

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



“RECONVERSIÓN DE CAMPOS FORESTADOS DE LA UNIDAD MINERA MARÍA TERESA
DE MINERA COLQUISIRI S.A., HUARAL, LIMA”

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR:
FELIPE INJOQUE ESPINOZA

LIMA – PERU

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

“RECONVERSIÓN DE CAMPOS FORESTADOS DE LA UNIDAD MINERA MARÍA TERESA
DE MINERA COLQUISIRI S.A., HUARAL, LIMA”

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL

FELIPE INJOQUE ESPINOZA

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Ing. José Eloy Cuellar Bautista Dr.
Presidente

Ing. Gilberto Domínguez Torrejón, Dr.
Miembro

Ing. Rosa María Hermoza Espezúa
Miembro

Ing. María Isabel Manta Nolasco, Dra
Asesora

DEDICATORIA

A mis padres, Julio y Ena, que fueron ejemplo de vida, siempre.

A mi querida esposa, Carolina, por ser ella en todas las vicisitudes de la vida.

A mis queridos hijos Gustavo, siempre ángel encarnado, Miguel, con quien hemos compartido aspiraciones profesionales, Felipe y Daniel, que tienen talento y un mundo por delante.

INDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	CAPITULO I.....	2
2.1	DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	2
2.1.1	Ubicación.....	2
2.1.2	Actividad.....	2
2.1.3	Organización.....	3
2.2	DESCRIPCIÓN GENERAL DE EXPERIENCIA.....	5
2.2.1	Actividad desempeñada.....	5
2.2.2	Propósito del puesto.....	5
2.2.3	Resultados globales.....	7
3	CAPITULO II.....	8
3.1	Fundamentos teóricos.....	8
3.1.1	Sitio forestal.....	8
3.1.2	El agua y las plantaciones forestales.....	9
3.2	Descripción de Área de Estudio.....	10
3.2.1	Área de estudio.....	10
3.2.2	Clima.....	11
3.3	Metodología.....	14
3.3.1	Descripción del Problema.....	14
3.3.2	Revisión de antecedentes.....	14
3.3.3	Planteamiento para la solución del problema.....	15
3.3.4	Gestión del proyecto.....	24
4	CAPITULO III: RESULTADOS.....	24
4.1	Sobre el consumo hídrico de los campos forestados.....	24
4.2	Con relación al proyecto de reconversión forestal.....	28
4.2.1	Especies Forestales Seleccionadas.....	28
4.2.2	Beneficios obtenidos por Minera Colquisiri S.A.....	29
5	CONCLUSIONES.....	30
6	RECOMENDACIONES.....	31
7	REFERENCIAS.....	31
8	ANEXOS:.....	34

LISTA DE CUADROS

1- Cuadro 1: Resumen de Precipitación mensual (1984-2016).....	12
2- Cuadro 2: Resumen de Temperatura Promedio Mensual (1984-2016).....	13
3- Cuadro 3: Resumen de requerimientos físicos de especies evaluadas.....	18
4- Cuadro 4: Producción de plantones en vivero por especies.....	20
5- Cuadro 5: Estimado de consumo actual en escenario seco.....	27
6- Cuadro 6: Estimado de consumo actual en escenario húmedo.....	27
7- Cuadro 7: Estimado de consumo actual en escenario medio.....	28
8- Cuadro 8: Relación de especies seleccionadas para la U.M. Colquisiri.....	29
9- Cuadro 9: Estimado de consumo reconversión en escenario medio.....	29

LISTA DE FIGURAS

10- Figura 1: Organigrama de Minera Colquisiri S.A.....	4
11- Figura 2: Ubicación de la Unidad Minera María Teresa.....	11
12- Figura 3: Precipitación Mensual Estación Donoso 1984-2016.....	13
13- Figura 4: Temperatura Media Mensual Estación Donoso 1984-2016.....	13
14- Figura 5: Diagrama de Temperatura y Precipitación de Huaral.....	19
15- Figura 6: Plano del proyecto de Reconversión Forestal (ver Anexos).....	23

INDICE DE ANEXOS

16- Plano Parcela 1 y 2.....	35
17- Plano Parcela 3.....	36
18- Plano Parcela 5... ..	37
19- Plano de Campo 7.....	38
20- Plano de Campo 10 y 11	39
21- Plano de Campo 13.....	40
22- Plano de Campo 14.....	41
23- Plano de Campo 15 y 16.....	42
24- Plano Plantación Cerco Vivo 1.....	43
25- Plano Plantación Cerco Vivo 2.....	44

RESUMEN

Minera Colquisiri S.A es una empresa minera que opera en Huaral, la Unidad Minera María Teresa desde 1984 en el paraje Jecuán, distrito y provincia de Huaral. Desde los años noventa comenzó a forestar áreas circundantes a la operación, primero con eucalipto y luego con molle costeño y a lo largo de los años se alcanzó a plantar 15 hectáreas.

Durante el año 2017 se contrató a la empresa Lellingeria que hizo un inventario forestal y una evaluación de demanda hídrica para las plantaciones, y se realizó un balance hídrico por la empresa Stockholm que mostró un consumo de más de 16 litros por segundo de consumo en los campos forestados. Desde mediados de 2017 se participó en la empresa como asesor en temas ambiental, social y forestal, tomando conocimiento de estos estudios.

Aplicando los conocimientos de ecología forestal de la profesión, se buscó evaluar el consumo desde el punto de vista de las características climático-edáficas de las especies en sus puntos de origen, lo que permitió determinar que la demanda, considerando las especies principales, tenía un consumo de 5 a 7 litros por segundo, lo que se tradujo en reducción de consumo. Pero surgió la iniciativa de plantear la reconversión de la plantación con miras a la etapa final de cierre, considerando las especies adecuadas al ecosistema desértico costero. La evaluación hizo ver que el ahorro hídrico podría ser aún mayor y preparar a la plantación para el estrés hídrico de un consumo menor mirando la etapa de cierre final de la operación de acá a 10 o 15 años, cuando se agoten las reservas y se desmantele la operación y se reduzca la disponibilidad de agua de riego.

Se planteó seleccionar especies adecuadas al clima, como *Acacia macracantha* “Huarango”, *Prosopis pallida* “algarrobo” y se realizó un expediente para la reconversión de la plantación, el cual se irá implementando desde este año 2021.

Palabras clave: demanda hídrica, reconversión forestal

PRESENTACIÓN

El presente trabajo constituye un reporte y contribución de la labor de asesoramiento profesional que se viene realizando en Minera Colquisiri, por el que suscribe, específicamente

en el ámbito forestal. Se sustenta en la propuesta de servicios presentada y aprobada por la Gerencia General de la empresa, que se tradujo en el desarrollo de servicios que se prestan desde el 27 de junio de 2017.

El servicio prioritario requerido fue el apoyo en el proceso de evaluación y certificación de un Informe Técnico Sustentatorio (ITS) presentado por la empresa para aprobar el Recrecimiento del Dique y Capacidad de Almacenamiento del Depósito de Relaves N° 3 ante el Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE), hasta su aprobación, seguido luego del proceso de la Modificación del Estudio de Impacto Ambiental para el Nuevo Depósito de Relaves N° 4, entre otros servicios en el campo ambiental y de permisos.

El componente social de la asesoría inicialmente se orientó a tomar conocimiento de las poblaciones del área de influencia directa e indirecta, enfocando la necesidad del proceso de participación ciudadana que se dará en los próximos Instrumentos de Gestión Ambiental, como la Modificación del Estudio de Impacto Ambiental (MEIA) para el Nuevo Depósito de Relaves N° 4, que se prioriza luego de la aprobación del ITS N° 3. Posteriormente se apoyó el proceso de planificación del área social, así como en el de organización.

El componente forestal fue considerado en los meses subsiguientes, coincidiendo con una consultoría de la empresa Lellingiería, conformada por profesionales de ciencias biológicas que evaluaron las áreas forestadas e hicieron un estudio de la demanda hídrica de estas. En esta primera etapa, la asesoría se focalizó en hacer una evaluación de las especies forestales utilizadas en las áreas forestadas, así como las que corresponderían a un clima desértico, que pudieran significar un ahorro de recurso hídrico si se implementan esas especies en la plantación.

La formación en manejo forestal, basada en los cursos de ecología forestal, silvicultura, ordenación forestal y ordenación de cuencas, facilitaron la rápida interpretación de la problemática de consumo de agua en el riego de los campos forestales mantenidos en un terreno originalmente eriazo, el cual se irrigó con un sistema de bombeo y riego por inundación y canales, que en 2017 implicaba un consumo de 17 l/s (litros por segundo) y que en 2018 en base a la evaluación de Lellingiería (mayo y junio 2018) y del suscrito (julio 2018), permitieron una caracterización actualizada y la determinación de una demanda hídrica en

base a un modelo agronómico utilizado en cultivos por parte de Lellingeria y en base al diagrama bioclimático de las zonas de origen de las especies forestales, que permitió determinar un requerimiento más ajustado a la necesidad de los campos, que se llevó a 5 o 6 l/s, determinada por la predominancia de *Schinus terebinthifolius*.

En agosto de 2019 se asume la posición de Gerente de Medio Ambiente y Permisos, incluyendo entre las funciones la continuación de los trabajos derivados de la evaluación de las especies forestadas y su desarrollo en un expediente para reconversión de las áreas forestadas a una matriz de especies adecuada al clima costero con restricciones de disponibilidad hídrica. Este expediente se afinó y se aprobó para ejecución, iniciando las labores de vivero en el presente año y las labores culturales de poda y aclareo, para permitir la implantación de las nuevas especies a un distanciamiento mayor, con un sistema de riego optimizado.

La orientación profesional para el manejo de los campos forestales fue planteada por el suscrito como una contribución para buscar solución a la proyección de demanda hídrica requerida en el proceso en un escenario de futuro crecimiento de la producción de la planta concentradora. Esto evidenció la necesidad de ahorrar más agua en el riego. Adicionalmente se sumó la visión de cierre de la operación, tomando en consideración que, al término de la etapa productiva, se mantendrían actividades y recursos mínimos, siendo imposible sostener un sistema de riego. Por tal motivo, el planteamiento de reconversión forestal hacia una matriz de especies más adecuada al clima desértico solucionaba el problema hídrico generando el ahorro en el riego y preparando los campos forestados para la etapa de post cierre.

1 INTRODUCCIÓN

Minera Colquisiri S.A es una empresa que opera la Unidad Minera María Teresa desde 1984 en el paraje Jecuan, distrito y provincia de Huaral. Desde los años noventa comenzó a forestar áreas circundantes a la operación, primero con eucalipto (*Eucaliptus sp*) y luego con molle (*Schinus terebinthifolius*) alcanzando a lo largo de los años a plantar 15 hectáreas.

Durante el año 2017 la empresa contrató a la empresa Lellingeria que hizo un inventario forestal y una evaluación de demanda hídrica para las plantaciones, que mostró un consumo de 12 a 15 litros por segundo de agua. Desde mediados de 2017 se participó en la empresa como asesor en temas ambiental, social y forestal, tomando conocimiento de estos estudios.

Aplicando los conocimientos de ecología forestal de la profesión, se buscó evaluar el consumo desde el punto de vista del climatograma de las especies en sus puntos de origen, lo que permitió determinar que la demanda considerando las especies principales, debía ser de 5 a 7 litros por segundo, aproximadamente la mitad del consumo inicial. Pero surgió la iniciativa de plantear la reconversión de la plantación con miras a la etapa final de cierre, considerando las especies adecuadas al ecosistema desértico costero. La evaluación hizo ver que el ahorro hídrico podría ser aún mayor y preparar a la plantación para el estrés hídrico de un consumo menor mirando la etapa de cierre final de la operación de acá a 10 o 15 años, cuando se agoten las reservas minerales y se desmantele la operación, que incluye el uso de agua autorizado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), cuya recirculación tratada permitía el riego de los campos.

Se planteó seleccionar especies adecuadas al clima, como *Acacia macracantha* “Huarango”, *Prosopis pallida* “algarrobo” en macizos, así como de *Eucaliptus camaldulensis* para los cercos vivos y se realizó un expediente para la reconversión de la plantación, el cual se irá implementando desde este año 2021 hasta 2022.

OBJETIVOS

- Objetivo general: Optimizar a largo plazo el consumo de agua de los campos forestales de la Unidad Minera María Teresa mediante la reconversión forestal, aumentando la disponibilidad para la planta concentradora.

- Objetivos específicos:
 - a. Determinar el agua consumida en los campos forestados en la Unidad Minera María Teresa en el año 2017-2018.
 - b. Estimar la necesidad real de agua de los campos forestados en la Unidad Minera María Teresa en función de las características ecológicas de las especies dominantes.
 - c. Impulsar un proyecto de reconversión de la plantación con el fin adecuar los campos a la futura condición de cierre.

2 CAPITULO I

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

2.1.1 Ubicación

Minera Colquisiri S.A. es una empresa peruana que opera la Unidad Minera María Teresa en el paraje Jecuan, entre los distritos de Huaral y Chancay, aproximadamente a noventa kilómetros de la ciudad de Lima.

2.1.2 Actividad

La actividad principal de la empresa es la producción de concentrados polimetálicos a partir de la explotación y beneficio de minerales polimetálicos que se encuentran en las concesiones mineras que conforman la Unidad Económica Administrativa María Teresa. En ella se emplaza un depósito de sulfuros masivos

volcánico, el cual tiene presencia económica de sulfuros de cobre, plomo y zinc, con contenidos de plata. El emplazamiento se encuentra en el llamado Cerro La Mina que se ubica en la cadena de cerros que interrumpe de norte a sur la llanura aluvial de la margen derecha del río Chanchay, entre Cerro La Culebra y Cerro La Mina.

Para su desarrollo en la zona eriaza colindante hacia el este con el valle agrícola aledaño, la empresa fue desarrollando la forestación de áreas, mediante la recirculación del agua de procesos tratada. Esto ha sido parte de la estrategia de gestión ambiental, que siempre acompañó el desarrollo de la empresa.

2.1.3 Organización

Minera Colquisiri S.A. es una Sociedad Anónima que tiene Junta General de Accionistas, la cual sesiona una vez al año y está dirigida por un Directorio, que se reúne mensualmente con participación de la Gerencia General. Conforman la alta dirección complementada por la Gerencia de Administración y Recursos Humanos, la Gerencia de Operaciones, la Gerencia Técnica, la Gerencia de Seguridad y Salud Ocupacional, la Gerencia de Medio Ambiente y Permisos.

MINERA COLQUISIRI S.A.
ORGANIGRAMA

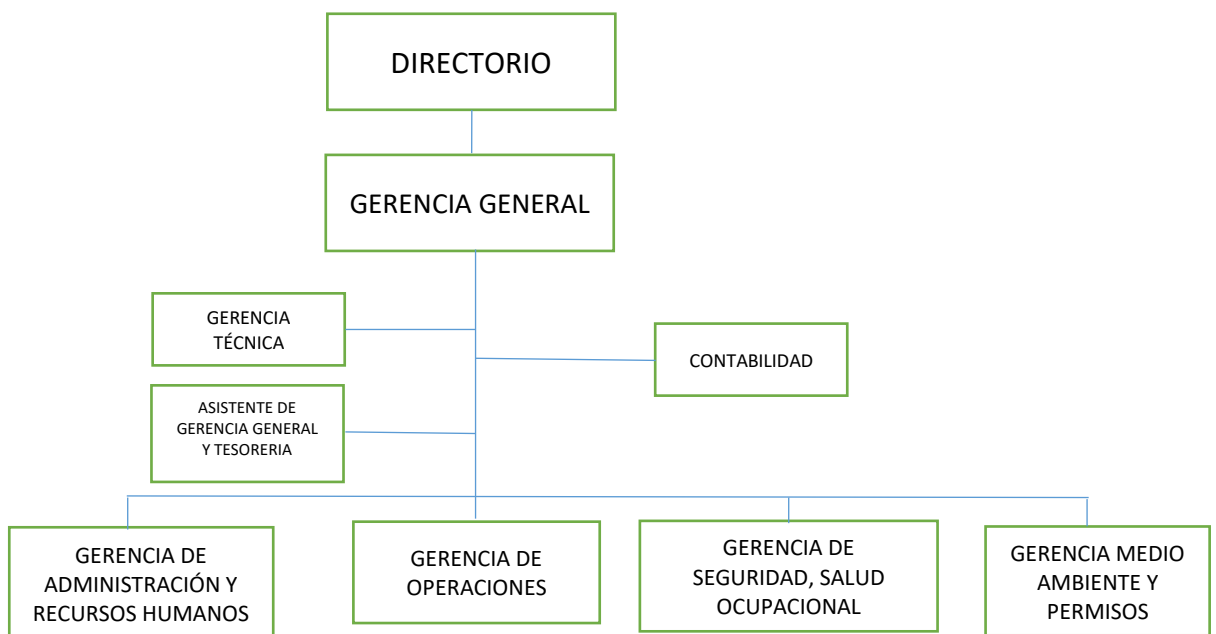


Figura 1: Organigrama de Minera Colquisiri S.A.

La operación de la Unidad Minera María Teresa es conducida por la Gerencia de Operaciones secundado por la sub-Gerencia de Producción. Superintendencias de línea productiva y de servicios permiten la operación y el cumplimiento de las obligaciones legales, administrativas, laborales, ambientales, sociales y de soporte varias. La fuerza laboral es de más de 300 trabajadores y empleados de compañía, así como más de 380 trabajadores y empleados de terceros.

2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE EXPERIENCIA

2.2.1 Actividad desempeñada

La Gerencia de Medio Ambiente y Permisos se constituye en agosto de 2019 luego de que el suscrito participara de las labores de asesoramiento en temas ambientales, sociales y forestales desde junio de 2017, apoyando a la Gerencia General y a las Gerencia Técnica y la Gerencia de Administración y Recursos Humanos.

Las funciones referidas al ámbito forestal están vinculadas a la estrategia de recirculación del agua de procesos tratada en la forestación y mantenimiento de campos forestados aledaños a la operación. Son estas las que están estrechamente ligadas a los campos temáticos de la carrera profesional.

2.2.2 Propósito del puesto

La Gerencia de Medio Ambiente y Permisos, tiene a su cargo las funciones de gestionar los permisos y licencias que la Unidad Minera requiere para operar legalmente, lo cual incluye también la gestión ambiental de la calidad y consumo de agua, calidad de aire, gestión de los residuos, como área de soporte de la operación. Ello incluye la gestión de estudios o instrumentos de gestión ambiental (IGAS) a través de consultoras registradas ante el Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE), otros profesionales y empresas vinculadas al desarrollo de la ingeniería de los componentes a ser autorizados. También incluye la gestión ambiental en la operación de la Unidad Minera María Teresa. Acá forma parte relevante el mapeo de los requisitos legales en el marco de un sistema de gestión, conduciendo al equipo que conforman 7 profesionales y más de 9 operarios, así como consultores.

2.2.2.1 **Ámbito Forestal**

La evaluación de sitios de las especies forestales para la forestación de la Unidad Minera María Teresa, julio 2018, es detallada a continuación.

Para la evaluación de los campos forestales existentes, se ha revisado los informes de la empresa Lellingeria que fue contratada para realizar el “Inventario Florístico y Forestal en Áreas Forestadas” presentado en mayo 2018 y “Estimación de Demanda Hídrica en Áreas Forestadas” presentado en junio 2018. Del mismo modo se realizaron visitas de campo a la unidad, recorriendo los campos forestados, para completar la visión y comprensión del espacio forestal de Minera Colquisiri S.A. en la Unidad María Teresa.

Se consideró la utilización de la información bioclimática de las especies forestales principales de sus zonas de origen, para estimar la necesidad hídrica, recopilando la información técnica de cada una.

Las principales actividades realizadas en el ámbito forestal dentro de la labor de asesoramiento y luego de gerenciamiento del área fueron las siguientes:

- Revisión del Inventario Florístico y Forestal en Áreas Forestadas. Lellingeria mayo 2018.
- Revisión de la Estimación de Demanda Hídrica en Áreas Forestadas. Lellingeria junio 2018.
- Elaboración de la Evaluación de Sitios de las Especies Forestales para la forestación de la Unidad Minera María Teresa. Este trabajo incluyó la revisión de literatura sobre las características bioclimáticas de las especies forestales siguientes:
 - *Schinus terebinthifolius*
 - *Eucaliptus camaldulensis*
 - *Casuarina cunninghamiana*
 - *Populus nigra*
 - *Schinus molle*

- *Prosopis pallida*
- *Caesalpinia spinosa*
- *Guadua angustifolia*
- *Acacia macracantha*

Sobre la base de los trabajos revisados y el elaborado, se planteó la necesidad de elaborar un expediente de reconversión forestal, orientado a cambiar gradualmente la matriz de especies de los campos hacia especies correspondientes a las características de suelo y especialmente de clima local.

2.2.3 Resultados globales

En base a la evaluación de los trabajos realizados y de la investigación realizada, se pudo determinar lo siguiente:

- El consumo hídrico global de los campos sobre la base de un 78.8 % de dominancia de *Schinus terebinthifolius* y 38.9 % de *Eucalyptus cunninghamiana*, estimado para 14.27 hectáreas es de alrededor de 5 litros por segundo.
- Adicionalmente se ha logrado establecer en la empresa el objetivo de reconversión forestal con miras al ahorro de agua y a la etapa de post cierre. Se tiene ya un expediente para la ejecución del proyecto el cual está en la etapa de implementar el vivero y preparar los plantines para iniciar la campaña de reconversión en 2022.
- Se seleccionó las especies *Acacia macracantha* y *Prosopis pallida* para la reconversión forestal de los campos.
- Se estimó en el futuro la reducción de consumo hídrico conforme la plantación reconvertida se establezca y reemplace a la anterior matriz de especies a menos de 2 litros por segundo.

3 CAPITULO II

3.1 Fundamentos teóricos

3.1.1 Sitio forestal.

Huayama Andrade, Guillermo. 2021 cita a varios autores, como Donoso, C. 1981 y Barnes et al. 1998, que coinciden en definir el sitio forestal como la combinación entre factores del clima y del suelo en un área determinada de la superficie terrestre, con condiciones homogéneas para el desarrollo vegetal, como Schlatter JE, V Gerding. 2014.

Sitio = f (clima, suelo)

Se considera al sitio como una función del clima y del suelo, por lo que las variaciones que existan en clima y suelo a nivel macro, definirán de forma amplia los espacios ecológicos donde puede prosperar una especie, pero las variaciones micro definirán las condiciones óptimas para su productividad, como también para la especialización de algunas poblaciones.

Por ejemplo, en forma macro, sobre un espacio geográfico puede darse una precipitación determinada, pero la exposición de laderas a la insolación determinará que aquella que está más expuesta, tendrá mayores ratios de evaporación, reduciendo la disponibilidad hídrica, por lo tanto, la oferta para que una especie prospere. De la misma forma abrigos formados por quebradas protegerán más del viento a un lugar, favoreciendo las condiciones para algunas especies. Es el caso en las lomas donde especies arbustivas y herbáceas temporales encuentran condiciones para un desarrollo vegetativo mayor y completan sus ciclos

más eficientemente, favoreciendo así a otras especies que utilizarán este espacio para prosperar igualmente, como serán insectos, caracoles y otros que encuentran abrigo y alimento disponible, a la vez que protección contra las inclemencias del viento.

Baridon et al 2001, evaluó la calidad de sitio forestal para *Eucaliptus camaldulensis* mediante índices edáficos en Argiudoles y Argiacuoles, confrontando los resultados en un ensayo biológico in situ. Este encontró diferencias significativas en el desarrollo y rendimiento entre las dos calidades de suelo.

Para la instalación de cultivos y plantaciones la ingeniería de detalle de un proyecto se basa en el conocimiento de las características climáticas, topográficas y edáficas.

3.1.2 El agua y las plantaciones forestales.

Llerena et al. 2007, plantea varios objetivos de las plantaciones forestales, incluyendo aquellas con fines de servicios ambientales, como vendrían siendo las de Minera Colquisiri S.A. En este trabajo los autores explicitan un dilema entre madera y agua, en el contexto de escenarios de escasa oferta hídrica. Destacan las siete relaciones biofísicas entre los bosques (naturales y artificiales), el agua y la gente entre las que plantean que bosques pueden captar la humedad atmosférica de las neblinas o “lluvia horizontal”, condensarla y, por un goteo continuo, aumentar el agua del suelo.

También cita que en un 90 % de los experimentos de transpiración evaluados por Wullschleger et al (1998), el consumo de agua oscila entre 10 y 200 kilos por día.

Según la Corporación Chilena de la Madera (CORMA) junio 2015 (Corporación Chilena de la Madera), un individuo adulto de eucalipto consume entre 25 y 30 litros por día y una hectárea de pino o eucalipto creciendo a razón de 25 m³ por año requiere evapotranspirar un caudal equivalente a 0.3 litros por segundo (o 960 mm) Este consumo de las plantaciones es suministrado por las precipitaciones, la humedad del suelo y el agua subterránea cuando la napa freática es superficial y permite a las raíces alcanzarla. En el caso de las plantaciones de Minera Colquisiri S.A. el agua es suministrada por riego a partir del agua recirculada del proceso, después de ser tratada.

3.2 Descripción de Área de Estudio

3.2.1 Área de estudio.

La Unidad Minera María Teresa, cuya cesionaria es Minera Colquisiri S.A., con Planta de Beneficio “Colquisiri” de propiedad de Minera Colquisiri S.A., políticamente se ubicada en el distrito de Chancay-Huaral, provincia de Huaral en el departamento de Lima. En el margen derecho de la cuenca baja del río Chancay-Huaral denominado Cerro la Mina. A una altitud que varía entre los 130 y los 220 msnm. El área está localizada al norte de la ciudad de Lima, a 7 km al Oeste de la ciudad de Huaral (altura del kilómetro 82 de la carretera Panamericana Norte, en el sector denominado Cerro la Mina).

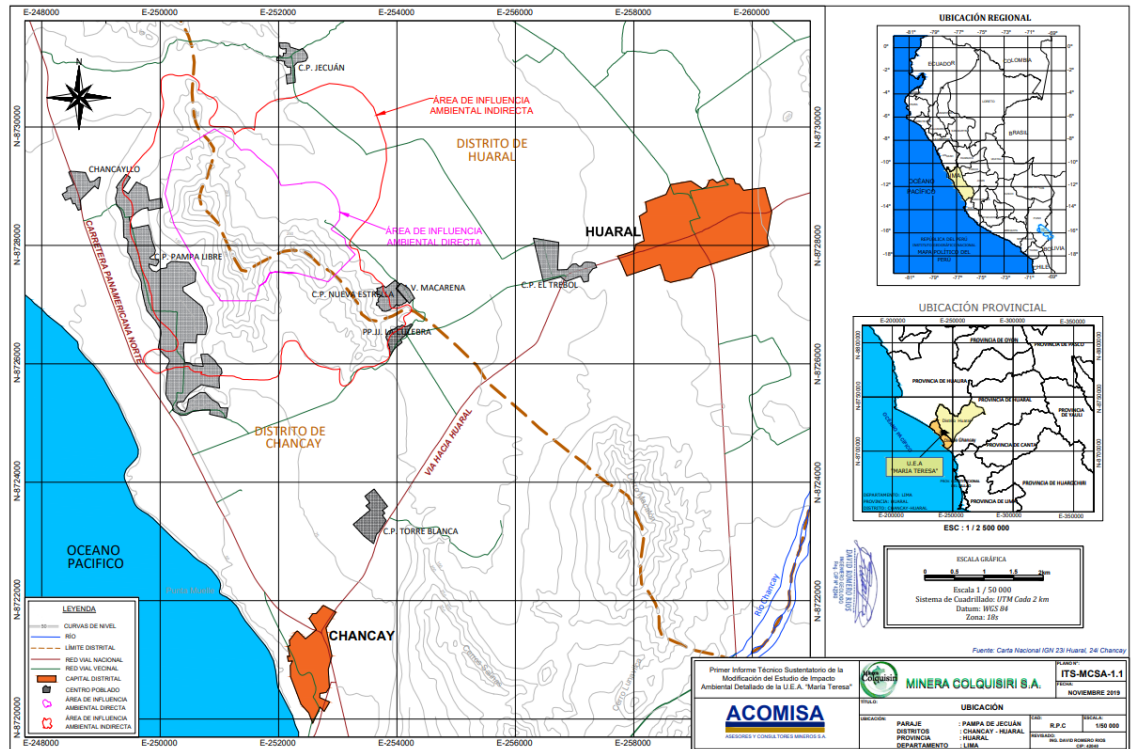


Figura 2: Ubicación de la Unidad Minera María Teresa

3.2.2 Clima

Se considera que Huaral tiene un clima desértico. No hay virtualmente ninguna lluvia durante el año en Huaral. Esta ubicación está clasificada como árido, desértico y cálido (BWh) por Köppen y Geiger. En Huaral, la temperatura media anual es de 19.4 ° C y la precipitación promedio es de 21 mm. (fuente: <https://es.climate-data.org/>, 2018)

De acuerdo con el Mapa Climático del Perú de SENAMHI la zona de Huaral corresponde a un clima árido, semicálido y húmedo, con deficiencia de lluvia en todas las estaciones del año. Con precipitaciones entre 0 y 5 mm en la zona adyacente al litoral. Le corresponde el código E (d) B'1 H3 (ACOMISA, 2020).

La menor cantidad de lluvia ocurre en febrero. El promedio de este mes es 0 mm. Los meses húmedos van de junio a octubre con las características neblinas que forman el ecosistema de lomas.

La pluviosidad anual es de alrededor de 16 mm. La variación en la precipitación entre los meses más secos y los más húmedos es 3 mm. La variación en la temperatura anual está alrededor de 6.5 ° C.

Las temperaturas son más altas en promedio en febrero, alrededor de 23.0 ° C. A 16.5 ° C en promedio, agosto es el mes más frío del año. Estación Donoso, ubicada en Huaral.

Latitud :11° 28' "S" Distrito : HUARAL

Longitud :77° 14' "W" Provincia : HUARAL

Altitud :182 msnm Departamento : LIMA

Cuadro 1: Resumen Precipitación total mensual promedio 1984-2016 (ACOMISA, 2020)

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio	1	2.1	1.2	0.2	0.9	3.2	3.4	4.6	2	0.4	0.5	1.4
Máximo	8	18	6.4	2	3.6	10.8	12.3	13.4	8.2	3.7	4.7	10.4
Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

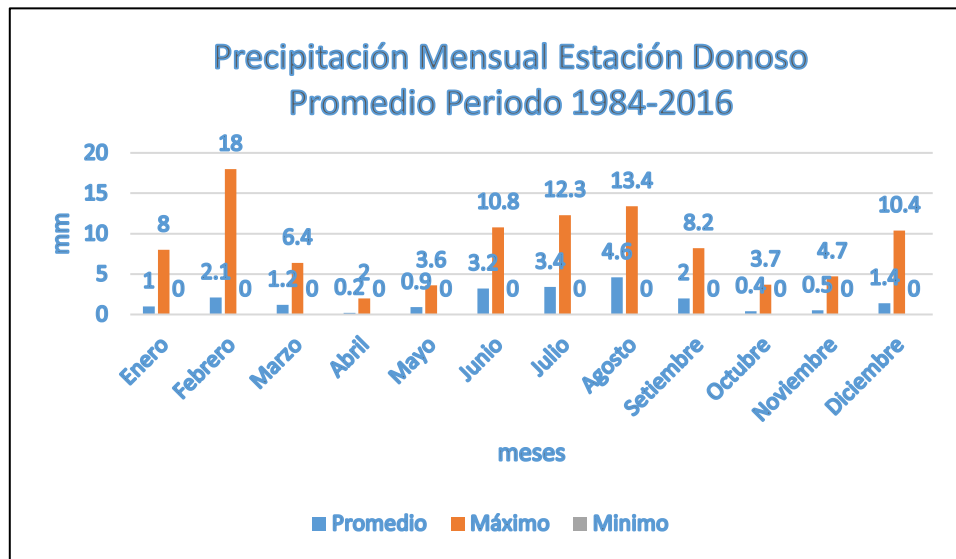


Figura 3: Precipitación Mensual Estación Donoso 1984-2016 (ACOMISA, 2020)

Cuadro 2: Resumen de Temperatura Promedio Mensual (1984-2016) (ACOMISA, 2020)

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio	22.3	23.1	22.6	20.8	18.7	17.3	16.6	16.3	16.7	17.5	18.6	20.5
Máximo	26.7	26.7	26.1	24.4	21.8	22.3	21.9	21.2	21	20.4	22.2	24.4
Mínimo	20.8	22	20.8	19.2	17.1	15.5	14.7	14.6	14.9	16.1	17.4	19.1

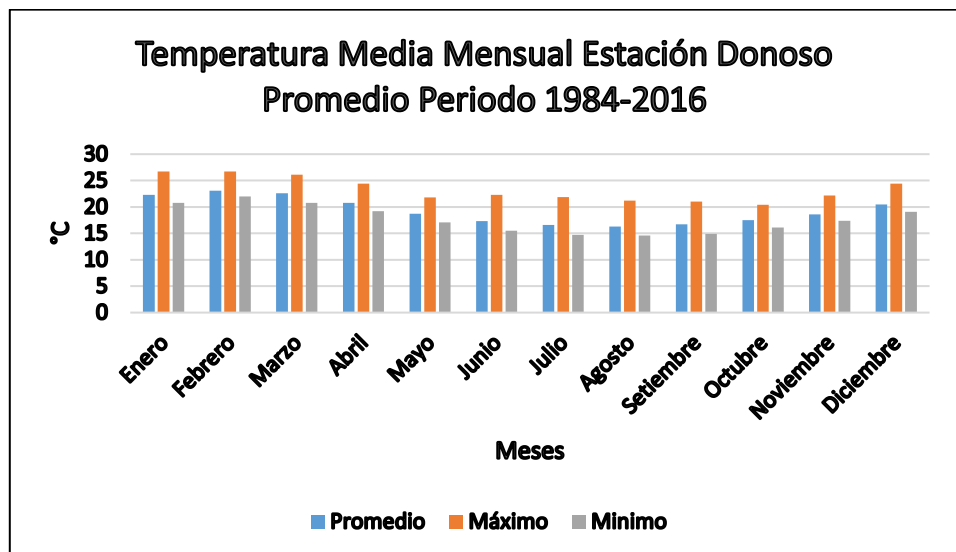


Figura 4: Temperatura Media Mensual Estación Donoso 1984-2016(ACOMISA, 2020)

3.3 Metodología

3.3.1 Descripción del Problema

Minera Colquisiri S.A. ha desarrollado durante varios años actividades de forestación con dos propósitos: el primero para crear barreras verdes o cercos vivos, que protejan visualmente los límites de la propiedad, especialmente la zona de operaciones y relaveras; el segundo para utilizar el agua de re-uso del proceso metalúrgico y mantener una operación con descarga cero.

Las especies utilizadas en los cercos vivos prioritariamente fueron del género *Eucaliptus*, un género procedente de Australia. Para el desarrollo de los macizos forestales se utilizó además de especies forestales, el carrizo (*Arundo donax*), para fines operacionales de cobertura y control de polvo fugitivo. Las especies forestales predominantes fueron *Eucaliptus camaldulensis* y *Schinus terebinthifolius*.

3.3.2 Revisión de antecedentes

Se identificó la composición de especies que contribuyen con la cobertura vegetal, así como la composición de las especies en los 16 campos, Lellingeria, 2018.

Se analizó la metodología de estimación de demanda hídrica, que incluyó la estimación de la evapotranspiración a través del cálculo de la evapotranspiración potencial utilizando el método de Penman-Monteith, (FAO, 2008)

utilizando el software CROPWAT 8.0 – FAO, que procesó la data de temperatura promedio, humedad relativa, velocidad promedio del viento y horas de sol. También incluyó el cálculo de Coeficiente del Cultivo, que es un parámetro que sirve para caracterizar funcionalmente los cultivos y que lo distinguen de un cultivo de referencia estandarizado, pastos, el cual posee una apariencia uniforme y cubre completamente la superficie del suelo (Lellingeria, 2018). Adicionalmente evaluaron la precipitación efectiva por varios métodos estandarizados que demostraron un valor de 0 el cual refleja que la precipitación recibida es insuficiente para mantener las áreas forestadas, por lo que se procedió a evaluar el sistema de riego para determinar las eficiencias en cada etapa del proceso. Finalmente calcularon la demanda hídrica en base a la fórmula que correlaciona la evaporación real con la evapotranspiración y el coeficiente del cultivo. En base a esto calcularon la demanda hídrica en millones de metros cúbicos por año para cada campo. Esto fue transformado a litros por segundo para todos los campos.

3.3.3 Planteamiento para la solución del problema

Se realizó la evaluación de sitios de las especies forestales principales utilizadas en los campos forestales de la Unidad Minera María Teresa, así como las potencialmente utilizables para el futuro de acuerdo a sus características ecológicas. Este trabajo incluyó la revisión de literatura sobre las características bioclimáticas de las especies forestales siguientes:

Acacia macracantha

Caesalpinea spinosa

Casuarina cunninghamiana

Eucaliptus camaldulensis

Guadua angustifolia

Populus nigra

Prosopis pallida

Schinus molle

Schinus terebinthifolius

Se recopiló información disponible en varias fuentes para conocer las características ecológicas de cada especie, su zona de origen, sus características botánicas, requerimientos de suelo y de precipitación. Ello sirvió para determinar los consumos hídricos estimados de las especies forestales dominantes en los campos y proyectar así mismo el requerimiento que podría tener el mismo espacio forestal reconvertido con especies más adecuadas al entorno ecológico desértico.

Según Lellingeria, 2018, se evaluaron 16 campos forestados. En el inventario forestal se contabilizaron 4283 árboles, de los cuales el 58.84% (2520 árboles) corresponden al “molle costeño” *Schinus terebinthifolius*; mientras que 33.92% (1453 árboles) son de “eucalipto” *Eucaliptus camaldulensis* en un área de 14.27 hectáreas.

Según Cruz, 2019 en la Unidad María Teresa, las áreas forestadas con las especies exóticas mencionadas en su Memoria Descriptiva requieren de suplemento de agua de riego y los árboles de eucaliptos han tenido buen desarrollo en altura, pero, sufren de muerte regresiva en un alto porcentaje, aparentemente, por infección de hongos. Mientras el molle costeño tiene un desarrollo más lento, pero sin un buen mantenimiento, crece en forma desordenada. El riego es por inundación, motivando un alto desperdicio hídrico.

La revisión de información climática de las especies principales que componen los campos y aquellas posibles para la plantación de cercos vivos, permitieron conocer los datos del régimen pluvial anual de las distintas especies, con lo cual se pudo estimar un consumo hídrico de los campos en base a su clima de origen.

En el siguiente cuadro se presenta el cuadro que resume dicha revisión.

Cuadro 3: Resumen de requerimientos físicos de especies evaluadas encontradas en las referencias.

Especies evaluadas en 2018 por el autor, para determinar el requerimiento de los campos en función de las especies encontradas en el inventario y las que potencialmente se podrían utilizar para la reconversión forestal. Se toma que 1 mm de precipitación equivale a litro por metro cuadrado y siendo el dato es anual, se lleva a hectárea multiplicando la precipitación x 10,000

luego se divide entre el tiempo, 365 días, 24 horas, 60 minutos y 60 segundos. Luego se lleva al área bajo riego en 2018.

Especie	Características									
	Altura metros	Rango pluviosidad	Rango de temperatura	Rango Altitudinal	Tipo de suelos	Drenaje	Uso	Precipitación promedio asumida mm/año	Requerimiento Hídrico lps/ha	Requerimiento hídrico para 14.27 hectáreas
<i>Acacia macracantha</i>	6	50	1-15°C	0-3000	francoarenoso	bueno	macizo	50	0.02	0.23
<i>Caesalpiea spinosa</i>	5-12	200	5-35°C	0-3000	francoarenoso	bueno	macizo	200	0.06	0.90
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	30-35	700	10 a 20 °C	0-500	francoarenoso	bueno	cercos vivos	700	0.22	3.17
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	30-35	250-600	18 a 26 °C	0-500	francoarenoso	bueno	cercos vivos	425	0.13	1.92
<i>Guadua angustifolia</i>	20	1200-2500	17-26°C	0-2000	francoarenoso	bueno	cercos vivos	1,850	0.59	8.37
<i>Populus nigra</i>	30	600	4-30 °C	0-1800	húmedos variable	bueno	cercos vivos	600	0.19	2.71
<i>Prosopis pallida</i>	8-20	250-500	15-35°C	0-1500	francoarenoso	bueno	macizo	375	0.12	1.70
<i>Schinus molle</i>	10-12	50	15-25°C	0-3600	francoarenoso	bueno	macizo	50	0.02	0.23
<i>Schinus terebinthifolius</i>	5-7	950-2200	15-28°C	0-300	francoarenoso	bueno	macizo	1,575	0.50	7.13

En el siguiente diagrama se muestra la relación de temperatura y precipitación en la zona de Huaral y la zona de influencia de la Unidad Minera María Teresa.



Figura 5: Diagrama de Temperatura y Precipitación de Huaral (fuente: <https://es.climate-data.org/>. 2018)

Este climograma no se puede comparar con los de aquellas localidades de origen de especies foráneas al clima desértico de la costa del Perú, en los que existe condiciones pluviales adecuadas para el desarrollo arbóreo, que en este caso deben ser compensados con riego y con estrategias adecuadas.

Sobre la base de los trabajos revisados y el elaborado, se planteó la necesidad de elaborar un expediente de reconversión forestal, orientado a cambiar gradualmente la matriz de especies de los campos hacia especies correspondientes a las características de suelo y especialmente de clima local.

Primero se elaboró una memoria descriptiva del proyecto que incidió en la descripción del área de estudio, describiendo el clima local, las zonas de vida, las características del suelo, las características del agua de riego. Luego se realizó la selección de especies tanto para los macizos, como para cercos vivos. Se evaluaron entre otras especies Acacia macracantha, Prosopis pallida, Schinus molle, Caesalpinea spinosa, y Casuarina cunninghamiana.

Luego determinó las tareas para realizar la plantación de reconversión, como preparación de terreno, trazado, traslado de plantines, llenado de hoyos. Del mismo modo se definió las labores culturales posteriores a la instalación, como el riego, el deshierbe, el recalce, el abonamiento, poda, control de plagas y luego el sistema de riego. Esta memoria concluyó estimando un presupuesto, que sirvió de base para la previsión en la empresa, con lo que se pudo empezar la programación.

Luego se afinó esta memoria en un expediente técnico que definió la estrategia de intervención de forma detallada. Se definió las tareas del vivero para la producción de la siguiente forma:

Cuadro 4. Producción de plántones en vivero por especies

Especie	Nombre científico	Nº de plantas.
Huarango	<u>Acacia macracantha</u>	1,200
Algarrobo	<u>Prosopis pallida</u>	800
Eucalipto	<u>Eucalyptus camaldulensis</u>	1,500
TOTAL		3,500

Para la plantación en macizo se ha seleccionado el diseño cuadrado latino, para poder realizar las labores de

mantenimiento y riego sin problemas y se seleccionó un distanciamiento de 10x10m (10m entre planta y planta y 10m entre las filas), con el fin de sembrar más un ecosistema de sabana, correspondiente a las especies seleccionadas. Este diseño permite o facilita los trabajos que se realizarán para las actividades culturales. Las especies que se consideraron para la reconversión del macizo actual son el huarango y el algarrobo en un 60% y 40% respectivamente.

Para la plantación de cercos se ha seleccionado una especie forestal de rápido crecimiento *Eucalyptus camaldulensis*, definiéndose el sistema de plantación a tresbolillo en dos filas con un distanciamiento de 3 entre plantas y 3 m entre filas, se tiene considerado instalar en el proyecto 1,817 metros lineales de cerco en dos áreas para el establecimiento de 1,351 plantones. Se ha considerado las tareas de raleo y poda para aclarar el macizo actual y dejar un radio de 3 metros alrededor de cada planta que se instale en el macizo. Del mismo modo se ha considerado el uso de geles para retención de humedad.

En la Figura 6 se muestra el plano general de los campos forestados y en los anexos se muestra el detalle del proyecto de reconversión forestal con la distribución de plantas en los planos siguientes: Plano Parcela 1 y 2, Plano Parcela 3, Plano Parcela 5, Plano de Campo 7, Plano de Campo 10 y 11, Plano de Campo 13, Plano de Campo 14, Plano de, Campo 15 y 16, Plano Plantación Cerco Vivo 1, Plano Plantación Cerco Vivo 2 y la Carta de Autorización de la Empresa.

En la actualidad los campos totalizan un área menor que la considerada en el proyecto, debido a la incorporación de

áreas nuevas para los cercos vivos y recuperación de áreas que estuvieron anteriormente sembradas con carrizo que se utilizaba en la cobertura de los depósitos de relaves y que forman parte del área declarada en los instrumentos ambientales de la empresa.

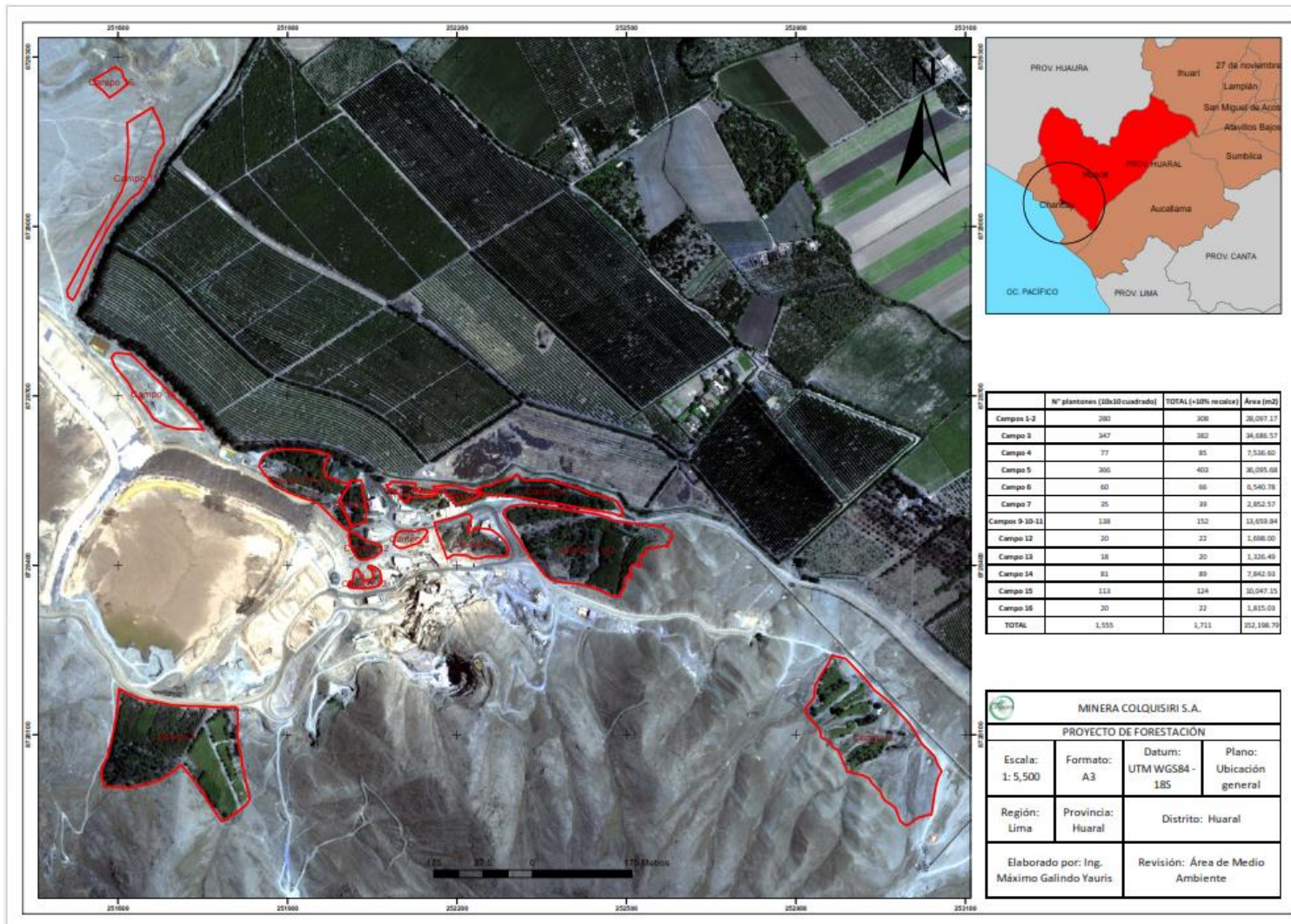


Figura 6: Plano del proyecto de Reconversión Forestal

3.3.4 Gestión del proyecto

El equipo del departamento de Medio Ambiente tiene a su cargo la formulación presupuestal anual, donde se incluyó este proyecto a nivel del de inversión o CAPEX.

Durante 2021 se implantará el vivero para iniciar la etapa de almácigo. Durante 2022 se llevarán adelante las labores principales del proyecto, lo que se ejecutará a través de una empresa agrícola, bajo la supervisión profesional de un ingeniero forestal y del área de Medio Ambiente y Permisos.

4 CAPITULO III: RESULTADOS

4.1 Sobre el consumo hídrico de los campos forestados

En las plantaciones forestales de la región de Bio Bío, con un régimen pluvial anual de 1,200 a 1,300 mm (CORMA, 2015), un individuo adulto de eucalipto consumiría entre 25 y 30 litros de agua por día, y una hectárea de pino o eucalipto, creciendo a razón de 25 m³ por año, requeriría evapotranspirar un caudal equivalente a 0.3 litros por segundo (960 mm).

Una plantación o forestación en un clima desértico deberá considerar las características bioclimáticas para optimizar el uso de agua y asegurar la sostenibilidad a largo plazo.

La empresa Consorcio Stockholm, asesora a Minera Colquisiri S.A. en el tratamiento de aguas residuales en el

balance de agua realizado en 2018, encontraron que el agua que se bombeaba a la forestación para los 16 campos totalizaba un caudal de 16.39 litros por segundo. En el balance de agua realizado en 2020, encontraron que el agua que se bombeaba a la forestación para los 16 campos totalizaba un caudal de 4.93 litros por segundo. La razón de esta diferencia fue que en 2018 se logró tener el estimado de la demanda hídrica de los campos.

Entre estos dos resultados, se realizó la evaluación de la demanda hídrica por parte de Lellingeria junio 2018 y la realizada desde el punto de vista forestal, por el autor en agosto de 2018. Lellingeria estimó un volumen anual de demanda hídrica de 165,000 m³, que representa 5.23 litros por segundo.

A partir de 2019 se empezó a recircular el agua tratada de la Planta de Tratamiento de Aguas Industriales en una proporción de dos tercios al proceso productivo, solo derivándose al riego un tercio del agua tratada, lo que fue la razón principal de la reducción encontrada.

Schinus terebinthifolius, es descrito en la página web Jardín Botánico de la Universidad de Málaga como un árbol de talla pequeña, entre 5 y 7 metros de altura con copa densa y color verde oscuro, con ramas abiertas o múltiples y tronco retorcido, con corteza oscura y fisurada. Tiene hojas imparipinnadas, con 7-13 folíolos elípticos u obovados, siendo el terminal de mayor tamaño. Pecíolos cortos, alados y rojizos. Folíolos de margen algo aserrado o entero, de color verde reluciente en el haz y mate en el envés. Flores dispuestas en racimos axilares o terminales, siendo pequeñas y de color verdoso. Frutos rojizos de 2-3 mm de

diámetro dispuestos en racimos muy ornamentales. Pertenece al Orden Sapindales, familia Anacardiaceae. Tolera gran variedad de suelos, exposición soleada o semisombra, pero sensible a heladas. Es originario del noreste, centro-oeste, sureste y sur de Brasil. Tiene un rango de precipitación entre 950 y 2200 mm (Orwa C. 2009).

Eucalyptus camaldulensis es descrito en la página web del Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de Plagas del Gobierno Argentino como la especie de "Eucalyptus" de más amplia área de dispersión en Australia continental. Tolera rangos de precipitación de los 200 a más de 1100 mm/año. Mientras que CONABIO 2016, es más conservador indicando una variación entre 250 y 600 mm, tomándose como referencia. Tolera rangos de altitud de 20 a 700 msnm. Fuera de Australia es la principal especie de eucalipto plantada en zonas áridas o semi áridas y resiste tanto condiciones de extrema sequía como inundaciones periódicas, tolerando suelos salinos y se adapta a subsuelos con terreno arcilloso. Árbol de gran porte, puede alcanzar hasta 30 m de altura (varía entre 9 y 50 m en Australia), con diámetros de hasta 2 m. Tronco a menudo bifurcado y torcido, aunque también puede verse ejemplares bastantes rectos.

Para los efectos de cálculo de demanda hídrica, considerando un 58.8 % de predominancia de molle costeño y 33.9 % de eucalipto, tomado de lo reportado por Lellingieria, 2018. En este reporte totaliza 4283 árboles, de los cuales el 58.84% (2520 árboles) corresponden al “molle costeño” mientras que 33.92% (1453 árboles) son de “eucalipto”. Se puede establecer valores medios de

precipitación entre los rangos encontrados en la literatura. Para el molle entre 950 y 2200 mm (Orwa C. 2009), se considera 1575 mm. Para el eucalipto entre 250 y 600 mm, 425 mm. (CONABIO, 2016).

Se calcula para 14.27 hectáreas plantadas el consumo sobre la base de 3 escenarios. Escenario seco considerando el valor más bajo de precipitación en su ecosistema originario. Escenario húmedo considerando el valor más alto en su ecosistema originario y escenario medio considerando un promedio de ambos. El cálculo se realiza sobre la base de ponderar el porcentaje de la especie en el campo y su requerimiento, generando un promedio ponderado de cada escenario.

Los resultados de estos tres escenarios son 2.98 litros por segundo para el escenario seco, 6.93 litros por segundo para el escenario húmedo y 4.95 litros por segundo para el escenario medio.

Cuadro 5: Estimado de consumo actual en escenario seco

Especie	Altura metros	Precipitación asumida mm/año	Requerimiento Hídrico lps/ha	Porcentaje de individuos	Consumo en litros por segundo para 14.27 hectáreas
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	30-35	250	0.08	39	0.44
<i>Schinus terebinthifolius</i>	5-7	950	0.30	59	2.54
					2.98

Cuadro 6: Estimado de consumo actual en escenario húmedo

Especie	Altura metros	Precipitación asumida mm/año	Requerimiento Hídrico lps/ha	Porcentaje de individuos	Consumo en litros por segundo para 14.27 hectáreas
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	30-35	600	0.19	39	1.06
<i>Schinus terebinthifolius</i>	5-7	2200	0.70	59	5.87
					6.93

Cuadro 7: Estimado de consumo actual en escenario medio

Especie	Altura metros	Precipitación asumida mm/año	Requerimiento Hídrico lps/ha	Porcentaje de individuos	Consumo en litros por segundo para 14.27 hectáreas
<i>Eucaliptus camaldulensis</i>	30-35	425	0.13	39	0.75
<i>Schinus terebinthifolius</i>	5-7	1575	0.50	59	4.20
					4.95

El resultado de este cálculo coincide con lo encontrado luego por Stockholm en su balance de agua actualizado a 2020.

El beneficio obtenido de esta manera por la empresa en 2018 fue que se logró la reducción de consumo desde 16.39 litros por segundo a 4.93 litros por segundo en el riego de los campos forestales. Este ahorro de 11.46 litros por segundo, se logra mediante la adecuada evaluación realizada por el autor en julio de 2018, que se aplicó directamente y permitió que se destine a recirculación en planta el grueso de agua tratada en la Planta de Tratamiento de Agua Industrial, que anteriormente se usaba en el riego de los campos. Esto se tradujo en la reducción de consumo de agua fresca desde la fuente autorizada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

4.2 Con relación al proyecto de reconversión forestal

4.2.1 Especies Forestales Seleccionadas

Las especies seleccionadas para forestación en la Unidad Minera María Teresa en base a la tabla de valoración son las que se indican a continuación.

Cuadro 8: Relación de especies seleccionadas para la U.M. María Teresa.

NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE Vulgar	FAMILIA	Zona de vida
Uso en macizos			
1. <i>Acacia macrocarpa</i>	Faique, Huarango	FABACEAE	Árida
2. <i>Prosopis pallida</i>	Algarrobo	FABACEAE	Árida
Uso cerco vivo			
1. <i>Eucalyptus camaldulensis</i> .	Eucalipto costeño	MIRTACEAE	Semiárida

Cuadro 9: Estimado de consumo reconversión en escenario medio.

Especie	Altura metros	Precipitación asumida mm/año	Requerimiento Hídrico lps/ha	Porcentaje de individuos	Consumo en litros por segundo para 15 hectáreas
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	30-35	425	0.13	42.80	0.87
<i>Prosopis pallida</i>	8-20	500	0.16	22.90	0.54
<i>Acacia macracantha</i>	6	50	0.02	34.30	0.08
					1.49

Bajo este escenario de reconversión forestal se puede lograr un ahorro hídrico de 3.46 litros por segundo en el escenario medio, que resulta de comparar el Cuadro 7 y el Cuadro 9, que considera una proporción de especies de 34.3 % de Huarango, 22.8 % de Algarrobo y 42.8 % de Eucalipto de los cercos vivos en base al número de individuos en las hectáreas forestadas (ver cuadro 4).

4.2.2 Beneficios obtenidos por Minera Colquisiri S.A.

- Debido a la evaluación realizada por el autor en 2018, se pudo ajustar en 2019 el consumo de agua a los campos forestales, permitiendo la recirculación de

agua tratada al proceso, lo que conllevó a una reducción del consumo de agua fresca del orden de 30 %. El consumo de agua en 2018 de la fuente autorizada por la Autoridad Nacional del Agua fue de 672,410 m³, mientras que en 2019 fue de 453,580 m³.

- La incorporación del proyecto de reconversión forestal permitirá una recirculación al proceso aun mayor, que será de utilidad para el futuro de la operación.

5 CONCLUSIONES

- Se ha logrado el objetivo de optimizar a largo plazo el consumo de agua, al internalizar en la empresa el proyecto, su presupuesto y su gestión, la cual se ha iniciado con la aprobación del inicio del vivero, para que durante 2022 se realice la tarea principal de reconversión forestal de los campos forestales de Minera Colquisiri S.A. en su unidad María Teresa
- Se ha determinado el consumo de agua en los campos forestados en la Unidad María Teresa en los años 2017-2018 era excesivo, a partir de los balances hídricos realizados por la empresa Consorcio Stockholm, siendo de 16.39 litros por segundo para todos los campos. Luego de la evaluación realizada por el autor en 2018, que incluyó la estimación del consumo hídrico de los campos en base al requerimiento climático de su zona de origen, permitió la optimización del consumo de los campos a 4.93 litros por segundo.
- Se determinó que las especies *Acacia macracantha* y *Prosopis pallida* son las más adecuadas para la reconversión forestal, considerando su ecosistema original y su consumo hídrico adecuado a la zona de Huaral.
- En base al desarrollo del expediente de reconversión forestal se estima que el consumo se podrá reducir a menos de 2 litros en los siguientes años, conforme

se establezca la nueva matriz forestal planteada en el proyecto y se reemplace la actual.

6 RECOMENDACIONES

- Se recomienda profundizar las investigaciones respecto a la sostenibilidad de los bosques creados a partir de agua tratada de la mina que se recuperan en el escenario de cierre.
- En los sectores más antiguos de los campos forestados el eucalipto mostró la enfermedad de muerte regresiva causada por hongos, lo que requiere ser investigado, considerando que se establecerán cercos vivos con esta especie, la cual en este uso tiene muy buen resultado en la vecindad de la Unidad María Teresa. Evaluar la influencia de la condición edáfica en relación con esta enfermedad.
- Se recomienda establecer controles de riego, que permitan conocer en mayor detalle los consumos en los distintos campos, según las condiciones fisiológicas, climáticas, densidad y edad de los individuos.
- Del mismo modo se recomienda establecer parcelas para ensayos de riego controlado que simulen condiciones de cierre, para ver los efectos que tendrá el estrés hídrico en la etapa de cierre.

7 REFERENCIAS

- Asesores y Consultores Mineros S.A. (ACOMISA), febrero 2020. Informe Técnico Sustentatorio de la Modificatoria de Estudio de Impacto Ambiental Detallado de la Unidad Minera María Teresa.
- Baridón, J.E., Lanfranco, J.W., Marlats, R.M., & Vázquez, M. (2001). Evaluación de la Calidad de Sitio Forestal para *Eucalyptus camaldulensis* Mediante Índices Edáficos en Argiudoles y Argiacuoles, Argentina. *Agricultura Técnica*, 61(2), 192-201. <https://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072001000200009>

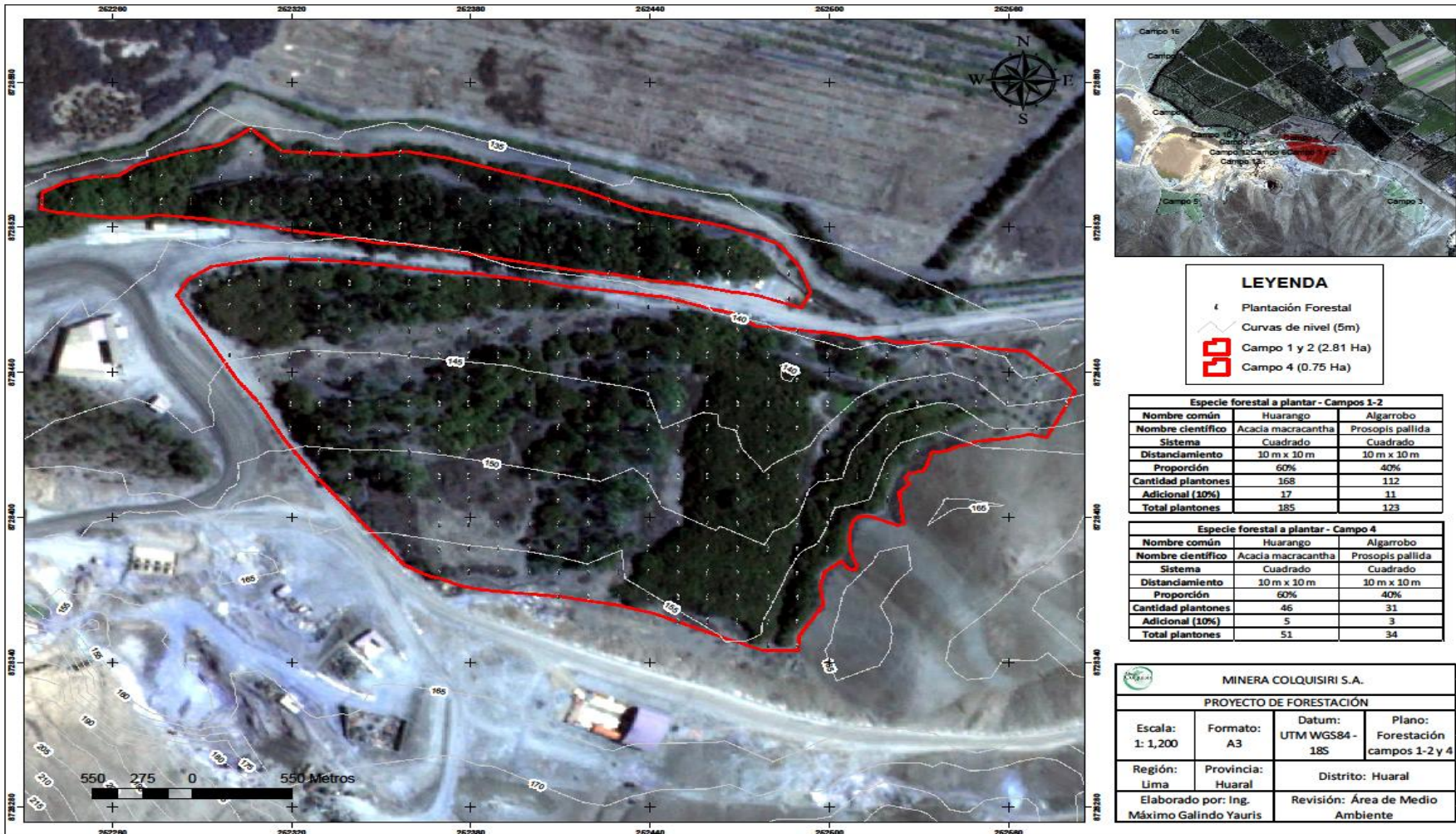
- Cabrera Angel L. y Willink Abraham. (1973). Biogeografía de América Latina. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Departamento de Asuntos Científicos. Secretaría general de la Organización de los Estados Americanos. Washington, D.C.
- Clima mundial. <https://es.climate-data.org/>
- CONABIO, 2016. Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., 1832
- CORMA junio 2015. Corporación Chilena de la Madera. El Agua y las Plantaciones Forestales.
- Cruz Collantes, Teodoro. (agosto 2019). Estudio Técnico Económico para la reconversión Forestal con ahorro de agua utilizando especies tolerantes a sequía y aplicando sistema de riego tecnificado Unidad Minera Colquisiri S.A”. Informe de Consultoría. 119 páginas.
- Galindo Yauris, Máximo. (febrero 2021). Revisión y ajuste final del “Estudio técnico Económico para la Reconversión Forestal con ahorro de agua utilizando especies forestales tolerantes a sequía y aplicando sistemas de riego tecnificado en la Unidad Minera María Teresa” para su ejecución. Informe de Consultoría. 71 páginas.
- Gobierno del Perú. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Mapa Clímático del Perú. Recuperado el 2 de noviembre de 2021 de <https://www.senamhi.gob.pe/?dp=lima&p=mapa-climatico-del-peru>.
- Guevara Díaz, José Manuel. 2006. La Fórmula de Penman-Monteith FAO 1998 para determinar la evapotranspiración de Referencia, ETo. Terra. Vol. XXII, No. 31, 2006, pp. 31-72.
- Injoque Espinoza, Felipe. (julio 2018). Evaluación de sitios de las especies forestales para la forestación de la Unidad minera Maria Teresa. Informe de Asesoría. 45 páginas.
- Lellingieria. (mayo, 2018). Inventario Florístico y Forestal en áreas forestadas. Informe de Consultoría. 22 páginas.
- Lellingieria. junio 2018. Estimación de la demanda hídrica en áreas forestadas. Informe de Consultoría. 37 páginas.

- Llerena P, C.A., Hermoza E, R.M., Llerena B, L.M. PLANTACIONES FORESTALES, AGUA Y GESTIÓN DE CUENCAS. Debate Agrario 42 (2007): 79 – 110.
- Orwa C, A Mutua, Kindt R, Jamnadass R, S Anthony. 2009 Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0. , recuperado el 2 de noviembre de 2021 de http://apps.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Schinus_terebinthifolius.PDF
- Reynel C., Pennington T.D., Pennington R.T. (2016). Árboles del Perú. NERC The Natural Environment Research Council. RBGE Royal Botanic Garden Edinburgh. DI Darwin Initiative UK, CED-FDA Centro de Estudios en Dendrología -Fundación para el Desarrollo Agrario. APRODES Asociación Peruana para la Promoción del Desarrollo Sostenible.
- Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de Plagas del Gobierno Argentino recuperado el 02 de noviembre de 2021 de <https://www.sinavimo.gob.ar/cultivo/eucalyptus-camaldulensis>
- Schlatter JE, V Gerding. 2014. Sitio forestal. In Donoso C, ME González, A Lara eds. Ecología forestal. Bases para el manejo sustentable y conservación de los bosques nativos de Chile. Valdivia, Chile. Ediciones UCh. p. 309-319.
- Universidad de Málaga. Jardín Botánico recuperado el 02 de noviembre de 2021 de <http://www.jardinbotanico.uma.es/bbdd/index.php/jb-42-01/>

8 ANEXOS:

- 1- Plano Parcela 1 y 2
- 2- Plano Parcela 3
- 3- Plano Parcela 5
- 4- Plano de Campo 7
- 5- Plano de Campo 10 y 11
- 6- Plano de Campo 13
- 7- Plano de Campo 14
- 8- Plano de Campo 15 y 16
- 9- Plano Plantación Cerco Vivo 1
- 10- Plano Plantación Cerco Vivo 2

1- PLANO DE PARCELA 1,2



2- PLANO DE PARCELA 3



LEYENDA

- Plantación Forestal
- ~ Curvas de nivel (5m)
- ▭ Campo 3 (3.47 Ha)

Especie forestal a plantar - Campo 3		
Nombre común	Huarango	Algarrobo
Nombre científico	Acacia macracantha	Prosopis pallida
Sistema	Cuadrado	Cuadrado
Distanciamiento	10 m x 10 m	10 m x 10 m
Proporción	60%	40%
Cantidad plantones	208	139
Adicional (10%)	21	14
Total plantones	229	153

MINERA COLQUISIRI S.A. PROYECTO DE FORESTACIÓN			
Escala: 1: 1,100	Formato: A3	Datum: UTM WGS84 - 18S	Plano: Forestación campo 3
Región: Lima	Provincia: Huaral	Distrito: Huaral	
Elaborado por: Ing. Máximo Galindo Yauris		Revisión: Área de Medio Ambiente	

3- PLANO DE PARCELA 5



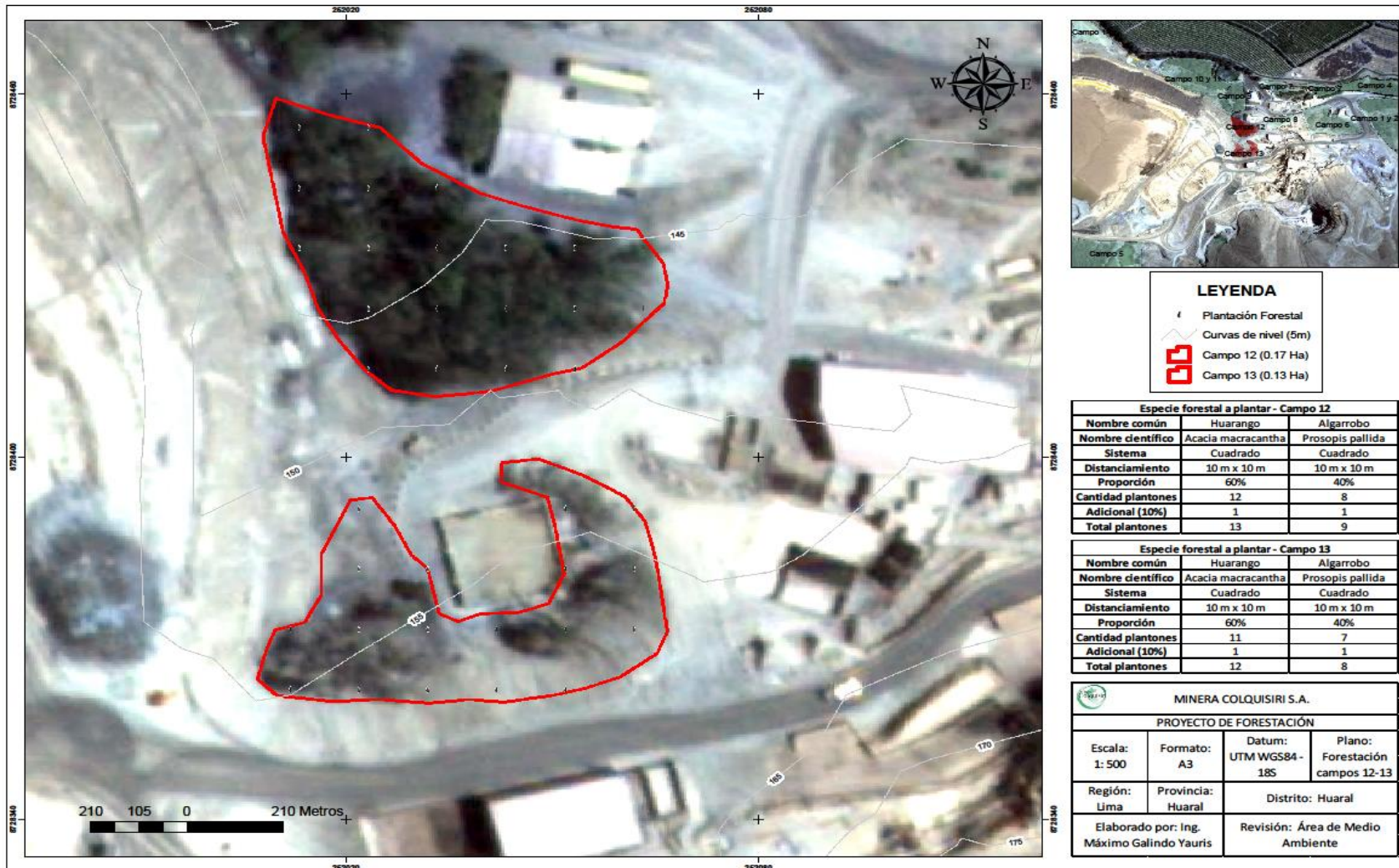
4- PLANO DE CAMPO 7



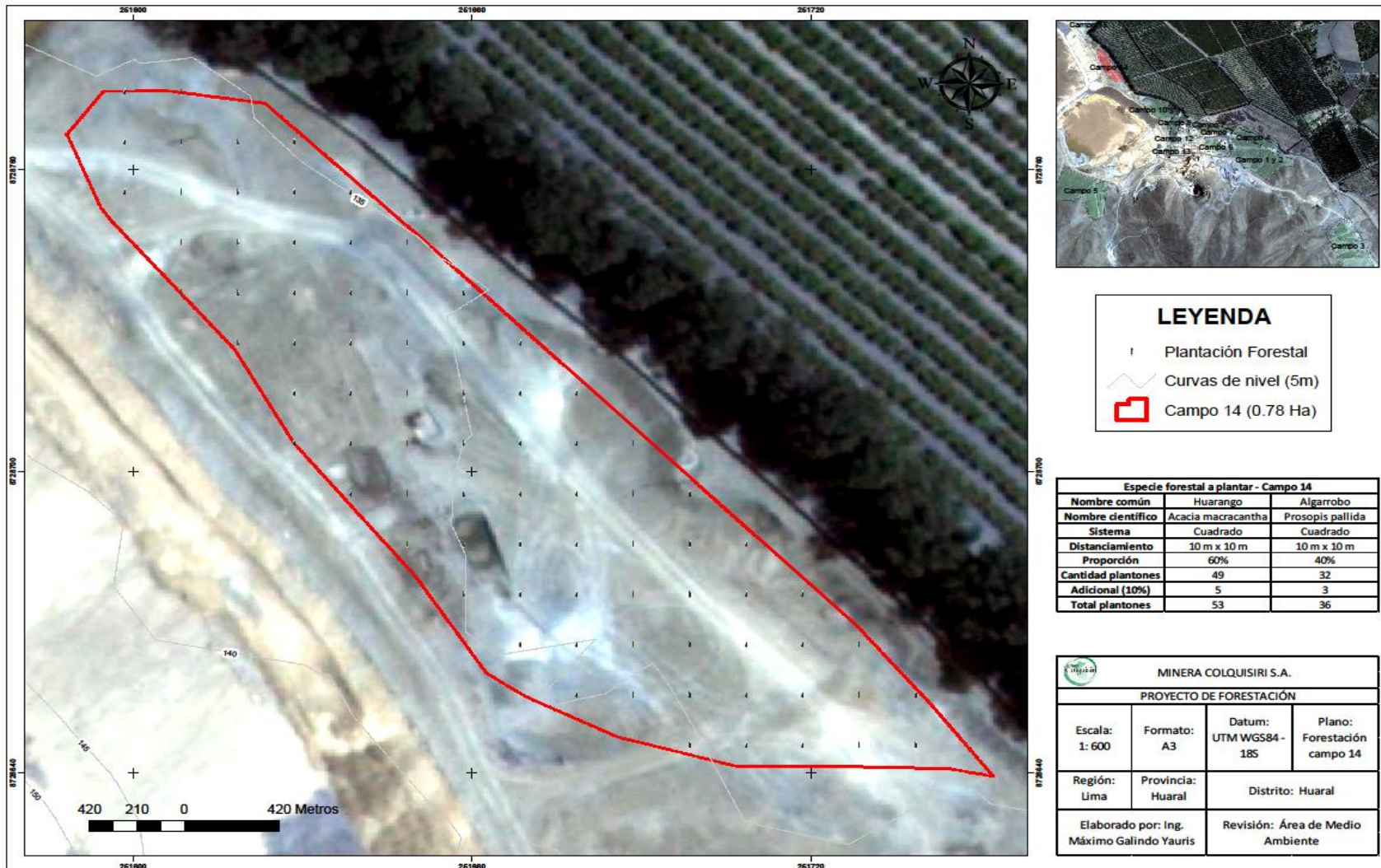
5- PLANO DE CAMPO 10 Y 11



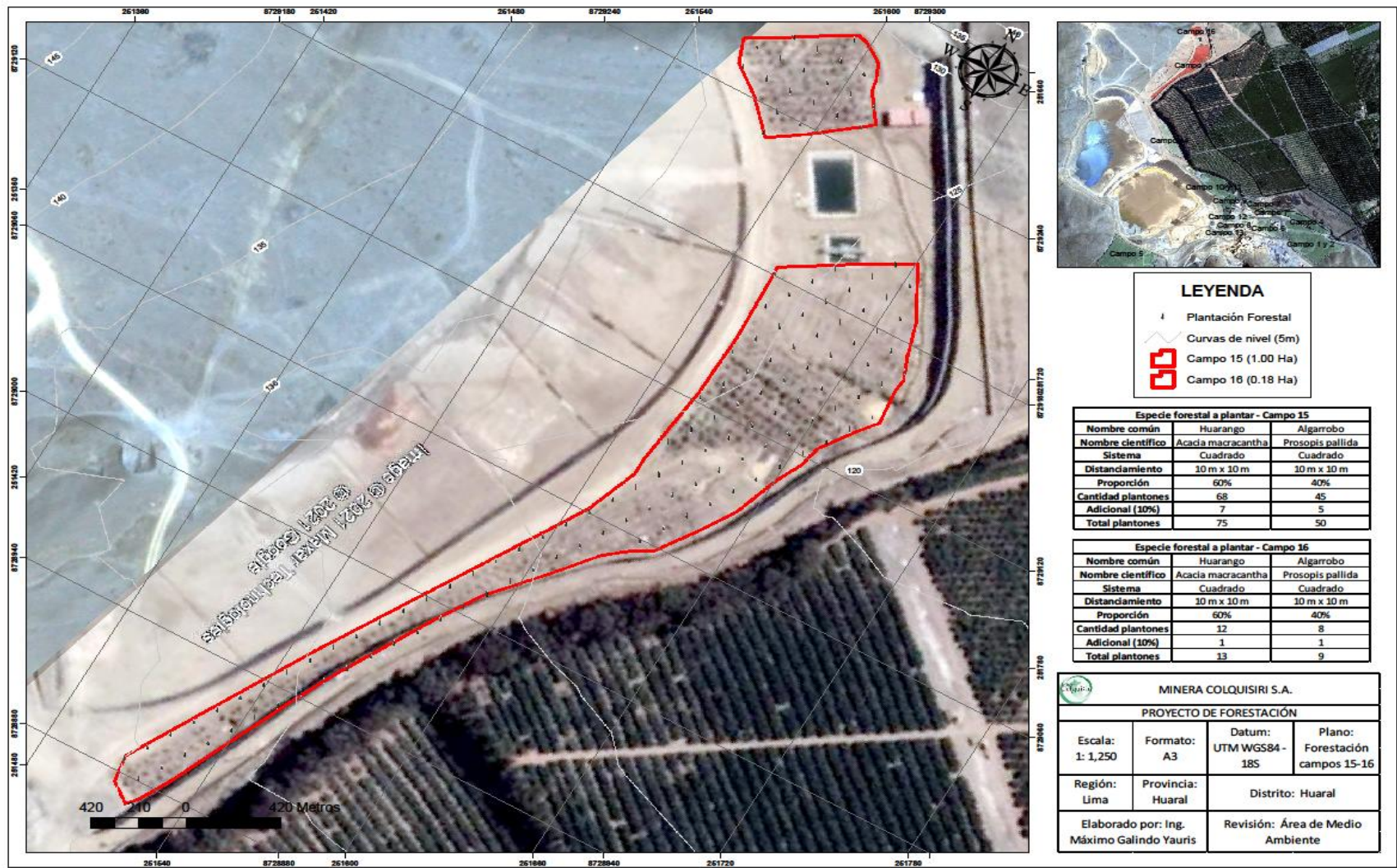
6- PLANO DE CAMPO 13



7- PLANO DE CAMPO 14



8- PLANO DE CAMPO 15 Y 16



LEYENDA

- Plantación Forestal
- Curvas de nivel (5m)
- Campo 15 (1.00 Ha)
- Campo 16 (0.18 Ha)

Especie forestal a plantar - Campo 15		
Nombre común	Huarango	Algarrobo
Nombre científico	Acacia macracantha	Prosopis pallida
Sistema	Cuadrado	Cuadrado
Distanciamiento	10 m x 10 m	10 m x 10 m
Proporción	60%	40%
Cantidad plantones	68	45
Adicional (10%)	7	5
Total plantones	75	50

Especie forestal a plantar - Campo 16		
Nombre común	Huarango	Algarrobo
Nombre científico	Acacia macracantha	Prosopis pallida
Sistema	Cuadrado	Cuadrado
Distanciamiento	10 m x 10 m	10 m x 10 m
Proporción	60%	40%
Cantidad plantones	12	8
Adicional (10%)	1	1
Total plantones	13	9

MINERA COLQUISIRI S.A.			
PROYECTO DE FORESTACIÓN			
Escala: 1: 1,250	Formato: A3	Datum: UTM WGS84 - 18S	Plano: Forestación campos 15-16
Región: Lima	Provincia: Huaral	Distrito: Huaral	
Elaborado por: Ing. Máximo Galindo Yauris		Revisión: Área de Medio Ambiente	

9- PLANO PLANTACION CERCO VIVO 1



LEYENDA

- Plantación Forestal
- Campos
- Curvas de nivel (5m)

Plantación forestal - Cerco vivo 1	
Nombre común	Eucalipto
Nombre científico	Eucalyptus camaldulensis
Sistema	Tresbolillo
Distanciamiento	3 m x 3 m
Cantidad plantones	570
Adicional (10%)	57
Total plantones	627

MINERA COLQUISIRI S.A.			
PROYECTO DE FORESTACIÓN			
Escala: 1:1,200	Formato: A2	Datum: UTM WGS84 - 18S	Plano: Forestación Cerco Vivo 1
Región: Lima	Provincia: Huaral	Distrito: Huaral	
Elaborado por: Ing. Máximo Galindo Yauris		Revisión: Área de Medio Ambiente	

10- PLANO PLANTACIÓN CERCO VIVO 2



LEYENDA

- ▲ Plantación Forestal
- Campos
- ~ Curvas de nivel (5m)

Plantación forestal - Cerco vivo 2	
Nombre común	Eucalipto
Nombre científico	Eucalyptus camaldulensis
Sistema	Tresbolillo
Distanciamiento	3 m x 3 m
Cantidad plantones	658
Adicional (10%)	66
Total plantones	724

MINERA COLQUISIRI S.A.			
PROYECTO DE FORESTACIÓN			
Escala: 1: 1,450	Formato: A2	Datum: UTM WGS84 - JBS	Plano: Forestación Cercos Vivo 2
Región: Lima	Provincia: Huaral	Distrito: Huaral	
Elaborado por: Ing. Máximo Galindo Yauris		Revisión: Área de Medio Ambiente	

