



**UNIVERSIDAD VIÑA DEL MAR  
ESCUELA DE INGENIERIA**

**PLAN DE REVEGETACIÓN DE PRECISIÓN POR MEDIO DEL USO DE  
VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS  
EN EL SECTOR BOTADERO CAQUICITO# 1  
ANGLO AMERICAN-MINERA EL SOLDADO.**

**INFORME DE TRABAJO FINAL PARA OPTAR AL GRADO DE  
MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**CLAUDIA ALEJANDRA ACUÑA ARRIAGADA,**

**GLADYS VIVIANA DIAZ MUÑOZ,**

**RAUL REINALDO SANCHEZ MICHEAS**

**PROFESOR GUIA: HECTOR SILVA BOBADILLA**

**2017**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a nuestro profesor guía por su paciencia, profesionalismo y guía práctica durante este proceso, su mirada objetiva y su capacidad de trabajo bajo presión.

Angloamerican y su departamento de Sustentabilidad por apoyarnos en un plan piloto de re-vegetación en el Sector El Caquicito y la oportunidad de participar con nosotros en un plan de apoyo la Comunidad de El Melón y la asociación gremial de Agricultores y Ganaderos de los Bienes Comunes# 2, comuna de Nogales, V región.

A los trabajadores del Vivero Alborada por su participación en la elaboración de bombas de semillas.

A nuestras familias por la paciencia y apoyo durante estos dos años de participación en el Magister de Gestión Ambiental y en especial por sacrificar junto con nosotros tiempo en familia en pro del término de etapa.

## INDICE

CAPITULO I	22
DESCRIPCIÓN MINERA EL SOLDADO	22
1.1 Antecedentes de Anglo American – Minera El Soldado	22
1.2 Antecedentes del Botadero #1 – El Caquicito	24
CAPITULO II	26
REVEGETACIÓN EN ÁREAS DE ALTAS PENDIENTES	26
2.1 El Problema	26
2.2 Alternativa de Solución por Revegetación de Bombas de Semilla	26
2.3 Alternativa de Monitoreo	29
2.4 Servicio de Monitoreo Satelital	30
2.5 Servicio de Monitoreo por Vehículo Aéreo Tripulado	30
2.6 Servicio de Monitoreo por Vehículo Aéreo No Tripulado	31
2.7 Necesidades & Área de oportunidad	31
2.8 Objetivo General	32
2.9 Objetivo Específico	32
CAPITULO III	33
ANTECEDENTES DEL PLAN PILOTO DE REVEGETACIÓN CHUCKAW	33
3.1 Antecedentes del Proyecto	33
CAPITULO IV	40
CHUCKAW - PLAN PILÓTO DE REVEGETACIÓN	40
4.1 Metodología	40
4.1.1 Metodología Lean Star Up	40
4.2 Metodología de Bombas de Semilla	43
4.2.1Cómo elaborar bombas de semillas	46
4.2.2 Densidad de aplicación	47
4.2.3 Elaboración y seguimiento ex situ de Bombas de Semillas en Vivero Alborada	48
4.3 Metodología de Fabricación Drone	51
4.3.1 Monitoreo Continuo	51
4.3.2Desarrollo del vehículo aéreo no tripulado	51

4.3.2.1 Módulo de Operación	51
4.3.2.2 Módulo de Datos	52
4.3.2.3 Módulo de seguimiento y análisis	52
4.4 Proceso de elaboración piloto	53
4.4.4 Componentes del Hardware	55
4.4.4.1 Motores	55
4.4.4.2 Motor seleccionado	56
4.4.4.3 Circuito ESC	57
4.4.4.4 Batería	58
4.4.4.5 GPS & compás incorporado	59
4.4.4.6 Emisora	60
4.4.4.7 Dispensador de semillas	61
4.4.4.8 Servo motor	62
4.4.4.9 Microcontrolador	63
4.4.4.10 Software APM Planner	65
4.5B Restricciones del piloto	67
4.6 Cálculo Consumo de la batería	67
4.7 Tiempo de vuelo	67
CAPÍTULO V	69
ANÁLISIS DE MODELO DE NEGOCIO CHUCKAW PLAN PILOTO	69
5.1 Modelo de Negocios	69
5.2 Socios claves	69
5.3 Actividades claves	69
5.4 Recursos Claves	70
5.5 Propuesta de valor	70
5.6 Relación con cliente	70
5.7 Segmento Clientes	71
5.8 Estructura de costo	71
5.9 Fuente de ingresos	71
5.10 Presupuesto Fabricación Drone “Chuckaw”	72
CAPÍTULO VI	73
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>75</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura #2-2 Plantación de Plántulas .....	28
Figura #2-3 Siembra con Bomas de Semillas al boleó .....	29
Figura #3-1 Fotografía Satelital del Botadero El Caquicito #1 en Marzo del 2006 .....	35
Figura #3-3 Medición y Marcación de los polígonos que presentan revegetación natural. .....	36
Figura #3-4 Fotografía frontal del Botadero Caquicito #1 y su cabecera.....	38
Figura # 3-5 Fotografía de acercamiento a la Cabecera del Botadero Caquicito #1 .....	39
Figura # 4-1 Proceso del Método Lean Start Up .....	41
Figura #4-2 Elaboración de las Bombas de Semillas en Vivero Alborada.....	47
Figura #4-3 Seguimiento del crecimiento de la bomba de semillas. ....	49
Figura #4-4 Esquema de los módulos.....	53
Figura #4-5 Modelo Drone ATG T650-X4 con brazos extendidos.....	54
Figura # 4-6 Modelo Drone ATG T650-X4 con brazos cerrados.....	55
Figura #4-7 Esquema del Motor .....	57
Figura #4-8 Circuito ESC .....	58
Figura #4-9 Batería .....	59
Figura #4-10 Fotografía de un GPS .....	60
Figura #4-11 Fotografía de la Emisora .....	61
Figura #4-12 Fotografía del Esquema de Impresión del Dispensador de Semillas .....	62
Figura #4-13 Fotografía de Servo Motor .....	63
Figura #4-14 Fotografía del controlador clásico APM 2.6.....	64
Figura #4-15 Fotografía controlador Pixhawk.....	64
Figura #4-16 Software APM Planner con imagen satelital del botadero.....	65

Figura #4-17 Software APM Planner con imagen satelital cargada del área 3 del botadero  
.....66

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1 .....	22
Antecedentes de la Compañía.....	22
Tabla 1-2 .....	23
Antecedentes del Representante Legal de Anglo American Sur .....	23
Tabla 1-3 .....	23
Organigrama .....	23
Tabla 3-1 .....	37
Especies nativas identificadas en las zonas del botadero.....	37
Tabla #3-2: .....	37
Áreas del Botadero El Caquicito #1 asignadas por Anglo American para la revegetación a través del plan piloto Chuckaw. ....	37
Tabla #4-1 .....	45
Materiales que se necesitan para cada bombas de semillas. ....	45
Tabla #4-2 .....	48
Sectores propuesto para el ensayo de la metodología.....	48
Tabla #4-3 .....	50
Seguimiento crecimiento de plántulas ex situ, Vivero Alborada.....	50
Tabla 5-1 .....	72
Costos de fabricación del Drone .....	72

## LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

FPV: (First Person View) Vista en primera persona, es una modalidad que consiste en el manejo de un modelo radio control a través de una mini cámara colocada en este, que a su vez mediante un transmisor envía el vídeo de forma inalámbrica a la posición del piloto, el cual ve la imagen en unas gafas de realidad virtual o en un monitor.

G.P.S: Acrónimo de global positioning system, o sistema de localización global hace referencia a un sistema mediante el cual es posible estimar las coordenadas actuales de una estación en tierra mediante la recepción simultánea de señales emitidas por varios satélites (llamados en conjunto constelación GPS)

IOT: Internet Of all Thing. Se refiere a la interconexión digital de objetos cotidianos con Internet

RPA: Siglas en inglés de Aviones controlados de forma remota (Remotely Piloted Aircraft). Se trata de un concepto que surgió con fuerza en EEUU para prevenir el temor de la población por el uso de estos ingenios en medios urbanos.

RPAS: Siglas en inglés de Sistema aéreo tripulado de forma remota (Remotely Piloted Aircraft System). En el caso de que se incluya el aparato y el sistema de control. Este término ha ido haciendo más popular en cuanto a su uso, principalmente en la UE donde se denomina con este nombre a los aparatos de uso civil.

PX4: Piloto automático profesional para Drone

UAS: Siglas en inglés de Sistema aéreo no tripulado, es decir, el avión más el sistema de control (Unmanned Aerial System).

UAV: Siglas en inglés de Vehículo aéreo no tripulado (Unmanned Aerial Vehicle).

## SIMBOLOS

A	Amperes
APW	Ola plana aumentada (Augmented Plane Wave)
BEC	Chip Back-End
CAN	Red de Campo (Campus Network)
CO <sup>2</sup>	Dióxido de carbono
g	Gramo
HH	Horas hombre
Hz	Hertz
I2C	Integrado al Circuito (Integrated to Circuit)
kg	Kilogramo
kgf	Kilogramo fuerza
KML	Lenguaje de marcas de Key Hole (Key Hole Mark Up Language)
KV	Kilovoltios
LIPO	Baterías de polímero de Litio
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
mAh	Miliamperio hora
MAV	Micro-Air Vehicle
ml	Mililitro

mm	Milimetro
mn	Minutos
NiMh	Batería de Niquel metal hidruro
μs	Micro segundo
PWM	Power Mangement
V	Voltios
VART	Volunteer Air Reserve Training
3D	Tridimensional
°C	Grado Celcius

## GLOSARIO

**Adaptación.** Peculiaridad en la estructura, fisiología o comportamiento de un organismo que le permite adaptarse a su ambiente. Modificación heredable y duradera que aumenta la probabilidad de que una planta sobreviva y se reproduzca en un ambiente particular.

**Adhesión.** Situación por la que dos objetos o materiales diferentes permanecen juntos.

**Adsorción.** Adhesión de un líquido, un gas o una sustancia disuelta a un sólido, produciendo una mayor concentración de una sustancia.

**Annual.** Dícese de la planta que completa su ciclo vital en una sola estación de crecimiento.

**Almacigo:** contenedor de tamaño pequeño donde se colocan las semillas para su germinación, la ventaja de éstos es que se puede controlar la temperatura, humedad y suelo para asegurar el buen desarrollo de la planta.

**APM Planner:** Software de autopilotaje para Drone

**Arbusto.** Planta leñosa perenne de estatura relativamente baja, y que de forma típica presenta varios tallos surgiendo del suelo o próximos a él.

**Archivo KML:** Fichero digital que contiene datos geográficos que pueden ser utilizados en Google Earth y ArGIS explorer.

**Atomizador, atomizar:** se refiere a regar o aplicar un fertilizante líquido en forma de gotas pequeñas, por lo general con un aparato llamado atomizador.

**Boleo:** tipo de siembra, en la cual se esparcen las semillas sin orden sobre toda la superficie prevista para el cultivo.

**Cambio de uso de suelo:** es la acción de transformar un ecosistema para dar paso a uno diferente, por lo general hace referencia a cuando un ecosistema es transformado en una zona agrícola o un asentamiento humano, provocando la desaparición de especies vegetales

y animales, para realizar este proceso se debe de contar con un estudio de impacto ambiental para prever las consecuencias del cambio.

Cambio climático. Variación global o regional del clima terrestre a lo largo del tiempo (desde décadas a millones de años). Estos cambios pueden ser debidos a variaciones en los procesos internos o externos de la Tierra (la denominada variabilidad natural, como la variación en la intensidad de la luz solar); o bien a acciones antropogénicas (emisiones de CO<sup>2</sup> debidas al consumo de combustibles fósiles como fuente energética, actividades industriales, deforestación).

Ciclo biológico. Secuencia completa de fases de crecimiento y desarrollo de cualquier organismo desde el momento de la formación del cigoto hasta la formación de los gametos.

Compost: material obtenido después de un proceso de degradación de la materia orgánica para reintegrarse en nutrientes al suelo.

Cuadrícóptero: Un cuadrícóptero, cuadirrotor o quadrotor es un dron con cuatro rotores para su sostén y su propulsión.

Cultivar. Variedad de planta que sólo se encuentra en cultivo.

Deforestación: conjunto de procesos por los cuales se destruyen los ecosistemas boscosos, ya sea por actividades humanas como la sobre explotación de madera, incendios forestales, actividades agrícolas y cambios de uso de suelo.

Deshidratación: es un proceso de secado artificial (de frutos o vegetales) por medio de calor, en medio de condiciones de temperatura y humedad controladas.

Dicotiledónea. Una de las dos clases de las angiospermas. Las dicotiledóneas se caracterizan por tener dos cotiledones, nerviación foliar reticular y partes florales normalmente en múltiplos de cuatro o de cinco. Sus hojas presentan un limbo y un pecíolo, y a menudo son compuestas. La disposición de los nervios de las hojas es generalmente reticulada, con un nervio central grueso del que parten otros más finos. Las dicotiledóneas

comprenden vegetales leñosos y herbáceos. Sus raíces son axonomorfas y secundarias, con un gran eje central con bifurcaciones.

Drone: Es una aeronave que vuela sin tripulación. También llamado vehículo aéreo no tripulado (VANT) o UAV (Unmanned Aerial Vehicle).

Ecología: estudio de las relaciones entre los seres vivos y su medio ambiente, de los mecanismos que explican su distribución, abundancia y comportamiento.

Edáfico. Relativo al suelo.

Endémico: que solo pertenece a una zona geográfica determinada y no se encuentra en otro lugar.

Especie. Tipo de organismo; las especies son designadas mediante binomios escritos en cursiva.

Estratificación. Proceso de exposición de las semillas a bajas temperaturas durante un periodo de tiempo prolongado antes de intentar su germinación a más altas temperaturas. En algunas semillas libera de la dormancia.

Estrés hídrico. Estrés debido a la falta de agua.

Familia. Grupo taxonómico situado en rango entre el orden y el género.

Sistema de posicionamiento global (GPS): es un sistema que permite determinar en toda la Tierra la posición de un objeto (una persona, un vehículo) con una precisión de hasta centímetros (si se utiliza GPS diferencial), aunque lo habitual son unos pocos metros de precisión. El sistema fue desarrollado, instalado y empleado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Para determinar las posiciones en el globo, el sistema GPS se sirve de 24 satélites y utiliza la trilateración.

Hábitat. Ambiente en el que vive un organismo; lugar donde normalmente se encuentra.

Herbáceo. Adjetivo que se refiere a las plantas no leñosas.

Hotspot: También llamados “puntos calientes” de biodiversidad con prioridad de conservación se definen como regiones donde se concentra un mínimo de 1.500 especies de plantas vasculares endémicas —equivalente al 0,5 por ciento del total de plantas vasculares en el mundo—, una alta proporción de vertebrados endémicos, y en donde el hábitat original ha sido fuertemente impactado por las acciones del hombre (Myers et al. 2000)

Humus: capa superior del suelo formada por la descomposición de la materia orgánica.

Latencia. Condición especial de crecimiento suspendido en el cual la planta y algunas partes de la planta como las yemas y las semillas no comienzan a crecer si no se dan determinadas condiciones ambientales. Estos requerimientos, que pueden ser exposición al frío y fotoperiodo apropiado, evitan la ruptura del reposo durante condiciones tan sólo superficialmente favorables para el crecimiento. También denominada dormancia o dormición.

Lixiviado: es el resultado líquido, en este caso de una composta, por lo general esta sustancia arrastra gran cantidad de compuestos que ahí se encuentren, tiende a ser de color café y tiene un olor algo feo, se puede utilizar para regar las plantas como fertilizante gracias a su contenido de nutrientes.

Mineral. Elemento químico o compuesto inorgánico que se encuentra en la naturaleza.

Motor brushless: Un motor eléctrico sin escobillas o motor brushless es un motor eléctrico que no emplea escobillas para realizar el cambio de polaridad en el rotor. Los motores eléctricos solían tener un colector de delgas o un par de anillos rozantes. Estos sistemas, que producen rozamiento, disminuyen el rendimiento, desprenden calor y ruido, requieren mucho mantenimiento y pueden producir partículas de carbón que manchan el motor de un polvo que, además, puede ser conductor.

Multicoptero: Nombre genérico para un Drone con propeledores múltiples, incluye cuadrópteros y octópteros.

Perenne. Planta que persiste y produce estructuras reproductoras año tras año. Dícese de la parte de la planta (hojas normalmente) que, en las plantas vivaces, permanecen vivas durante el invierno.

Plántula: planta joven, a pocos días de haber germinado.

Productos fitonásiticos: Productos químicos o microorganismos que se emplean en tratamientos para mejorar la salud de las plantas.

Raíz. Habitualmente, el eje descendente de una planta, normalmente bajo tierra, que sirve para fijar a la planta y absorber y conducir el agua y minerales hacia su interior.

Recurso natural: se denomina recurso material a todos aquellos bienes materiales y servicios que proporciona la naturaleza sin alteración por parte del hombre y que son valiosos para el mismo, como lo serían materias primas, minerales, alimentos y servicios y ecológicos.

Recursos renovables: bienes que existen en el mundo y tienen la capacidad para regenerarse, formarse o transformarse de manera natural, excluyendo de esta categoría al petróleo, ya que por su tiempo de renovación se considera no renovable.

Regadío: terreno dedicado a cultivos que se fertilizan con riego.

Revegetación: Implantación de una cubierta vegetal en terrenos con insuficiente o ninguna vegetación.

Semilla. Estructura formada por la maduración del óvulo de las plantas con semillas después de la fecundación.

Sistema radial. En el xilema y floema secundarios, término aplicado a todos los radios, es decir, las células que se han derivado de las iniciales de los radios; también denominado sistema horizontal.

Solana: es una ladera orientada al sur que recibe gran cantidad de luz solar, si tienes un terreno con esta característica las plantas indicadas son las de tipo mediterráneo tales como las palmeras, áloes suculentas y cactáceas.

Sucesión. En ecología, progresión ordenada de cambios en la composición de una comunidad que tiene lugar durante el desarrollo de la vegetación en cualquier área, desde la colonización inicial hasta alcanzar la etapa clímax típica de una área geográfica particular.

Viable. Capaz de vivir.

## ABSTRACT

Whether it is because of wild fires, excessive tree cutting, erosion of soils or because of the mining industry, the truth is that as a country we have been continuously losing net forest for the past 40 years. The highest net forest loss was observed in the 1970–1990 period, decreased in the period of 1990–2000 and rose again in between the 2000–2010 period. The conversion of native forest to shrublands is the key to net native forest loss, accounting for 45 % of the loss, where rich native forests get converted into exotic tree plantations (Alejandro Miranda, 2017).

A vast percentage of the world's mineral and energy resources are found in forested regions, and these are consequently subjected to severe disturbance by surface mining. This is a major contributor to the current global need for forest reclamation and restoration (World Resources Institute, 2014) and explains the flourishing interest in forest restoration (Macdonald, et al., 2015). The main objective of restoration is to return the land to productive capability with an ecosystem comprised of native species that will function to provide a diversity of economic and ecological values (Grant & Koch, 2007).

It is a priority that new forestry policy and environmental compromises serve as tools to assure the conservation of one of the most unique biodiversity hotspots worldwide found in Chile. In an effort to aide the slow pace on re-forestation efforts, we have developed a pilot program for Botadero el Caquicito# 1, managed by Minera El Soldado, located in El Melón, county of Nogales, Valparaiso Region. This pilot plan is based on a combined effort to integrate innovation thru the use of unmanned aerial vehicles (UAV) aka Drones, with modified software that collects, georeferences and maps data as well as revegetation thru seed bomb adaptation and management of all these components for a precision re-vegetation method, that would make re-vegetation possible in geographical areas with difficult access and steep slopes where until now it has been a challenge to reforest after mining companies have subjected the land to severe disturbance by surface mining.

## RESUMEN EJECUTIVO

La revegetación del Botadero El Caquicito #1 tiene por objetivo el mejoramiento y rehabilitación de los taludes que han sido utilizados por más de una década por Anglo American como áreas de relleno con material rocoso estéril desde el año 2002 cuando se inició faena y hasta el año 2006 cuando el rajo Caquicito cerró sus operaciones.

El Botadero en cuestión tiene una extensión de 2.4 Hectáreas, de las cuales 2.500 metros cuadrados han sido entregados a los Magistrantes como sector de ensayo para el plan piloto de revegetación que se ha denominado para este proyecto “Plan piloto de revegetación Chuckaw”.

El plan piloto, utiliza dos tipos de metodología centrales como son el uso y en este caso fabricación de las bombas de semilla por el vivero Alborada, quien es representado por la profesional Viviana Díaz, Ingeniero Agrónomo participante activa del plan piloto. La segunda metodología incluye la implementación de un Drone, el cual posee una infraestructura agregada especial de diseño que fue creada por el Ingeniero Industrial, Raúl Sánchez para dispensar estas bombas de semillas y que se ha elaborado utilizando impresoras 3D.

El plan piloto Chuckaw de revegetación, pretende lograr acceso a áreas de altas pendientes y difícil llegada, que hoy por hoy hacen que las labores de revegetación tradicionales utilizada por la minera El Soldado, no sean las más efectivas ni costo eficiente.

El plan piloto es experimental y permitirá que un Drone piloteado de manera remota realice labores de revegetación al dispensar bombas de semillas herbáceas nativas de manera georreferenciada, sobre el área 3 y área 4 del botadero Caquicito# 1, a través de la recolección de los datos de locación por coordenada o GPS en el software APM Planner se obtendrá un mapa con el posicionamiento exacto de las bombas de semillas, lo que nos

permitirá generar una base de datos en tiempo real que permita hacer los seguimientos adecuados a las áreas que serán rehabilitadas.

La obtención de datos y el manejo continuo a través de software dedicado y específicamente para estas labores permitirá que Anglo American, logre recopilar de manera adecuada los datos inicialmente de posicionamiento a través de una ruta de vuelo para la revegetación que será almacenada en AMP Planner y exportada en archivo KLM.

Nuestra ambición es utilizar este piloto como primera fase experimental que nos permita obtener los datos necesarios para la mejora del servicio y nos abra la posibilidad de implementar en una segunda etapa un plan de medición de las especies herbáceas, monitoreo fotométrico, cuantificación de las superficies revegetada y su aumento en prendimiento, así como también la preparación de las superficies edáficas y la posibilidad de fertilización localizada y de riego por aspersión.

Esperamos que la implementación de este piloto, se convierta en una idea replicable y de aplicación no solo para taludes de uso minero sino también para la futura reforestación de áreas a lo largo de todo nuestro país, especialmente aquellas que se han visto afectadas por los incendios forestales que anualmente arrasaron entre 20.000 y 85.000 hectáreas de vegetación en Chile, afectando principalmente vegetación natural, perdiéndose tanto su biodiversidad como los bienes y servicios ecosistémicos y sociales que esa vegetación presta (Fernández, y otros, 2010).

## INTRODUCCIÓN

La Minera El Soldado, inserta en La Cordillera de El Melón, se encuentra en una zona clasificada por el Ministerio del Medio Ambiente chileno, como Sitio Prioritario de Conservación de la Biodiversidad o Hotspot (Myers, 2000), este sector de la cordillera presenta un alto porcentaje de endemismo, donde se desarrollan especies de alto valor ecológico e interés científico, esto debido a las condiciones climatológicas y geográficas presentes en esta zona (Mary T. K. Arroyo, 2006).

Anglo American, como parte de sus compromisos de sustentabilidad asociados a su actividad minera y por tener que restablecer el equilibrio natural de los ecosistemas y habitats intervenidos en sus faenas, debe cumplir con los requerimientos de sus Planes de Manejos Forestales expresos en las Resoluciones de Calificación Ambiental y también debe completar de manera efectiva con la ley los compromisos ambientales adquiridos en sus planes de cierre minero, es por esto que tiene la necesidad constante de utilizar nuevas metodologías de re-vegetación, especialmente de aquellos individuos o especies nativas propias de la región.

En virtud de los compromisos adquiridos por Anglo American S.A. a través del Plan de Cierre del Sector Botadero Caquicito#1 para el año 2020, la compañía se comprometió en recuperar los suelos acumulados de estériles con una capa vegetal y para ello ha escogido hacerlo con especies endémicas de Chile, que se reproducen y propagan de forma natural en la cordillera El Melón, entre ellas *Elenium aromaticum*, (Manzanilla hedionda), *Senecio sp.*, *Solanum furcatum* (Tomatillo, Natre), *Muehlenbeckia hastulata* (Quilo), *Flourencia thurifera* (Maravilla del campo), *Trevoa trinervis* (Tevo), *Bacharis linearis* (Romerillo).

Las labores de reforestación y recuperación de suelos en este sector, se hacen difícil con las técnicas que la Minera El Soldado ha usado hasta el momento, la hidrosiembra, la plantación de plántulas y la siembra de bombas de semilla por boleo no son posibles debido a las características geomorfológicas del sector, entre ellas su relieve de altas pendientes y las áreas de difícil acceso donde se encuentra el botadero.

Las características fluviales pobres y la exposición solana de estas laderas, agudizan las dificultades en las labores de reforestación y riego, adicionalmente a causa de los peligros de desmontes o derrumbes de los materiales estériles presentes, la seguridad de los trabajadores se ve amenazada.

Chuckaw como plan piloto se enfoca en un plan de revegetación de taludes del Botadero Sector Caquicito #1, donde se plantea la utilización de un sistema de revegetación de precisión utilizando un prototipo de vehículo autónomo y plataforma (DRONE) para la siembra de bombas de semillas contenedoras de especies nativas herbáceas, con proyecciones a plazo de 3-6 meses para el establecimiento de un plan de manejo que incluya el riego controlado de aspersión a través de Drone y el monitoreo de su crecimiento a través de fotometría aérea, video grabaciones, y la generación de datos para la mantención de vegetación nativa herbácea y arbustiva en las zonas antiguas de material estéril y rocoso.

**CAPÍTULO I**  
**DESCRIPCIÓN MINERA EL SOLDADO**

**1.1 Antecedentes de Anglo American – Minera El Soldado**

Anglo American tomó control de la faena El Soldado en el año 2002, adquiriendo la Compañía Minera Disputada Las Condes, y su faena en Los Bronces y Fundición Chagres. Estas tres operaciones pasaron a constituir la Operación Anglo American Sur.

En el año 2011, el 24,5% de Anglo American Sur pasó a ser parte de la compañía Japonesa Mitsubishi, así mismo en 2012 la sociedad Codelco/Mitsui se convierte también en co propietaria de Anglo American Sur a través de la adquisición de 29,5% de sus acciones. Con esto, la estructura accionaria se segmentó en 50,1% Anglo American, 29,5% Codelco/Mitsui y 20,4% Mitsubishi.

En las Tabla 1-1 y Tabla 1-2 se presenta los antecedentes de la Compañía Titular y los de su Representante Legal y en la Tabla 1-3 la estructura del organigrama de la Minera el Soldado.

Tabla 1-1  
Antecedentes de la Compañía

<b>Nombre del Titular</b>	<b>Anglo American Sur S.A.</b>
<b>Rut</b>	77.762.940-9
<b>Domicilio</b>	Av. Pedro de Valdivia 291, Providencia, Santiago
<b>Fono</b>	2230 6000

Tabla 1-2

Antecedentes del Representante Legal de Anglo American Sur

<b>Nombre Representante Legal</b>	Pedro Alberto Reyes Figueroa
<b>Rut</b>	7.794.170-3
<b>Domicilio Legal</b>	Av. Pedro de Valdivia 291, Providencia, Santiago
<b>Nacionalidad</b>	Chileno
<b>Profesión</b>	Ingeniero Civil
<b>Correo electrónico</b>	<a href="mailto:pedroa.reyesf@angloamerican.com">pedroa.reyesf@angloamerican.com</a>
<b>Fono</b>	+56 -2 -230 6000

Tabla 1-3

Organigrama

<b>Gerente General</b>	Pedro Reyes
<b>Gerente de Mina</b>	Andrés Córdova
<b>Gerente de Plantas</b>	Jaime Ferrada
<b>Gerente de Desarrollo y Proyectos</b>	Rodrigo Cifuentes
<b>Gerente Medio Ambiente y Relaciones Comunitarias</b>	Ema Martínez
<b>Gerente de Seguridad y Salud Ocupacional</b>	Jaime Acuña

## **1.2 Antecedentes del Botadero #1 – El Caquicito**

La División El Soldado se encuentra ubicada en la V Región, en la Comuna de Nogales, Provincia de Quillota, Región de Valparaíso; a 132 Km. de Santiago. Comprende una mina a rajo abierto, plantas de chancado e instalaciones para el tratamiento de minerales oxidados y sulfurados. Durante el año 2016 se produjeron 47.000 toneladas de cobre fino, entre cátodos de alta pureza y cobre contenido en concentrados.

Se ubica específicamente en la Cordillera de El Melón, a 600 metros sobre el nivel del mar. Cuenta con 8.000 hectáreas, de las cuales 1.200 hectáreas son utilizadas en la operación, la cual tiene plantas de tratamiento de minerales sulfuros y óxidos que se encuentran en el sector denominado El Cobre.

En el sector El Soldado se encuentra la mina, así como los edificios que albergan las labores de planificación y gerencia, la división tiene una dotación aproximada de 1.200 trabajadores, entre personal propio, contratistas de operación y proyectos.

El Botadero de esteriles El Caquicito# 1, parte de la Minera el Soldado, tiene una superficie de 2,04 hectáreas proyectadas y una altura máxima de 200 metros y una capacidad de 90.000 m<sup>3</sup>, según la resolución exenta N° 2417 del 29 de Septiembre del 2015, el area cuenta con muro de contención al pie del botadero y canales de contorno de desvío de aguas lluvia.

El objetivo del Plan de Cierre y Abandono es proteger el medio ambiente y evitar accidentes después del término de las operaciones. Además, se han establecido compromisos de recuperación de las laderas con una cobertura vegetal, también pretende dejar el terreno en condición similar a la original, removiendo o retirando las estructuras e instalaciones de proceso que no sean utilizadas posteriormente. La División El Soldado, tiene una vida útil que está proyectada hasta el año 2024 y considera las siguientes instalaciones: Rajo abierto mina El Soldado y El Caquicito, Planta de sulfuros, Planta de óxidos, Depósitos de estériles, Depósitos de relaves .

Dentro de las instalaciones de apoyo y servicios están: suministro de energía eléctrica, bodegas, suministro de agua y tuberías, oficina y edificios de servicio, sitios de disposición de desechos domésticos e industriales no peligrosos y contaminados. Las acciones de cierre propuestas fueron sobre la base de una caracterización de los componentes ambientales del área de las faenas mineras de El Soldado y Caquicito. Además Anglo American señala, se han considerado todos los cuerpos legales existentes, relacionados con las actividades de cierre en faenas mineras, así como también los compromisos que la División El Soldado ha adquirido en distintos documentos, tales como las resoluciones de calificación ambiental asociadas a EIA o DIA que se hayan tramitado en el SEIA (AngloAmerican, 2009). Con el objeto de proveer una estimación más precisa de los costos de cierre en etapas posteriores del desarrollo de la ingeniería, el Plan de Cierre vigente incluye en su estimación de costos la realización de estudios adicionales.

## **CAPÍTULO II**

### **REVEGETACIÓN EN ÁREAS DE ALTAS PENDIENTES**

#### **2.1 El Problema**

La modificación en las condiciones naturales de los taludes por causa del vertimiento de residuos mineros y material ajeno a los ecosistema ha afectado considerablemente la estructura de estos y su estabilidad, extinguiendo casi por completo su cubierta vegetal y generando posibles desmontes y terraplenes, dejando superficies de suelo inertes, rocas desprotegidas con gran riesgo de erosión y provocando graves problemas estructurales, ecológicos y ambientales. A medida que esta erosión aumenta, crecen las dificultades para la restauración y el mantenimiento del talud, viéndose significativamente mermada la superficie que permite la existencia de un ecosistema y que ofrece variados servicios ambientales valiosos, entre ellos, la provisión de hábitat para fauna y flora, que se caracteriza por la presencia de especies nativas propias del sector.

#### **2.2 Alternativa de Solución por Revegetación de Bombas de Semilla**

Para dar curso al Plan de Cierre del Botadero N° 1 del Caquicito (4.340 m<sup>2</sup>), es que se plantea revegetar el talud con semillas herbáceas y arbustivas endémicas de la cordillera El Melón, se utilizará la técnica de agricultura natural o ecológica utilizada por Masanobu Fukuoka, en la cuál combinaremos el lanzamiento de bombas de semillas nativas, que serán transportadas y geoposicionadas por un vehículo no tripulado aéreo comúnmente denominado Drone.

El talud utilizado como relleno para material estéril, tiene características particulares que hacen imposible la revegetación con los métodos tradicionales ya utilizados por la empresa, cómo su limitado acceso y accidentada topografía, lo que dificulta el ingreso de maquinaria,

equipos, instalación de riego tecnificado y el trabajo de personal especializado para realizar una reforestación tradicional.

El desarrollo de esta cubierta vegetal que se generará tendrá por objetivo la recuperación de la superficie neta que el referido ecosistema disponía previo a su uso con fines de acumulación de estériles, otorgará beneficios como: incremento de la resistencia del suelo al esfuerzo por posibles desmontes; dar mejor protección a la superficie del suelo contra el impacto de las gotas de agua lluvia, disminuyendo la erosión hídrica; evitará el desarrollo de cárcavas, gracias al desarrollo de raíces, lo que se evitará los daños por escorrentía, se esperan mejoras la capacidad de infiltración y el logro progresivo de mayor crecimiento de plántulas debido a la acumulación y aumento de materia orgánica.

Actualmente el proceso de revegetación que utiliza la empresa para los sectores afectados se basa en 3 tipos, hidro-siembra, plantación de plántulas y lanzamiento de bombas de semillas. Todos ellos con buenos resultados de siembra dependiendo de los sectores en los que se han utilizado, pero todos ellos con bajo rendimiento en la etapa de crecimiento de la plántula, donde se ha determinado que roedores interrumpen el ciclo de crecimiento al comer el sistema linfático de la plántula en crecimiento, las altas temperaturas afectan los porcentajes de prendimiento de estas, haciendo que el porcentaje de prendimiento de las plántulas sea sólo del 5 por ciento.

Hidro-siembra: El método de la hidro-siembra, es utilizado para luchar contra la erosión y la desestabilización de taludes o terrenos poco consolidados, y tiene como objetivo establecer una cubierta vegetal sobre terrenos de difícil acceso o de gran pendiente. La hidro-siembra, producida es más rápida y eficaz que la siembra convencional, por esta razón se ha convertido en la principal técnica de la restauración medioambiental, pero es poco efectiva en zonas de alta pendiente y difícil acceso como lo es El Caquicito.

Figura # 2-1 Método de Hidrosiembra utilizado por Anglo American para revegetación



Plantación de plántulas: éste método tradicional de plantación es poco efectivo para laderas con pendientes elevadas en las que se quiere trabajar, requiere de muchas horas hombre en condiciones de seguridad no aptas, lo que hace que la utilización de éste tipo de siembra no sea el más eficaz.

Figura #2-2 Plantación de Plántulas



Bomba de semilla: éste método en particular es usado actualmente por la compañía en sus esfuerzos de revegetación, con buenos resultados de siembra en los sectores donde se puede efectuar regadío permanente, lo que no es el caso puntual para el sector El Caquicito.

Figura #2-3 Siembra con Bomas de Semillas al boleó



### **2.3 Alternativa de Monitoreo**

Existen en la actualidad varias alternativas para el monitoreo y seguimiento del estado de la zona afectada, nos centramos en las técnicas para la agricultura de precisión debido a que son las más eficaces para ese caso.

## **2.4 Servicio de Monitoreo Satelital**

El uso de satélites en la agricultura, permite acceder a datos de imágenes en diferentes resoluciones para la evaluación de los cultivos, determinar la salud de los mismos, detectar cambios, realizar análisis ambientales, cartografía y análisis de suelos. Esta información geoespacial es valiosa cuando se usa en conjunto con datos complementarios para analizar el estado de la “plantación” el gran problema con este sistema es su elevado costo de lanzamiento, mantenimiento y operación.

## **2.5 Servicio de Monitoreo por Vehículo Aéreo Tripulado**

Emplear vehículos aéreos para el monitoreo es más accesible que el uso de satélites. Tiene la ventaja de ser utilizado en inspección y no requiere del uso de alta tecnología. Las principales desventajas de este sistema se vinculan al costo de operación que a pesar de que es mucho más bajo que el satelital, para realizar un monitoreo constante se necesitarían vuelos continuos, además de que se debería contar con un piloto con capacidad para enfrentar la geografía del lugar.

Tener acceso y verificar el estado de la vegetación plantada, es la mejor manera de establecer el estado de estas, la inspección directa de las hojas, medir el crecimiento de estas actúan como un indicador directo de la efectividad del proceso de reforestación, no obstante, existen limitantes de la inspección manual como la cantidad de especies inspeccionadas en un tiempo limitado y las condiciones geográficas que dificultan el acceso.

## **2.6 Servicio de Monitoreo por Vehículo Aéreo No Tripulado**

Vehículo aéreos no tripulados más conocido como “drones” o AUV por sus siglas en ingles, son vehículos utilizan un microcontrolador para controlarse lo que les permite ser dirigidos a través de control remoto o cargando una ruta predefinida para “desplazarse de manera autónoma”, actualmente se encuentran en el mercado a precio bastante económicos, además de existir bastantes modelos Open source o de código abierto lo que facilita la construcción de este, además de facilitar su adaptación para trabajos específicos, facilitando la integración de accesorios a estos equipos y destinarlos a actividades como fotografía aérea, cartografía, video, incluso la generación de imágenes multiespectrales gracias a que se le pueden implementar diferentes sensores. Sin embargo, no todo debe ser empleado en el proceso de revegetación.

## **2.7 Necesidades & Área de oportunidad**

En este proyecto se quiere utilizar una metodología nueva de siembra que combine y reúna las características de la hidro-siembra para estabilización del terreno en combinación con bombas de semilla con cartucho y el uso de tecnología de innovación Dronee para solucionar el problema de acceso y siembra en altas pendientes. El uso del Dronee en combinación con la utilización de mapeo por GPS (Sistema de posicionamiento global), nos da acceso a las zonas difíciles de llegar, nos permite una mejor recolección de datos y focalización en los esfuerzos de riego por Dronee, el cartucho que contiene y transporta la bomba de semilla una vez emplazado protege a la plántula de los roedores y le permite a la plántula en crecimiento crecer protegida de las temperaturas extremas.

De las alternativas antes vista, se decidió el monitoreo por vehículo aéreo no tripulado, considerando que es un tipo de vehículo que es casi en su totalidad autónomo y su operación es bastante efectiva para terrenos de difícil acceso, además de que en su operación no corre el riesgo ninguna vida humana. Otra condición importante es que este vehículo nos

facilitara la creación un accesorio que usaremos como difusor de las bombas de semilla lo cual además del monitoreo será el mismo que lance estas.

La utilización de una metodología combinada que recoge la ventaja de varias metodologías ya aplicadas, más la integración de tecnologías de innovación le permitirá a la compañía posibilidades de un mejor manejo y control de los planes de revegetación.

Anglo American, ha otorgado su apoyo en este proyecto y ha otorgados los accesos necesarios para un levantamiento de datos.

## **2.8 Objetivo General**

Generar un plan de revegetación, que cumpla con los requisitos del cliente, que incluya un sistema de seguimiento y monitoreo, por medio de vehículos autónomos e IOT (Internet of Things).

## **2.9 Objetivo Específico**

- Levantar los requerimientos del cliente en el sector afectado.
- Generar propuesta de revegetación más efectiva a la actual.
- Generar prototipo Vehículo autónomo y plataforma.
- Realizar una propuesta de manejo post plan piloto, con la intención de generar labores de monitoreo continuo, geoposicionados, evaluando el estado de las de las plántulas por medio de fotografías.

## **CAPÍTULO III**

### **ANTECEDENTES DEL PLAN PILOTO DE REVEGETACIÓN CHUCKAW**

#### **3.1 Antecedentes del Proyecto**

La visita a terreno efectuada el 27 de octubre de 2017, consistió en el acceso a las áreas de botadero en compañía de Juan Sanchez, encargado de asesor de Biodiversidad parte de la Gerencia de Sustentabilidad de la Minera el Soldado, también Francisco Acosta, encargado del plan cierre, Viviana Díaz representante del vivero Alborada y alumna tesista, Claudia Acuña en representación de los Magistrantes de la Universidad de Viña del Mar y la comitiva de la asociación gremial de Agricultores y Ganaderos de los Bienes Comunes# 2, comuna de Nogales, V región.

La visita incluyó el acceso en camioneta hasta el pie de los botaderos, una caminata con la asociación gremial, reunión en terreno de todas las partes interesadas, una caminata de identificación de especies herbáceas nativas, caminata de reconocimiento del botadero en su cabecera con exposición al Este, identificada como el inicio del área 3 de revegetación, y por las laderas con exposición al Norte, acceso al camellón que da partida al área 4 de revegetación identificadas por Anglo American, éstas están identificadas en la tabla #3-3.

En terreno se reconocieron la aparición de especies herbáceas nativas como Capachito, Coirón, Ortiga Caballuna, Manzanilla Hedionda, Senecios, Carex, Maravilla del campo, Chupalla, Verbena, Flor de la perdiz, también se pudieron observar especies arbustivas como Quilo, Romerillo y Colliguay en los límites del botadero y dos especies arbóreas, Maqui y Peumo en medio de éste (Tabla 3-1).

El reconocimiento del botadero en el inicio del área 4 arrojó la identificación de material estéril rocoso de formas accidentada con un diámetro aproximado que varía entre 15 cm y 30 cm, el material rocoso se encontraba suelto y en combinación con material estéril de menores dimensiones y polvo asentado bajo la superficie con fácil acceso como se muestra en las Figua #3-4.

En su Declaración de Impacto Ambiental, Anglo American define estériles como roca con bajo o nulo contenido de cobre. La compañía proyectó la remoción de 2.7 millones de toneladas de roca estéril, que serían localizadas en dos botaderos con una superficie total de 9.3 hectáreas, de estos dos botaderos el Caquicito tendría la capacidad de albergar 90.000 m<sup>3</sup> de material, con una superficie aproximada de 2.04 hectáreas. La roca se descargaba paulatinamente a razón de 2.000 – 3.000 toneladas por día desde las plataformas acá referidas como cabeceras, hasta rellenar la ladera.

Según la información declarada en la DIA, la minera realizó diversos estudios de laboratorio en los cuales se determinó después de analizar 30 muestras que los estériles eran materiales inertes, que no generarían contaminación y que ninguno de ellos tenía potencial de acidificación por su bajo contenido en sulfuros.

Durante de la visita en terreno se observa un avance en la sucesión natural de las especies herbáceas y arbustivas y que se aproxima según nuestras mediciones por cuadrícula satelital poligonal usando google earth pro-2017, a una sucesión natural vegetativa de un 18 % aproximadamente en 11 años. En la figura #3-1 & Figura #3-2 se muestran el botadero el Caquicito y su progresión natural desde el año 2006 hasta el año 2017.

La superficie total revegetada de manera natural es aproximadamente equivalente a 3.792 metros cuadrados, estos se encuentran representados en la Figura #3-3 y Tabla #3-2.

Figura #3-1 Fotografía Satelital del Botadero El Caquicito #1 en Marzo del 2006



Figura #3-2 Fotografía Satelital del Botadero el Caquicito #1 en Abril del 2017.



Figura #3-3 Medición y Marcación de los polígonos que presentan revegetación natural.



Tabla 3-1

Especies nativas identificadas en las zonas del botadero

Nº	Especies	Nombre vulgar
1	<i>Nassella chilensis</i>	Coirón
2	<i>Loasa tricolor</i>	Ortiga caballuna
3	<i>Helenium aromaticum</i>	Manzanilla hedionda
4	<i>Calceolaria thyrsoflora</i>	Capachito
5	<i>Eryngium paniculatum</i>	Chupalla
6	<i>Senecio sp.</i>	Senecio
7	<i>Carex setifolia</i>	Carex
8	<i>Polypogon australis</i>	Cola de ratón
9	<i>Muehlenbeckia hastulata</i>	Quilo
10	<i>Flourenzia thurifera</i>	Maravilla del Campo
11	<i>Trevoa trinervis</i>	Tevo
12	<i>Bacharis linearis</i>	Romerillo
13	<i>Alstromeria sp.</i>	Lirio del campo
14	<i>Aristotelia chilensis</i>	Maqui
15	<i>Cryptocarya alba</i>	Peumo

Tabla #3-2:

Áreas del Botadero El Caquicito #1 asignadas por Anglo American para la revegetación a través del plan piloto Chuckaw.

Áreas Botadero a Revegetar	Metros Cuadrados (m <sup>2</sup> )
Área 3	2.200
Área 4	300
Total	2.500

Figura #3-4 Fotografía frontal del Botadero Caquicito #1 y su cabecera



Figura # 3-5 Fotografía de acercamiento a la Cabecera del Botadero Caquicito #1



## **CAPÍTULO IV**

### **CHUCKAW - PLAN PILOTO DE REVEGETACIÓN**

#### **4.1 Metodología**

Generaremos un producto mínimo viable para poder testear la solución mediante metodologías de desarrollo ágil como lean startup. Analizaremos:

- Germinación
- Supervivencia de las plantas
- Costos implementación del proceso
- Tiempos asociados a este nuevo proceso

##### **4.1.1 Metodología Lean Star Up**

La premisa básica de lean startup (Eisenmann, 2012) es la de que una startup no es una empresa sino una organización temporal cuyo objetivo es encontrar un modelo de negocio viable y escalable mediante una serie de experimentos que sirven para aprender, y todo esto rodeado de una gran incertidumbre.

Esta metodología perfeccionada por Eric Ries durante años y recogida en su libro El método Lean Startup, nace de la nueva realidad y las nuevas necesidades de las nuevas empresas en los últimos años.

Como otras metodologías modernas, Lean Startup se basa en un enfoque obsesivo en el cliente en vez de en el producto, de manera que se busca aprender de cada iteración de nuestro producto para poner a prueba nuestras hipótesis y poder de esta manera saber hacia dónde avanzar.

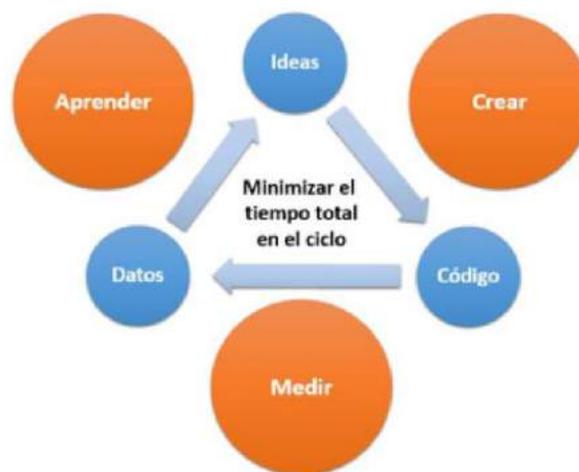
Para conseguir validar nuestro aprendizaje es fundamental actuar con rapidez y no esperar a tener un producto perfectamente acabado, mientras antes podamos testear nuestras hipótesis con clientes de verdad, antes sabremos si estamos acertando o conviene rectificar.

De esta manera nace el concepto de MVP ( producto viable mínimo), que no es más que trabajar con una versión de nuestro producto con las características fundamentales y que funciona adecuadamente, con el objetivo de maximizar nuestro aprendizaje del negocio, producto y mercado. En nuestro caso el MPV es un Drone que ha sido adaptado con un receptáculo para almacenar temporalmente las bombas de semillas y con un mecanismo de salidas de estas que funciona como obturador.

La nueva forma de trabajar reduce este tremendo gasto ya que desde el primer minuto estamos trabajando con un cliente de verdad obteniendo un conocimiento del negocio que de otra forma sería imposible.

Para esto Lean Startup cambia el clásico ciclo de desarrollo por el novedoso ciclo de aprendizaje, que se basa en 3 fases:

Figura # 4-1 Proceso del Método Lean Start Up



- **Construir:** desarrollamos nuestro MVP centrado en las hipótesis que queremos comprobar, en nuestro caso la hipótesis es que el uso del Drone para revegetar áreas de alta pendiente y difícil acceso permitirá la reforestación de éstas de manera más rápida, a mayor volumen y bajo condiciones controlables a través de sistemas de manejo por software APM planner.
- **Medir:** estableceremos una serie de métricas con las que valorar nuestro experimento. En este caso la cantidad de semillas sembradas, el tiempo de siembra, crecimiento bajo condiciones normales invernales en época de lluvia y en época de verano.
- **Aprender:** gracias a las métricas obtendremos información con la que aprenderemos nuevos detalles de nuestro negocio para seguir mejorando.

Este ciclo es iterativo, es decir, para cada hipótesis que queramos comprobar deberemos crear un nuevo MVP, o una modificación, y lanzarlo para seguir aprendiendo. Estaremos usando una filosofía basada en la experimentación con ciclos de desarrollo muy cortos.

Nuestro MVP nos servirá para comprobar desde nuestras hipótesis inicial, problema, solución, y modelo de negocio, hasta cada nueva característica que queramos introducir, e incluso pequeñas modificaciones.

Siguiendo la metodología Lean Startup de Eric Ries, otro de los objetivos de nuestro experimento piloto de revegetación nos indicará cuándo perseverar en la línea que llevamos o cuando pivotar el modelo de negocio cambiando alguna de sus premisas básicas. Esta información será obtenida a través del aprendizaje que obtendremos de nuestros MVPs pero la decisión última siempre será nuestra.

Como el grado de incertidumbre es amplio con la metodología startup, debemos ser muy flexibles para saber adaptar nuestro negocio a las realidades del mercado para así ser capaces de encontrar clientes que estén dispuestos a pagar.

Es probable que mientras experimentemos encontremos otros segmentos de clientes, otras utilidades a nuestro producto, otras oportunidades que puedan reconducirnos.

Es esencial que incorporemos el método Lean Startup a la idea de negocio, para maximizar así nuestras opciones de éxito y minimizar el desperdicio de recursos en el que pudiésemos caer si lanzáramos un producto con métodos tradicionales.

## **4.2 Metodología de Bombas de Semilla**

Fukuoka nos señala que el planeta se encuentra en gran peligro, debido a la corporatización de la agricultura, la elevada crisis climática y los niveles de pobreza global que siempre van en aumento, hambrunas y desertificación a escala masiva. La condición global presente, es traumática y “no es natural”, sino el resultado de las acciones destructivas de la humanidad. De acuerdo con Fukuoka esta situación es reversible (Fukuoka, 2012). Necesitamos cambiar no sólo nuestros métodos de manejo del planeta sino también la manera en que pensamos con respecto de la relación entre los seres humanos y la naturaleza.

La elaboración de las bombas de semillas, Seed bombs o Seed ball, es una forma antiquísima de propagar las semillas de las plantas, técnica de siembra que no requiere de ningún trabajo o intervención previa sobre el suelo. Masanobu, redescubrió esta forma de sembrar, la puso en práctica durante décadas y así se transformó en el precursor de la “Agricultura Natural”. Las bombas de semillas se convirtieron en un éxito ya que, no se requiere laboreo, por lo que se ahorra mucho tiempo y esfuerzo. Además esta técnica es muy útil y fácil de usar, además de haber sido utilizada en la agricultura japonesa ha servido para repoblar y ayudar a conservar la flora nativa.

Fukuoka llegó a cultivar arroz, cebada, frutales y hortalizas con el mínimo laboreo sobre la tierra y sin apenas aportar materia orgánica, a este tipo de técnicas que él utilizaba en su predio en Japón lo llamaba “Nendo Dango” o “bombas de semillas”.

Las bombas de semillas se componen de compost (elemento orgánico que le da sustento para crecer), humus (aporta fertilidad natural a la semillas), se incorporan la o las especies de semillas seleccionadas, repelente adecuado y una cantidad adecuada de agua que se

adhiera especialmente al humus y que está disponible cuando las semillas comiencen su periodo de germinación, sumado a esto se incorpora un 10% de arcilla (elemento que une los materiales a incorporar y le da protección frente a pájaros, roedores e insectos).

La mezcla se moja con suficiente agua, se amasa y se van formando las bolitas de (2 a 3 cm.), compactando todos los ingredientes. Se dejan secar en un sector con buena ventilación y se espera su lanzamiento en los taludes.

Son varias las ventajas que presenta la incorporación de las bombas de semillas, es que vienen ya con una dosis de fertilizante natural que aporta el humus y el compost, con el repelente de insectos que puedan atacar a las semillas, con la arcilla que ayudará a retener la humedad, le da forma y plasticidad a las bomba y les da una cubierta de protección ante las inclemencias del clima (extremos de de calor y frío), y lo más importante que las bombas cuentan con una abundante cantidad de semillas hidratadas, lo que ayudará a asegurar la germinación y establecimiento de las plantas.

La única desventaja, es que las semillas pueden demorar un poco más en germinar, por lo que nunca hay que desistir en que germinarán, y hay tener paciencia en que lleguen las condiciones adecuadas de temperatura, humedad y luz para cada especie. Además que pueden ser incorporadas semillas herbáceas que necesitan cierto grado de estratificación para poder estimular sus embriones hacia la germinación.

Otro aspecto importante, para lograr un buen resultado, es determinar el periodo adecuado de lanzamiento de las bombas de semillas, pues este factor puede tornarse relevante en la germinación, por aspectos de temperatura y humedad. El ideal es lanzarlas en los taludes en épocas de lluvias, de lo contrario se puede perder el poder germinativo de la especie.

Las bombas de semillas utilizadas en este programa piloto están elaboradas siguiendo los principios de agricultura natural, se esperará que germinen la mayoría de las semillas y que luego predominen las plántulas más grandes, firmes y sanas. Será un sistema de selección

natural, sin embargo, si queremos aprovechar más las semillas, existe la posibilidad de pregerminarlas e hidratarlas previamente por 24 horas antes de siembra.

Idealmente, es importante que al momento de elegir el lugar para posicionar las bombitas, se haga un pequeño estudio sobre las condiciones de suelo y clima que necesita cada especie a cultivar, especialmente en los momentos de estrés hídrico y cuando hay mucha desecación. En nuestro caso no contabamos aún con la autorización de entrada al sector por lo que hemos considerado los análisis edáficos para la segunda etapa del piloto.

El método de bombas de semillas ha sido utilizado para repoblar zonas naturales degradadas y se han obtenido muy buenos resultados (Fukuoka, 2012). Además se consigue revegetar sin ocasionar ningún tipo de daño o perjuicio al suelo y sin alterar su equilibrio natural. Las semillas germinan aproximadamente a 25 días después de la siembra, según las condiciones del sitio a intervenir.

Tabla #4-1

Materiales que se necesitan para cada bombas de semillas.

Materiales	Gramos/ unidad	Valor/ unidad	Proveedor
Arcilla	1.5	\$60	Pachamama S.A- Quillota
Compost/ Humus	1	\$48	Pachamama S.A- Quillota
Tierra de Hojas	1.5	\$22	Pachamama S.A- Quillota
Agua	8 ml	\$1	Esva
Semillas Mixtas	3	\$54	Vivero Alborada, El Melón
Total	15	\$185	

\*Valores en Pesos Chilenos

El costo hora hombre (HH), es calculado en base a la mano de obra de cuatro trabajadores, que elaboraron las bombas de semillas por 2 días en jornadas de 8 horas diarias. El total es de 64 HH a \$1.875 por hora trabajada. El costo total es \$120.000 en mano de obra, más \$277.500 en bombas de semillas. El costo total es \$397.500 por 1.800 bombas de semillas nativas.

#### **4.2.1 Cómo elaborar bombas de semillas**

Las podemos hacer de dos formas: una forma de hacerlas es a mano una a una y otra manera es poner todos los ingredientes en una superficie lisa y uniforme e ir amasando y moviéndola en círculos hasta que se van formando bolas.

En el primer caso para hacer las bolas de semillas, combinar todos los ingredientes y añadir la suficiente cantidad de agua para que se pueda modelar las bolas y éstas se queden bien compactas. Hay que ir tomando cantidades de la mezcla y haciendo las bolas una a una. Si no vamos a usar las bombas en ese momento, las dejamos al sol para que se sequen bien y no germinen las semillas.

En el segundo caso echar todos los ingredientes secos en una bandeja con la base lisa y regular y moverlos para que se mezclen entre sí. Añadir chorritos de agua mientras se va moviendo la bandeja en círculos. Seguir añadiendo pequeñas cantidades de agua poco a poco y moviendo en círculos para que se vayan formando las bolas. Al igual que en la otra forma de preparar las bombas de semillas, si las bombas de semillas no van a ser usadas de forma inmediata dejarlas que se sequen bien al sol para evitar humedad dentro de la bola y que las semillas germinen.

Figura #4-2 Elaboración de las Bombas de Semillas en Vivero Alborada.



#### 4.2.2 Densidad de aplicación

La cobertura vegetal actúa como una capa protectora entre los agentes atmosféricos y el suelo atenuando sus efectos, entre ellos la erosión. Los tallos y hojas disipan parte de la energía de la lluvia y del agua que fluye por la superficie por interceptación, de modo que su efecto es menor. Los sistemas radiculares, contribuyen a aumentar la resistencia del suelo y su cohesión. De esta forma, la eficacia de la cubierta en relación con la lluvia, dependerá fundamentalmente de la superficie de suelo cubierto y de la densidad de la vegetación (número de plantas por unidad de superficie) y su altura.

Además, la cubierta vegetal aumenta la aspereza de la superficie, con lo que al reducir la velocidad del flujo de escorrentía disminuye también su energía en la superficie del talud (Universidad de Córdoba, 2014).

Para nuestro piloto, se determinó que la densidad de aplicación de las semillas será de 1 semilla en un área de 1.5 metros cuadrados para el área de revegetación 3 asignada por Anglo American. Se ha decidido aplicar de un total de 1.800 bombas de semillas.

Tabla #4-2

Sectores propuesto para el ensayo de la metodología.

Botadero 1	Superficie (M2)	Nº Bombas de Semillas
Sección 3	2.200	1500
Sección 4	310	300
Total	2.510	1.800

#### 4.2.3 Elaboración y seguimiento ex situ de Bombas de Semillas en Vivero Alborada

Se realizó en el mes de Julio un ensayo experimental del comportamiento de las Bombas de Semillas en terreno. Para esto, se fabricaron 12 bombas de semillas utilizando la técnica de Masanobu Fukuoka y utilizando las mismas especies herbáceas que se prepararían para la revegetación del Botadero N°1 de Caquicito. Éstas se aplicaron en un cajón con tierra vegetal, sin riego artificial.

Según las figura #4-2 presentadas, se observa que las bolitas de semillas fueron abriéndose con las primeras lluvias y que rápidamente se observó germinación. Posteriormente aparecieron los cotiledones de las plántulas y comenzó su crecimiento, observándose en la sucesión de fotos el crecimiento de 3 a 4 especies herbáceas. En la foto de fecha 05/11/17 se observa el final del ciclo de vida de las especies.

Figura #4-3 Seguimiento del crecimiento de la bomba de semillas.



Tabla #4-3

Seguimiento crecimiento de plántulas ex situ, Vivero Alborada.

Fechas	Observaciones
29 Julio 2017	Fabricación de bombas de semillas y siembra sobre sustrato vegetal
10 Agosto 2017	Se observa rompimiento de las bombas de semillas y germinación
22 Agosto 2017	Se observa crecimiento de plántulas alrededor de las bombas de semillas.
05 Noviembre 2017	<p>Se observan plántulas de diversos tamaños, con crecimiento promedio de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Plantas grandes: 18 cm</li> <li>- Plantas medianas: 5 a 7 cm</li> <li>- Plantas pequeñas: 2 a 3 cm</li> </ul>

### **4.3 Metodología de Fabricación Drone**

Este proyecto está orientado para poder facilitar el acceso a una herramienta de tecnología que les facilite el proceso de revegetación y monitoreo de estas además que los datos recogidos permitan identificar y cuantificar la efectividad del proceso.

#### **4.3.1 Monitoreo Continuo**

Se dispondrá de herramientas con el fin de iniciar labores de monitoreo continuo y geoposicionado evaluando el estado de la planta por medio de fotografías y así identificar de manera oportuna alguna anomalía.

Debido al poco tiempo disponible para desarrollar este proyecto, lo mejor es usar una metodología de desarrollo ágil. Este método nos ofrece flexibilidad, rápido desarrollo y nos permite obtener resultados en menos tiempo en comparación con otros métodos, cosa que nos ayudará a evitar los riesgos que conlleva el proyecto.

#### **4.3.2 Desarrollo del vehículo aéreo no tripulado**

Para el desarrollo del modelo que utilizaremos, se consideró, los módulos de la agricultura de precisión como módulo de captura, procesamiento, análisis y resultados (IICA, 2014) teniendo presentes estos, se generaron los siguientes para el proceso de revegetación:

##### **4.3.2.1 Módulo de Operación**

Este módulo consta de dos elementos principales los cuales son el vehículo aéreo no tripulado y el dispensador de semillas; se consideran de manera separa debido a que el “Drone” cumplirá más de una función.

El objetivo de este módulo es la de distribuir las bombas de semillas sobre la superficie del terreno antes ya identificada, con ello generar una capa exportable para software de información geográfico como QGIS, que contenga los puntos afectados.

Además de generar una clasificación de los suelos afectados, con los datos de la ubicación de cada semilla y el tipo de herbácea planta en el área, para que posteriormente facilite su seguimiento, con ello generar un indicador de eficacia y además de que facilite generar un plan de contingencia por algún imprevisto.

#### **4.3.2.2 Módulo de Datos**

Este módulo consiste básicamente en la administración de las rutas de vuelo y plan de acción para el “Drone”, para ello es necesario un previo análisis de las condiciones geográficas del sector afectado, además de tener claro las condiciones del suelo, para elegir la especie de herbácea que mejor se adecue y tenga mayor efectividad. Además de posterior al vuelo se genera un archivo KML para facilitar su almacenamiento para su futuro análisis y seguimiento. El elemento principal de este módulo son los datos previamente levantados y el software generador de rutas para el “Drone”

#### **4.3.2.3 Módulo de seguimiento y análisis**

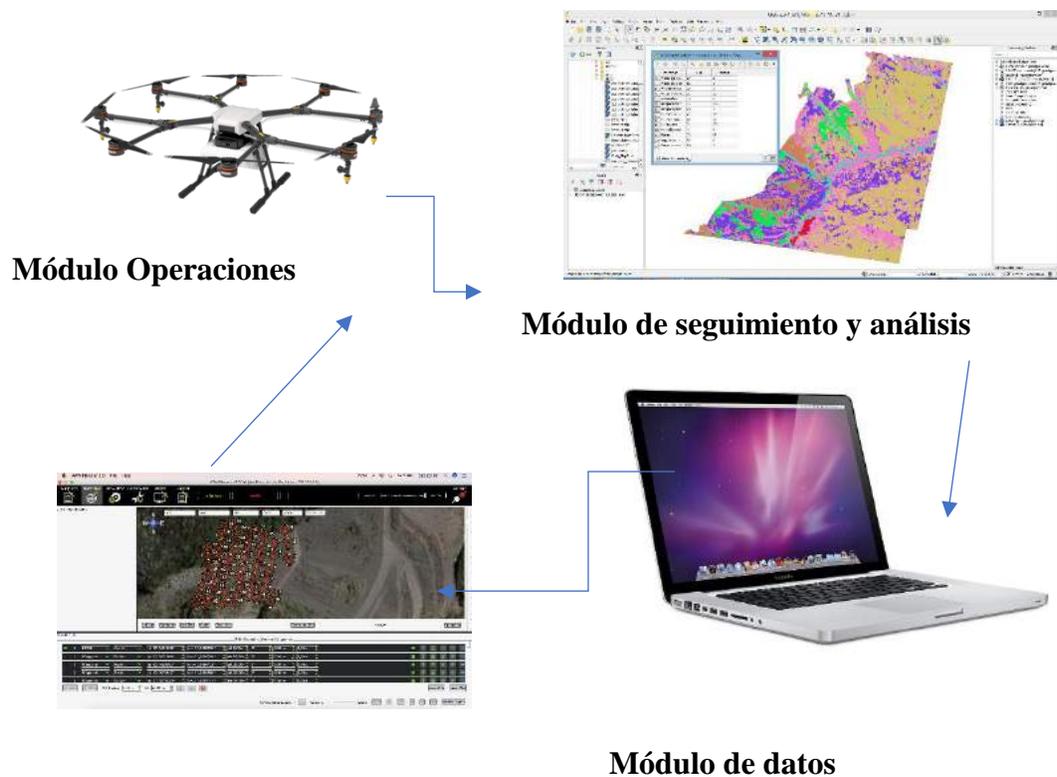
Para facilitar la toma de decisiones de los usuarios de este servicio, se consideró un área donde se pueda integrar sistemas de información geográfico, para la muestra y seguimiento de resultados.

Esencialmente este módulo permite tener resultados como porcentajes de germinación de las bombas, sobrevivencia, estado de crecimiento lo que proporciona datos para generar planes de eventualidades posibles durante el proceso.

#### 4.4 Proceso de elaboración piloto

Para la elaboración de nuestro piloto se consideraron los módulos anteriormente mencionados figura #4-4

Figura #4-4 Esquema de los módulos



Para llevar dicho piloto se levantaron los siguientes requerimientos:

- Drone
- Dispensador de semillas
- Software de Información geográfica
- Software de rutas Drone
- Bombas semillas

Para cumplir con este requerimiento del Drone se evaluó comprar uno y adaptarlo, pero viendo que los actuales en el comercio no contaban con la facilidad de modificar el software o agregarles accesorios de carga, se decidió adquirir los elementos para armar uno más adecuado para el piloto.

Se decidió buscar una estructura de un Drone de configuración Cuadricóptero lo que significa de cuatro motores ya que, otorga la suficiente estabilidad de vuelo y una maniobrabilidad suficiente para operar en un terreno como el del piloto; la estructura elegida fue la del modelo “ATG T650-X4” (figura #4-5) la cual es de fibra de carbono lo que le da suficiente resistencia, este modelo consta de la singularidad de que para facilitar su transporte los brazos del Drone pueden cambiar de posición (figura #4-6) finalmente también se eligió por la altura del tren de aterrizaje, la cual nos permite agregar el recipiente de almacenaje de las bombas de semilla.

Figura #4-5 Modelo Drone ATG T650-X4 con brazos extendidos



Figura # 4-6 Modelo Drone ATG T650-X4 con brazos cerrados



#### **4.4.4 Componentes del Hardware**

Los componentes del hardware al trabajar en conjunto proveen funcionalidad al fuselaje del Drone y sus componentes asociados, para que éste levante vuelo y realice su ruta de revegetación.

##### **4.4.4.1 Motores**

La primera decisión por tomar es el tipo motor que nos hace falta, básicamente hay de 2 tipos: motores con escobillas o sin escobillas. Los primeros utilizan las escobillas para contactar con el eje de rotación del motor, como consecuencia estas escobillas se desgastan y es ineficiente. En contraposición, los motores sin escobillas (Brushless) no tienen conexión física entre las partes eléctricas en movimiento. Así pues, son mucho más eficientes y elimina en gran parte el mantenimiento. Pero tiene un coste mucho más alto. Dentro de los motores sin escobillas existen dos tipos: los outrunner y los inrunner. Los outrunner son motores que están diseñados para trabajar a bajas revoluciones en aplicaciones de alto torque.

Las disposiciones de los imanes permanentes en este tipo de motores están en la carcasa externa, mientras que el bobinado se encuentra fijo en la bancada. La zona móvil del motor es la propia carcasa a diferencia, los motores outrunner están diseñados para trabajar a altas revoluciones, en aplicaciones de par bajo. En este tipo de motor es similar a un motor DC con escobillas, pero los imanes están fijados al rotor.

En nuestro modelo del Drone se han usado motores brushless outrunner ya que su principal virtud es que tiene mucha potencia en muy poco peso. Estos motores son controlados mediante una placa electrónica, llamada ESC (Electronic Speed Controller) que genera 3 señales de sinusoidales que están conectadas al motor y regula su velocidad.

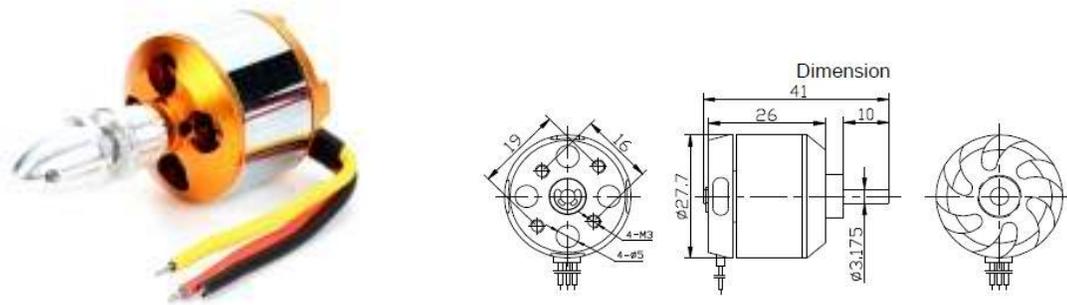
#### **4.4.4.2 Motor seleccionado**

Motor Brushless A2212/13T 1000KV. Motor sin escobillas o brushless controlado por PWM. Ideal para sistemas de vuelo tipo Cuadricóptero. También se utilizan en vehículos aéreos de ala fija. El motor soporta hasta 12 A y se recomienda usar un controlador ESC de 30A.

#### **Especificaciones del Motor**

- Motor Brushless KV1000, **A2212**
- Diámetro del eje: 3.175mm.
- Corriente: 12A/60s.
- Controlador recomendado: ESC 30A.
- Hélices adecuadas: 8x4.5" 9x4.5" 10x4.5" 10x4.7"
- Ideal para baterías de litio 2 a 3 celdas.
- Incluye adaptador para base.

Figura #4-7 Esquema del Motor



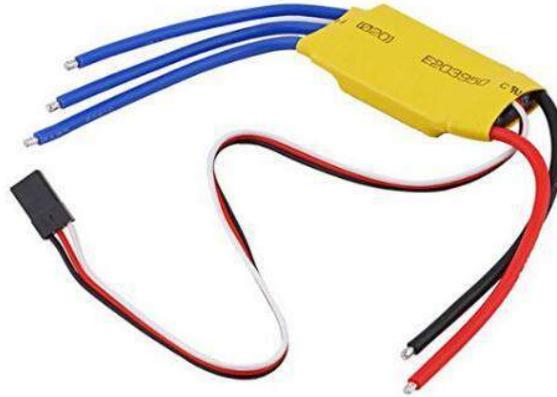
#### 4.4.4.3 Circuito ESC

El ESC es un circuito que se encarga de generar una señal trifásica que alimenta el motor. La velocidad de giro se varía mediante una señal suministrada por el PWM.

30A: un instante 45A, 40A continuo 10 segundos.

- Tamaño: 30A-45 x 24 x 8 mm.
- Gama del voltaje: 4 V-16V.
- Número de batería: 4-12 NiMH 2-3LIPO, (4LIPO BEC no permite el uso de la salida)
- BEC hecho salir: 30A,
- Tensionado: 5 V 3A. 2LIPO 4-5 micro dirección engranaje 3 LiPo 3-4 micro-dirección de engranajes
- Características de la protección: la selección automática 2-3 LiPo era Voltaje protegido es 6V/9V
- NiMH automático de voltaje protegido es 0,8 V.

Figura #4-8 Circuito ESC



#### 4.4.4.4 Batería

Para seleccionar la batería se consideró principalmente el amperaje de la batería ya que no solo alimentara el Drone si no que el dispensador de semillas.

Se decidió utilizar baterías LiPo porque son capaces de suministrar mucha energía en poco tiempo y siendo a la vez muy ligeras, en contra posición de la típica batería de plomo o Níquel-Cadmio.

Dentro de las baterías LiPo, se escogió una de 2200mAh 3S (11,1V) 25C porque se quería garantizar un tiempo de vuelo prolongado. Para poder para cumplir con la intensidad que tiene que suministrar a los motores (60 A) se conectan dos baterías del mismo tipo en paralelo.

Figura #4-9 Batería



#### 4.4.4.5 GPS & compás incorporado

Dentro del mercado existe una amplia gama de módulos GPS para Drone, pero compatibilidad con el microcontrolador del Drone y costo se eligió un modelo masivo que incorporara una brújula digital para poder realizar los vuelos cargando una ruta predefinida, se utilizó el módulo de la serie Ublox el cual proporciona un método conveniente de montar la brújula lejos de fuentes de interferencia que pueden estar presentes en los confines del vehículo. Cuenta con circuitos activos para la antena de parche de cerámica, batería de reserva recargable para arranques en caliente y se entrega preconfigurado para su uso con la micro controladora Pixhawk o APM.

#### Características del GPS

- Módulo Ublox Neo-M8N
- Velocidad de actualización de navegación de hasta 10 Hz
- Fría comienza: 26s
- 25 x 25 x 4 mm antena de parche de cerámica
- Batería de reserva recargable de litio de 3V
- Regulador de 3.3V de bajo ruido
- LED indicador de energía y arreglarlo
- 30cm Pixhawk2.4 compatibles de 6 pines y APM compatible 5 pines cable de 2 tipos incluidos

- Diámetro 60 mm tamaño total, 32 gramos con el caso.

Figura #4-10 Fotografía de un GPS



#### **4.4.4.6 Emisora**

A pesar de que el Drone es operado de manera autónoma, de igual forma es preferible ante cualquier imprevisto contar con una emisora para control manual del vehículo, además que para las pruebas facilita su operación y verificación del estado de los accesorios. Para ello se eligió la emisora Fly Sky FS-T6 ya que es una de las más básicas y menor precio dentro del mercado.

#### **Características de la Emisora**

Interfaz de simulación: sí.

Buzzer: sí.

Alarma de baja batería cuando llega a 9 v.

Necesita 8 pilas AA para funcionar.

Peso: 590 g

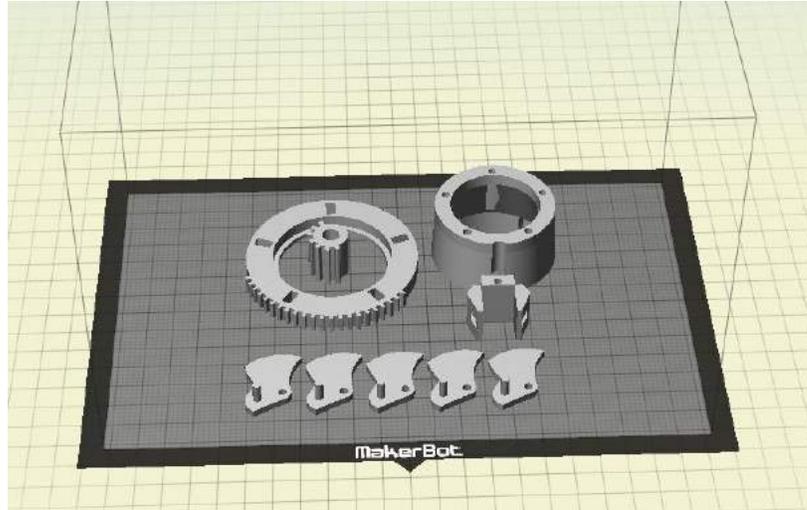
Figura #4-11 Fotografía de la Emisora



#### 4.4.4.7 Dispesador de semillas

Para la obtención del dispensador, se debió analizar algún método que fuera el más sencillo para dejar caer una a una las semillas, para ello se llegó a la fabricación a un sistema de compuerta utilizado para este propósito el dispensador desarrollado de manera opensorce, por Aeracoop, para fabricarla por impresión 3D. finalmente para la dosificación se hace por el tiempo de apertura, permitiendo dejar caer una semilla, para luego cerrar, al ser un piloto el margen de error de este sistema es aceptable, ya que posee el riesgo de dejar caer más de una semilla hasta un máximo de tres pero eso netamente depende de la variación de peso de estas, además uno de los motivos de por qué se hicieron de un diámetro de dos centímetros fue para reducir este factor.

Figura #4-12 Fotografía del Esquema de Impresión del Dispensador de Semillas



Los elementos mecánicos del dispensador fueron fabricados por el equipo, y para el control de apertura se utilizó un servo de 9 gramos debido a su tamaño, torque necesario para el movimiento de la compuerta, voltaje de operación, consumo de corriente y fácil interacción con el microcontrolador que se utilizara para operar el Drone.

#### 4.4.4.8 Servo motor

Pequeño y ligero con alta potencia de salida. El servo puede girar aproximadamente 180 grados (90 en cada dirección), y trabajos apenas como los tipos estándar pero más pequeños. Puede utilizar cualquier código, hardware o librería para controlar estos servos.

#### Especificaciones Servo Motor

- Peso: 9 g
- Dimensión: 22,2 x 11,8 x 31 mm aproximados.
- Par de paradas: 1,8 kgf · cm
- Velocidad de funcionamiento: 0,1 s/60 grado

- Voltaje de funcionamiento: 4,8 V (~ 5V)
- Ancho de banda muerta: 10  $\mu$ s
- Rango de temperatura: 0 ° c – 55 ° c

Figura #4-13 Fotografía de Servo Motor



#### 4.4.4.9 Microcontrolador

El Drone lleva montada una placa electrónica de hardware abierta, para facilitar creación del prototipo, ya que los softwares relacionados y hardware son flexibles, fáciles de modificar y usar.

Las opciones de controladores compatibles con el firmware a utilizar en el Drone eran las siguientes:

- El controlador clásico APM 2.6, basado en un chip ATmega2560, posee el poder computacional de un Arduino (Figura #4-14).
- El nuevo controlador Pixhawk, que representa la modernización del PX4. El procesador está basado en un potente chip STM32, y con 14 salidas PWM/Servo.

Posee además puertos de diversos protocolos (I2C, UART, CAN) para conectar variados periféricos (Figura #4-15).

La posibilidad de agregar un accesorio o periférico fue un factor al momento de elegir entre las alternativas, ya que se debía integrar el dispensador de semillas al sistema, ambas placas cumplían con ello pero la capacidad de procesamiento y la mayor opción de módulos adicionales, como cámaras o sensores y tamaño de memoria, hacen mucho más efectivo la Pixhawk, por lo que se optó por esta solución con el fin de tener opciones de ejecutar programas de más alto nivel en el futuro, y de no tener restricciones computacionales para proyecciones futuras del sistema.

Figura #4-14 Fotografía del controlador clásico APM 2.6

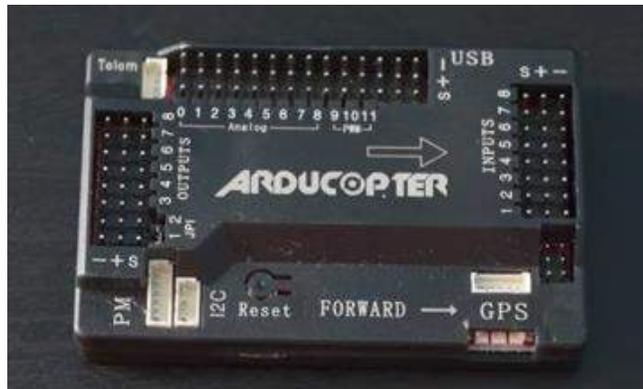


Figura #4-15 Fotografía controlador Pixhawk

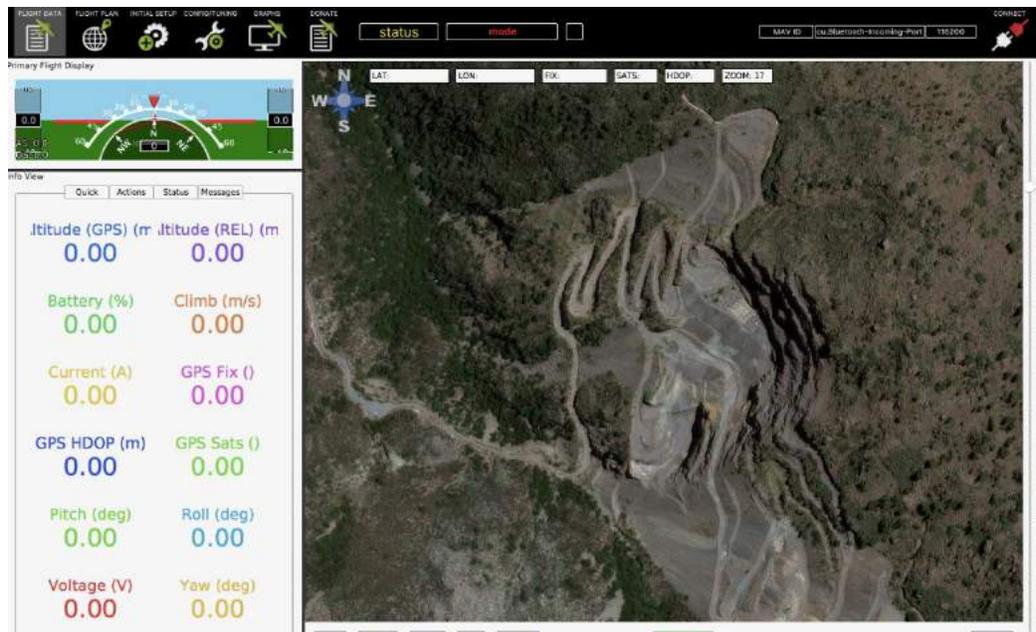


#### 4.4.4.10 Software APM Planner

APM Planner 2.0 es una aplicación de estación terrestre de código abierto para autopilotos basados en MAV link que incluye APM y PX4 / Pixhawk que se puede ejecutar en Windows, Mac OSX y Linux.

Permite configurar, calibrar y cargar el firmware para el sistema de piloto automático para APM o Pixhawk. Incluye un módulo para planificar una misión con puntos de ruta GPS (way points) y programar actividades durante la ruta. Además, permite conectar por telemetría con el Drone para ver datos en tiempo real (Figura #4-16)

Figura #4-16 Software APM Planner con imagen satelital del botadero



El modo de uso, para el proyecto principalmente se asocia al módulo de operación y datos ya que se usará para configurar las rutas de vuelo y marcar los puntos, donde dejará caer el Drone las bombas de semilla, además de que el Drone graba de forma paralela un historia de vuelo incluídas las acciones realizadas generando un registro que puede ser leído por el mismo programa además este programa permite exportar en archivos KML lo que entrega la posibilidad de almacenar estos registros, para su posterior análisis por cualquier software de sistemas de información geográfica.

En la Figura #4-17 se muestra un ejemplo de uso, del software para la planificación del vuelo y plantación de las semillas en el sector tres del Botadero El Caquicito #1.

Figura #4-17 Software APM Planner con imagen satelital cargada del área 3 del botadero



Como se ve en la figura anterior, se generó una ruta de vuelo por el sector superior del sector tres, la cual comienza desde el punto 0 y termina en el 131 retornando donde el operador los puntos desde el 1 al 130 son, donde el Drone ira dejando semilla por semilla en la latitud y longitud programada. En el software cada punto se puede variar la altitud de vuelo tiempo que se mantendrá detenido en el punto e incluso programar la acción de un periférico en este caso un servo motor el cual tiene la función de abrir y cerrar la compuerta de descarga de las semillas, lo cual facilita el testeo del método ya que se necesita intervenir en el código fuente del Drone.

#### **4.5 Restricciones del piloto**

El Drone tiene una estimada capacidad de carga de 1000 gramos lo que nos limita a una carga máxima de 142 semillas por vuelo.

La autonomía de carga del Drone se estima con la siguiente consideración:

- Se cuenta con dos baterías en paralelo de LiPo de 11.1Volts y 2200 mAh de capacidad
- Motores consumen de 5 a 6 Amperes a menos de media potencia
- La alimentación del microcontrolador GPS y otros periféricos no supera los 800 mAh

#### **4.6 Cálculo Consumo de la batería**

$$11,1V \times 6 A = [66,6 W] \times 4$$

$$266,4 W = \text{consumo motores a media potencia}$$

#### **4.7 Tiempo de vuelo**

$$E = \frac{4,4Ah \times 11,1V}{266,4W} = 0,1833 h = 11 mn$$

$$P \quad 266,4W$$

Finalmente, la capacidad de vuelo máxima que podrá tener nuestro prototipo de Drone será de aproximadamente 11 minutos siempre pudiendo aumentar siempre y cuando se compren baterías con mayor capacidad de carga.

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS DE MODELO DE NEGOCIO CHUCKAW PLAN PILOTO**

#### **5.1 Modelo de Negocios**

Para poder definir un modelo de negocios para este servicio, primero debemos identificar los factores que se relacionan con este, es por ello que nos basamos en una estructura similar al modelo canvas, para poder analizar la implementación de este piloto y así poder examinar nuestros procesos internos.

#### **5.2 Socios claves**

Estos factores se definen las partes afectadas por nuestro proceso de revegetación, tanto como clientes, comunidad y proveedores.

- Anglo América, quien sería nuestro cliente
- Comunidad de El Melón y la asociación gremial de Agricultores y Ganaderos de los Bienes Comunes# 2, comuna de Nogales, V región, sería usuario
- Lombricultura Pachama Sociedad Anónima, proveedor
- Vivero Arbolada, Proveedor
- MCI electronics, Proveedor

#### **5.3 Actividades claves**

El objetivo es identificar de manera clara los procesos claves de este piloto.

- Fabricación del Drone
- Adquisición de bombas de semilla
- Implementación de módulos
- Siembra

- Monitoreo

#### **5.4 Recursos Claves**

Se busca señalar los elementos que generan un factor diferenciador de nuestro proceso con las alternativas actuales.

- Drone
- Bombas de semilla
- Dispensador de semillas
- Operario Dronee
- Software de ruta de vuelo
- Estación de control de vuelo

#### **5.5 Propuesta de valor**

Señalar nuestro grado diferenciador y de beneficios que podemos hacer notar a nuestros clientes y usuarios.

- Reforestación en áreas de difícil acceso
- Uso de software libre para la operación y seguimiento
- Diversidad de especies endémicas para el proceso

#### **5.6 Relación con cliente**

Nuestra relación para el servicio, es de desarrollo en conjunto para las etapas de pilotaje ya que así se facilitará la obtención de datos y se fidelizará al cliente para futuras implementaciones en otros sectores.

## **5.7 Segmento Clientes**

Son todas aquellas empresas que necesitan cumplir con compromisos ambientales y planes de manejo.

A fecha 30 de octubre existen 29 proyectos en calificación de estudio de impacto ambiental, los cuales serian nuestros posible ya que pueden adquirir algún tipo de compromiso que los lleve a un proceso de revegetación de algún sector. Para este caso, la minera el Soldado necesita este servicio para el proceso de cierre de faena.

## **5.8 Estructura de costo**

Considerando los costos principales de nuestro grado de diferenciación:

- Los costos asociados adquisición de cada bomba semilla es \$220 IVA incluido pesos por unidad.
- El Costo de un operario del Dronee es de \$ 55.000 pesos la jornada de trabajo.
- El costo de fabricación del Dronee con dispensador de semilla es de \$449.850 IVA incluido.

## **5.9 Fuente de ingresos**

Si se tuviera que cobrar por este plan piloto, se considerarían afectados 2500 m<sup>2</sup> los cuales tendrían un valor por el proceso de revegetación de \$3.000.000 lo que daría un costo de \$1.200 por m<sup>2</sup> afectado.

## 5.10 Presupuesto Fabricación Drone “Chuckaw”

El Presupuesto de fabricación considera los componentes para el fuselaje, los controles automáticos de pilotaje, dispensador de semillas y los softwares necesarios para su funcionamiento, recolección y almacenaje de datos.

Tabla 5-1

Costos de fabricación del Drone

Materiales	Unidades	Valor	Total CI\$	Proveedor
Controlador para motores Brushless	4	\$16.990	\$67.960	MCI electronics
Motor Brushless	4	\$12.990	\$51.960	MCI electronics
Ardupilot APM 2.8 con sistema Telemetria y gps	1	\$114.900	\$114.900	MCI electronics
Bateria 12 Volts	3	\$25.000	\$75.000	Tectronics
Emisora	1	\$56.290	\$56.290	Linio
Dispensador semilla impreso 3D	2	\$7.500	\$15.000	Trokilab
Estructura Quadricoptero	1	\$50.000	\$50.000	MCI electronics
Motor servo	2	\$5.990	\$11.980	MCI electronics
Helice	8	\$845	\$6.760	MCI electronics
Software misión Planner/QGIS	2	0	0	Ardupilot/QGIS
Total			\$449.850	

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

La obtención de datos en los últimos años ha facilitado la disminución de riesgo en los procesos y en la actualidad el internet de las cosas se hace cada vez más presente en todas las industrias, llegando incluso, a un monitoreo en tiempo real, de una cantidad, impresionante de variables. Ahora en el área ambiental vemos que comienzan a existir un sin fin de plataformas que usan IOT para alimentar sus datos y vemos como son utilizados para controlar parámetros de emisión de gases, control de residuos, etc... pero estas tecnologías en sistemas de acción o contingencia no se han explotado. Nuestro proyecto mezcla plataformas de información junto un sistema de acción para el control y monitoreo de vegetación, tratando de integrar las plataformas existentes sin alterar la forma en las que leen los datos, sólo modificamos y entregamos una nueva propuesta de la toma de éstos, además generamos elementos que se pueden considerar para el cumplimiento y seguimientos de compromisos ambientales adquiridos por las empresas que se comprometen a planes de reforestación y revegetación.

Es por ello que la metodología generada por este proyecto, puede ser utilizada como base para generar un sistema aún más completo, ya que se puede integrar y complementar con estaciones de monitoreo y análisis previo del estado de los suelos y clima para disminuir aún más la incertidumbre de la efectividad de procesos de revegetación.

El lanzamiento de Bombas de semillas herbáceas nativas, es una alternativa real que entrega condiciones óptimas para el crecimiento de plantas, para recubrir en forma paulatina el talud, disminuir la erosión, especialmente rehabilitando sectores con mucha pendiente, de difícil acceso, que se caracterizan por no poder usar riego artificial, características propias del sector del Botadero Caquicito como ecosistema afectado.

Esperamos que con esta intervención, podamos concretar el seguimiento en conjunto con Minera El Soldado, ya que estamos en un proceso de negociación para su continuidad, así podremos medir la efectividad de este piloto en el área, y de pasor corresponder a la confianza otorgadaa la comunidad propietarias del sector que nos ha abierto sus puertas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alejandro Miranda, A. A. (2017). Native forest loss in the Chilean biodiversity hotspot. *Reg Environ Change*, 17:285–297.
- AngloAmerican. (2009). *Reporte a la Comunidad - Informe Evaluación Socio Económica (SEAT 2)*. Santiago: Anglo American El Soldado. Obtenido de <http://www.angloamerican-chile.cl>: <http://www.angloamerican-chile.cl/~media/Files/A/Anglo-American-Chile-V2/document/communities/seat-el-soldado-2009.pdf>
- Eisenmann, T. R. (9 de Marzo de 2012). Hypothesis-Driven Entrepreneurship: The Lean Startup . *Harvard Business School Entrepreneurial Management Case No. 812-095*. Harvard Business School Entrepreneurial Management. Obtenido de <https://ssrn.com>: <https://ssrn.com/abstract=2037237>
- Estarlich, J. (2013). *Ardupilot piloto automatico para aereomodelo con arduino* . Valencia, España: Universidad Politecnica de Valencia .
- Fernández, I., San, N. M., Dávila, L. O., Caballero, J. S., Unjidos, M. G., & Riz, G. M. (2010). *Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales*. Santiago: Forestal Mininco, Arauco & EcoMabi.
- Fukuoka, M. (2012). *Sowing seed in the desert*. Vermont: Chelsea Green Publishing.
- Grant, C., & Koch, J. (2007). Decommissioning Western Australia’s first bauxite mine: co-evolving vegetation. *Ecol Mgmt Restor* , 8:92–105.
- IICA. (2014). *Manual agricultura de precisión*. Procisur.
- Macdonald, S. E., Landhausser, S. M., Skousen, J., Franklin, J., Frouz, J., Hall, S., . . . Quideau, S. (2015). Forest restoration following surface mining disturbance:. *New Forest*, 46:703–732.
- Mary T. K. Arroyo, P. M. (8 de 2 de 2006). <http://www.mma.gob.cl>. Obtenido de Ministerio del Medio Ambiente: [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120068/Kalin%20Arroyo%20MT\\_Hotspot.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120068/Kalin%20Arroyo%20MT_Hotspot.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Myers, N. R. (2000). “Biodiversity hotspots for conservation priorities”. *Nature*, 403: 853-858.

Universidad de Córdoba. (2014). *Manual de técnicas de estabilización biotécnica en taludes de infraestructuras de obra civil*. Córdoba.

World Resources Institute. (29 de October de 2014). *Atlas of forest landscape restoration opportunities*. Obtenido de <http://www.wri.org>:  
<http://www.wri.org/applications/maps/flr-atlas/#>