiche, relativamente próximas al área, muestran una variación de más de 20 veces la precipitación del periodo mas humedo en relación al más seco.

Tabla 1. Precipitación promedio en períodos seco y húmedo en cuenca Los Choros

	El Tofo	El Trapiche
Período Húmedo (abril a septiembre)	91.9	45.7
Período Seco (octubre a marzo)	4.0	2.3

Fuente: DGA

Por otra parte, la variación anual es también alta, variando entre cero y 60 mm en las máximas precipitaciones registradas en la estación de El Trapiche para un período de 27 años.

Tabla 2. Máximas Precipitaciones de Estación El Trapiche

AÑO	Fecha	Máxima Precipitación (mm)
1979	12/09	2,00
1980	24/07	15,50
1981	12/05	9,00
1982	12/08	13,00
1983	07/07	26,10
1984	10/07	24,10
1985	29/07	16,00
1986	28/05	9,50
1987	24/07	50,00
1988	21/09	3,00
1989	20/08	13,00
1990	07/07	13,50
1991	17/06	45,00
1992	07/06	25,50
1993	29/08	0,50
1994	29/06	2,50
1995	31/01	0,00
1996	03/08	11,00
1997	11/06	56,00
1998	31/01	0,00
1999	31/10	20,50
2000	23/06	35,00
2001	29/09	16,00
2002	04/06	28,00
2003	21/05	26,50
2004	26/07	38,50
2005	23/05	23,00
2006	26/07	10,50

Fuente: DGA

Esta variabilidad incide en la dinámica de regeneración y sobrevivencia de las poblaciones vegetales del área.

A continuación se detalla los estudios relevantes para la propagación y transplante de plántulas de *Balsamocarpon brevifolium* (algarrobilla).

Nuestro plan de trabajo incluye dos objetivos principales y seis objetivos específicos:

Objetivos Principales

1. Análisis demográficos de las características poblacionales, de la ecología poblacional, y fisiológica de la algarrobilla, para documentar los factores que limitan el reclutamiento, crecimiento en el ambiente natural.
2. Ensayos y monitoreo de plantación de plántulas, para determinar los factores limitantes del proceso de establecimiento *in situ*.

Objetivos específicos

1. Localizar y caracterizar las poblaciones de algarrobilla que serán estudiadas,
2. Realizar una descripción y cartografía del área ocupada por la algarrobilla,
3. Estimar la estructura de la población basada en clases de tamaño y determinar la abundancia de plántulas,
4. Caracterización del suelo (materia orgánica, determinación de fósforo, nitrógeno, potasio disponible, pH)

Para lograr estos objetivos se pretende realizar una serie de actividades las que a continuación son detalladas:

Métodos

Para determinar el tipo de distribución espacial (al azar, agregada, uniforme) de la población a ser afectada, se realizarán 6 parcelas de muestreo de 50x50 m por tipo de hábitat (planicie, fondo de quebrada, laderas). Para cada parcela se tomará cobertura, distancia entre vecinos próximos, condición de la planta (viva, muerta, etc), altura, diámetro basal del tallo, diámetro del follaje a la altura del pecho y número de ramas. Cada planta será debidamente marcada y numerada con una chapa.

Los datos obtenidos serán representados en cartografía o fotografías aéreas escala 1:10.000.

Aprovechando que se arrancarán una gran cantidad plantas algarrobilla durante la fase de habilitación del desarrollo minero, se tiene planificado estudiar la incidencia de reproducción vegetativa de esta especie a través estructuras subterráneas. Para ello, en 3 parcelas 30x30 m distribuidas aleatoriamente en el área del desmonte, se revisará detalladamente la presencia de tallos subterráneos que conecten físicamente arbustos de algarrobilla entre sí. Esta actividad se realizará durante el primer año de estudio.

Adicionalmente, se recorrerán sectores aledaños con presencia de algarrobilla (ej. quebrada Pajarito) con el propósito de determinar el estatus de poblaciones aledañas. Esto permitirá registrar datos de poblaciones que históricamente se han visto sometidas a distintos regímenes de perturbaciones. Los datos a tomar serán según la metodología explicitada anteriormente. Esto permitirá realizar comparaciones posteriores.

Paralelamente se tomarán datos del hábitat, tales como pendiente, dureza, aspecto y profundidad del suelo, radiación. Específicamente se realizarán análisis físico-químico del suelo, determinación de materia orgánica y pH.

Objetivos específicos

- 1) Estudiar las características de reclutamiento y mortalidad *in situ*, para determinar el crecimiento promedio estacional de plántulas,
- 2) Monitorear los ensayos experimentales y los individuos transplantado *in situ*.

Para lograr estos objetivos se pretende realizar las siguientes actividades:

a) Reclutamiento y mortalidad natural *In Situ*

Para el estudio de reclutamiento y mortalidad *in situ*, además de los datos tomados en cada parcela, se realizarán al menos cinco transectos de 1 Km en busca de renovales o plántulas de algarrobilla, las cuales serán bebidamente marcadas y monitoreadas (altura, diámetro basal, indicios de herbivoría).

b) Ensayo de plantaciones

El objetivo de este ensayo es determinar las condiciones óptimas (agua y radiación) para la sobrevivencia, crecimiento y establecimiento *in situ* de plántulas de algarrobilla.

Para estimar el umbral de agua requerido y asegurar un buen establecimiento se establecerá un diseño factorial en bloques, considerando adición de agua y nivel de sombra como los 2 factores a controlar. Se consideran 4 tratamientos de adición de agua: 3 simulando la precipitación histórica reportada en la literatura (descrita con anterioridad) de 50, 100 y 200 mm cada uno, más un cuarto tratamiento de riego frecuente por goteo de caudal controlado. Los riegos serán implementados en el período de lluvias (Junio a agosto) de acuerdo al patrón de precipitación natural. Para los riegos de 50, 100 y 200 ml, el agua se agregará simulando eventos de precipitación de 25 ml, con una frecuencia de riego quincenal. Esto se traduce en 2 eventos para 50 ml, 4 para 100 ml y 8 para 200. El ensayo comenzará en invierno después de una lluvia. Si esta no ocurre, se considerará darle un riego de instalación equivalente a una precipitación de 25 ml.

Se utilizarán 2 condiciones de sombra: sin sombra y sombra con malla Rachel (85% de sombra). Por tanto cada tratamiento consistirá en las combinaciones de ambos factores,

dando un total 8 tratamientos. A su vez cada tratamiento constará de al menos 3 réplicas con al menos 20 plantas cada una. En total serían 24 cuadrantes con al menos 20 plántulas cada una, dando un total de 480 plántulas del experimento.

Los experimentos serán debidamente protegidos mediante una malla metálica que evite el acceso de potenciales especies herbívoras (reptiles, aves y mamíferos). El terreno en donde se emplazaran los experimentos será debidamente limpiado, removiendo cualquier forma de vida vegetal presente, con el objeto de evitar cualquier tipo de interacción (Ej. Alelopatía, efecto nodriza).

Los datos recopilados serán: sobrevivencia, altura y diámetro basale las plántulas. Durante los primeros tres o cuatro meses, el experimento será monitoreado quincenalmente, para posteriormente seguir con evaluaciones mensuales. Además, se medirá el potencial hídrico del suelo mediante psicrómetros de suelo Wescor conectados a microvoltímetros y el crecimiento radicular, mediante un sistema de monitoreo de crecimiento de raíces, CI-600 Root Scanner System (frecuencia estacional).

Al final del experimento se realizará la excavación de parte de las parcelas para determinar la estructura, distribución y profundidad del sistema radicular de una fracción de las plántulas. Se medirá el peso seco de las estructuras aérea y subterráneas para calcular la relación raíz / tallo y β (coeficiente de distribución radicular). En esta etapa, se aprovechará de medir el potencial hídrico de las plántulas removidas arriba descritos.

Adicionalmente y en forma paralela, se realizarán ensayos acotados de transplante en terreno con el fin de probar la factibilidad de usos de diferentes tecnologías como geles hidratantes. Para ello primero se realizará una búsqueda de las tecnologías disponibles en el mercado, tanto en el país como en el extranjero.

c) Ensayo de sobrevivencia y establecimiento de semillas pregerminadas de Algarrobilla

El objetivo de este ensayo es determinar las condiciones óptimas de sobrevivencia in situ de plántulas de Algarrobillas generadas a partir de semillas pregerminadas.

A diferencia del ensayo anterior, este ensayo considera sembrar in situ semillas pregerminadas. Previo a su siembra, las semillas serán tratadas en laboratorio para romper su latencia y humedecidas, de manera e asegurar su germinación sincrónica in situ. Se utilizará el mismo diseño y manejo propuesto para el experimento anterior (b) y en general se realizara el mismo plan de monitoreo.

e) Umbrales de agua para el establecimiento de algarrobilla

El objetivo de este ensayo, es establecer ex situ los umbrales hídricos máximos y mínimos requeridos para la sobrevivencia crecimiento de plántulas de algarrobilla

Previamente, en laboratorio se tiene planificado realizar un ensayo de germinación y establecimiento de algarrobilla en un gradiente de disponibilidad de agua con el fin de establecer los umbrales máximos y mínimos de requerimiento hídrico para estas especies, en condiciones de invernadero. Esto permitirá, identificar un rango de condición hídrica base, que permitan conocer la respuesta en sobrevivencia y crecimiento en función de los niveles de riego a ser aplicados en el ensayo in situ. El gradiente considerado incluye al menos 8 distintos niveles de riego dentro del rango de 0 a 200 ml, distribuidos regularmente dentro de un periodo de 3 meses a una frecuencia de un riego semanal.

Ensayo de propagación vegetativa de algarrobilla *ex situ*

En el primer año y paralelo a la propagación por semillas, se implementará un ensayo de propagación vegetativa, para determinar si es posible por esta vía llegar a obtener plántulas de las algarrobilla que no produjeron semillas esta temporada y que serán removidas pronto. Normalmente la propagación vegetativa es compleja y de muy bajo éxito para las especies leñosas como la algarrobilla.

En el ensayo se evaluará el efecto de diversas concentraciones de hormonas vegetales (AIB, ANA) en el éxito de enraizamiento de esquejes de algarrobilla. Si este ensayo es exitoso se procedería a la propagación masiva de las plantas que serán removidas el primer año. Sin embargo, se plantea la propagación vegetativa como una vía complementaria a la propagación por semillas, la cual será, en esta propuesta, la vía relevante para obtener plántulas de algarrobilla.

Resultados esperados

Con estas metodologías se pretende obtener al menos un 60% de éxito para el riego de 200 ml, y el 75% para el riego constante tanto en los ensayos de plantación como en los de germinación. El diseño experimental propuesto permite mejorar y reevaluar aquellos parámetros que se requieran, con el propósito de alcanzar al menos un 75% de éxito. Estos valores de éxito serán evaluados en los primeros 6 meses de experimentación.

Resumen estudio de la Dinámica de la población de algarrobilla

1. Factores demográficos:

- Variabilidad ambiental
- Ecología de la población
- Distribución y abundancia
- Estructura y tamaño de la población
- Reclutamiento y mortalidad natural

3. Ecología fisiológica:

- Tasa fotosintética

- Estrés hídrico
- Sistema radicular
- Supervivencia de plántulas
- Tasa de crecimiento y establecimiento de plántulas

4. Características del hábitat:

- Análisis de suelo
- Determinación de materia orgánica
- Determinación de fósforo, nitrógeno, potasio disponible
- Determinación de pH

INSTITUTO
AGRICULTURA

ANT: ORD N° CR/548, mediante el cual se envía el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto "Proyecto Minero Puquíos "

MAT: Envía Adenda N°3

La Serena, 24 de Enero de 2011

DE: Karina Fuentes Santander
Directora (S) Regional del Servicio de Evaluación Ambiental

Secretaria Comisión Regional del Medio Ambiente de la
Región de Coquimbo

A: Según distribución

Sírvase encontrar adjunto el Adenda N°3 al Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Proyecto Minero Puquíos , presentado por el Señor Gerardo Findel Westermeier, en representación de Sociedad Legal Minera Las Pascualas Uno de Estancia de Chingoles.

El mencionado Adenda contiene las respuestas preparadas por el titular del proyecto respecto de las observaciones contenidas en el documento informe Consolidado de Solicitud de Aclaraciones, Rectificaciones y/o Ampliaciones al Estudio de Impacto Ambiental antes indicado.

Dicha Adenda y los documentos asociados se encuentran disponibles en el sitio Web <http://www.e-seia.cl>, al cual usted podrá ingresar utilizando su clave personal.

Al respecto, solicito a usted, que en el ámbito de su respectiva competencia:

- a. Informe fundadamente si el proyecto en cuestión cumple con la normativa de carácter ambiental,
- b. Informe si se han identificado todos los permisos ambientales sectoriales aplicables al proyecto, en el ámbito de sus competencias, y se pronuncie expresamente respecto del cumplimiento de los requisitos y contenidos de dichos permisos, y
- c. Opine si las medidas propuestas se hacen cargo adecuadamente de los efectos, características o circunstancias establecidas en el artículo 11 de la Ley 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente, incorporando los fundamentos de esa opinión.

En caso de requerir nuevas aclaraciones, rectificaciones o ampliaciones, éstas sólo podrán referirse a los antecedentes presentados en el adenda.

El mencionado informe deberá ser remitido a este Servicio a más tardar el día 31 de Enero de 2011. Vencido este plazo se continuará con la evaluación.

Ante cualquier consulta comunicarse con la Señorita Karen Lassalle Lassalle, dirección de correo electrónico klassalle.4@sea.gob.cl, número telefónico 51-219534 anexo 105.

Sin otro particular, saluda atentamente a usted,

Karina Fuentes Santander
Directora (S) Regional del Servicio de Evaluación Ambiental
Secretaria Comisión Regional del Medio Ambiente de la
Región de Coquimbo

JMV/KLL

Adj. lo indicado

Distribución: