

UCH-FC
Q. Ambiental
0148
C.1

**ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DE CALETONES Y ZONA
CIRCUNDANTE, PARA MEJORA EN PROYECTOS DE REFORESTACIÓN.**

DIVISIÓN ELTENIENTE, CODELCO-CHILE



Seminario de Título entregado a la
Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile
en cumplimiento parcial de los requisitos
para optar el título de
QUÍMICO AMBIENTAL



Karina Alina Olivares Mallea

Director de Seminario de Título: Sr. Francisco Montané Vives

Profesor Patrocinante: M.Cs. Sylvia V. Copaja

Santiago de Chile

Julio, 2007

FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

INFORME DE APROBACIÓN
SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile que el Seminario de Título presentado por la alumna

Karina Alina Olivares Mallea

ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación del Seminario de Título como requisito para optar al título de Químico Ambiental

Director Seminario de Título:

Sr. Francisco Montané V.

Comisión de Evaluación Seminario de Título

Prof. Patrocinante:

M. Cs. Sylvia Copaja C.

Correctores:

M. Cs. Inés Ahumada T.

Dr. Juan Pablo Fuentes E.










CURRICULUM VITAE

Antecedentes personales

- **Nombre:** Karina Alina Olivares Mallea
- **Dirección:** Santa Teresita # 33 Villa San Lorenzo, Machalí
- **Fecha de Nacimiento:** 26/04/1981
- **Teléfono:** (72) 752170 (casa) /08-5104101 (celular)
- **E-Mail:** kalina.om@gmail.com



Antecedentes académicos

- **Estudios Básicos y Enseñanza Media:** Colegio Villa María College, Machalí.
- **Estudios Universitarios**
Nombre Carrera o Programa: Química Ambiental.
Institución Educacional: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias.
Dirección: Las Palmeras 3425, Ñuñoa. Casilla 653, Santiago.

Experiencia Académica

Realización de Ayudantías:

- Laboratorio de Físicoquímica I para las carreras de Ingeniería en Biotecnología Molecular/ Licenciatura en Biología.
- Laboratorio de Físicoquímica II para las carreras de Ingeniería en Biotecnología Molecular/ Licenciatura en Biología.
- Laboratorio de Química de Suelos para la carrera de Química Ambiental.

Realización de Unidad de Investigación:

- Tema: Estudio de Adsorción de Plomo en Suelos de la Sexta Región. Comuna de Machalí. Desarrollado en el Laboratorio de Cromatografía y Química orgánica de la Facultad de Ciencias, Universidad de Chile.

Participación en eventos científicos

- Retención de Plomo y Molibdeno en Suelos de la Sexta Región, Sylvia V. Copaja, **Karina Olivares**, Diego Briones y Gabriela Camarda, XXV Jornadas de la Sociedad Chilena de Química, Antofagasta (2004), Chile.
- Contaminación por Plomo y Molibdeno en Suelos de la Sexta Región, Sylvia V. Copaja, **Karina Olivares** y Diego Briones, VII Jornadas de Química Analítica y Ambiental, La Serena (2004), Chile.
- Relación Retención/Biodisponibilidad en Suelos de la Sexta Región, Sylvia V. Copaja y **Karina Olivares**, IV Jornadas Chilenas de Química y Física Ambiental, Temuco (2005), Chile.
- Estudio de las características del suelo de Caletones y zona circundante para propuesta de reforestación, **Karina Olivares**, Francisco Montané, VIII Jornadas de Química Analítica y Química Ambiental, Iquique (2006), Chile.

Otros

Idiomas

- **Español:** Lengua materna.
- **Inglés:** Nivel de conversación fluido y nivel alto de escritura y lectura.
- **Francés:** Nivel básico de conversación y de escritura – lectura.

“A Edith y Arnoldo, unos padres maravillosos”

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a la Gerencia Fundición, Departamento de Control Operativo, Gestión ambiental de la División El Teniente, CODELCO- Chile; en especial a el Sr. Francisco Montané y al Sr. Luis Sandoval por permitirme realizar mi seminario de título en este lugar. A la gente de la red de monitoreo, Don Gabriel Abarca y Don Luis Díaz, porque siempre estuvieron dispuestos a trasladarme en su camioneta y a apoyarme cuando lo necesitara.

Como olvidar a esa gente que me acogió durante mi estadía he hizo de ella un tiempo agradable y lleno de gratos recuerdos que no olvidaré, Don Héctor Cortés, Don Mario Olate, Don Mario Garrido y a mi compañero de oficina Nelson. Además quiero agradecer a la gente del convenio CONAF-Teniente, en especial a Mauricio Lemus, Jaime Videla y Beatriz Sanromán por todo su apoyo y ayuda infinita.

A mis profesores en especial a la profesora Sylvia Copaja, por ser parte importante en mi formación profesional, por su apoyo como profesora patrocinante de este seminario de título y por mostrarme un abanico de posibilidades de desarrollo profesional e inspirarme a buscarlas.

Por último y de forma muy especial, agradezco a mi familia y a mis queridas amigas, por su cariño y su incondicional apoyo durante mi vida, mis estudios y el desarrollo de este trabajo.

INDICE DE CONTENIDOS

I	INTRODUCCION.....	1
1.1	Efectos de las actividades mineras en el suelo.....	1
1.2	Restauración.....	4
1.3	Situación ambiental de El Teniente.....	6
1.4	Descripción del área de estudio (mineral El Teniente).....	7
1.5	Estudio de línea Base.....	7
1.6	Marco Geográfico.....	9
1.6.1	Relieve y drenaje.....	9
1.7	Geomorfología.....	10
1.7.1	Formación yacimiento El Teniente.....	10
1.7.2	Marco Geológico y tectónico regional.....	10
1.7.2.1	Formación Coya-Machalí.....	11
1.7.2.2	Formación Farellones.....	12
1.7.2.3	Formación Colón-Coya.....	12
1.7.3	Hidrogeología.....	13
1.7.4	Hidrología.....	14
1.8	Meteorología.....	15
1.9	Flora.....	17
1.10	Fauna.....	18
1.11	Suelos de la cuenca del río Coya.....	19
1.12	Trabajos de restauración ambiental: El Convenio CONAF-TENIENTE.....	21
1.12.1	Objetivos del convenio.....	22
1.12.2	Áreas de trabajo.....	23
1.12.3	Logros obtenidos.....	23
1.13	Análisis químicos de suelos.....	25
1.14	Ensayo de instalación de especies en ambientes alterados por actividades mineras.....	27
1.15	Hipótesis.....	28

1.16	Objetivo general	28
1.17	Objetivos específicos.....	29
II	MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
2.1	Área de estudio	30
2.1.1	Accesibilidad.....	30
2.1.2	Cercanías a centros industriales.....	31
2.1.3	Exposición	31
2.1.4	Pendiente	31
2.1.5	Visibilidad y paisajismo	32
2.1.6	Geología.....	32
2.2	Método de trabajo y limitaciones	32
2.2.1	Tipo de muestreo.....	33
2.3	Análisis químicos de suelos.....	35
2.3.1	Humedad.....	36
2.3.2	Textura	36
2.3.3	pH.....	36
2.3.4	Conductividad eléctrica.....	37
2.3.5	Extracto pasta saturada	37
2.3.6	Materia orgánica oxidable.....	37
2.3.7	Contenido metales y aniones.....	37
2.4	Ensayo de instalación de especies en ambientes alterados por actividades mineras.....	38
2.4.1	Diseño experimental.....	39
2.4.2	Análisis estadístico	42
2.4.2.1	Diseño factorial en bloques.....	42
2.4.2.2	Análisis de la Varianza Multifactorial	43
2.4.2.3	Pruebas post hoc.....	43
III	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
3.1	Muestreo	44
3.1.1	Sector de muestreo Tranque Barahona, STB (19 abril 2006).....	47
3.1.2	Sector de muestreo Caletones Alto, SCA (25 abril 2006).....	51

3.1.3	Sector de muestreo antiguo Campamento Caletones, SCC (27 abril 2006)	
	54	
3.1.4	Sector de muestreo Colón ViejoSCV: (3 mayo 2006).....	57
3.1.5	Sector muestreo Los Cóndores, SLC (10 mayo 2006).....	60
3.2	Análisis de suelos.....	63
3.2.1	Características físicas y químicas.....	63
3.2.1.1	pH.....	64
3.2.1.2	Conductividad eléctrica (CE).....	65
3.2.1.3	Análisis de humedad.....	65
3.2.1.4	Textura.....	66
3.2.1.5	Materia Orgánica (MO).....	67
3.2.2	Composición química.....	68
3.3	Ensayo crecimiento.....	79
3.3.1	Resultados y análisis estadístico.....	79
3.4	Discusión general.....	95
3.5	PROPUESTA DE MEJORAS EN LA REFORESTACION.....	97
IV	CONCLUSIONES.....	104
V	BIBLIOGRAFIA.....	106
	ANEXO I.....	112
	ANEXO II.....	117
	ANEXO III.....	120

INDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1	Especies forestales nativas más frecuentes de la zona	18
2	Especies de fauna nativa más frecuentes de la zona	19
3	Calidad del suelo de la cuenca del río Coya	20
4	Superficie forestada por convenio ambiental al año 2000	24
5	Superficie de taludes protegidos con vegetación al año 2000	24
6	Características zona de muestreo para STB	50
7	Características zona de muestreo para SCA	53
8	Características zona de muestreo para SCC	56
9	Características zona de muestreo para SCV	59
10	Características zona de muestreo para SLC	62
11	Características físicas y químicas de los suelos	64
12	Sales solubles	68
13	Metales	69
14	Listado de especies para reforestación	100

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Ubicación del mineral El Teniente	7
2	Mapa zona saturada	8
3	Preparación de la <i>Stipa Caudata</i>	40
4	Esquema ensayo crecimiento <i>Stipa Caudata</i>	41
5	Mapa estratificación zona alta	45
6	Sectores de muestreo y áreas de recolección de muestras	47
7	Foto satelital sector Tranque Barahona	49
8	Foto satelital sector Caletones Alto	52
9	Foto satelital sector Campamento Caletones	55
10	Foto satelital sector Colón Viejo	58
11	Mapa sector Los Cóndores	61
12	Contenido de cationes en sales solubles	70
13	Contenido de aniones en sales solubles	72
14	Contenido de metales	73
15	Interacción en los suelos del pH con la MO y la S. bases	77
16	Interacción en los suelos del pH con sulfato y Mn	78
17	Relación de la Altura vástago v/s pH y MO. Ambiente Caletones	81
18	Relación de la Altura vástago v/s saturación de bases y sulfato. Ambiente Caletones	82
19	Relación de la Altura vástago con Mn. Ambiente Caletones	83
20	Relación de la Altura vástago v/s pH y MO. Ambiente viveros	84
21	Relación de la Altura vástago v/s saturación de bases y sulfato. Ambiente viveros	85
22	Relación de la Altura vástago con Mn. Ambiente viveros	86
23	Influencia del acondicionador y el sector de muestreo sobre el peso de la planta	88
24	Influencia del acondicionador y el sector de muestreo sobre el largo de las raíces	90
25	Influencia del acondicionador y el sector de muestreo sobre el número de las raíces	92

26	Influencia del acondicionador y el sector de muestreo sobre el número de vástagos	94
----	---	----

GLOSARIO DE TERMINOS

Acícula: hoja de las coníferas, alargada, fina, rígida y puntiaguda.

Andesita: roca de origen volcánico, de tipo ígnea extrusiva.

Antrosoles: suelos en los que la actividad humana ha provocado profundas modificaciones de todo el perfil o de la mayor parte de los horizontes.

Biogeoquímico: La serie cíclica de transformaciones de los elementos que forman los organismos biológicos ("bio"), el ambiente geológico ("geo") y que intervienen en un cambio químico. Estos elementos circulan a través del aire, la tierra, el agua y los seres vivos.

Cariópside: fruto seco, a cuya única semilla está íntimamente adherido el pericarpio. Es el fruto característico de las gramíneas.

Clastos minerales: son trozos de rocas que provienen de otro sector (sector de origen). Generalmente todas las rocas y minerales pueden aparecer como clasto: cuarzo, feldespatos, carbonatos, arenisca, esquistos y muchos más. El conjunto de clastos representa el (o los) sector(es) de origen. Solo el transporte destruye los componentes más débiles. Entonces la magnitud del transporte se manifiesta por el contenido de clastos.

Dacitas: roca de origen volcánico, del tipo ígnea extrusiva.

Depósitos calcáreos: depósitos no ácidos que derivan de piedra caliza.

Diorita: roca de origen volcánico, del tipo ígnea intrusiva.

Dolomita: es un mineral compuesto de carbonato de calcio y magnesio $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$.

Efecto nodriza: ocurre cuando una planta facilita el establecimiento de plántulas (ya sea de su misma especie u otras) bajo o entre su dosel ya que ofrece condiciones más favorables para la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas

Extrusivo: tipo de roca que se ha formado a partir del enfriamiento de lava en la superficie.

Intrusivo: tipos de rocas formadas a partir del magma que se introduce en las capas superiores de la corteza terrestre, la cual está a temperaturas inferiores, solidificándose dentro de ésta.

Litificación: procesos por los cuales un sedimento depositado se convierte lentamente en una roca sedimentaria sólida.

Micorrizas: son asociaciones simbióticas mutualistas que se establecen entre más del 80% de las especies de plantas vasculares y un selecto grupo de hongos microscópicos. En esta simbiosis el hongo funciona como una extensión del sistema radical de la planta facilitando, a través de su red de hifas, una mayor absorción de nutrientes de poca movilidad en el suelo como P, N, Zn y Cu

Topografía: conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto realizar la representación gráfica de una parte de la superficie terrestre, con sus formas y detalles tanto naturales como artificiales. Procede de topo (lugar) y grafos (descripción).

Yacimiento tipo pórfido: yacimientos de gran tonelaje y baja ley de cobre

LISTA DE ABREVIATURAS

CODELCO: Corporación Nacional del Cobre

CONAF: Corporación Nacional Forestal

ENDESA: Empresa Nacional de Electricidad Sociedad Anónima

m.s.n.m: metros sobre el nivel del mar

ha: hectárea

ton.: toneladas métricas

STB: Sector Tranque Barahona

SCA: Sector Caletones Alto

SCC: Sector Campamento Caletones

SCV: Sector Colón Viejo

SLC: Sector Los Cóndores

PLG: Planta Limpieza de Gases

SEGPRES: Secretaría General de la Presidencia

RESUMEN

Las actividades mineras provocan impactos ambientales con destrucción de los suelos naturales. Una causa es el impacto sobre el suelo que ejercen las emisiones atmosféricas generadas por la fusión de los concentrados del mineral, las cuales son precipitadas por la lluvia. Como consecuencia, los suelos presentan fuertes limitaciones físicas, químicas y biológicas que dificultan la reinstalación de vegetación. Dado que el desarrollo integral de CODELCO-CHILE pasa por su compromiso con la sustentabilidad ambiental, la división El Teniente invirtió 270 millones de dólares en el Plan de Descontaminación de Caletones. Gracias a esto, desde el 2003, El Teniente cumple con la norma de calidad del aire vigente en el país. Ello representa un cambio drástico y favorable de las condiciones ambientales, lo que augura un mejor desarrollo para la vegetación ya establecida y la posibilidad de éxito para lo que se piensa establecer más adelante. Dentro de este último punto se enmarca el trabajo de esta memoria de título, de forma de potenciar el desarrollo de la reforestación en la zona de Caletones y sus alrededores. Por este motivo se hace importante desarrollar un estudio de las características del suelo de la zona, de forma de planificar adecuadamente las medidas a tomar. Se debe estudiar el suelo y las características generales del entorno como relieve, cauces, topografía y factores meteorológicos como pluviometría, vientos. Se recolectó muestras de suelos de cinco sectores, los cuales fueron seleccionados de acuerdo a su topografía, accesibilidad, pendiente, exposición, estratificación y que en lo posible se encontraran incluidas dentro de los planes de reforestación desarrollados por el convenio CONAF-Teniente. En los suelos se determinó características físicas y químicas tales como textura, MO, pH y conductividad, así como también sales solubles y metales pesados.

Los valores de pH encontrados están entre 4,6 y 5,5. Desde el punto de vista agrícola los suelos se encuentran en la categoría de suelo fuertemente ácido, sin embargo las plantas forestales se desarrollan bien en suelos de pH 4,5 a 6 por lo tanto este parámetro, no sería un impedimento para el éxito de una reforestación.

La textura determinada para los 5 suelos es muy similar, siendo la arena el elemento mayoritario. Esto influiría de forma indirecta sobre el crecimiento de los árboles ya que sostienen de forma deficiente especies arbóreas con bajos requerimientos de humedad y nutrientes, esto puede ser considerable en los suelos que se encuentran en zonas altas, como es el caso de los suelos en estudio.

Los contenidos de MO oxidable encontrados son considerados buenos dentro del ámbito forestal.

Los contenidos de iones indican una carencia en potasio y altas concentraciones de sulfato. Para los metales pesados no se encontró altas concentraciones lo que puede deberse al excesivo lavado sufrido en estos suelos por las lluvias y nieve.

También se realizó en estos suelos un estudio de crecimiento de coirón (*Stipa caudata*), probando su crecimiento a 0%, 25% y 50% de mezcla cal/compost (25/75 %) en ambiente de la zona de Caletones y en vivero para cada uno de los suelos. El análisis estadístico indica una tendencia en que el desarrollo de la planta es favorecido con una carga de mezcla cal/compost de 25% para todos los efectos estudiados (altura, peso, N° raíces) y para el suelo control, sector SLC (Los Cóndores).

ABSTRACT

The mining activities cause in general environmental impacts with destruction of natural soils, in addition to the impact on the soil which they exert the atmospheric emissions generated by the fusion of the concentrated ones of the mineral, which are precipitated in the rain. Like consequence, the soils present/display forts physical, biological and chemistries limitations that make difficult the reinstallation of vegetation.

Since the integral development of CODELCO-CHILE happens through its commitment with the environmental sustainability, the division El Teniente invested 270 million dollars in the Plan of Decontamination of Caletones. Thanks to this, from the 2003, El Teniente fulfills the norm of quality of the effective air in the country. It represents a drastic and favorable change of the environmental conditions, what a better development for the vegetation already established augurs and the success possibility for which it thinks to establish more ahead. Within this last point the work of this memory of title is framed, of form to harness the development of the reforestation in the zone of Caletones and its environs. For this reason it is made important to develop a study of the characteristics of the soil of the zone of form to plan suitably the measures to take. Not only the soil is due to study, if not that also the general characteristics of the surroundings like relief, river bed, topography, climatic, etc and factors like precipitation, winds, etc.

Soil samples of five sectors were collected, which were selected according to their topography, accessibility, slope, exposition, stratification and that as far as possible was including within the plans of reforestation developed by the agreement CONAF-Teniente. To these soils one determined characteristics to them like texture, structure,

MO, pH and conductivity according to methods described in literature, and a determination of ions and heavy metals.

The found values of pH are between 4.6 and 5.5; from the agricultural point of view the soils are in the strongly acid soil category, but the forest plants are developed well in grounds of pH 4.5 to 6 therefore, it would not be an impediment for the success of a reforestation.

The texture determined for 5 soils is very similar, being the sand the high-priority element. This would influence of indirect form the growth of the trees since maintain of deficient form arboreal species with low humidity requirements and nutrients, this can be considerable in the grounds that are in high zones, as it is the case of soils in study.

The contents of oxideable organic matter found are considered good since they are in the category of average and high contents for agricultural soils.

The ion contents indicate a potassium deficiency and discharges sulphate concentrations. For heavy metals were not discharges concentrations which can be due to the excessive washing undergone by these soils as a result of rains and snow.

Also a study of growth of the *Stipa caudata* species was made in these soils, that it is a type of grass steppe, proving its growth to 0%, 25% and 50% of conditioning in atmosphere of the zone of Caletones and in breeding ground for each one of soils. The statistical analysis indicates a tendency in that the development of the plant is favored with a load of conditioning of 25% for all the studied effects and the soil corresponding to sector SLC (the cóndores), that it is the control.

I INTRODUCCION

1.1 Efectos de las actividades mineras en el suelo.

El suelo está compuesto principalmente por minerales y partículas orgánicas producidas por la acción del agua y procesos de meteorización. Es entorno a este recurso donde se genera uno de los conflictos ambientales más importante, debido a que constituye uno de los pilares básicos en que se sustenta el equilibrio biótico natural y es al mismo tiempo donde se desarrollan los factores de producción más importantes de las actividades humanas, los cuales poseen un alto potencial modificador de los recursos y sistemas ambientales. Los suelos poseen un umbral específico de estabilidad, es decir, una capacidad para asimilar las intervenciones humanas sin entrar en procesos de deterioro, la que varía en función del tipo de suelo y de su entorno, así como del tipo de intervención. Cuando se habla de acción humana se alude tanto al manejo silvoagropecuario de los suelos como a la contaminación debida a procesos industriales, mineros o urbanos (Macias, 1996).

Las actividades mineras provocan generalmente fuertes impactos ambientales, con destrucción de los suelos naturales y creación de nuevos suelos (antrosolos) que presentan fuertes limitaciones físicas, químicas y biológicas que dificultan la reinstalación de vegetación. Los impactos ambientales producidos por las minas se dividen en: atmosféricos, paisajísticos, hidrológicos, faunísticos y florísticos, y edafológicos (Macias, 1996).

Dentro de los impactos atmosféricos se encuentran aquellos causados por emisión de partículas sólidas, líquidas, gases y ruidos. Los impactos paisajísticos son debidos a la modificación de las formas naturales del terreno, apareciendo pendientes muy

pronunciadas, así como la destrucción o profunda modificación de la cobertura vegetal. Además se presenta un cambio de coloración, frecuentemente hacia tonos más rojizos, causados por una oxidación más intensa que la que presentan los suelos de la zona. El arranque de volúmenes de materiales estériles obliga a la acumulación con la correspondiente ocupación de terrenos y afeamientos del paisaje. Estos materiales son inestables por su falta de cohesión, lo que les expone fácilmente a la erosión tanto hídrica como eólica (Bradshaw, 1997).

Los impactos hidrológicos están dados por una modificación en los cauces debido a las actividades mineras. Éstos producen importantes cambios en el balance de agua entre infiltración y escorrentía debido, a la modificación del suelo y vegetación. Lo cual conlleva a una mayor capacidad erosiva, responsable de los paisajes desolados y con una morfogénesis específica. Las escombreras se convierten en peligrosos focos de contaminación para las aguas superficiales y subterráneas, ya que pueden provocar pérdida de su calidad debido a procesos de salinización, alcalinización, aumento de la turbidez y concentraciones anómalas de metales pesados. Las escombreras pueden modificar las condiciones de pH, Eh y conductividad de las aguas con su consiguiente influencia sobre la solubilidad de muchos elementos y, especialmente, los de carácter metálico (Bradshaw, 1997).

Los impactos faunísticos y florísticos más importantes son debidos a la eliminación o alteración de los hábitats de muchas especies, la ruptura de cadenas tróficas, así como la introducción de sustancias nocivas en la biósfera. (Macias, 1996).

Los impactos edafológicos son los más notorios y se producen como consecuencia de la eliminación o modificación profunda del suelo para la explotación. Los suelos que quedan tras una explotación minera son todo tipo de materiales deteriorados, por lo

que presentan graves problemas para el desarrollo de una cubierta vegetal (Wong, 2003).

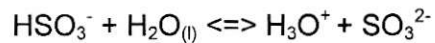
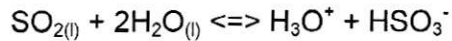
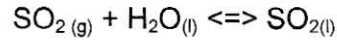
Los suelos de minas pueden tener propiedades químicas muy anómalas por lo que pueden presentar situaciones extremas en los principales parámetros químicos. En general estos suelos han sufrido una oxidación intensa y acelerada, lo que lleva consigo una abundante liberación de iones hidrógeno (casi todas las reacciones de oxidación son acidificantes), que hacen descender intensamente el pH del suelo. La presencia de condiciones de acidez crea un ambiente hiperácido e hiperoxidante (variación en Eh), en el que se produce un intenso ataque de los minerales. Así mismo, aparecen especies iónicas características de estos ambientes que son altamente tóxicas para los organismos como Al^{+3} , Fe^{+2} ; Mn^{+2} ; Pb^{+2} ; Cu^{+2} , Zn^{+2} , esto hace que el medio no sea apto para el desarrollo de los organismos y por lo tanto difícilmente edafizable (Macias, 1993).

Por otro lado hay una escasez o desequilibrio en el contenido de los nutrientes fundamentales, presentándose fuertes carencias de los principales elementos biogénicos: C, N y P debido a que la actividad biológica está fuertemente reducida.

Debido a que en los procesos mineros se suele eliminar el horizonte superficial del suelo, que es el biológicamente activo, se produce una ruptura de los ciclos biogeoquímicos. Estos suelos también presentan problemas producidos por la ausencia de materia orgánica, arcilla y estructura, como baja capacidad de cambio y baja retención de agua. A todos estos problemas señalados hay que agregar la presencia de compuestos tóxicos, que impiden o por lo menos dificultan la rápida colonización de los suelos.

En la actividad minera con procesos metalúrgicos, se liberan gases a la atmósfera. Estas emisiones gaseosas suelen ser ricas en SO_2 - SO_3 , lo que implica, la formación de

la denominada "lluvia ácida", cargada en ácidos fuertes como el sulfúrico o el sulfuroso en:



Cuando estos ácidos llegan al suelo, producen efectos devastadores sobre la vegetación al infiltrarse en el suelo. La lluvia ácida puede producir efectos más o menos importantes en función de la alcalinidad del suelo. Cuando el suelo contiene abundantes carbonatos tiene una alta capacidad de neutralizar estos efectos, mediante la formación de sulfato cálcico y liberación de CO_2 , el cual puede combinarse con el agua del suelo produciendo ácido carbónico y bicarbonatos, que son menos fuertes que los ácidos derivados del azufre. Así pues, en ausencia de agentes neutralizadores (carbonatos), la lluvia ácida acaba produciendo una acidificación del suelo. Esto degrada y oxida la materia orgánica que contiene, reduciendo considerablemente su productividad agronómica y forestal. Además, puede producir tanto la movilización de algunos componentes a través de la formación de sales solubles, como la inmovilización agronómica de otros, que pueden pasar a formar compuestos insolubles, no biodisponibles (Macias, 1993).

1.2 Restauración.

La definición de restauración en sentido estricto, implica reproducir las condiciones exactas anteriores a la explotación. Debido a que muchos valores son perdidos de manera irreversible (por ejemplo, los minerales extraídos), la restauración completa es prácticamente imposible. Más realista es utilizar el término restaurar como

recuperación. La recuperación trata de que el lugar afectado sea modificado mediante diferentes técnicas, de modo que se vuelva habitable a organismos originalmente presentes en el área, u otros organismos cercanos a los originales. La restauración por lo tanto, incluye todos los aspectos del medio ambiente y engloba a un plan integrado de distintas disciplinas como botánica, edafología, hidrología y geología (Munshower & Fisher, 1984).

Como se mencionó anteriormente, los suelos de minas presentan características físicas y químicas muy limitantes para el desarrollo de la vegetación. Éstas limitantes pueden ser corregidas mediante técnicas de mejora y fertilización, como por ejemplo, la incorporación de residuos orgánicos (estiércoles y composts). Estos residuos, incorporan carbono y otros elementos biogénicos y suministran productos metabolizables para la fauna que comienza a colonizarlos. Otra técnica es introducir plantas que tengan posibilidad de fijar nitrógeno atmosférico o que sean capaces de sobrevivir en estas condiciones. (Munshower & Fisher, 1984).

Estas medidas, contribuyen a acelerar la disponibilidad de la materia orgánica en el suelo, la creación de una estructura estable y el desarrollo de la flora y fauna del mismo. Esto además contribuye en forma indirecta a una disminución en la erosión del terreno y al arrastre de materiales por acción de las lluvias. También con el desarrollo de la flora se crean pantallas arbóreas naturales que captan el polvo en las proximidades de los focos de producción y finalmente se restauran las formas y colores propios del paisaje.

1.3 Situación ambiental de El Teniente.

La Corporación Nacional del Cobre (CODELCO) (DL N° 1350 aprobó su creación el 1° de abril de 1976) es una empresa minera estatal, industrial y comercial, orientada a la exploración y explotación de yacimientos mineros, principalmente de cobre (Cu), cuya producción se comercializa internacionalmente.

Dado que el desarrollo integral de la empresa pasa por su compromiso con la sustentabilidad ambiental, la División El Teniente invirtió 270 millones de dólares en el Plan de Descontaminación de Caletones (SEGPRES). Gracias a esta iniciativa, desde enero de 2003, El Teniente cumple con la norma de calidad del aire vigente en el país.

Debido a lo anterior se hace importante para esta empresa, el seguir trabajando en esta área y una de las actividades, es la continuación en la reforestación del área de Caletones y las zonas circundantes.

Por este motivo se hace importante desarrollar un estudio de las características del suelo de la zona en cuestión, de forma de planificar adecuadamente las medidas a tomar, además de mejorar y complementar las actuales actividades de reforestación desarrolladas por el convenio CONAF-El Teniente. Para esto es importante no sólo estudiar el suelo, si no que también considerar características generales del entorno. Es por esta razón que en esta memoria se han considerado aspectos diversos tales como: el relieve, los cauces y topografía. Además se incluyeron factores climáticos como pluviometría, vientos y radiación solar. Finalmente, la reforestación debe estar basada en el conocimiento de los impactos existentes, del lugar a restaurar, así como de todos los elementos o factores naturales y antrópicos que puedan afectar el proceso de restauración.

1.4 Descripción del área de estudio (mineral El Teniente)

El Teniente es una de las seis divisiones de la Corporación Nacional del Cobre de Chile (CODELCO). El mineral El Teniente inicia sus operaciones a principios de 1904 y en la actualidad constituye la mina subterránea más grande del mundo. Se ubica a 2.500 m sobre el nivel del mar, a 80 Km al sudeste de Santiago y a 44 Km de Rancagua (34°05' S; 70°21' O) (figura 1). Posee 2.400 Km de galerías subterráneas de las que se extraen 130.000 ton/día de mineral con una ley media de 1,15%. Entre sus instalaciones en superficie se cuentan, dos plantas concentradoras en Sewell y Colón, una fundición ubicada en Caletones y una planta de electroobtención en Colón.

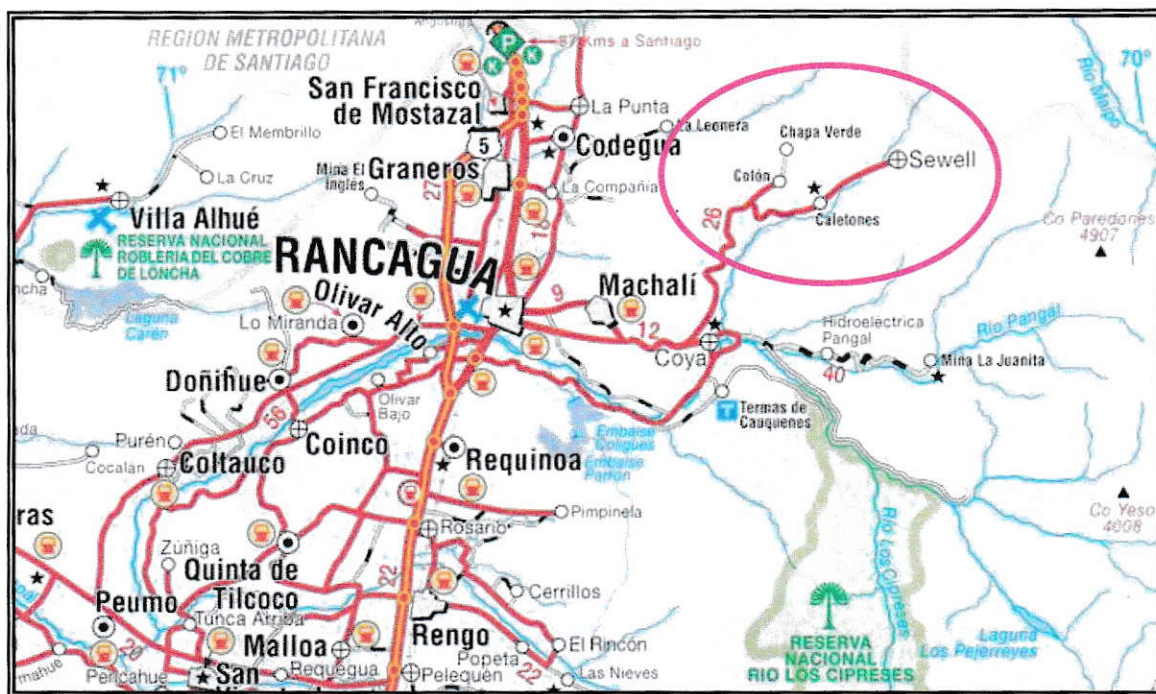


Figura 1 Ubicación del mineral El Teniente (fuente: sernatur)

1.5 Estudio de línea Base

Los estudios realizados para conocer el grado de contribución de las emisiones de la Fundición en la zona de Caletones y sus alrededores, contemplaron prolongadas

campañas de monitoreos meteorológicos y ambientales (D.S. N° 185/91) que describieron a partir de modelos atmosféricos, que las zonas de Caletones, Colón, Sewell, Coya, Machalí y Codegua eran afectadas por estas emisiones gaseosas.

Dada la situación ambiental de la División El Teniente, a través del Decreto Ordinario N° 179 del 16 de Noviembre de 1994 se declaró como zona saturada por anhídrido sulfuroso y material particulado fino, un área en los alrededores de la Fundición, en una extensión de 120.000 hectáreas. Las localidades más afectadas por las emisiones y que se incluyen en los límites de la zona saturada son los lugares industriales de Caletones, Colón y Sewell y la zona poblacional de Coya (figura 2)

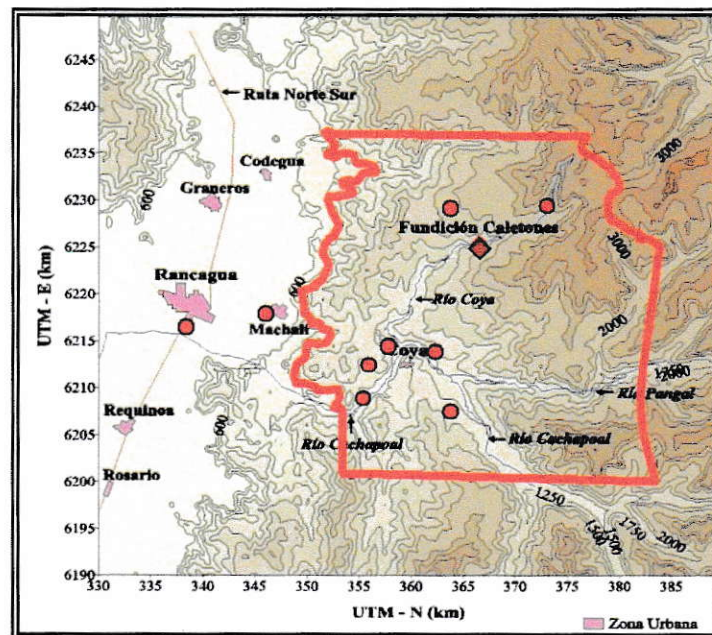


Figura 2. Mapa zona saturada (fuente: Dpto. Gestión Ambiental, El Teniente)

Esta declaración y el Decreto 185/92 obligaron a CODELCO a realizar un plan tendiente a mitigar sus emisiones, con el fin de cumplir en un determinado lapso de tiempo, las normativas de calidad de aire vigentes para la zona.

La reducción y minimización de los efectos deteriorantes pasaron por la problemática de concentrar, estabilizar y fijar el SO_2 de las emisiones gaseosas desde las

chimeneas de Caletones. Ésta solución requirió de la materialización de un proceso técnicamente factible como es la Planta de Limpieza de Gases, la cual convierte el SO_2 en SO_3 y éste en ácido sulfúrico.

El Proyecto Planta de Limpieza de Gases (PLG) se desarrolló dentro de la propiedad territorial de la División El Teniente. En base a estos antecedentes se realizó el Estudio de Impacto Ambiental según la metodología entregada por la CONAMA en junio de 1993, el cual incluía una línea base desarrollada según los términos de referencia entregados por las autoridades ambientales de la VI Región (COREMA).

1.6 Marco Geográfico

1.6.1 Relieve y drenaje

La zona estudiada se encuentra en la parte más occidental de la cordillera de los Andes, donde es común encontrar un relieve cordillerano moldeado por la acción fluvial y glacial. Sin embargo, la topografía del área en cuestión contrasta en forma notable con los cordones de cerros que la flanquean y en general con los sectores más altos de la cordillera principal más hacia el este.

El elemento topográfico principal del área es una depresión de relieve suave ubicada entre dos cordones de cerros de orientación aproximada NNE. Es una planicie de lomajes alisados, con grandes bloques de roca distribuidos sobre ella como producto de la erosión de la matriz de los materiales volcanogénicos que los formaron. Este relieve está determinado principalmente por la presencia de extensos depósitos volcanogénicos modernos (avalanchas de escombros volcánicos) relleno una topografía preexistente. La existencia de esta unidad geológica también ha condicionado el tipo de drenaje y el perfil muy particular de los mismos.

El drenaje está formado por quebradas con perfiles V (convexos) muy abruptos, producto de la erosión lineal de materiales blandos, depositados en una paleografía cordillerana. La rápida erosión, en conjunto con la calidad geotécnica de los depósitos, es también la causante de continuos y a veces muy importantes deslizamientos en masa de materiales de escombros hacia las quebradas. Los suaves lomajes y profundas quebradas que los cortan son los elementos característicos del paisaje de la región (Gómez, 2001).

La quebrada principal es la del río Coya, que corre de noroeste a suroeste, hacia el río Cachapoal, del cual es uno de sus principales afluentes.

1.7 Geomorfología

1.7.1 Formación yacimiento El Teniente

Se postula que la génesis de este yacimiento está condicionada por la superposición de varios eventos de alteración-mineralización, asociados a centros de mineralización geográficamente definidos. Es un yacimiento de tipo pórfido, emplazado en rocas ígneas (volcánicas e intrusivas) de edad miocénica asignadas a la Formación Farellones. Las rocas predominantes del yacimiento El Teniente son andesitas, dacitas y dioritas.

1.7.2 Marco Geológico y tectónico regional

El Teniente se ubica en la parte media alta de los ríos Cachapoal y Coya, en la cordillera principal de los Andes Centrales a unos 30 Km del límite Chile-Argentina. La región se encuentra sobre una zona de subducción de la placa oceánica de Nazca, que

bajo esta parte de los Andes tiene una inclinación de 30° al este. (Barazangi & Isacks, 1976)

El grueso de la cordillera principal de los Andes de Chile central, consiste en una serie de un espesor total aproximada de 10.000 m de series marinas y continentales triásico jurásicas a cretácicas inferiores, y depósitos continentales (principalmente volcánicos y volcanoclásticos) del cretácico superior y cenozoico (Barazangi & Isacks, 1976).

El registro geológico de la zona indica tres secuencias volcano-sedimentarias:

1.7.2.1 Formación Coya-Machalí

Oligoceno superior-Mioceno inferior. Los depósitos corresponden a brechas, coladas andesíticas y algunos depósitos sedimentarios, seguido por una fase de intenso plegamiento y posible erosión.

Esta formación fue definida por Klohn (1960), en la vertiente occidental de la cordillera de los Andes a la latitud aproximada de 33°30' S, frente a Rancagua. La localidad tipo corresponde al cordón de cerros de orientación NNE que se extiende entre los pueblos de Coya y Machalí, adyacente a El Teniente. La formación Coya-Machalí corresponde a una potente secuencia continental fuertemente plegada, compuesta principalmente por rocas piroclásticas de variada granulometría.

En este sector, ésta formación constituye dos franjas longitudinales. Una occidental, en donde se encuentra la localidad tipo, compuesta mayormente por coladas y un espesor mínimo de 1.900 m y una oriental, separada de la anterior por la formación Farellones compuesta principalmente por rocas piro y epiclásticas subordinadamente coladas e intercalaciones calcáreas, con un espesor de por lo menos unos 1.300 m (Klohn, 1960).

1.7.2.2 Formación Farellones

Mioceno medio-Mioceno superior. Está formada por lavas andesítico-basálticas y depósitos piroclásticos. Anteriormente se mencionó a la formación Farellones como la unidad suprayacente a la formación Coya-Machalí y además, separando las dos franjas occidental y oriental de la misma. Klohn (1960) introdujo este nombre en la literatura indicando como localidad tipo el centro de esquí de Farellones frente a Santiago, a los 33°20' S en la vertiente occidental de la cordillera principal. La unidad designada con este nombre es reconocida posteriormente formando una extensa franja longitudinal entre los 31°30' y los 34°45' S por diversos autores (Klohn, 1960; Aguirre, 1960; Thiele, 1980).

La formación Farellones es principalmente volcánica y se compone de lavas, tobas e ignimbritas con intercalaciones de brechas. Las lavas predominan sobre los piroclásticos.

En el área de la Hoya El Teniente (34° a 35° S), Charrier (1982) reconoce una secuencia formada principalmente por volcanitas de carácter intermedio a ácido de tipo calco-alcalino.

En general la formación se presenta con pliegues suaves, inclinaciones de no más de 25°, y apoyada en algunos lugares en discordancia angular (Klohn, 1960; Aguirre, 1960; Thiele, 1980) y en otros con paso continuo sobre la formación Coya-Machalí. El techo está formado generalmente por el techo de erosión actual.

1.7.2.3 Formación Colón-Coya

Plioceno superior-Pleistoceno. Se define como complejo Colón-Coya, al conjunto de depósitos de origen volcánico (acumulaciones de escombros, lavas, cenizas) y sedimentario (depósitos aluviales, fluviales y lacustres) que afloran entre el área

industrial de Colón y el pueblo de Coya (Gómez, 2001). Estos materiales abarcan un área aproximada de unos 142 Km², con un volumen estimado en 7,3 Km³, relleno de un antiguo valle excavado en rocas de la formación Farellones y Coya-Machalí, producto de la actividad y posterior destrucción de un aparato volcánico que se formó en la parte más alta del sector, sobre rocas de formación Farellones.

El complejo Colón- Coya, consiste en más de un 80%, de depósitos volcánico-clásticos caóticos de mala selección y mal redondeamiento, con bloques de rocas inmersos en una abundante matriz más fina. La granulometría de la matriz puede variar entre gravas arcillosas a gravas arenosas y en algunos lugares estar mezclada con cenizas. Se pueden encontrar asociados a los mencionados depósitos de escombros, como manifestaciones de la actividad volcánica primaria, lavas andesíticas y flujos de cenizas riolíticas. Asimismo como parte de este complejo dentro de la cuenca depositacional en que se acumularon estos productos volcánicos, ocurrieron también manifestaciones sedimentarias como depósitos laháricos, aluvionales, fluviales y lacustres (Gómez, 2001).

En general es común en el sector Colón-Coya, la presencia de flujos gravitacionales y/o deslizamientos que afectan a terrenos de roca semi consolidada. Si embargo, éstas se ubican preferentemente en laderas abruptas y taludes artificiales de alta pendiente construidos en la carretera y otras obras civiles. El área presenta los siguientes tipos de suelos (EDIC, 1995)

1.7.3 Hidrogeología

En la zona de El Teniente se observan suelos que presentan normalmente un alto contenido de finos de carácter limoso o limo arcilloso, los que en su gran mayoría tienen su origen en roca descompuesta y en menor medida corresponden a flujos de

barro (Bustamante & Faundez, 1995). Este material presenta normalmente una baja permeabilidad, la que corrientemente disminuye con la profundidad.

El tipo de terreno (limoso-arcilloso), de alta consistencia y baja permeabilidad controla las infiltraciones, de manera tal que el escurrimiento es principalmente superficial.

Las fuentes de recarga de agua en esta zona son las precipitaciones y la nieve que caen sobre el área, las cuales en gran proporción escurren superficialmente y sólo una fracción menor se infiltra en el suelo lentamente.

1.7.4 Hidrología

La hoya hidrográfica del río Cachapoal está conformada por los ríos Cachapoal, Pangal, Coya y Claro. De éstos, los dos primeros tienen sus nacientes en la cordillera de los Andes, mientras que los dos últimos tienen un nacimiento precordillerano, dándole un carácter níveo-glacial a los primeros y níveo-pluvial a los segundos.

Las instalaciones mineras de El Teniente, se sitúan principalmente en la subcuenca del río Coya, de la cual la División obtiene los recursos hídricos para sus operaciones y a su vez la subcuenca recibe las descargas de sus efluentes, afectando la cuenca del río Teniente, río Coya y río Cachapoal. El río Coya nace en las altas cumbres de la cadena de cerros que separa la subcuenca del río Coya de la subcuenca del río Blanco, afluente del Pangal. En su recorrido recibe como afluentes al río Teniente y las quebradas Mala Pasada, Sapos, Caletones, Coloradas, Gavilán, Barahona y Alcaparrosa, para desembocar al río Cachapoal.

La zona baja de la junta Coya-Teniente hasta la desembocadura, corresponde a un área receptiva de las descargas de diversos efluentes, algunos de los cuales son total o parcialmente recirculados al proceso industrial de acuerdo a la disponibilidad de recursos hídricos.

El río Coya está flanqueado por cordones montañosos especialmente en la ribera sur del río, donde hay cerros que llegan a los 3.287 m. frente a Caletones y a alturas mayores río arriba, disminuyendo rápidamente la elevación de los cerros cercanos aguas abajo de Caletones. En la ladera norte donde se asienta la fundición, el macizo rocoso alcanza altitudes menores, siendo 2.000 m. la altura media de la planicie inclinada.

La cuenca es el área de tributación del río Coya, que presenta una longitud de 33,5 Km. con un orden de magnitud 5, de gran importancia en el aporte de caudales. El caudal de éste río para el período de invierno es 155 L/s y para el período de verano es 980 L/s, en el período de deshielo puede alcanzar magnitudes de 1.500 L/s. (EIA Proyecto PLG, 1993)

1.8 Meteorología

Considerando la naturaleza física de los depósitos estudiados, resulta importante analizar con cierto detalle el clima de esta región y, en particular, el régimen de lluvias. A este respecto, existe abundante información proporcionada por estaciones pluviométricas ubicadas en el área estudiada o cerca de ella. Algunas de estas estaciones son controladas por CODELCO-EI Teniente, otra es de ENDESA (Rancagua) y otra es controlada por la Dirección Meteorológica de Chile (Sitio K Barahona).

Un registro homogeneizado lo ha obtenido Espíldora (1981), para el período 1941-1980. Según la zonación climática de Fuenzalida (1965), la región, ubicada entre los 750 y 3.200 m.s.n.m, tiene un clima transicional entre «templado cálido con estación seca prolongada» y clima « de hielo por efecto de la altura». El primero caracteriza a la

depresión longitudinal de Chile entre los 33° y 36° latitud sur y a una cota a los 1.500 m.s.n.m. Sin implicar un límite estricto en cuanto al régimen pluviométrico, las áreas bajo 1.500 m.s.n.m se ubican al sur del paralelo 34°1' latitud sur y localmente hacia el norte del mismo en las zonas aledañas al valle del río Coya hasta los sectores de Barahona y Caletones aproximadamente. Esto coincide con el límite reconocido para la acumulación de nieve durante el invierno. Bajo los 1.500 m.s.n.m, raramente neva y cuando ocurre, la nieve no se conserva más de uno o dos días.

El «Clima templado cálido con estación seca prolongada» se caracteriza sobre la base de datos obtenidos en Santiago, y Talca (Fuenzalida, 1965), por temperaturas del mes más frío inferiores a 18 °C y superiores 3 °C, con 4 a 5 meses de humedad. Las temperaturas medias anuales varían entre 14 y 14,8 °C, aumentando hacia el sur. El mes más cálido es enero con temperaturas entre 20 a 22,1 °C también aumentando hacia el sur. El mes más frío es julio con temperaturas entre 8,1 y 8,5 °C, con la misma tendencia anterior. La variación térmica es de 17,5 °C en verano a 10,7 °C en invierno. En general los rasgos térmicos se exageran hacia el sur, lo cual se explica por la menor altitud de la depresión longitudinal.

Las mayores precipitaciones (sobre 50 mm), en este tipo de clima, se acumulan entre mayo y agosto en la parte norte y entre mayo y septiembre al sur. Las medias anuales varían entre 356,3 mm/año a 716,3 mm/año, aumentando hacia el sur. Las lluvias son ciclónicas y exageradas por efecto del relieve. Los vientos que las acompañan son invariablemente del norte y noroeste, con influencia marítima. En condiciones de buen tiempo, los vientos dominantes son siempre del sur y suroeste.

El «Clima de hielo por efecto de la altura», está condicionado por el desarrollo de las nieves eternas. En el caso de la zona existen nieves eternas sólo sobre los 3.000 m.s.n.m (Olla Blanca) y en extensiones muy reducidas (menos de 1 Km²).

Dentro del período en que existen registros (1941-1980), hay una tendencia a la disminución en el promedio anual de las precipitaciones (Espíldora, 1981). Esta es de un 1,3% para la ciudad de Rancagua y de un 19% para Sewell.

La humedad relativa promedio anual está comprendida entre 26 y 35% y la presión atmosférica entre 605,3 y 606,05 mmHg. Además se tiene que los valores de la radiación solar fluctúan entre 178 y 207 w/m² y la velocidad del viento promedio es de 2 m/s.

1.9 Flora

El área donde se desarrolló este estudio, se ubica principalmente en la región de los bosques esclerófilos, formación de matorral esclerófilo subandino y parcialmente en la región de las estepas alto andina (Gajardo, 1983).

La zona de clima mediterráneo, influenciado por una gradiente gravitacional, configura un ambiente árido y frío lo cual sumado a intervenciones antrópicas históricas nos da un paisaje que corresponde a matorrales subarborescentes esclerófilos poco denso a denso, con una estrata herbácea anual muy clara a nula y una herbácea perenne alta a poco densa (CONAF, 1992). Normalmente existe un marcado efecto de exposición al sol, presentándose en todas las laderas con componente norte vegetación notoriamente más árida, como el Chagual (*Puya berteroniana*), Chagualillo (*Puya coerulea*) y Quisco (*Echinopsis chilensis*). (Bustamante & Faundez, 1995)

El bosque esclerófilo se caracteriza por sus especies de hoja perenne (verdes todo el año) y con una capacidad de regenerar desde el tocón, lo que constituye una posibilidad de sobrevivencia frente a catástrofes como incendios forestales, e incluso frente a explotaciones indiscriminadas. En general se trata de especies de poca altura

(tabla 1) y con cierto grado de tolerancia a la escasez de precipitaciones propia de la zona (CONAF, 1992).

Tabla 1. Especies forestales nativas más frecuentes de la zona

Especies forestales nativas	
Nombre común	Nombre científico
Boldo	<i>Peumus boldus</i>
Espino	<i>Acacia caven</i>
Maitén	<i>Maytenus boaria</i>
Maqui	<i>Aristotelia chilensis</i>
Litre	<i>Lithraea caustica</i>
Peumo	<i>Cryptocaria alba</i>
Quillay	<i>Quillaja saponaria</i>
Bollén	<i>Kageneckia oblonga</i>
Trevo	<i>Trevoa trinervis</i>

1.10 Fauna

La fauna existente en el área y propia de la región, está compuesta básicamente por un gran número de aves y un grupo de mamíferos menores más bien reducido (tabla 2). Las prohibiciones de caza, ingreso y tránsito de personas, así como la protección del recurso forestal en la mayor parte de los terrenos pertenecientes a El Teniente, hacen de los mismos un hábitat privilegiado para la fauna y su supervivencia transformándose en verdaderas reservas protegidas. Ello constituye un aporte concreto a la conservación de la biodiversidad.

Tabla 2. Especies de la fauna nativa más frecuentes de la zona

Especies de la fauna nativa	
Nombre común	Nombre científico
Queltehue	<i>Vanellus chilensis</i>
Zorzal	<i>Turdus falcklandii</i>
Diuca	<i>Diuca diuca</i>
Chincol	<i>Zonotrichia capensis</i>
Chirihue	<i>Sicalis luteola</i>
Loica	<i>Sturnella loyca</i>
Tenca	<i>Simus thenca</i>
Tordo	<i>Curaeus curaeus</i>
Torcaza	<i>Columba araucana</i>
Tórtola	<i>Zenaida auriculata</i>
Tucúquere	<i>Bubo virginianus</i>
Águila	<i>Geranoaetus melanoleucus</i>
Cernícalo	<i>Falco sparverius</i>
Peuco	<i>Accipiter bicolor</i>
Tiuque	<i>Milvago chimango</i>
Zorro	<i>Dusicyon griseus</i>
Quique	<i>Galictis cuja</i>

1.11 Suelos de la cuenca del río Coya

Los suelos de la cuenca del río Coya, se puede decir que se insertan en el grupo de los suelos Pardos Forestales, desarrollados sobre roca volcánica. Estos suelos se caracterizan por sus texturas finas y ser bien estructurados, de espesor variable y alta capacidad de retención de agua. En la parte alta y media predominan los suelos del tipo litosoles y fluviales. En la parte baja se presentan los fluviosoles, cambisoles, luviosoles y vertisoles (EIA Proyecto PLG, 1993).

Las praderas alto andinas y las vegas de Chapa Verde presentan una pendiente inferior al 27% y drenaje excesivo, con una susceptibilidad a la erosión moderada y rocosidad inferior al 20%.

En el sector de la cordillera, la pendiente topográfica es superior a 27%, susceptible a la erosión pronunciada, con un porcentaje de rocosidad sobre el 50% y drenaje excesivo, predominando procesos de erosión nival y gravitacional.

Debido a los diversos procesos erosivos, problemas de drenaje y pendientes, es posible distinguir en la cuenca diversas capacidades de uso de los suelos. (Tabla 3)

Tabla 3. Calidad del suelo de la cuenca del río Coya (CONAF, 1992).

Calidad del suelo de la cuenca (sección superior) del río Coya			
Capacidad de uso	Ubicación geográfica	Superficie	
		ha	%
VII	Praderas altoandinas	2.510,0	9,8
VII	Vegas Chapa verde	2.611,4	10,2
VII	Forestación Barahona	300,0	1,2
VIII	Cordillera Colón – Sewell	11.532,6	45,2
VIII	Caja del río Coya	95,0	0,4
VIII	Laderas oeste	8.266,0	32,4
VIII	Embalse Barahona	200,0	0,8
Total		25.515,0	100,0

La capacidad de uso VII se presenta en la cuenca con serias restricciones debido a los procesos de erosión, al drenaje deficitario y al clima.

La capacidad de uso VIII corresponde a áreas de protección donde la vegetación es primordial para mantener el funcionamiento de la cuenca hidrográfica.

En la zona saturada, los tipos de usos del suelo son variados, aproximadamente el 62% de las 120.000 hectáreas existente dentro del límite de la zona saturada, corresponden a suelo rocoso, sin posibilidades de uso agrícola. Un 18% (22.000 ha.) son suelos de tipo forestal poco denso (cobertura boscosa menor al 60% del suelo) y

un 20% (23.000 ha.) a suelo forestal denso (con cobertura boscosa superior al 60% del suelo) (CONAF, 1992).

En general los suelos son de capacidad de uso forestal, con afloramientos rocosos, lo que dificulta las labores de forestación. En otros casos son suelos removidos que se han utilizados para actividades industriales o taludes inestables ocasionados por la construcción de diversas infraestructuras y obras civiles como carreteras, caminos y canales de relaves.

1.12 Trabajos de restauración ambiental: El Convenio CONAF-TENIENTE

Las acciones de División El Teniente en el cuidado de la naturaleza, se remontan a más de dos décadas, cuando el tema ambiental aún no era preocupación pública. Seis años después que los yacimientos de cobre fueron nacionalizados, CODELCO El Teniente inició acciones sistemáticas de recuperación de suelo y reforestación (1977).

En 1983, estas actividades adquirieron un nuevo ritmo al suscribir la empresa un convenio con la CONAF de la región de O'Higgins, orientado a la recuperación forestal y la promoción del ambiente. Ambos organismos suscribieron este convenio, pionero de cooperación, con varios propósitos:

- Forestar suelos degradados
- Compensar deforestaciones derivadas del impacto producido por las obras de la minería
- Incrementar la conservación y preservación del medio ambiente.

De esta manera, fue la propia empresa minera la que asumió gradualmente su responsabilidad de recuperar terrenos, cuya degradación en la zona alta había sido causada principalmente por el uso indiscriminado de la madera en la fundición y como

combustible doméstico. En las primeras décadas de explotación industrial, el rigor climático y las necesidades de combustible llevaron al hombre incluso a extraer las raíces de los árboles, cortando así toda posibilidad de regeneración natural.

Es importante señalar que solamente en Sewell la población llegó a superar los 14.000 habitantes, los que requirieron grandes cantidades de combustible. A esto además hay que sumar la población del Campamento Caletones.

Los resultados de esta utilización no sustentable del recurso natural han sido fenómenos erosivos severos que afectan hace muchos años a gran parte de las subcuencas del río Cachapoal, comprometiendo tanto la calidad de sus aguas como la torrencialidad y disponibilidad.

1.12.1 Objetivos del convenio

Para el período vigente del convenio, los principales objetivos de la acción conjunta de CODELCO-El Teniente y CONAF VI Región son:

- Proteger y vigilar las plantaciones realizadas por el convenio, en los sectores de la carretera El Cobre Eduardo Frei Montalva, Hacienda Cauquenes y Hacienda Loncha
- Mantener y mejorar las plantaciones forestales que requieran de medidas de silvicultura para su desarrollo
- Proteger de los incendios forestales la vegetación existente en los territorios que administra en la comunas de Machalí, Requínoa, Doñihue y Alhué
- Continuar la forestación de los terrenos que administra
- Conservar, proteger y enriquecer el patrimonio natural regional y sus recursos, fomentando una cultura de respeto hacia el medio ambiente

1.12.2 Áreas de trabajo

El convenio ambiental actúa en cuatro focos de diversa extensión y localización:

- El entorno de la Carretera El Cobre Presidente Eduardo Frei Montalva hasta el kilómetro 38 en el desvío Caletones-Colón
- Hacienda Cauquenes, en la comuna de Requínoa, dónde se sitúan los embalses colmatados Cauquenes y Coligües
- Hacienda Loncha, en la comuna de Alhué, Región Metropolitana, donde se localiza el embalse de relaves Carén actualmente en funcionamiento
- Entorno de lo que fuera la mina de cuarzo San Lorenzo, Quimávida, Doñihue

Las labores del convenio ambiental se concentran en la preservación de gran parte de las 100 mil hectáreas que quedan fuera del área de operación industrial y que constituye un importante Recurso Natural Renovable de propiedad divisional. Y además en la adopción de métodos de control biológicos para controlar las eventuales alteraciones del ambiente que ocasionan las labores de producción y la ejecución de obras civiles.

1.12.3 Logros obtenidos

En estos más de 20 años los principales logros del convenio ambiental CONAF VI Región y CODELCO El Teniente son la forestación de 2.883,3 hectáreas con especies nativas y exóticas en áreas degradadas (tabla 4) y el control de erosión de más de 90 hectáreas en taludes de la Carretera El Cobre, Mina San Lorenzo y Canal de Relaves (tabla 5)

Tabla 4. Superficie forestada por convenio ambiental al año 2000

Superficie forestada por sector al año 2000	
Sector	Superficie (ha)
Hacienda cauquenes	789,8
Carretera El cobre	709,7
Hacienda Loncha	1.184,0
Punta de Cortés	19,8
Otros sectores	180,0
Total	2.883,3

Tabla 5. Superficie de taludes protegidos con vegetación al año 2000

Superficie de taludes protegidos	
Método	Superficie (ha)
Plantación con quilo	65
Mallas de depósitos	2
Hidrosiembra	25
Total	92

- Recuperación de especies nativas regionales vulnerables, a través de ensayos y programas de reproducción y repoblación, por ejemplo la palma chilena (*Jubaea chilensis*)
- Arborización urbana, mediante la viverización ornamental, producción y donación de 20.000 plantas anuales a municipios, colegios e instituciones regionales.
- Realización de catastros y planes de ordenación para el conocimiento y uso sostenible del bosque nativo
- Protección contra la acción del fuego por medio de dos brigadas profesionales de combate de incendios forestales

Hasta hoy, en su gran mayoría, las áreas en que se ha trabajado corresponden a la sección media de la cuenca del río Cachapoal y aún cuando resta bastante por hacer en ella, la raíz del problema se encuentra en la cabecera de subcuencas.

El alto grado de deterioro de éstas, demanda una solución y ése será el objetivo al que deban apuntar los futuros trabajos del convenio. Los beneficiarios serán no sólo los usuarios de sus aguas, si no todos los habitantes de la región.

Nuevas esperanzas surgen actualmente, cuando la descontaminación de Caletones es una realidad con el abatimiento de casi la totalidad de los gases generados en la fundición. Ello representa un drástico y favorable cambio de las condiciones ambientales, lo que augura un mejor desarrollo para la vegetación ya establecida y la cierta posibilidad de éxito para lo que se piensa establecer más adelante.

Dentro de este último punto se enmarca el trabajo de esta memoria de título, de forma de potenciar el desarrollo de la reforestación en la zona de Caletones y sus alrededores.

1.13 Análisis químicos de suelos

La conservación, manejo y recuperación de ecosistemas terrestres degradados y en peligro, requiere de un conocimiento exhaustivo del estado químico del suelo. Un parámetro importante es la materia orgánica del suelo, ya que tiene un rol en la estabilidad de los agregados, que influencia la porosidad del suelo y esto a su vez las relaciones de intercambio de gases y agua. Es importante en el ciclo del carbono y la reposición de nutrientes y debido a su influencia en variados procesos biológicos y químicos fundamentales, juega un rol central en la liberación y disponibilidad de los nutrientes (Nambiar, 1997).

Muchas reacciones químicas que influyen en la disponibilidad de los nutrientes (por ejemplo: forma química, adsorción, precipitación), son influenciados por el ambiente químico del suelo y el pH del suelo en particular. El pH del suelo por sí solo provee de pequeña información directa acerca de cual proceso del suelo se encuentra afectado por él y como se afecta la capacidad productiva del suelo. El pH es un parámetro muy importante ya que influye en la reactividad química y actividad biológica en los suelos, la concentración de iones hidrógeno modifica la disponibilidad de nutrientes, por lo que el contenido de metales trazas disponible en los suelos se encuentra relacionado con las características ácido-base de la solución suelo.

La conductividad eléctrica es una medida de la concentración de iones y el potencial efecto negativo de la salinidad sobre el potencial osmótico (relaciones en agua) y los desequilibrios en nutrientes. Este parámetro es principalmente usado en suelos agrícolas. Su aplicación en suelos forestales se encuentra especialmente limitada a circunstancias muy específicas como es el caso de la recuperación de suelos mineros (Schoenholtz y col, 2000).

El agua ocupa una posición de gran importancia por su influencia en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. El agua capilar es la de mayor importancia ecológica. Una buena parte de esta agua está asociada a los coloides orgánicos e inorgánicos. Son varios los factores que influyen la cantidad de agua capilar que puede retener un suelo, cuanto más fina es la textura, más aumentan los poros capilares. Esta capacidad se halla influenciada por la estructura, por lo que en los suelos arenosos, aquellos compactos retienen más que los sueltos. La MO coloidal puede retener hasta 4,4 veces su peso en agua, mientras que la materia inorgánica coloidal puede retener en las mismas condiciones hasta 2,7 veces su peso (Bará, 1998).

La textura del suelo es la más importante cualidad de las propiedades físicas que controla el intercambio de agua, nutrientes y oxígeno, además de la capacidad de retención-retiro desde el suelo de estos componentes. Esta propiedad influye en la mayoría de las otras propiedades y procesos (Schoenholtz y col, 2000).

Los indicadores de infiltración de agua, retención, disponibilidad, drenaje y balance agua/aire, son universalmente importantes para monitorear todas las funciones del suelo

La estructura del suelo se refiere al tamaño y la forma de los agregados del suelo que corresponde a los componentes de origen orgánico e inorgánico. Al igual que la textura del suelo, también influye en varias propiedades físicas, químicas y biológicas.

Estas características fueron analizadas para las muestras de suelo recolectadas, es relevante señalar que en este estudio es importante el punto de vista forestal, por sobre el agrícola, por lo que este aspecto es un factor influyente al igual que el aspecto económico y el tiempo. Esto plantea un desafío, ya que se quiere recolectar la mayor cantidad de información útil, a un bajo costo y en un tiempo adecuado.

1.14 Ensayo de instalación de especies en ambientes alterados por actividades mineras.

Un aspecto importante en la elaboración de un plan de reforestación, es la identificación y manejo de especies vegetales nativas que no necesiten aplicación de riego y fertilización para su permanencia en el tiempo con lo cual se disminuye drásticamente los costos de mantención en el largo plazo (Bradshaw, 1997). Además se debe enfrentar la necesidad de diseñar una cobertura vegetal que tenga como

objetivos la protección de los taludes, depósitos de materiales junto a la integración del paisaje, la cual cubra con rapidez para evitar una erosión hídrica y eólica.

La identificación a nivel local de especies autóctonas herbáceas, arbustivas y arbóreas que puedan ser usadas con fines de rehabilitación de áreas degradadas y que además permitan desarrollar una estrategia de rehabilitación de áreas degradadas a un nivel zonal, es una parte a considerar en la elaboración del plan de reforestación.

1.15 Hipótesis

El estudio de las características físicas y químicas del suelo en el sector de la Fundación Caletones, en conjunto a un ensayo de crecimiento de la *Stipa caudata*, permitirá realizar un análisis de las condiciones del sector del suelo en estudio, su potencial reforestación y posibles mejoras al plan de reforestación del convenio CONAF-Teniente.

1.16 Objetivo general

- Apoyar las labores de reforestación del convenio CONAF-Teniente en el sector de la Fundación Caletones y las zonas circundantes, a partir del estudio de las características físicas y químicas del suelo de este sector, y de un ensayo de crecimiento de *Stipa caudata*, que permitan complementar los trabajos del convenio CONAF-Teniente.

vehicular, es decir, que las plantas no generen en un futuro algún impedimento visual para la conducción e instalación de señaléticas.

2.1.2 Cercanías a centros industriales

Responde al mejoramiento en aspectos escénicos de estos sectores, producto de la concentración de trabajadores en estos lugares que normalmente sólo observan áreas desoladas (CONAF, 2003). El rango que abarca las posibles zonas de forestación, va desde el perímetro industrial hasta por sobre los 1000 m. de distancia, siendo los primeros 500 m. los de mayor importancia. Debido a que estos sectores se encuentran intervenidos por la actividad minera, el trabajo se debe enfocar en mejorar y compensar las condiciones medioambientales existentes.

2.1.3 Exposición

Afecta principalmente al establecimiento y desarrollo de las especies, siendo la exposición sur la que entrega las mejores condiciones de sobrevivencia para los individuos. Las exposiciones oeste, este y norte, reflejan condiciones menos favorables para las especies, las cuales van disminuyendo respectivamente.

2.1.4 Pendiente

Se refiere a una jerarquización relacionada con la posibilidad de utilización de maquinaria y la obtención de un buen rendimiento del personal que realizará la reforestación en cada sector seleccionado, es decir, el esfuerzo que desarrollen en la plantación. Se han considerado las pendientes entre 0% y 60%. Los valores que se encuentran por sobre este rango determinan la infactibilidad de realizar actividad de plantación.

2.1.5 Visibilidad y paisajismo

Se consideró una distancia que va desde 15 m. hasta 515 m., de los cuales, los primeros 20 m. son de visión efectiva para los transeúntes (CONAF, 2003), siendo la categoría con mayor prioridad de ser reforestada desde el punto de vista visual.

2.1.6 Geología

En este punto se consideró los tipos de formación existentes en la zona (Colón-Coya, Coya-Machalí, Farellones). En este caso la prioridad está dada por aquellos lugares con grandes extensiones sin entrecruzamientos de formaciones, es decir lugares que permitan comparar datos obtenidos y asumiendo que para toda esa área se espera que sean iguales o similares.

La combinación de toda esta información, previa determinación de un modelo de integración de información, ha permitido la definición de las zonas posibles de ser reforestadas. Éstas fueron identificadas gracias a fotos satelitales pertenecientes al convenio CONAF-Teniente, las cuales además permitieron observar la factibilidad de acceso y los posibles caminos hacia estos lugares. Los límites definitivos de estas zonas pasaron por una validación en terreno.

La consideración de estos criterios, permitió reconocer grandes sectores de forestación en distintas áreas, de estos sectores se seleccionaron aquellos homogéneos entre sí para las características de pendiente, exposición, altura y geología.

2.2 Método de trabajo y limitaciones

El estudio realizado comprende etapas de terreno, laboratorio y escritorio. Las etapas de trabajo fueron realizadas alternadamente partiendo con una etapa de terreno fuerte

en los meses de abril y mayo correspondiente a la selección de zonas de muestreo y recolección de muestras.

2.2.1 Tipo de muestreo

Es reconocida la importancia de un buen muestreo de suelos, pero en muchos casos se cuestiona cuan intensivo, frecuente y a que profundidad debe ser (Roberts & Henry, 2000). Las propiedades del suelo varían de un lugar a otro, e inclusive a través de los diferentes horizontes de un mismo perfil. Dado que es impracticable muestrear el área entera, debemos confiar en extraer submuestras para estimar el nivel de calidad de un suelo.

Los procedimientos que resultan en muestreos con altos niveles de precisión y exactitud, garantizan una muestra que representa el área y que cuyos resultados son reproducibles (Swenson y col, 1984). Las investigaciones muestran que la exactitud aumenta con el número de muestras tomadas, menos de 10 submuestras son necesarias para lograr una exactitud del 20% y una precisión del 80% (Roberts & Henry, 2000). Un mínimo de 20 submuestras se recomienda para obtener una muestra representativa de todo el campo.

La parte más crítica es la obtención de una muestra que sea representativa (Petersen & Calvin, 1986). Existen diferentes maneras de obtenerla. Un esquema sencillo consiste en tomar submuestras al azar a lo largo del área, mezclándose luego para obtener una muestra compuesta que irá al laboratorio, o llevando cada submuestra a analizar. Una muestra compuesta es adecuada, pero no da la idea de la variabilidad del área.

Otro plan de muestreo implica la división del área en sub-unidades dentro de las cuales se toman muestras compuestas al azar. Este es un esquema de muestreo al azar

estratificado y es semejante al muestreo por paisaje o topografía del terreno. Este esquema incrementa la precisión, sin aumentar sustancialmente los costos.

Debido a que estas técnicas de muestreo están consideradas principalmente para la agricultura, es importante tomarlas como referencia pero adecuándolas al estudio particular que se desea realizar en este seminario de título, que es el de complementar las labores de reforestación. Las áreas de trabajo corresponden en su mayoría a suelos forestales rocosos, no aptas para cultivos agrícolas. Es por esto que el muestreo se realizó, considerando cada sector seleccionado de forma individual, tomando para cada uno entre 10 y 12 submuestras que mantengan los niveles de precisión y exactitud aceptables, dentro de las condiciones entregadas por el terreno y la extensión de este mismo. Además es importante señalar que para el caso de la reforestación obtener datos de gran precisión y exactitud, no es tan importante como lo es para el caso de la agricultura, ya que no es necesario manejar parámetros tan sensibles como es la fertilidad para un cultivo en particular. Si no más bien, se necesitan datos generales, que den una idea aproximada de las condiciones del terreno. Un factor a considerar es el de los costos, un muestreo que implique la obtención de una gran cantidad de muestras, elevará el costo total de los análisis. Por esta razón el muestreo debe ser costo-eficiente, permitiendo obtener información adecuada a nuestros propósitos a un bajo costo. En general el tipo de muestreo se basó en un muestreo al azar dentro del sector, eliminando aquellos lugares de difícil acceso como quebradas. La toma de muestras intentó abarcar toda la extensión de cada sector.

Otro aspecto a considerar es la profundidad del muestreo. En el muestreo profundo de suelos, la compactación y la mezcla de suelos con la capa superficial puede introducir un gran error no conocido por el operador (Roberts & Henry, 2000). El muestreo a una

profundidad de 0-30 cm. no es malo, por el contrario estas muestras son de fácil obtención y de menor error que las muestras profundas. Es por ésto que se seleccionó esta profundidad, además de considerar que a mayor profundidad los suelos de esta zona presentan un gran contenido en arcillas lo cual dificultaría el muestreo.

La recolección de muestras se desarrolló durante los meses de abril y mayo. Para esto se contó con movilización adecuada (camioneta) y el apoyo de personal del convenio CONAF-Teniente. La recolección de muestras implicó salidas constantes a terreno por el día. El tiempo de recolección de muestras se encontraba limitado por la aparición de lluvias o nieve, ya que esto nos impediría usar los caminos secundarios de tierra que se vuelven intransitables rápidamente. Para el muestreo se utilizó un equipo de GPS (Garmin TM, GPS III plus) de forma de identificar las coordenadas de cada punto de toma de muestra. Otros equipos que se usaron son una brújula clinómetro (SUUNTO) para determinar la pendiente y la exposición del lugar donde se colecta la muestra además de un altímetro (Pretel Actiplus D2) de forma de establecer la altura.

Para cada punto de recolección de submuestra, se anotó sus coordenadas en WGS84 (World Geodetic System 1984), pendiente, altura y exposición. Estos datos se presentan en los Anexos (Anexo I). Además durante el muestreo se observó el sitio de recolección y las características presentes en la calicata con respecto a la vegetación presente, fauna y otras características.

2.3 Análisis químicos de suelos

La preparación de los suelos para su posterior análisis se realizó en el Laboratorio de Control Metalúrgico de Caletones. El suelo es secado al aire para luego pasarlo por un arnero grueso de forma de eliminar restos de vegetación, además de piedras y peds

que no se pudo moler. El suelo obtenido se dividió con un cuarteador de acero inoxidable (marca HEBRO, Equipos metalúrgicos). A continuación el suelo se pasó por un tamiz de 2 mm (malla Tyler N° 10, 9 Mesh. Marca U.S.A Standar Testing Sieve, A.S.T.M.E-11 Specification, W.S Tyler, Made in USA). Los suelos se guardaron en bolsas plásticas impermeables, selladas y rotuladas para su almacenaje.

Se realizó una caracterización física y química de los suelos recolectados. Los análisis se hicieron en el Laboratorio de Química Orgánica y Cromatografía de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile y en el Laboratorio USPP de Colón, de la División El Teniente.

Los métodos utilizados para los distintos análisis corresponden a métodos descritos en "Métodos de análisis de suelos" (Sadzawka, 1990) y en "Guías de laboratorio química de suelos" (Copaja, 2004).

2.3.1 Humedad

Se determina el contenido de agua.

contenido de agua: por pérdida de masa a 105 °C. La muestra de suelo se seca a 105 °C ± 5 °C hasta masa constante. La diferencia en la masa del suelo antes y después del secado se usa para calcular el contenido de agua. El contenido de agua permite calcular el factor de humedad (fh), el cual se usa para expresar los resultados de las determinaciones en base seca (105 °C).

2.3.2 Textura

Fue determinada a través del método de la pipeta que se basa en la Ley de Stoke .

2.3.3 pH

Se determinó por potenciometría en una suspensión suelo-solución de 1:2,5

Se preparó una suspensión de suelo en agua, en una proporción 1:2,5 (peso/volumen), agitando por dos horas en un agitador. Posteriormente, en el sobrenadante se mide el pH utilizando un pH-metro marca Oakton.

2.3.4 Conductividad eléctrica

Se determinó por conductivimetría en suspensión 1:2,5 (suelo-solución) y extracto de saturación

La suspensión 1:2,5 de suelo- solución, se preparó de la misma forma anterior y es agitado de igual forma. La conductividad eléctrica fue medida con un conductímetro HD 9213 delta ohm.

2.3.5 Extracto pasta saturada

Se preparó una pasta de suelo saturada con agua, se dejó reposar 24 horas, se filtró al vacío y en el extracto se determinó la conductividad eléctrica con un conductímetro HD 9213 delta ohm. Este método proporciona la medida más representativa del total de sales solubles en el suelo, debido a que se relaciona estrechamente con los contenidos de agua bajo condiciones de campo.

2.3.6 Materia orgánica oxidable

Por oxidación húmeda y titulación con FeSO_4 , según método Walkley-Black

La materia orgánica del suelo se oxida con dicromato de potasio en un medio fuertemente ácido, utilizando ácido sulfúrico. A continuación se titula potenciométricamente el exceso de dicromato que no ha reaccionado con sulfato ferroso utilizando un electrodo de platino.

2.3.7 Contenido metales y aniones

Los metales determinados fueron As, Cd, Cu, Mo, Mn, Ni, Pb, Zn. La elección de estos metales se basó en los monitoreos que se realizan al material particulado. Los aniones determinados fueron Cl^- , SO_4^{2-} .

La determinación de metales y aniones se realizó a través de un espectrómetro de plasma Termo elemental/Intrepid II, modelo Iris Intrepid II.

2.4 Ensayo de instalación de especies en ambientes alterados por actividades mineras.

La identificación y posterior selección de las especies autóctonas que sean rústicas y susceptibles de ser usadas en actividades de rehabilitación de áreas degradadas, estuvo condicionada por los factores limitantes para el desarrollo de las plantas (FONDEF D98I1036, 2001). Entre estos factores están los climáticos (T°, precipitación, viento) físicos (textura, MO) y químicos (metales tóxicos, acidez y alcalinidad).

También se debe considerar un cuarto aspecto que tiene que ver con el tiempo. Esto debido a que el tiempo disponible para desarrollar el ensayo fue de aproximadamente un semestre, por lo que la especie a seleccionar debe ser de crecimiento rápido y que permita observar cambios en cortos períodos de tiempo.

Adicionalmente se debió decidir si se usaría algún acondicionador del suelo y en que cantidad. Para este ensayo se hizo uso de material compostado, de forma de incorporar materia orgánica en los suelos donde se realizó el ensayo, y cal para elevar levemente el pH del mismo. Los porcentajes de cal y compost utilizados para preparar el acondicionador del suelo fueron obtenidos a partir de experiencias previas de la gente del convenio CONAF-Teniente. Para el caso de los porcentajes de acondicionador utilizado en cada prueba del ensayo se consideró hasta un 50% como máximo.

Se utilizó *Stipa caudata* la cual fue transplantada en los suelos recolectados y mantenida en el ambiente vivero y en el ambiente de caletones. Esta planta pertenece

a la familia de las gramíneas, la cual consta de casi 700 géneros y unas 1.200 especies. Botánicamente se definen como plantas monocotiledóneas, de hojas envolventes, simples y acintadas, tallos huecos, flores hermafroditas, sin cáliz ni corola, que nacen en inflorescencias en forma de espiga, racimo o panícula y con frutos en cariósipos. Es un tipo de coirón que crece hasta 80 cm. en distintos tipos de suelos. Resiste sequías, pisadas y malos tratos, lo que la hace apta para suelos de alto tránsito y espacios públicos. Es muy adecuada también para contener la erosión de taludes. La *Stipa caudata* es de clima frío, su crecimiento se empieza a activar en otoño, cuando empiezan los primeros fríos. En la zona central su crecimiento se detiene en verano. Si la planta se ubica al sol y no recibe riego en abundancia, se vuelve amarilla. La *Stipa caudata* se observa en algunos sectores de vegas creciendo en forma natural en terrenos de la división, de estos lugares fueron extraídas las plantas que se encontraban en el vivero y con la cual se trabajó.

2.4.1 Diseño experimental

Para el ensayo de crecimiento se trabajó con los suelos recolectados de los 5 sectores seleccionados, los cuales fueron pasados por un arnero grueso de forma de eliminar los elementos gruesos. El acondicionador se preparó mezclando de forma homogénea con pala, el compost (preparado a partir de desechos de hojas, aserrín y guano en proporciones iguales) y la cal en una proporción de 75% y 25% respectivamente. Cada suelo se preparó previamente al trasplantado de la *Stipa caudata*, para esto se mezcló el suelo con el acondicionador en las proporciones de 25% y 50% de forma homogénea manualmente en la cantidad necesaria para realizar 6 repeticiones de cada mezcla. El ensayo se realizó en bolsas plásticas de 10 x 20 cm. y fueron llenadas con un volumen de 300 cm³. La planta *Stipa caudata* se preparó cortando cada una a

una altura de 16 cm, un largo de raíz de 8 cm y seleccionando el número de vástagos dejando 6 para cada planta (figura 3).

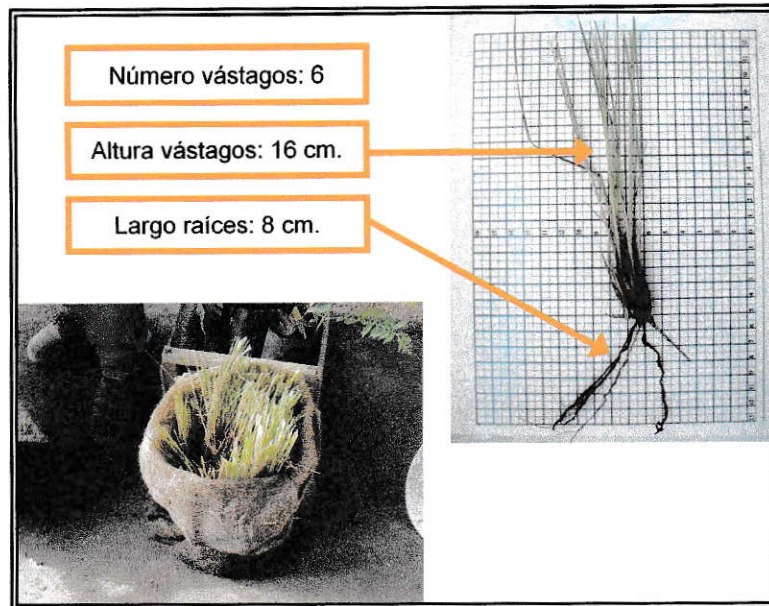


Figura 3. Preparación de *Stipa caudata*

Una vez trasplantadas todas las plantas en cada suelo a la proporción de mezcla con acondicionador respectivo (figura 4), se mantuvieron en vivero alrededor de 3 semanas para su ambientación y estabilización. Luego de este tiempo las plantas se separaron de forma de mantener de cada prueba 3 repeticiones en cada ambiente (vivero y Caletones).

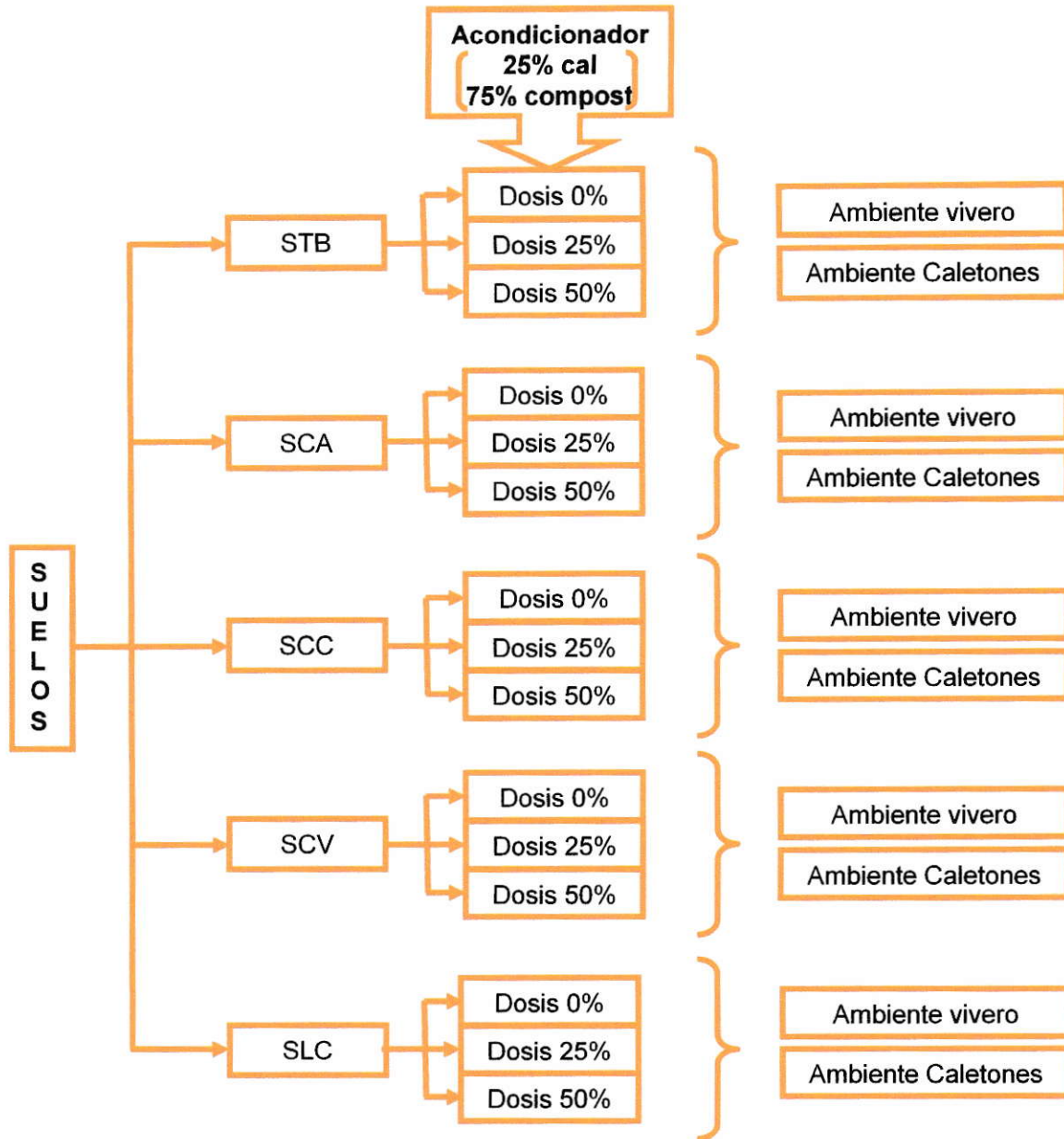


Figura 4. Esquema ensayo crecimiento de *Stipa caudata*

El traslado de las plantas al ambiente vivero, se realizó en camioneta, protegidas del viento para evitar su estrés. Una vez en Caletones se ubicaron en el patio de la oficina de red de monitoreo. Estas no fueron regadas, además se encuentran a la intemperie, expuestas a la acción del viento, la lluvia, la nieve o el sol, según sea el caso.

Para el caso de las plantas en vivero éstas se encuentran ubicadas junto al resto de las plantas que se cultivan en el lugar, recibiendo el riego necesario, además de encontrarse protegidas de la acción del viento y la nieve. Esto último debido a que el vivero se encuentra a menor altura que Caletones (620 m.s.n.m) por lo que en este sector no hay precipitaciones del tipo nieve.

2.4.2 Análisis estadístico

En el presente ensayo para el análisis de los datos se utilizará el diseño factorial, en bloques al azar (Montgomery, 2004).

Para determinar la normalidad de los datos se aplicó el Test K-S (Kolgomorov Smirnov).

2.4.2.1 Diseño factorial en bloques

El diseño factorial utilizado posee el siguiente modelo estadístico

$$Y_{ij} : \mu + B + \alpha_i + \beta_j + \alpha_i \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Es la respuesta observada cuando el factor α se encuentra en el i – ésimo nivel ($i=1,2,3$) (peso planta, número de vástagos, número de raíces, largo de raíces)

μ : Es el efecto medio general.

α_i : Es el efecto del i - ésimo nivel del factor sector de muestreo.

β_j : Es el efecto del j - ésimo nivel de factor acondicionador.

$\alpha_i \beta_j$: Es el efecto de la interacción entre el factor sector de muestreo y el factor acondicionador.

ε_{ij} : Es el componente del error aleatorio

2.4.2.2 Análisis de la Varianza Multifactorial

El procedimiento Modelo Lineal General Univariante proporciona un Análisis de Regresión y un Análisis de la Varianza para una variable dependiente (respuesta, altura de stipa, número de vástagos, etc.) con uno o más factores (acondicionador, tipo de suelo). Los factores dividen la población en grupos. Con este procedimiento se pueden investigar las interacciones entre los factores (acondicionador, tipo de suelo), así como los efectos de los factores individuales, algunos de los cuales pueden ser aleatorios.

Por otra parte, si en el análisis de la varianza global la F ha mostrado cierta significación, se pueden emplear las pruebas Post hoc para evaluar las diferencias entre las medias especificadas (Por ejemplo diferencias de crecimiento entre tipos de acondicionador).

2.4.2.3 Pruebas post hoc.

Tras saber que existen diferencias entre las medias, las pruebas de rango post hoc y las comparaciones múltiples por parejas permiten determinar las medias que difieren. Las comparaciones se realizan sobre valores sin corregir, y sólo se utilizan tales pruebas para factores de efectos fijos.

Si existen diferencias significativas por efecto de la enmienda o tipo de suelo, se realiza una prueba de post hoc, de manera de identificar y ordenar que tipo de enmienda o tipo de suelo genera un mejor desarrollo en la planta a través de pruebas de comparaciones múltiples tales como Duncan y Scheffe.

El procesamiento de la información se realizó por medio del software estadístico SPSS 10.0 (Statistical Product for Service Solutions).

III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Muestreo

Con los criterios que se utilizaron para seleccionar los sectores de estudio se elaboraron mapas de zonificación para la pendiente, altura, geología y exposición de la zona alta. Los mapas fueron creados con el programa Arc view 3.2. Estos datos y estos mapas se unieron para crear un mapa general que incluye todos los criterios antes mencionados (figura 5). El mapa general contiene un código de colores, el cual entrega para un punto determinado, las características de pendiente, altura, geología y exposición que posee. De izquierda a derecha, el primer dígito entrega el tipo de geología, el segundo la exposición, el tercero la altura y el último el tipo de pendiente. A partir de este mapa se consideraron aquellas zonas homogéneas entre sí de acuerdo al código de colores. Esto permitió definir aquellas zonas con mayor probabilidad de reforestación, para lo cual se revisaron y corrigieron los límites en terreno con ayuda de fotos satelitales y GPS (Garmin TM, GPS III plus).

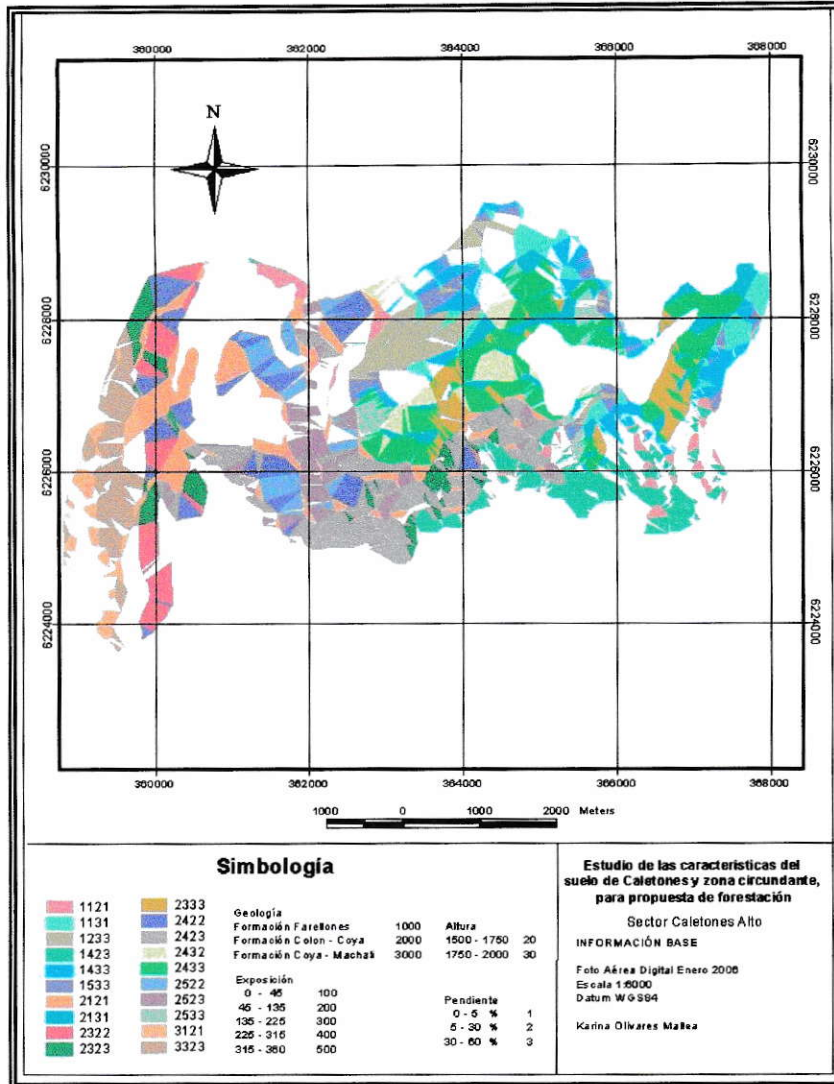


Figura 5. Mapa estratificación zona alta. Código de números entrega características de geología, exposición, altura y pendiente, respectivamente para cada color.

Las zonas elegidas a partir de estos criterios son las siguientes:

- a) **Sector Tranque Barahona:** ubicado a un costado del antiguo tranque de relave de Barahona. Por este sector además pasa el canal de relave de la División.

b) Sector Colón Alto: este sector corresponde a la zona que se encuentra entre los sectores industriales de Colón bajo y Caletones. Existen torres de alta tensión y una tubería que conduce concentrado.

c) Sector Campamento Caletones: aquí antiguamente se encontraba el campamento de Caletones, por lo que presenta gran cantidad de ruinas de edificios y casas, además de restos de vegetación. Está ubicado muy cerca de la zona industrial de Caletones, en especial de las Plantas de limpieza de gases.

d) Sector Colón Viejo: en este sector existía una estación de trenes y un campamento pequeño por lo que también es posible encontrar restos, ya sea de viviendas, vegetación y principalmente se observan restos de los antiguos postes del tendido eléctrico y del tren.

e) Sector Los Cóndores: se encuentra alejado de las zonas industriales, a unos 10 Km. Este sector es atravesado por un camino que lleva a una mina de cuarzo llamada Los Cóndores. En este lugar se aprecia variada vegetación y fauna además de antiguas cabañas utilizadas por los ganaderos que llevan a sus animales a pastar en la cordillera durante el verano.

La ubicación de estos sectores se puede apreciar en el siguiente mapa (figura 6).

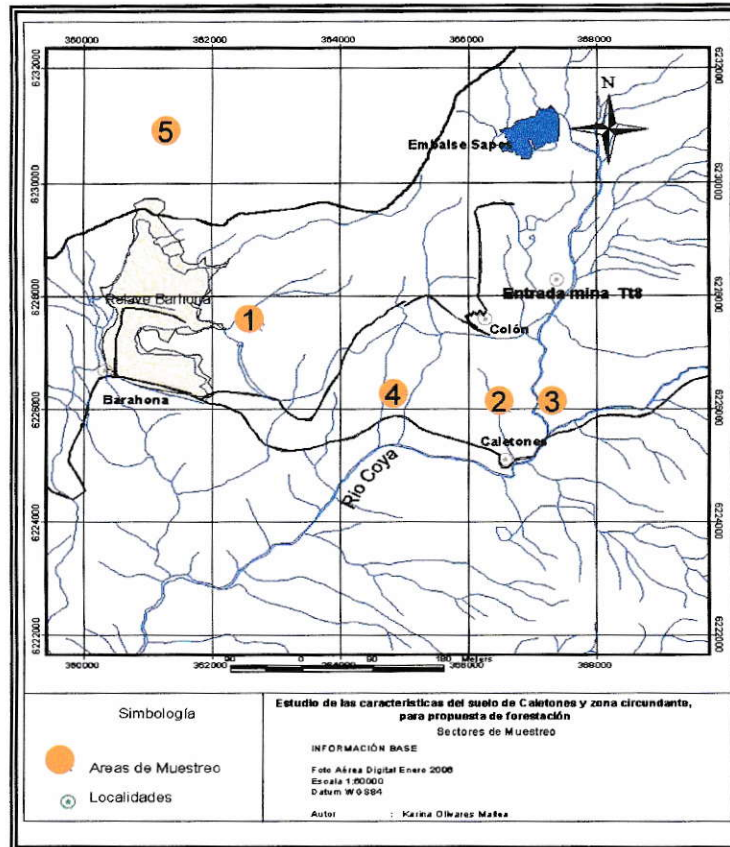


Figura 6. Sectores de muestreo y áreas de recolección de muestras. 1: sector Tranque Barahona; 2: sector Caletones Alto; 3: sector Campamento Caletones; 4: sector Colón Viejo; 5: sector Los Cóndores

3.1.1 Sector de muestreo Tranque Barahona, STB (19 abril 2006)

En este sector sólo se consideró el área bajo el canal de relave. El área superior a ésta no fue considerada debido a que para realizar el muestreo es necesario cruzar la canaleta, para lo cual se necesita un permiso especial debido a razones de seguridad. También fueron descartadas las zonas cercanas a antiguas forestaciones y torres de alta tensión que podrían influir en los resultados de los análisis.

Este sector de Barahona tiene gran importancia, en especial el área bajo el canal de relave, ya que permite analizar los efectos en el suelo del relave debido a derrames y dispersión eólica desde el tranque de relave de Barahona (figura 7).

La muestra recolectada está conformada por 10 submuestras, las cuales fueron recolectadas a intervalos regulares de distancia y siguiendo un zig-zag gracias a que el terreno en este caso lo permite. Los puntos de recolección de submuestras se pueden apreciar en la figura (figura 7). La línea de color naranja indica el canal de relave y los puntos amarillos los lugares de toma de muestra.

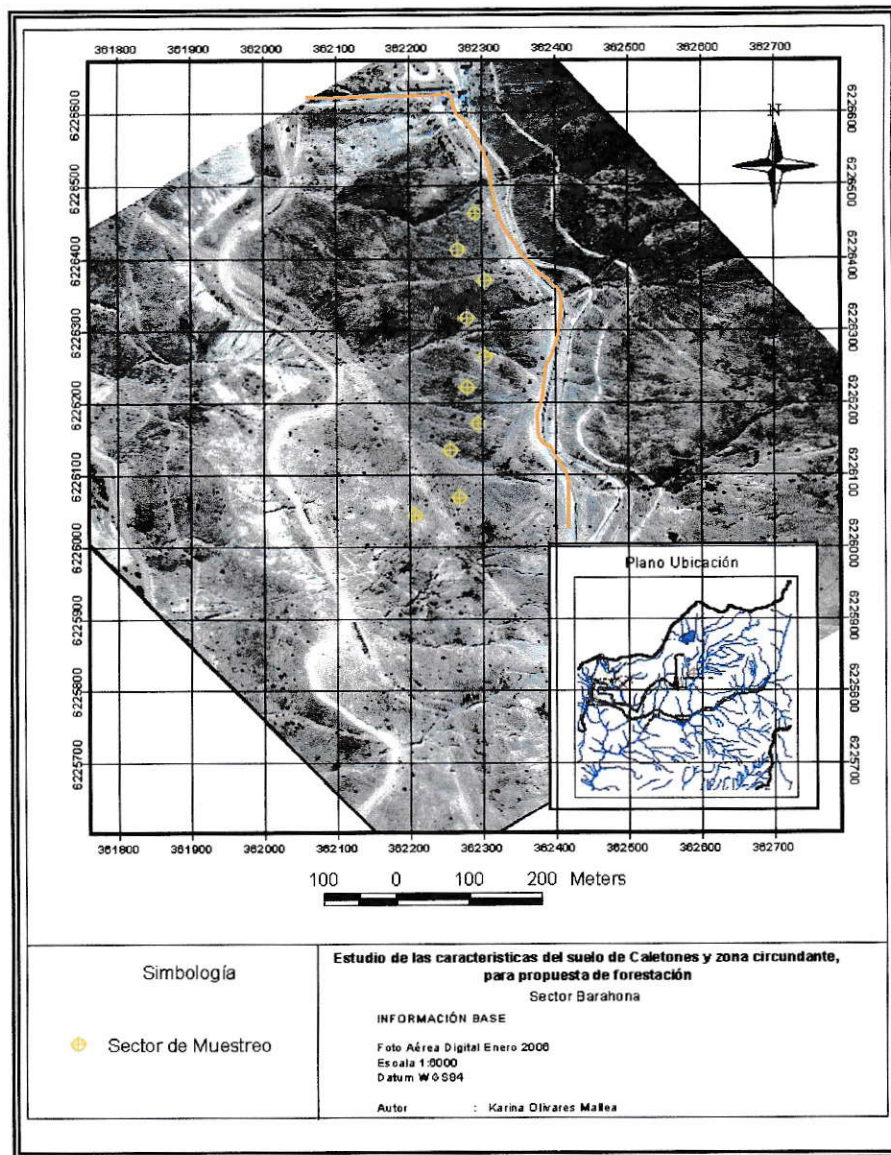


Figura 7. Foto satelital Sector Tranque Barahona. Puntos indican zona de muestreo de suelo

Las características físicas de las muestras recolectadas se muestran en la siguiente tabla (tabla 6)

Recolección de muestras

Tabla 6. Características de la zona de muestreo y de las submuestras para STB.

Pto.	Vegetación	Peds	Piedras	Observaciones
1	Quilo, gramíneas en poca cantidad	4 cm., de consistencia dura.	2-4 cm.	No se ven raíces, restos M.O, insectos o lombrices
2	Quilo poca cantidad	4-6 cm., de consistencia dura	5-8 cm.	No se ven restos de M.O
3	Gramíneas	3-5 cm., de consistencia dura	4 cm.	Presencia de rocas de gran tamaño en el área
4	Gramíneas cantidad moderada, restos de quilo	3-5 cm., se rompen con facilidad al tacto	5 cm., poca cantidad	Raíces escasas y secas. No se ven insectos o lombrices
5	Gramíneas en gran cantidad y algunos quilos	5 cm., se rompen a presión ligera.	3 cm., poca cantidad	Raíces secas y vivas más finas. Presencia guano de caballo
6	Gramíneas, quilo	4-7 cm., los pequeños se rompen a presión	4-5 cm., poca cantidad, 1cm. abundantes	Poca presencia de raíces
7	Gramíneas poca cantidad, quilo escaso	3-5 cm., forma redondeada y en punta.	3-4 cm. y menores a 1 cm.	Raíces delgadas y escasas. Suelo presenta tono rojizo
8	Quilo, no se ve gramínea	3 cm., se rompen a ligera presión	2 cm., gran cantidad	Raíces secas y restos vegetación en superficie.
9	Gramínea, paico	4 cm., se rompen fácilmente	2 cm., gran cantidad y tono ocre, 5 cm. tono azul	No se ven restos de M.O, insectos, etc.
10	Gramínea, escasa cantidad	2-4 cm., se rompen fácilmente.	2-4 cm., forma irregular, gran cantidad	Suelo presenta tono blanquecino. Restos de bosque nativo secos (maitenes, muchis, etc.)

3.1.2 Sector de muestreo Caletones Alto, SCA (25 abril 2006)

Este sector se encuentra ubicado entre las zonas industriales Caletones y Colón bajo, por sobre la zona de naves y filtros (figura 8). Este sector se dividió en pequeñas zonas debido a la heterogeneidad del terreno, de las cuales se obtuvieron las submuestras. El terreno presenta diversas pendientes y quebradas pronunciadas lo cual dificulta el muestreo sistemático en zig-zag. Por lo que en este caso se decidió tomar muestras al azar de forma de abarcar el sector lo más completamente posible.

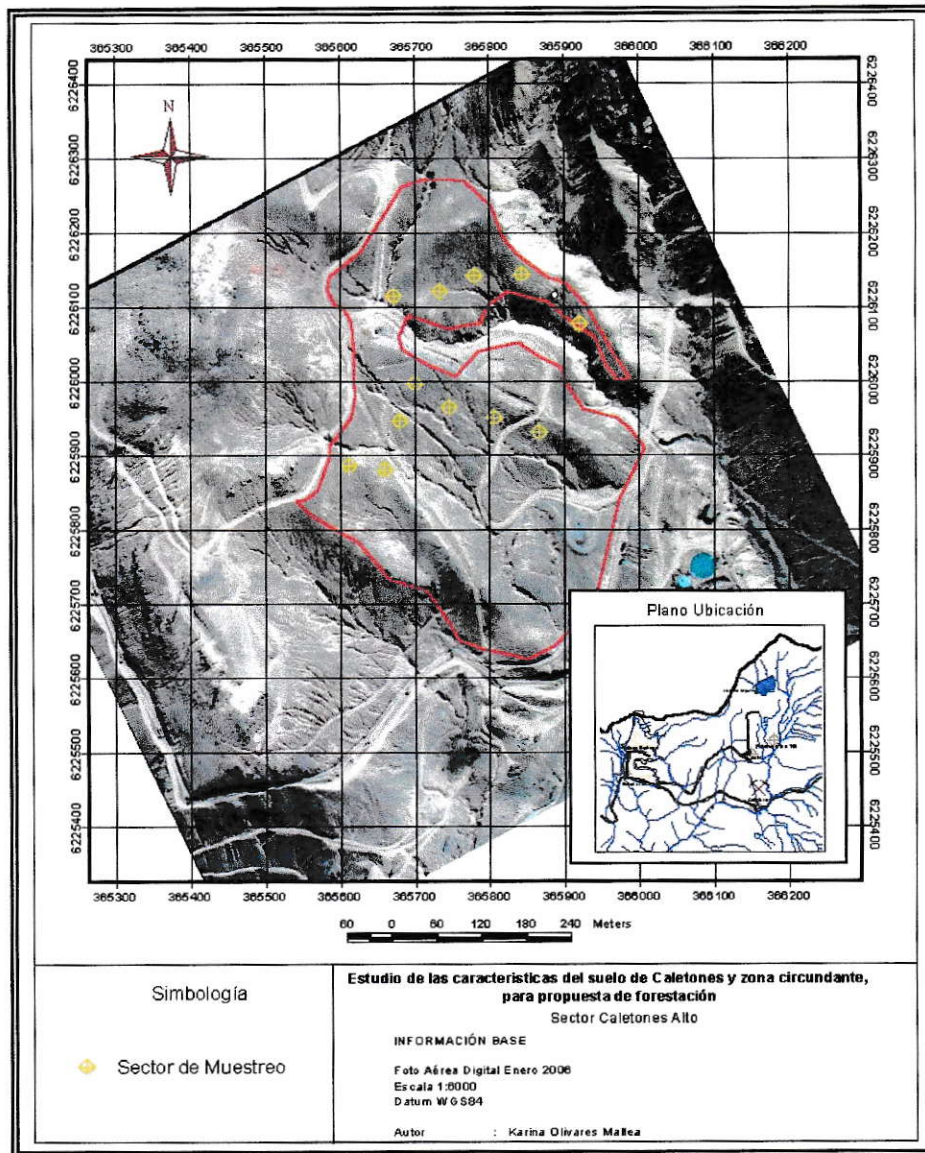


Figura 8. Foto satelital Sector Caletones Alto. Puntos indican zona de muestreo de suelo

Las características físicas de las muestras recolectadas se muestran en la siguiente tabla (tabla 7)

Tabla 7. Características de la zona de muestreo y de las submuestras para SCA

Pto.	Vegetación	Peds	Piedras	Observaciones
1	Gramínea gran cantidad, quilo y arbustos secos	3-4 cm, se rompen con facilidad al tacto	1 cm., poca cantidad	Suelo de color oscuro, presencia piedras pequeñas en la superficie, raíces finas
2	Gramínea semi seca, restos secos de arbustos	3 cm., se rompen con facilidad al tacto	2 cm., escasa presencia	Suelo de color oscuro
3	Restos arbustos secos	2-3 cm., se rompen con facilidad al tacto	Escasa cantidad	Raíces finas, suelo de color oscuro
4	Restos de quilo y arbustos secos	2-3 cm., se rompen con facilidad al tacto	No se observan	Raíces finas, gran cantidad de vegetación seca
5	Restos arbustos secos	2-4 cm., se rompen con facilidad. Aspecto poroso	2-3 cm., poca cantidad	No se observan raíces
6	Restos de quilo y arbustos secos	3 cm., se rompen al tacto	5-9 cm., forma de bloques	Suelo de color café claro
7	Restos de quilo y arbustos secos	3 cm., se rompen fácilmente.	3-5 cm. cantidad moderada	Raíces muy finas, trozos de ramas secas. Piedras de tono azulado y ocre
8	Restos de quilo y arbustos secos, escasa cantidad	3 cm., se rompen a ligera presión.	3-4 cm., color ocre-blanco y azuladas	Raíces finas y gruesas secas
9	Paico escaso, restos vegetación seca	3 cm., se rompen fácilmente, 7-8 cm se rompen a mayor presión	4-5 cm., gran forma irregular	No se ven raíces
10	Restos arbustos secos, escasa cantidad	3-5 cm., se rompen al tacto	3-6 cm., forma de bloques	Suelo disminuye tono oscuro. Raíces finas y medianas secas
11	Restos arbustos secos, gran cantidad	3-5 cm., se rompen al tacto	3-5 cm., forma irregular	Restos de M.O, pequeñas hojas y raíces secas
12	Restos vegetación seca, escasa cantidad	3-4 cm., se rompen al tacto	4 cm., forma esférica	Suelo de tono más café, raíces escasas y secas
13	Gramíneas semi secas, restos secos de arbustos	3 cm., se rompen al tacto, porosos	4 cm., forma angular	Suelo tono café, raíces escasas

3.1.3 Sector de muestreo antiguo Campamento Caletones, SCC (27 abril 2006)

Este sector corresponde al lugar donde antiguamente se emplazaba el Campamento Caletones (figura 9), actualmente este sector está abandonado y los edificios como viviendas, fueron demolidos por lo que hay gran cantidad de escombros y restos de todo tipo. Gracias a fotos antiguas, se pudo establecer que en este lugar existía una gran variedad de vegetación nativa y vegetación exótica asociada a la urbanización. Aún existen restos de esta vegetación, así como de algunos árboles vivos.

Este sector se dividió en pequeñas zonas debido a la heterogeneidad del terreno, de las cuales se obtuvieron las submuestras. El terreno presenta pendientes pronunciadas, así como grandes masas de escombros, lo cual dificultaría una reforestación futura por lo que estas áreas fueron descartadas.

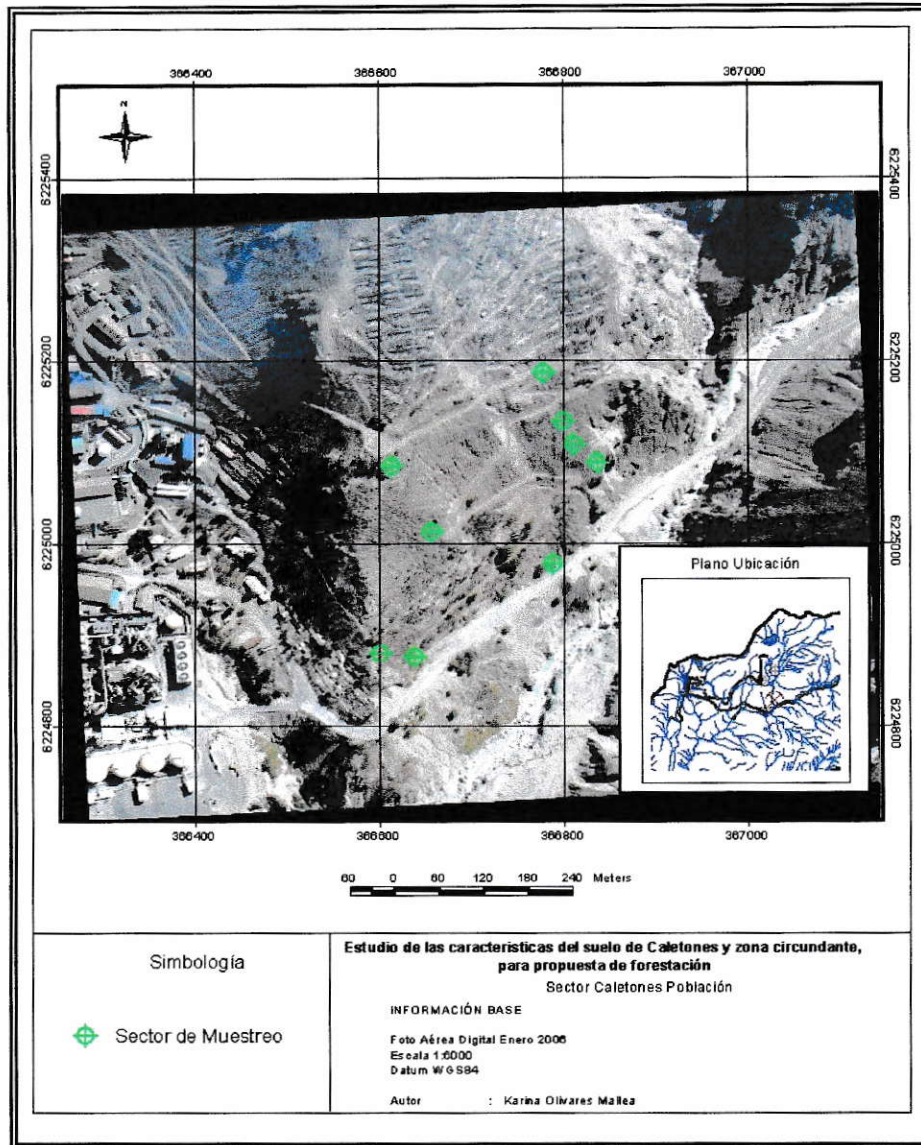


Figura 9. Foto satelital Sector Campamento Caletones. Puntos indican zona de muestreo de suelo

Las características físicas de las muestras recolectadas se muestran en la siguiente tabla (tabla 8)

Tabla 8. Características de la zona de muestreo y de las submuestras para SCC

Pto.	Vegetación	Peds	Piedras	Observaciones
1	Árboles y arbustos secos, cantidad moderada	2-3 cm, no se rompen, se moldean	2-3 cm., esféricas y 5-10 irregulares, gran cantidad	Restos de cerámica, vidrios, metal y vegetales en la superficie. Raíces gruesas secas
2	Restos árboles y arbustos secos	2 cm., se rompen a presión moderada	3-4 cm., forma esférica y de bloques	Restos de raíces gruesas, restos metálicos
3	Restos arbustos secos, poca cantidad	2-3 cm., se rompen con facilidad al tacto	3-4 cm., bordes rectos, tono azulado	Restos M.O en especial troncos, suelo tono café-ocre
4	Árboles y arbustos secos, gran cantidad. Gramíneas semi secas	2 cm., se rompen a presión moderada	3-5 cm., forma irregular y en gran cantidad	Raíces finas y medianas, restos de M.O, suelo tono oscuro
5	Árboles, quilo y arbustos secos, cantidad moderada	2-3 cm., se rompen con facilidad.	4-5 cm., gran cantidad	Restos de M.O, raíces secas, restos de guano de caballo en la calicata sin descomponer
6	Restos secos de ramas, escasa cantidad	2 cm., se rompen a presión moderada	2-3 cm., forma irregular, gran cantidad	Poca cantidad de M.O, raíces finas escasas. Suelo tono café
7	Árboles secos (robinias), gran cantidad	1-2 cm., se rompen fácilmente, poca cantidad	De gran tamaño, bordes rectos, cantidad moderada	Gran cantidad de M.O en superficie sin descomponer, raíces gruesas. A los 20 cm. aparecen rocas
8	Árboles secos (robinias), gran cantidad	2 cm., se rompen a presión alta, son moldeables	2-5 cm., cantidad moderada, bloques y esféricas	Gran cantidad de M.O en superficie sin descomponer, raíces gruesas.
9	Árboles vivos (robinia), cantidad moderada	3-5 cm., se rompen a presión fuerte algunos, otros se moldean	3 cm., forma esférica, cantidad moderada	Gran cantidad de M.O en superficie sin descomponer, raíces gruesas. Suelo tiene olor dulce
10	Árboles vivos (robinia), cantidad moderada y secos	3-5 cm., se rompen a presión fuerte	3 cm., cantidad moderada	Gran cantidad de M.O en superficie sin descomponer, raíces gruesas.

3.1.4 Sector de muestreo Colón Viejo SCV: (3 mayo 2006)

Cerca de este sector antiguamente existía el campamento Colón Viejo, una estación de trenes y por lo tanto por este sector cruzaba la línea del antiguo tren a Caletones y Sewell (figura 10). En esta área también existía una gran cantidad de vegetación nativa, así como plantas de urbanización.

Este sector se dividió en 2 zonas debido a la presencia de una gran quebrada en el terreno, de las cuales se obtuvo las submuestras.

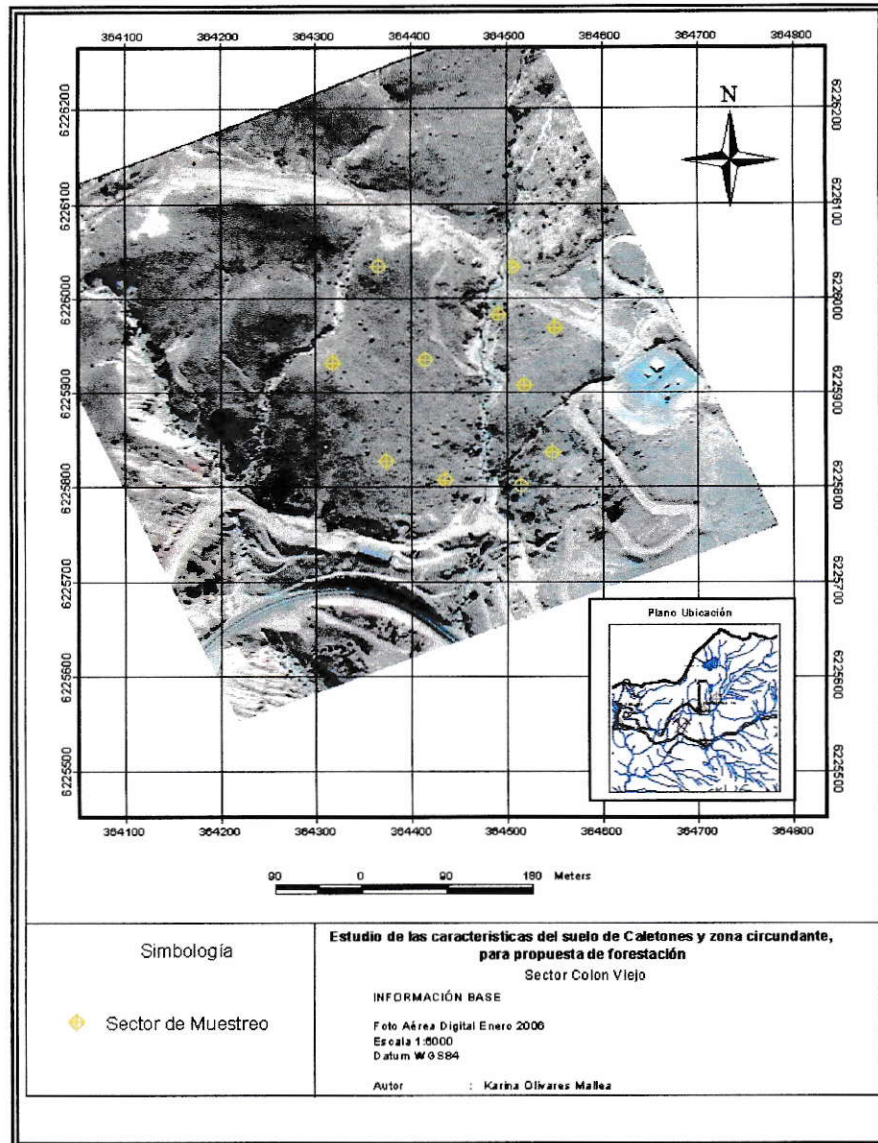


Figura 10. Foto satelital Sector Colón Viejo. Puntos indican zona de muestreo de suelo.

Las características físicas de las muestras recolectadas se muestran en la siguiente tabla (tabla 9)

Tabla 9. Características de la zona de muestreo y de las submuestras para SCV

Pto.	Vegetación	Peds	Piedras	Observaciones
1	Paico, gramíneas semi-secas, quilo	3-4 cm, se rompen bajo presión, se moldean	2-7 cm., irregulares	Gran cantidad de piedras y restos de M.O. Se ven raíces y algunas mariposas
2	Escasa cantidad, quilo y gramíneas	2-3 cm., se rompen a presión fuerte	3 cm., forma irregular, poca cantidad	Presencia de rocas y restos de vegetación seca
3	Escasa cantidad, quilo y gramíneas	2-3 cm., se rompen bajo presión	4 cm., bordes rectos	Restos de vegetación seca
4	Escasa cantidad, quilo	3-4 cm., se rompen bajo presión, tienden a moldearse	3-5 cm, irregulares, cantidad moderada	Restos de vegetación seca (árboles, arbustos), restos de M.O en la superficie (guano y ramas)
5	paico, gramíneas, corcolén, maitén	1-2 cm., escasos y se rompen con facilidad.	3-4 cm., forma esférica	Restos de árboles y arbustos secos posiblemente maitén y corcolén
6	paico, muchi, colliguay, gramíneas, corcolén, maitén	3-5 cm., se rompen con facilidad	2 cm., forma esférica	Restos de árboles y arbustos secos. M.O sin integrar (hojas, ramas)
7	No se observa	3-4 cm., se rompen a presión moderada	4-10 cm., forma irregular	Restos de vegetación seca (árboles, arbustos), restos de vegetación en la superficie
8	Cantidad moderada, tomatillo	3-4 cm, se rompen bajo presión	4-10 cm., forma de bloques	Restos de vegetación seca (arbustos), presencia de raíces finas y de insectos voladores.
9	Cantidad moderada, paico, gramíneas	5-10 cm, se moldean, gran cantidad	1-2 cm., forma esférica, poca cantidad.	Restos de vegetación seca (arbustos), restos de M.O en la superficie (ramas)
10	No se observa	5-10 cm., se rompen con presión, porosos	5-10 cm., bordes rectos	Restos de vegetación nativa, restos de M.O en la superficie (ramas). Raíces finas
11	Escasa, quilo, colliguay	4-6 cm., se rompen al tacto.	4-8 cm., forma irregular	Gran cantidad de árboles secos. Alambre y estaca oxidada en calicata. Rocas de gran tamaño y raíces gruesas

3.1.5 Sector muestreo Los Cóndores, SLC (10 mayo 2006)

Los Cóndores es un sector que queda dentro de los terrenos de la División, pero se encuentra alejado de las faenas por lo que la incidencia de éstas sobre él es menor, aún así se encuentra dentro de la zona declarada saturada (figura 11).

Este sector se dividió en 2 zonas, arriba del camino y debajo de este, de los cuales se obtuvo las submuestras.

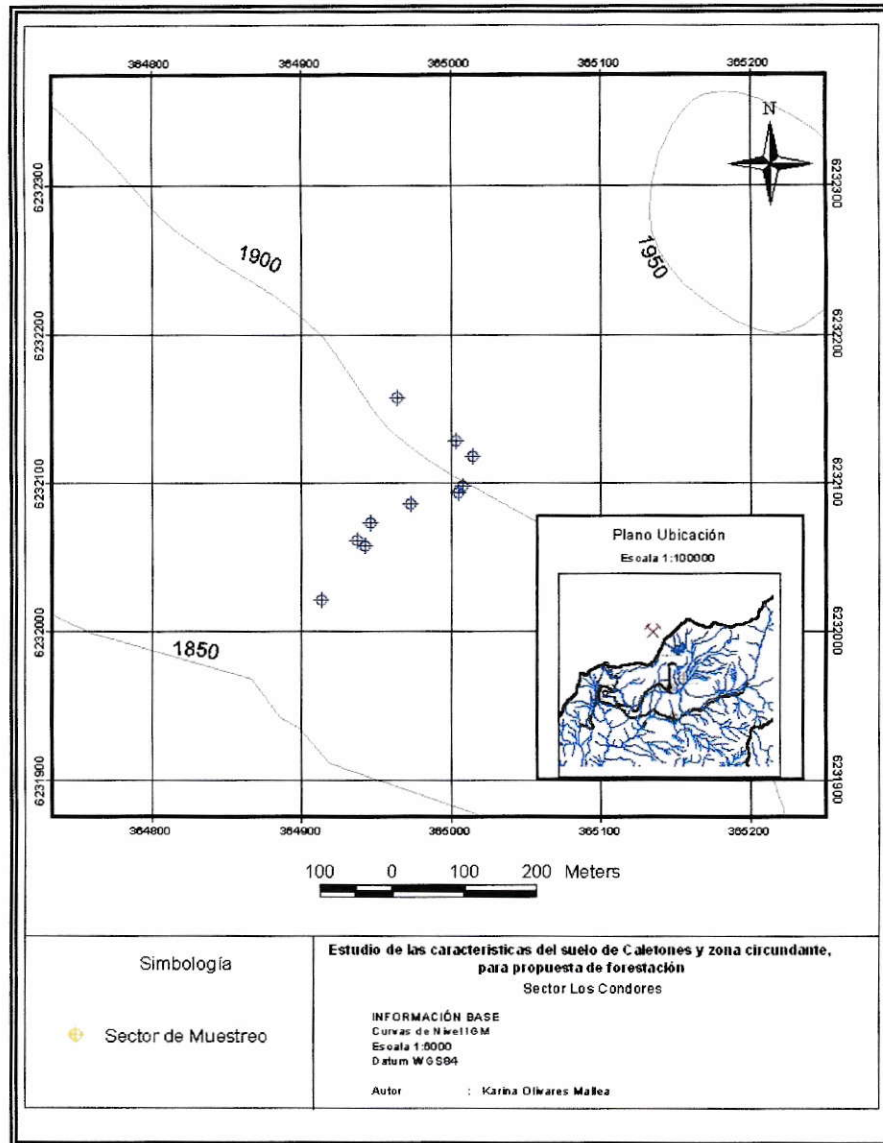


Figura 11. Mapa Sector Los Cóndores. Puntos indican zona de muestreo de suelo
Las características físicas de las muestras recolectadas se muestran en la siguiente tabla (tabla 10)

Tabla 10. Características de la zona de muestreo y de las submuestras para SLC

Pto.	Vegetación	Peds	Piedras	Observaciones
1	Baccharis, chuquiraga, guindilla, bailahuen, muchi. Gran cantidad	4-5 cm, muy duros, no se rompen a presión fuerte	3-7 cm., irregulares, cantidad moderada	Gran cantidad de M.O y restos de vegetación seca en la superficie. Gran cantidad de raíces, presencia de insectos voladores
2	Especies anteriores además de gramíneas	4-5 cm., contienen raíces	5-6 cm., forma irregular,	Restos de vegetación seca y guano de caballo. Presencia de raíces finas y gruesas
3	Baccharis, chuquiraga, guindilla, bailahuen, muchi	1-2 cm., se rompen a presión ligera, escasos	4-7 cm., bordes rectos	Presencia de raíces, guano caballo y conejo. Gran cantidad de rocas
4	Baccharis, chuquiraga, guindilla, bailahuen, muchi. Gran cantidad	5-6 cm., algunos se rompen a presión fuerte	3-5 cm., forma irregular, cantidad moderada	Restos de M.O en la superficie (guano caballo y ramas) y vegetación seca. Presencia raíces finas y gruesas
5	Baccharis, chuquiraga, guindilla, bailahuen, muchi y frangel.	4-5 cm., se rompen a presión moderada, presentan raíces finas	3-5 cm., forma irregular	Restos de vegetación seca y guano de caballo en superficie. Gran cantidad de raíces finas
6	Baccharis, chuquiraga, guindilla, bailahuen, muchi y quintral.	4-8 cm., duros, no se rompen	Escasas en la calicata	Restos de vegetación seca. Gran cantidad de raíces finas y gruesas.
7	Especies anteriores más frangel y crucero. Gran cantidad	3-4 cm., se rompen a presión moderada a fuerte	4-5 cm., forma irregular	Restos de vegetación seca. Presencia de raíces finas
8	Especies nombradas, gran cantidad	4-5 cm., la mayoría no se rompe bajo presión	10 cm., escasas	Restos de vegetación seca. Presencia de raíces finas
9	Especies anteriores mas frangel. Gran cantidad	7-8 cm., se rompen, se moldean, gran cantidad	5-6 cm., forma irregular.	Presencia de gran roca en la calicata, raíces finas y gruesas. Guano de vaca.
10	Todas las ya nombradas además de quintral.	4-5 cm., se rompen con facilidad	4-6 cm., forma irregular.	Restos de vegetación seca. Presencia de raíces finas y gruesas

3.2 Análisis de suelos

El conocimiento previo de la composición del suelo es una tarea imprescindible, para evitar sorpresas que podrían comprometer el éxito del trabajo a realizar. Las especies forestales presentan unas exigencias nutritivas variadas, dependiendo de que sean especies pioneras, de baja demanda de nutrientes o que se trate de frondosas que son más exigentes.

Los análisis de suelos sirven para conocer de antemano los posibles problemas existentes y decidir el tipo de especie más adecuado que se adapte a las condiciones presentes.

La interpretación de un análisis de suelo está condicionada, por un lado a la especie forestal que se considera y, por otro a la zona geográfica. La zona geográfica implica un clima y una geología determinada, de tal manera que un nivel de un nutriente que es adecuado en una zona puede no serlo en otra (se necesita más potasio en suelos con contenidos altos de calcio y/o magnesio, más fósforo en suelos con mucho hierro) (Bará, 1998).

3.2.1 Características físicas y químicas

Los datos obtenidos sobre las características físicas y químicas del suelo se presentan a continuación (Tabla 11)

Tabla. 11. Características físicas y químicas de los suelos.

Análisis	Unidad	STB	SCA	SCC	SCV	SLC
pH-H₂O 1:2,5	-	4,64	4,80	4,87	4,62	5,22
CE (1:2,5)	dS/m	0,13	0,19	0,35	0,13	0,05
CE (extracto de saturación)	dS/m	0,43	0,93	1,38	0,52	0,25
Humedad	%	5,93	14,94	12,49	9,65	5,15
fh		1,06	1,15	1,12	1,10	1,05
Capacidad de campo	%	36,49	38,81	28,42	33,42	31,31
Clase textural	-	Franca arenosa	Franca arenosa	Franca arenosa	Franca arenosa	Franca arenosa
% Arena	-	78,2	75,4	81,4	79,0	61,0
% Limo		14,6	19,6	14,8	16,8	30,4
% Arcilla		7,2	5,0	3,8	4,2	8,6
M.O	%	2,14	3,09	3,02	4,41	2,12

3.2.1.1 pH

En general las plantas forestales se desarrollan bien en suelos de pH 4,5 a 6. Por debajo de pH 4,5 se pueden presentar efectos desfavorables y por encima de 6 comienzan a aparecer hongos. Por lo tanto, el pH encontrado en los suelos, si solo se toma este parámetro, no sería un impedimento para el éxito de una reforestación. A veces se recomiendan ámbitos de pH estrechos para diversas especies, pero teniendo en cuenta que la influencia del pH depende del tipo de suelo y de otras características físicas y químicas de los mismos, tal exigencia puede ser discutible. Desde el punto de vista agrícola, los valores de pH obtenidos indican que los suelos se encuentran en la categoría de suelo muy fuertemente ácido a fuertemente ácido (Soil Survey Manual, 1982).

3.2.1.2 Conductividad eléctrica (CE)

Se consideró la CE en el extracto de saturación debido a que entrega valores más representativos de las sales solubles, ya que se relaciona con los contenidos de agua en el suelo bajo condiciones de campo. Los valores de CE encontrados en el extracto de saturación, indican que estos suelos corresponden a suelos normales, o sea no salinos desde el punto de vista agrícola (Utah State University, 2003).

3.2.1.3 Análisis de humedad

Las pérdidas de humedad producidas por evaporación, usualmente aumentan a medida que la humedad relativa del aire disminuye y cuando la velocidad del viento aumenta. La naturaleza del suelo también influencia las pérdidas por evaporación. Los suelos de textura fina pierden más agua que los de textura gruesa, al igual que con la elevación de la temperatura del suelo. Por lo tanto si consideramos desde el punto de vista forestal básico que nuestros suelos son de un carácter franco arenoso (Bará, 1998), tenemos que la pérdida por evaporación es importante en el verano. Además se debe agregar el hecho de que las pendientes orientadas al sur son más secas que las que tienen orientación norte, que es nuestro caso.

La evidencia existente, que es escasa, indica que las especies forestales y la vegetación menor extraen cantidades considerables de agua del suelo. Para un crecimiento normal, la razón entre el agua absorbida y el agua transpirada es mayor que la unidad. La cantidad de agua que se necesita por cada unidad de materia seca producida varía entre 300 y más de 500 L/kg. Las plantas que crecen en suelos poco fértiles necesitan absorber más agua que las que crecen en sitios fértiles.

3.2.1.4 Textura

La textura determinada para los 5 suelos es muy similar, variando los porcentajes obtenidos de limo, arcilla y arena. La arena es el elemento prioritario en los suelos, esto influiría de forma indirecta sobre el crecimiento de los árboles. Los suelos arenosos sostienen de forma deficiente especies arbóreas con bajos requerimientos de humedad y nutrientes, pero esto mejora a medida que aumenta el contenido de arcilla y limo. Esta influencia indirecta puede ser considerable en los suelos que se encuentran en zonas altas, como es el caso de los suelos en estudio. En la textura franco-arenosa, la arena crea una gran porosidad con huecos de gran tamaño, que favorece la aireación y facilita la circulación del agua, pero por otro lado no es capaz de retener ni a ésta ni a los nutrientes, para lo que se necesita la presencia de algún coloide. Para el equilibrio del suelo no importa tanto el contenido de arena como su relación con la arcilla. La gran permeabilidad que presentan se manifiesta por una alta velocidad de infiltración y solo ante unas lluvias extremadamente intensas se puede provocar su encharcamiento, pero en estos suelos es muy peligroso porque, si están en zonas con ligera pendiente (20%), sufren una erosión laminar selectiva que elimina los escasos coloides presentes y acrecienta aún más el problema. Esta situación se presenta en el área alta, ya que presentan pendientes pronunciadas (> 20%) lo que influye en una mayor erosión. Esto nos lleva a otra situación importante, cuando se abona hay que hacerlo en pequeñas dosis o con sustancias poco solubles, porque el lavado es muy fácil, pero para ello es necesario que tengan una buena actividad biológica.

A pesar que por geología los suelos presentan normalmente un alto contenido de finos de carácter limoso o limo arcilloso, al determinar la textura se obtuvo categoría franca arenosa. Es probable que debido a que los terrenos se encuentran erosionados y con

pendientes considerables, parte del material fino se ha perdido por efecto lavado de las lluvias y la nieve. Esto es más notorio cuando se observa el contenido de limo en el sector Los Cóndores (30,4%), el sector control, el cual presenta los valores más altos. Por lo que se puede confirmar la idea de que los otros suelos presentan valores menores de limo debido a la mayor erosión que presentan y por consiguiente, un mayor lavado de este material.

En general, las especies forestales son bastante tolerantes en lo que a composición granulométrica se refiere. No obstante, cada especie tiene su rango adecuado para los contenidos de limo y arcilla.

Desde el punto de vista de la composición granulométrica, en especial el contenido de arcilla, las necesidades mínimas que presenta cada especie son diferentes. Si bien es cierto que el nivel de fertilidad puede ser fácilmente variado por la aplicación de abonos, es un problema difícil y de costosa solución el cambiar la composición granulométrica de un suelo.

3.2.1.5 Materia Orgánica (MO)

En general los suelos presentan contenidos de MO oxidable considerados buenos, ya que se encuentran en la categoría de contenidos medios y altos para suelos agrícolas (Peralta, 1976). El sector Colón Viejo presenta el contenido de MO mayor, pero se observó durante la recolección de las muestras que presentaba gran cantidad de MO no descompuesta lo que se puede deber en gran medida a su pH, que es el más ácido. La MO poco humificada puede activarse por tratamientos mecánicos, removiendo el suelo y por fertilización, adicionando dosis adecuadas de dolomita o de caliza magnesiana, complementando con pequeñas dosis de nitrógeno, fósforo y potasio ya que la subida de pH provocada por la cal, activa fuertemente las poblaciones

microbianas, que demandan estos nutrientes para su propia actividad. Sin embargo deberá considerarse el pH ácido de los suelos, ya que, tanto los fertilizantes como el exceso de MO pueden contribuir a un aumento de la acidez del suelo.

3.2.2 Composición química

Debido a diversos factores como la acidez del suelo, las pendientes pronunciadas de los terrenos y la presencia de lluvias y nevadas intensas, se puede decir que en general, los iones y los metales son lavados de los suelos con rapidez. También es importante considerar el efecto dilución causado por la profundidad de la toma de muestra (0-30 cm). Los primeros cm. podrían haber presentado una mayor concentración de iones y metales que a mayor profundidad. La composición iónica de los suelos se presenta en la siguiente tabla (Tablas 12 y 13)

Tabla 12. Sales solubles (cationes y aniones)

iones (mgL⁻¹)	STB	SCA	SCC	SCV	SLC	B
Ca⁺²	67	152	193	85	31	8
Mg⁺²	10	25	28	14	6	1
K⁺	17	32	18	9	17	<0,1
Na⁺	18	14	14	16	11	7
Cl⁻	80	80	80	80	50	80
SO₄⁻²	250	550	1050	300	100	100

Tabla 13. Metales

Iones (mgL⁻¹)	STB	SCA	SCC	SCV	SLC	B
As	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Cd	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Cu	0,8	13,7	< 0,1	11,3	0,6	0,2
Mo	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Mn	3,9	11,3	15,3	8,2	2,6	< 0,1
Ni	< 0,1	0,1	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Pb	< 0,1	< 0,1	0,3	0,3	< 0,1	0,1
Zn	0,4	3,1	6,6	0,6	0,3	< 0,1
P	0,15	0,76	0,59	0,1	< 0,1	0,92

Los metales que indican concentración < 0,1 mg L⁻¹ se deben a que la sensibilidad del equipo está dada por el límite de detección que es 0,01 mg L⁻¹. Bajo este valor el equipo no asegura los valores entregados.

Para una mayor comprensión, los contenidos de sales solubles y de metales encontrados en las muestras de suelo se presentan a continuación gráficamente (figuras 12, 13 y 14).

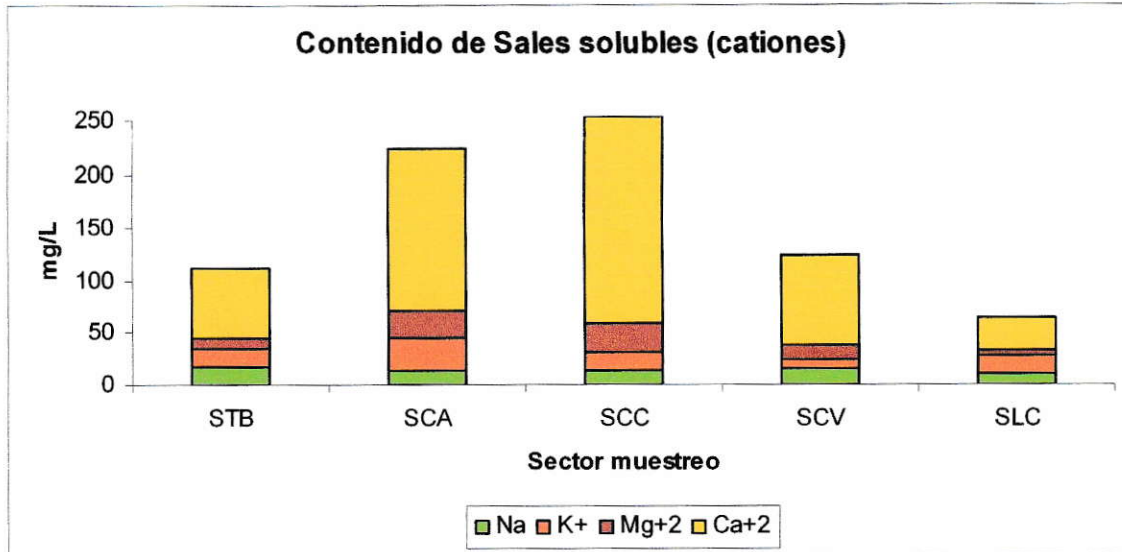


Figura 12. Contenido de cationes en sales solubles. STB: Sector Tranque Barahona; SCA: Sector Caletones Alto; SCC: Sector Campamento Caletones; SCV: Sector Caletones Viejo; SLC: Sector Los Cóndores

Se puede apreciar que el contenido de calcio es el mayor para todos los sectores de muestreo y por lo tanto es el que contribuye de mayor forma en los cationes solubles.

El calcio es muy importante en la regulación del pH y en la asimilación de otros elementos y en la activación de la vida microbiana, importante en las transformaciones de la MO. Facilita la absorción de otros nutrientes, por modificación del pH. La arcilla y los ácidos húmicos se estabilizan por la presencia de este elemento, dando a lugar a estructuras porosas y favorables a la infiltración de agua. Los contenidos de calcio encontrados en los suelos en la fracción disponible deberían ser suficientes para el desarrollo de vegetación e impedir los ataques patógenos y de predación, debido .a que su escasez vuelve a las plantas más sensibles.

Al comparar la cantidad de magnesio en los distintos sectores con lo encontrado en el sector Los Cóndores, el cual es nuestro control, tenemos que las concentraciones son

superiores por lo que no debería haber problema en el establecimiento de la vegetación. En algunos sectores, como SCA y SCC, el calcio podría generar problemas de absorción de magnesio debido a su mayor concentración, ya que se ve afectada por la presencia de grandes cantidades de calcio y potasio.

El potasio puede fijarse dentro de algunos tipos de arcillas presentando menor accesibilidad para las plantas, pero cuando no se absorbe puede lixiviarse fácilmente desde el suelo. Este puede ser el caso del sector de muestreo SCV, que es el que presenta los contenidos más bajos dentro de los sectores de muestreo al compararlo con el sector control.

En los suelos arenosos se asimila mejor que en los arcillosos, aunque estos últimos suelen contener más potasio. Valores de potasio cambiable por debajo de 40 ppm (mg/L) pueden considerarse favorables a la aparición de deficiencias en este elemento. Considerando esto, los suelos estudiados presentarían deficiencias en el contenido de potasio, sólo SCA estaría justo en el rango, mientras que SCV presentaría la mayor deficiencia al presentar el valor más bajo. Debido a esto, puede ser importante considerar en la planificación de la forestación una fertilización localizada con potasio de forma de aumentar la expectativa de sobrevivencia de las primeras especies. Es muy probable que el potasio esté lixiviando fácilmente del suelo debido a su escasa absorción y a su alta movilidad como nutriente. También es posible que los contenidos de potasio encontrados sean bajos debido al efecto de dilución causado por la profundidad del muestreo. En este caso los cm superiores del suelo podrían presentar valores adecuados para sobrevivencia de especies, pero esto no descarta que sea necesaria una fertilización localizada.

Los contenidos de sodio son muy similares en todos los sectores de muestreo y levemente superiores al sector control.

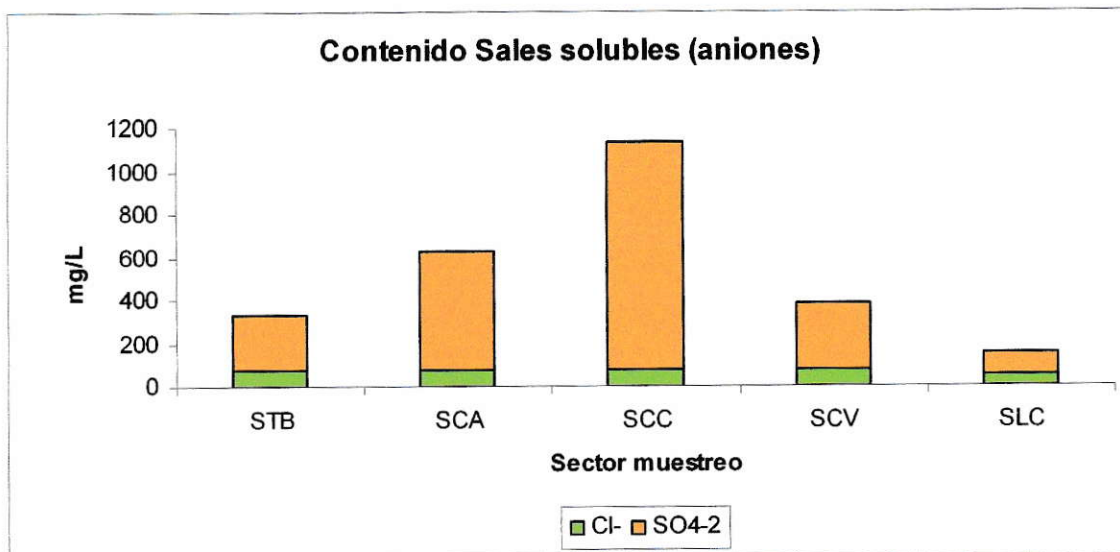


Figura 13. Contenido de aniones en sales solubles. STB: Sector Tranque Barahona; SCA: Sector Caletones Alto; SCC: Sector Campamento Caletones; SCV: Sector Caletones Viejo; SLC: Sector Los Cóndores

Los contenidos de sulfato encontrados en los sectores de muestreo son superiores en comparación al sector control. Los altos valores encontrados de sulfato, en especial en el sector de muestreo del antiguo Campamento Caletones, se relacionan con la cercanía a la planta de limpieza de gases. En el resto de los sectores puede deberse en gran medida a la precipitación que hubo en años anteriores de las emisiones de la chimenea de la fundición. Con frecuencia las plantas que están sujetas a un suministro de azufre que es mayor a sus demandas habituales acumulan grandes cantidades de sulfato en sus acículas. Este punto es importante ya que el reforestar en aquellos sectores cercanos a la planta de limpieza de gases, éstos pueden actuar como acumuladoras en caso de liberación de gases de cola y como pantalla arbórea.

La contaminación producida por el dióxido de azufre (SO_2) da como resultado dos fuentes grandes de suministro de azufre: la absorción directa del gas SO_2 y la conversión de este compuesto en ácido sulfúrico (H_2SO_4) durante la precipitación pluvial. Por lo común el sulfato se incorpora al ecosistema en forma de ácido (junto con el H^+) y sale de él en forma de sal (junto con el potasio o el calcio), dando como resultado un incremento neto de los iones H^+ en el ecosistema. Cuando el sulfato se lixivia junto con el H^+ o el aluminio, los ríos y lagos se acidifican. Por esta razón, la movilidad del sulfato en los suelos forestales es un tema de gran interés para el estudio de la acidificación de los ríos y lagos.

El cloruro encontrado en los sectores de muestreo es muy similar al presente en el sector control. Es tan ubicuo que hasta ahora no se han publicados muchos trabajos acerca de su deficiencia en los ecosistemas naturales. De acuerdo a esto, los valores encontrados de cloruro no deberían interferir en caso de una reforestación y en el establecimiento de especies.

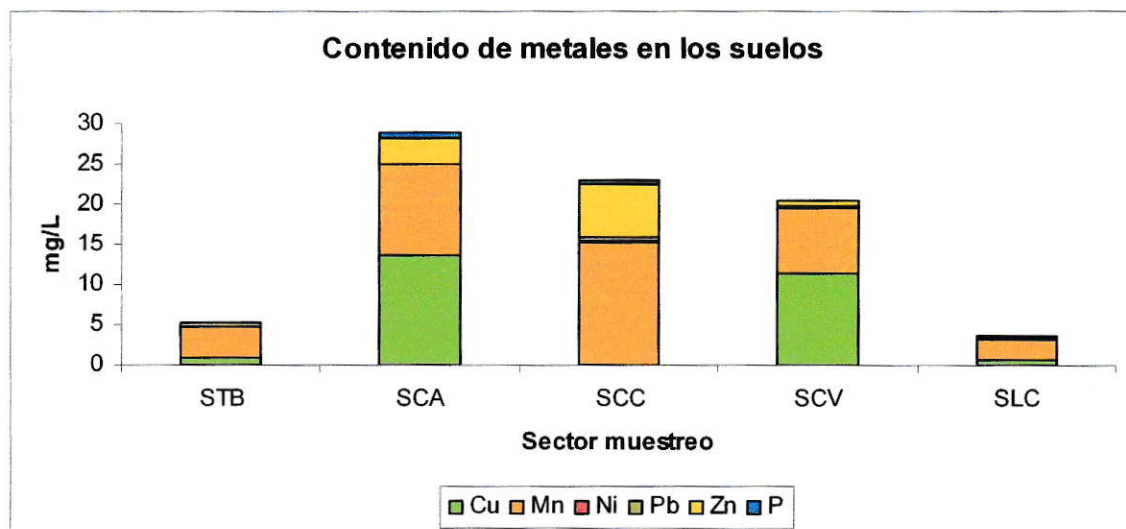


Figura 14. Contenido de metales. STB: Sector Tranque Barahona; SCA: Sector

Caletones Alto; SCC: Sector Campamento Caletones; SCV: Sector Caletones Viejo;
SLC: Sector Los Cóndores

Arsénico, cadmio y molibdeno no fueron graficados, ya que los sectores de muestreo presentan contenidos menores a $0,1 \text{ mgL}^{-1}$. Esto puede deberse en parte al factor dilución causado por la profundidad de muestreo, por lo que es posible que superficialmente los contenidos sean mayores. También debe considerarse el factor lixiviación debido a las lluvias, o que simplemente no hay.

Se esperaba encontrar altas concentraciones de cobre en la fracción disponible, pero sus valores no son tan altos, esto puede deberse a la lixiviación natural que ocurre en esta zona. Incluso las aguas naturales de escorrentía son captadas para obtener el cobre mediante un proceso de electroobtención. Los sectores de muestreo SCA y SCV presentan valores muy altos en comparación al sector control (SLC). El cobre es un micronutriente poco móvil en el suelo y su reacción es muy similar a la de varios metales, a pH ácido se incrementa su solubilidad y disponibilidad para las plantas (Kabata-Pendias, 2000).

Las concentraciones de manganeso en los sectores de muestreo son en general mayores a los del sector control, en especial en el caso de SCA, SCC y SCV. El pH tiene un papel decisivo, favoreciendo la presencia de niveles tóxicos en el rango de pH 4-5. Este punto es importante debido a los valores de pH encontrados en los suelos, los que se encuentran dentro de este rango. Aún así no se debe olvidar el factor de dilución por la profundidad y el factor de pérdida por lavado de los suelos.

El plomo es uno de los metales pesados de menor movilidad en los suelos. Su solubilidad depende del pH, aumentando en suelos ácidos. En los suelos en estudio STB y SCV presentan una leve disminución en acidez con respecto a los otros suelos y

además presentan valores menores a $0,1 \text{ mgL}^{-1}$ lo cual podría ser explicado por un aumento en la solubilidad del plomo y un consiguiente lavado de éste desde el suelo debido a las lluvias. Es un elemento poco disponible para las plantas, a pesar de ello puede ser adsorbido, pero quedando generalmente en las raíces con lo que la cadena alimenticia se protege de los excesos de este metal (Epstein, 2003).

El fósforo (inorgánico) se presenta en diferentes formas, ejerciendo el pH una influencia importante en su disponibilidad. En los suelos ácidos, una parte considerable del mismo está asociada a hierro y aluminio, formando una variada serie de fosfatos poco solubles. Debido a que los suelos presentan valores de pH ácidos es posible que el fósforo existente tenga poca solubilidad por lo que los valores encontrados sean bajos con respecto al fósforo total en los suelos. Las concentraciones encontradas son similares entre si, pero mayores a las del sector control (SLC), en particular en el caso de SCA y SCC.

En los suelos el zinc suele existir en el rango de $2-50 \text{ mgL}^{-1}$. La pluviosidad elevada desempeña un papel importante en la pérdida de zinc por lavado. Sólo las muestras de SCA y SCC presentan concentraciones dentro del rango. Las demás tendrían deficiencias de este elemento, pero considerando que el sector control (SLC) presenta un valor de $0,3 \text{ mgL}^{-1}$, las concentraciones existentes serían adecuadas para el establecimiento de especies vegetales.

La acidez influye, como ya se vió, en la solubilidad de muchas de las especies iónicas. Esto unido al hecho de escasa vegetación presente en estos suelos, que influye en una baja tasa de captación y asimilación de estas especies, nos lleva a que existe una gran cantidad de iones solubles que se están perdiendo por lixiviación o lavado de los suelos. La introducción de especies vegetales y un encalado provocarían el aumento

leve en el pH, causando la disminución en la solubilidad de ciertas especies iónicas, y permitiendo a su vez una mayor captación por parte de las plantas. Esto podría influir en un aumento en la concentración de algunos iones en los suelos, pero a su vez puede ser regulado por las plantas y por el aumento de los agregados coloidales en los suelos causado por la presencia de vegetación.

Debido a que el pH ejerce influencia sobre la mayoría de las características del suelo, es importante estudiar esta situación en los suelos recolectados. Para esto se graficó el pH con algunos datos obtenidos en los análisis de laboratorio (figura 15 y 16)

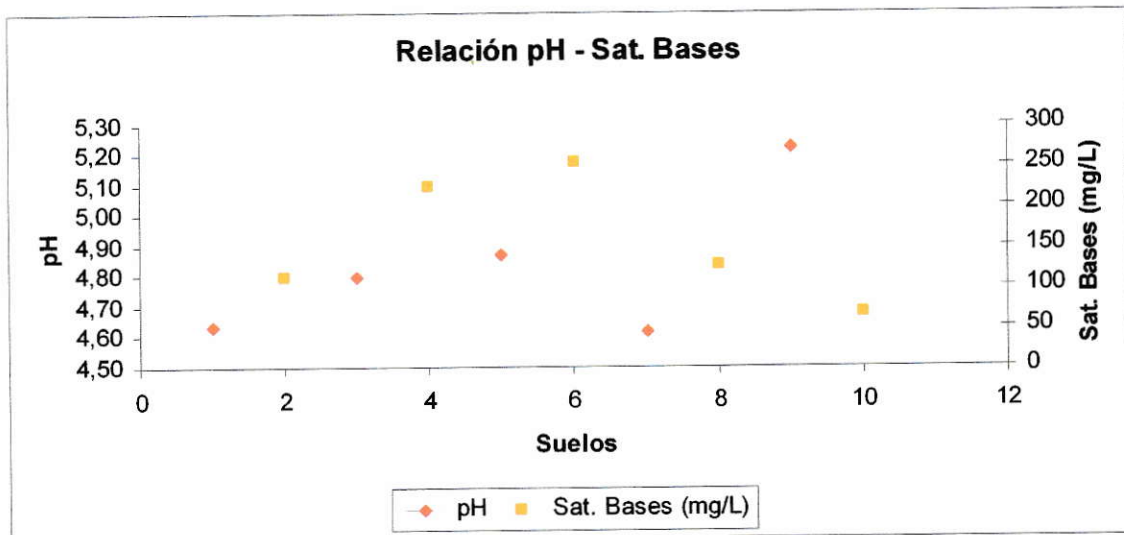
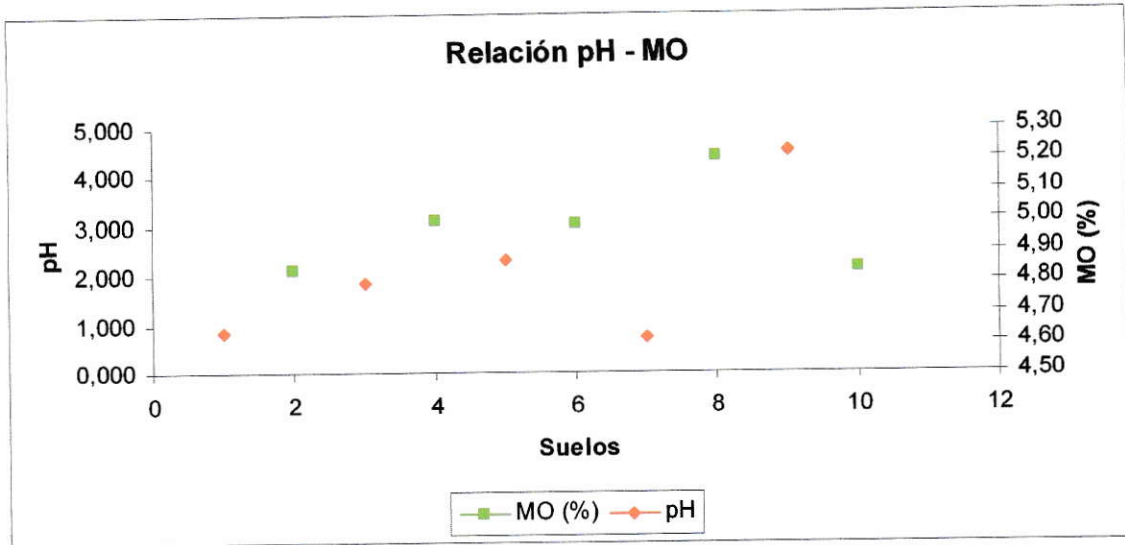


Figura 15. Interacción en los suelos del pH con la MO y la Saturación de bases. STB: Sector Tranque Barahona; SCA: Sector Caletones Alto; SCC: Sector Campamento Caletones; SCV: Sector Caletones Viejo; SLC: Sector Los Cóndores

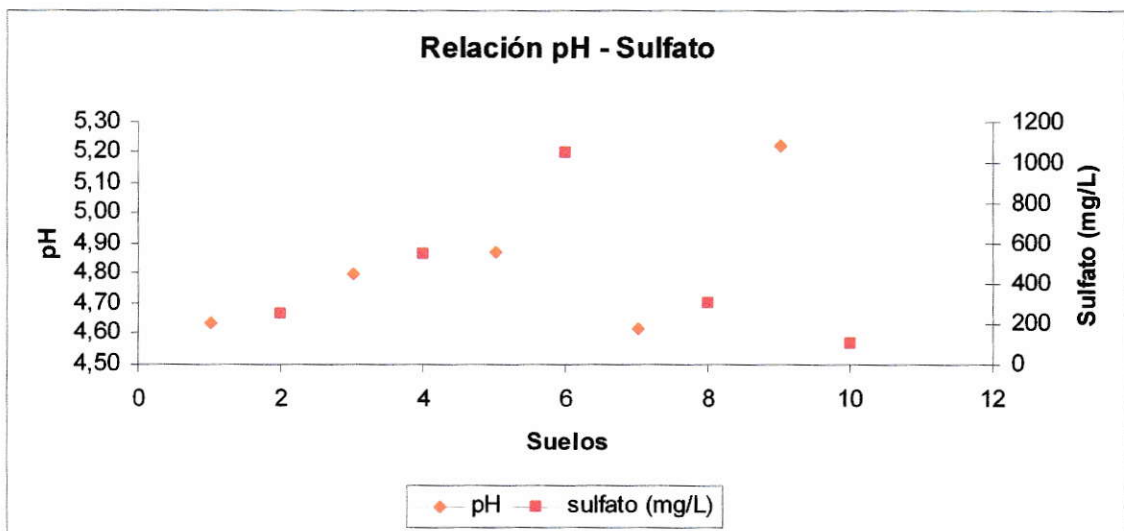
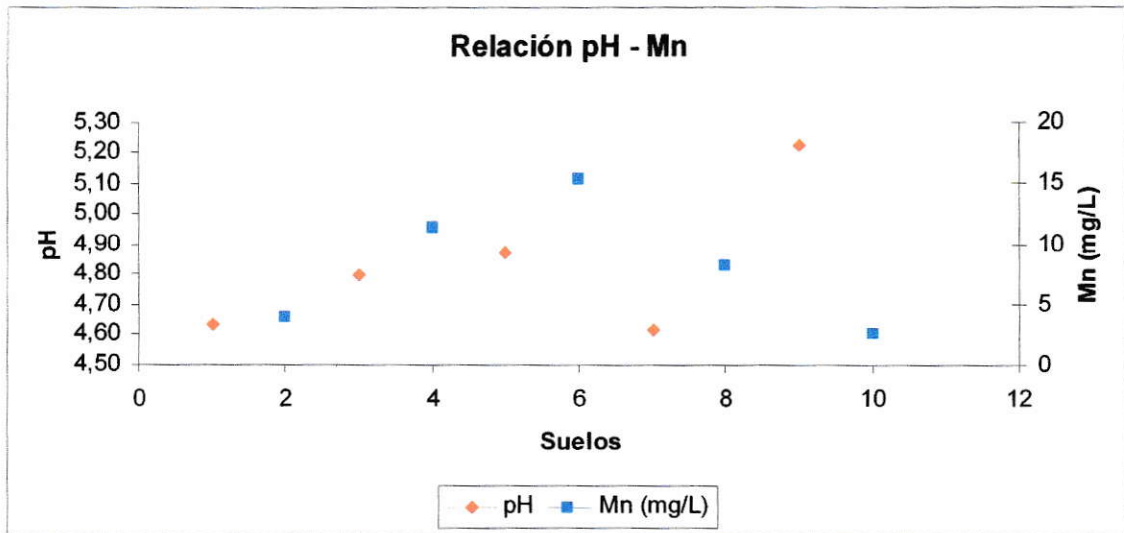


Figura 16. Interacción en los suelos del pH con manganeso y sulfato. STB: Sector Tranque Barahona; SCA: Sector Caletones Alto; SCC: Sector Campamento Caletones; SCV: Sector Caletones Viejo; SLC: Sector Los Cóndores

En la figura se observa que a medida que el pH se vuelve menos ácido, la MO oxidable aumenta para el caso de los suelos STB – SCA – SCC. El suelo con mayor contenido de MO es SCV, que es el más ácido de los cinco suelos, pero para el suelo SLC el comportamiento es inverso, tiene el menor contenido de MO y el pH menos ácido. Al considerar estos datos y compararlo con lo observado en terreno, en donde SLC presenta abundante vegetación y SCV vegetación escasa, se podría esperar que si el pH de SCV aumenta volviéndose menos ácido, la vegetación podría establecerse y por consiguiente aumentar.

Los contenidos de bases, manganeso y sulfato contenidos en el suelo SLC son menores con respecto al resto de los sectores. Esto se debe en parte al pH menos ácido que presenta este suelo, ya que a pH ácido estos elementos se vuelven más solubles y por lo tanto más disponibles. Para el caso del manganeso esto puede ser peligroso ya que a altas concentraciones se vuelve tóxico para las plantas. Esto es un punto importante para los suelos de la zona industrial (STB, SCA, SCC y SCV), ya que presentan valores más altos de este elemento, pero debido a las pendientes pronunciadas y a la erosión que presentan, el lavado de este elemento por las lluvias puede afectar a las subcuencas del sector.

3.3 Ensayo crecimiento

3.3.1 Resultados y análisis estadístico

El ensayo de crecimiento fue desarrollado durante los meses de junio a octubre. La primera medición se desarrolló a finales del mes de julio y luego se midió cada mes. La variable a medir fue la altura de los vástagos, en especial de la hoja verde de mayor altura. Los valores obtenidos para estas mediciones, tanto como para las plantas en Caletones como las del vivero, se encuentran en los Anexos. (Anexo II)

Los datos obtenidos muestran que en general las plantas ubicadas en ambiente vivero se desarrollaron de mejor forma, produciendo mayor número de vástagos, mayor cantidad de hojas, las cuales son más largas. Además las hojas se mantienen verdes por más tiempo. En ambiente Caletones las hojas se vuelven amarillas fácilmente lo cual se debe principalmente a las temperaturas a las que se encuentran expuestas y a los bruscos cambios de éstas. Hay que recordar que estas plantas a diferencia de las que se encontraban en el vivero, están al aire libre y deben soportar además de la lluvia, nieve y una alta exposición al sol, debido a la falta de elementos que den sombra.

Al finalizar el ensayo y observar las raíces, se encontró que las plantas en ambiente vivero se desarrollaron de mejor forma, en especial aquellas plantadas en suelo del sector SLC (Los Cóndores), ya que presentan una gran cantidad de raíces secundarias y terciarias. El sector SCV (Colón Viejo) también presentó este tipo de desarrollo, pero en menor cantidad. Las plantas en ambiente Caletones también lograron desarrollar raíces secundarias, aunque menor cantidad que cualquier sector de las de vivero. Esto no indica que no lo hagan, si no que quizás necesiten más tiempo debido a las condiciones adversas que debieron soportar durante el invierno, guardando reservas para el verano.

La influencia que pueden ejercer sobre la altura de los vástagos algunas características de los suelos estudiados y por lo tanto sobre el desarrollo de la *Stipa caudata*, se analizan a continuación gráficamente (figura 17 a 22). Para estos gráficos sólo se consideró la repetición a 0% de acondicionador, ya que representa las condiciones reales del suelo para el establecimiento de la especie.

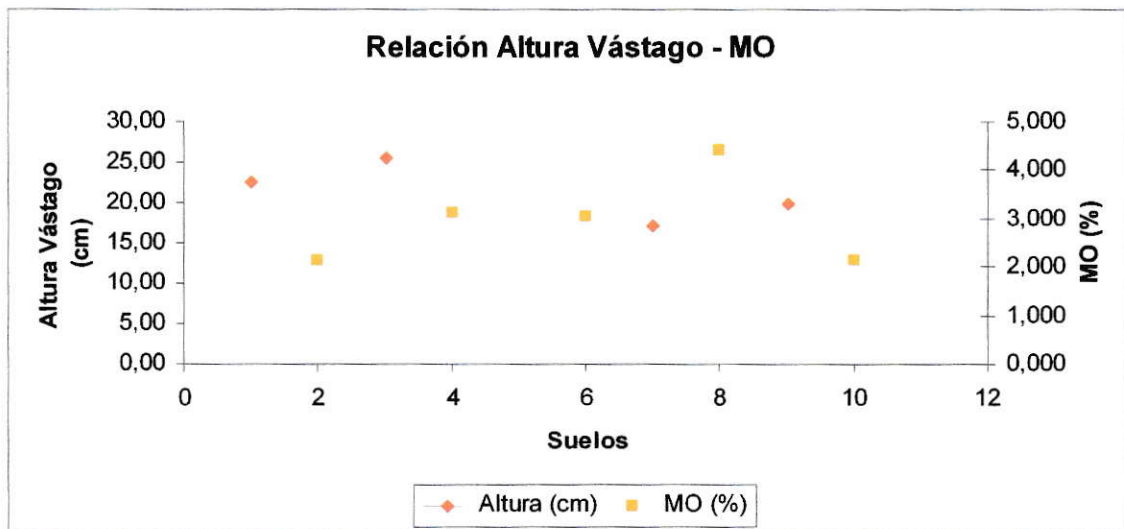
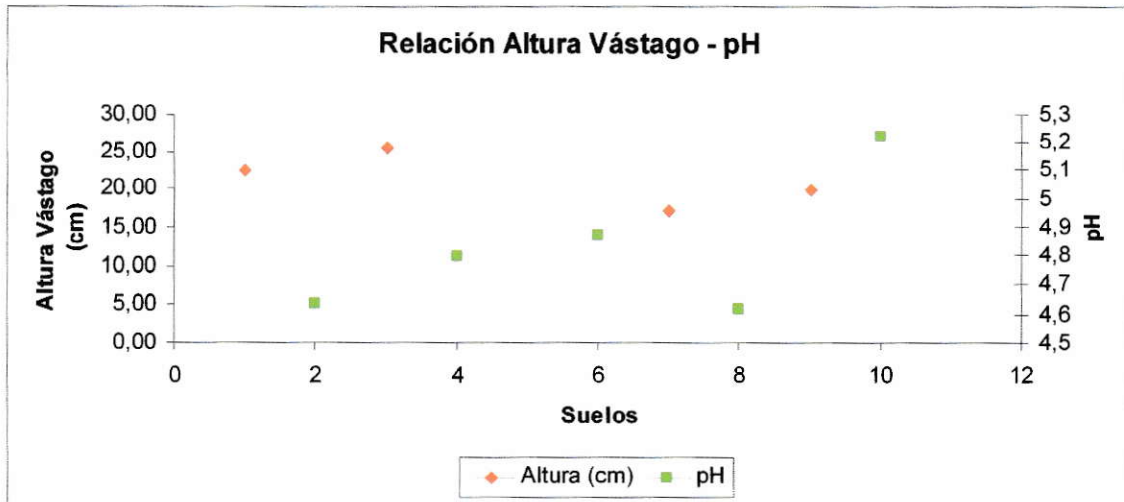


Figura 17. Relación de la Altura vástago con respecto a pH y la MO. Ambiente Caletones. STB: Sector Tranque Barahona; SCA: Sector Caletones Alto; SCC: Sector Campamento Caletones; SCV: Sector Caletones Viejo; SLC: Sector Los Cóndores

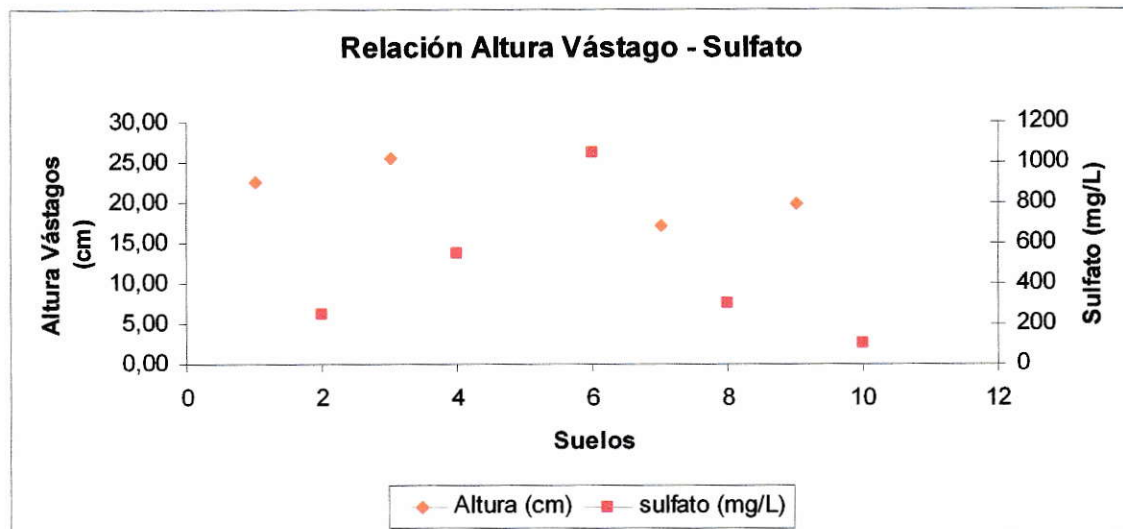
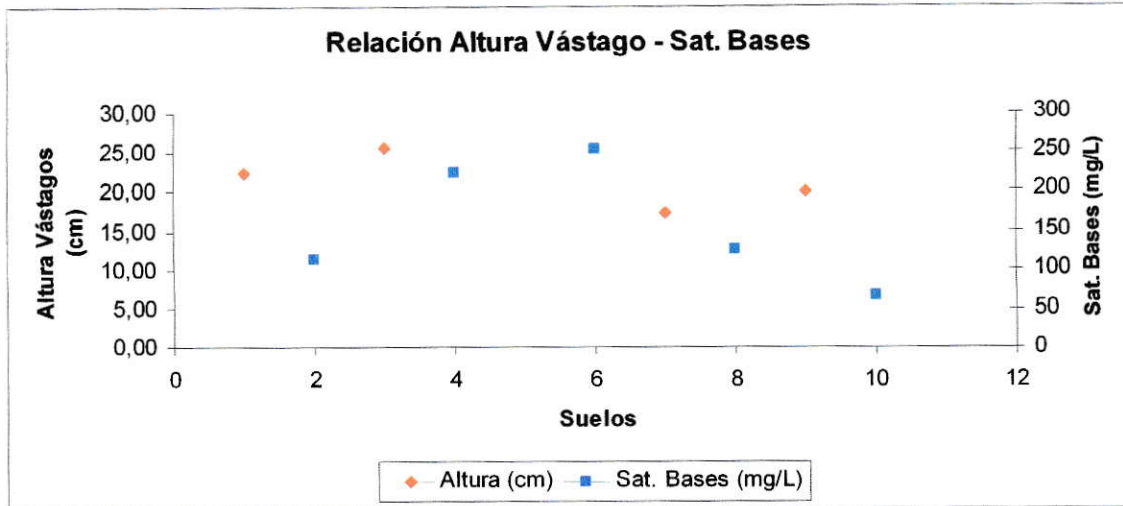


Figura 18. Relación de la Altura vástago con respecto a la Saturación de bases y sulfato. Ambiente Caletones. STB: Sector Tranque Barahona; SCA: Sector Caletones Alto; SCC: Sector Campamento Caletones; SCV: Sector Caletones Viejo; SLC: Sector Los Cóndores

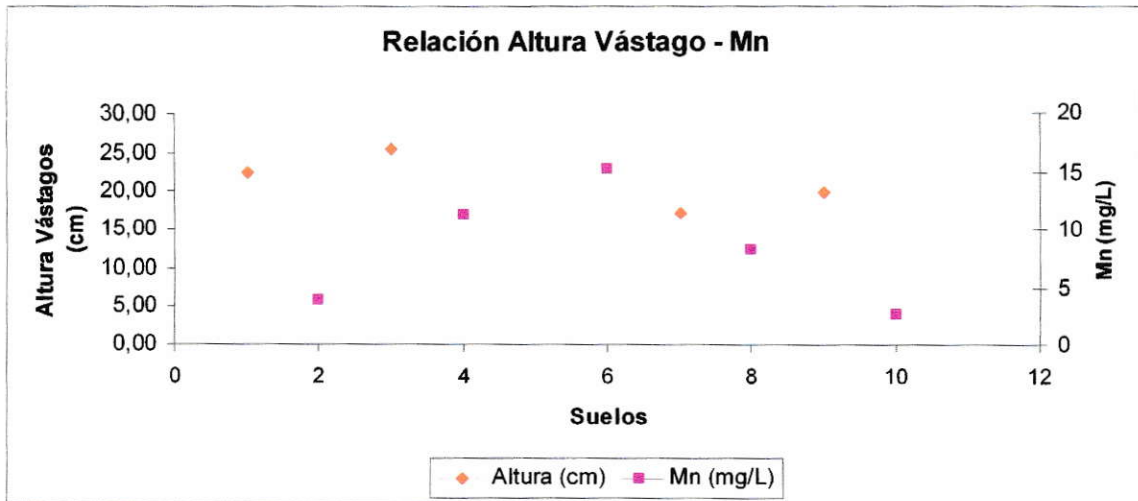


Figura 19. Relación de la Altura vástago con respecto a manganeso. Ambiente Caletones. STB: Sector Tranque Barahona; SCA: Sector Caletones Alto; SCC: Sector Campamento Caletones; SCV: Sector Caletones Viejo; SLC: Sector Los Cóndores

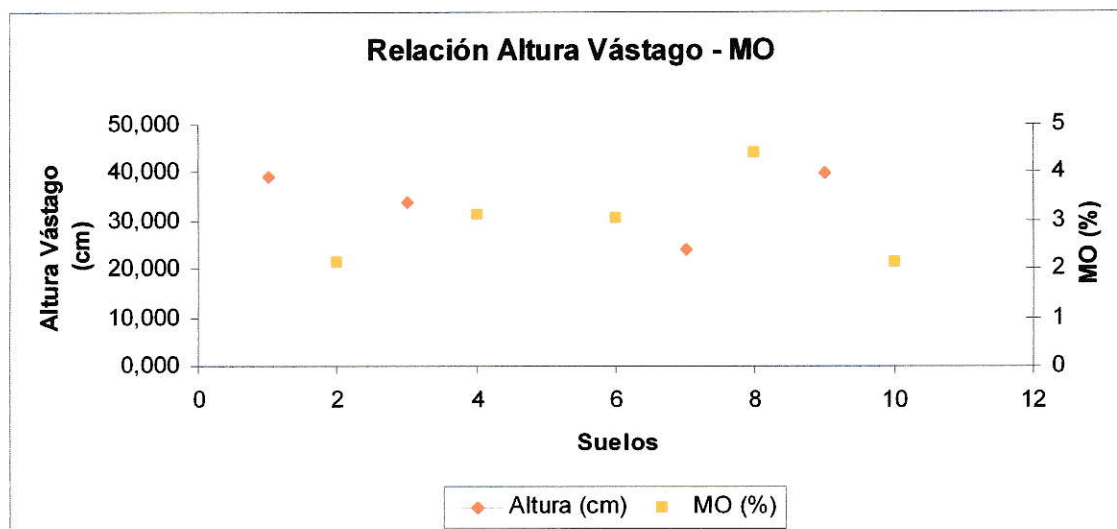
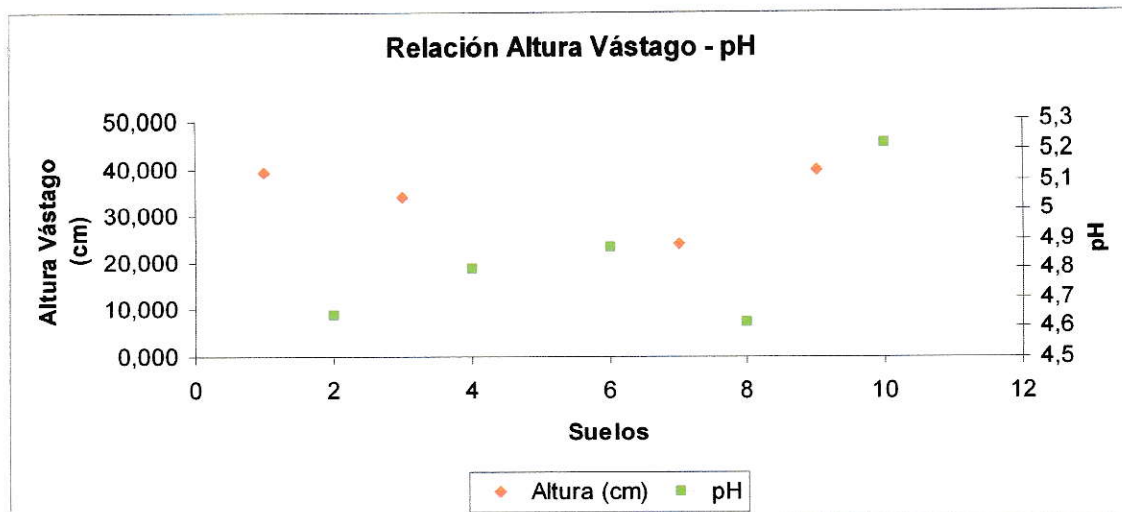


Figura 20. Relación de la Altura vástago con respecto a pH y MO. Ambiente vivero.
 STB: Sector Tranque Barahona; SCA: Sector Caletones Alto; SCC: Sector Campamento Caletones; SCV: Sector Caletones Viejo; SLC: Sector Los Cóndores

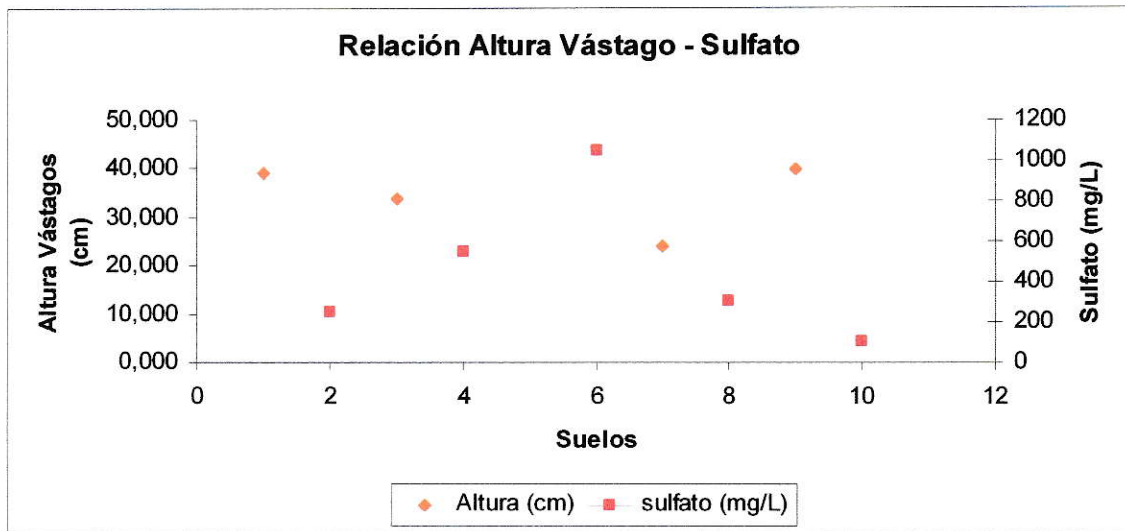
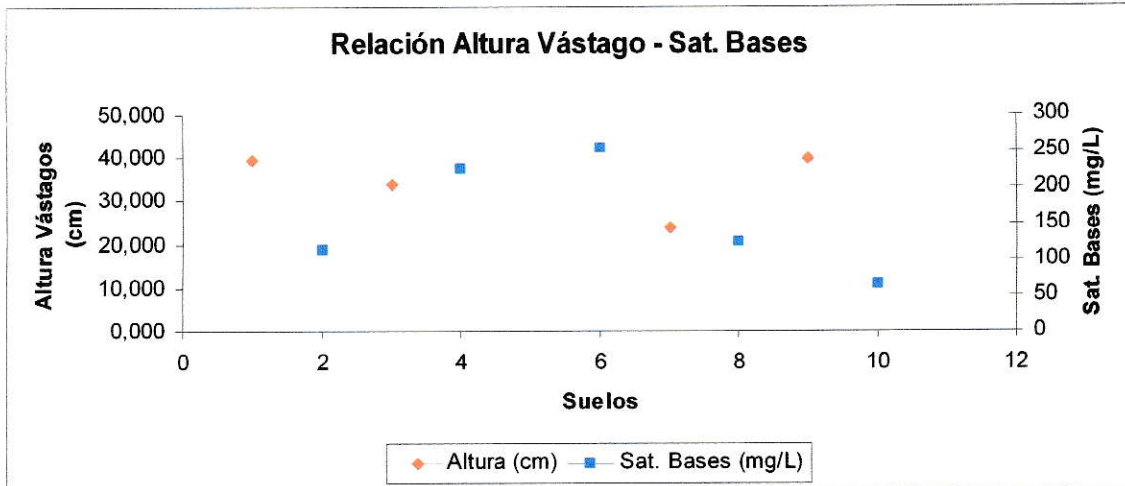


Figura 21. Relación de la Altura vástago con respecto a la saturación de bases y sulfato. Ambiente vivero. STB: Sector Tranque Barahona; SCA: Sector Caletones Alto; SCC: Sector Campamento Caletones; SCV: Sector Caletones Viejo; SLC: Sector Los Cóndores.

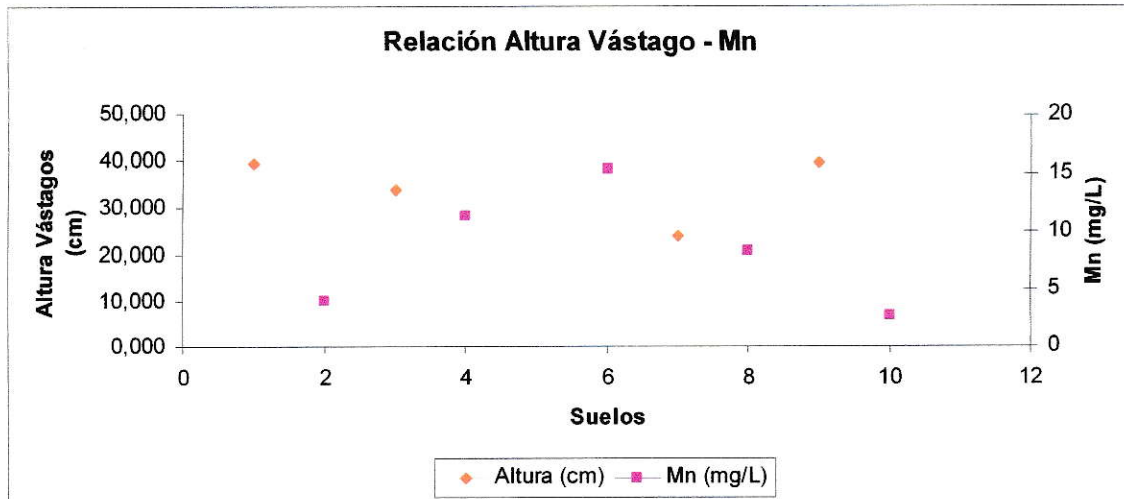


Figura 22. Relación de la Altura vástago con respecto a manganeso. Ambiente vivero. STB: Sector Tranque Barahona; SCA: Sector Caletones Alto; SCC: Sector Campamento Caletones; SCV: Sector Caletones Viejo; SLC: Sector Los Cóndores.

El suelo SCC no presenta datos debido a que en ambos ambientes no sobrevivieron las plantas. Al observar los gráficos se puede pensar que esto se debe a que este suelo presenta las concentraciones más altas de sulfatos, saturación de bases y manganeso, las cuales afectarán el crecimiento de la *Stipa caudata*. En ambiente vivero en estos tres elementos se aprecia una tendencia en donde la altura de vástagos es mayor en aquellos suelos donde la concentración del elemento es menor (STB y SLC)

Para ambos ambientes no se aprecia una relación entre la altura del vástago y el pH del suelo y entre la altura del vástago y la MO. Pero si se puede observar claramente una diferencia en el crecimiento de los vástagos en ambos ambientes, la altura de estos es mayor en ambiente vivero.

Para realizar el análisis estadístico, se reemplazaron los valores perdidos por mortalidad de las plantas a través del método de series de media. Además se hizo un análisis de Normalidad por el Test de Kolmogorov – Smirnov, en donde todas las interacciones resultaron ser normales. A continuación se hizo un análisis de varianza y prueba de comparación de medias con los Test de Duncan y Scheffe. Con éstos se estudió la interacción provocada tanto por el tipo de suelo como del porcentaje del acondicionador para los efectos, número de raíces, largo de raíces, número de vástagos y peso planta. Para estos análisis sólo se consideró las condiciones finales e iniciales de las plantas durante el estudio.

Los resultados obtenidos para las pruebas de comparación de medias se presentan mediante gráficos a continuación y mediante tablas en los Anexos (Anexo III).

Los resultados obtenidos para las comparaciones de media para la influencia del acondicionador y los sectores de muestreo sobre peso de la planta, se presenta en la siguiente figura:

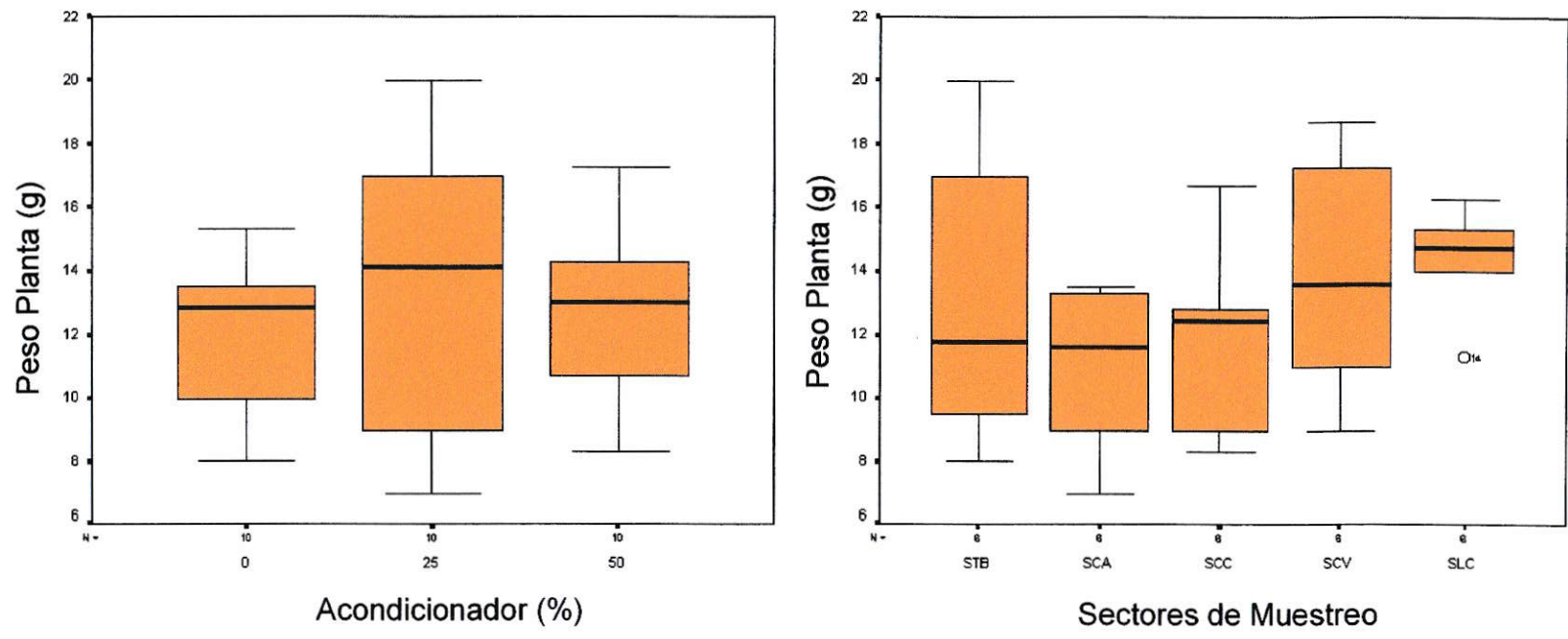


Figura 23. Influencia del acondicionador y el sector de muestreo sobre el peso de la planta. STB: Sector Tranque Barahona; SCA: Sector Caletones Alto; SCC: Sector Campamento Caletones; SCV: Sector Caletones Viejo; SLC: Sector Los Cóndores

Para la interacción del acondicionador en el ensayo sobre el peso final de la planta, no se observaron diferencias significativas entre las cargas de acondicionador, pero se observa una tendencia de comportamiento en donde la carga de 25% > 50% > 0%.

Si analizamos la influencia del sector de muestreo sobre el peso de la planta, se observa una diferencia significativa entre SLC y STB por el test de Duncan. A pesar de no haber diferencia significativa con el resto de los sectores de muestreo si se aprecia que la influencia de SLC es superior que la del resto, SLC>SCV>SCC>SCA>STB.

Los resultados obtenidos para las comparaciones de media para la interacción del acondicionador y los sectores de muestreo sobre el efecto largo de raíces, se presenta en la siguiente figura:

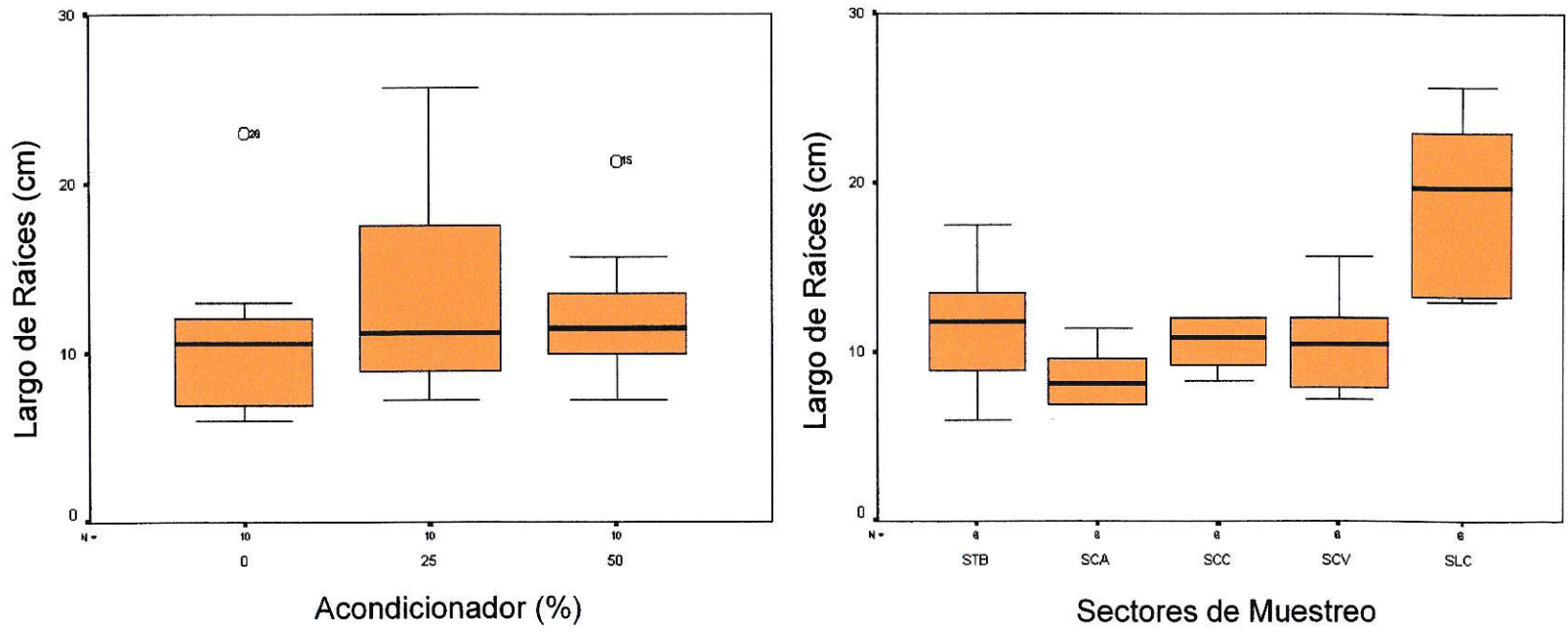


Figura 24. Influencia del acondicionador y el sector de muestreo sobre el largo de las raíces. STB: Sector Tranque Barahona; SCA: Sector Caletones Alto; SCC: Sector Campamento Caletones; SCV: Sector Caletones Viejo; SLC: Sector Los Cóndores

No hay ningún elemento significativo al 5% para el análisis de la influencia del acondicionador sobre el largo de las raíces, esto no quiere decir que no se podría presentar en el caso de dejar el ensayo por más tiempo. Se mantiene la tendencia en la carga de acondicionador y cual genera un mejor desempeño, 25% > 50% > 0%.

Para el caso de la influencia del sector de muestreo se encontró una diferencia significativa de SLC con todos los demás sectores, pero en este caso la tendencia de la influencia es distinta, SLC>STB>SCV>SCC>SCA.

Aquellos suelos que presentaron un largo de raíces menor, SCC y SCA, además presentaron los valores más altos de calcio. Como se analizó anteriormente este elemento influye en el desarrollo de las raíces de las plantas, por lo que es probable que un exceso dificulte su desarrollo.

Los resultados obtenidos para las comparaciones de media para la interacción del acondicionador y los sectores de muestreo sobre el efecto número de vástagos, se presenta en la siguiente figura:

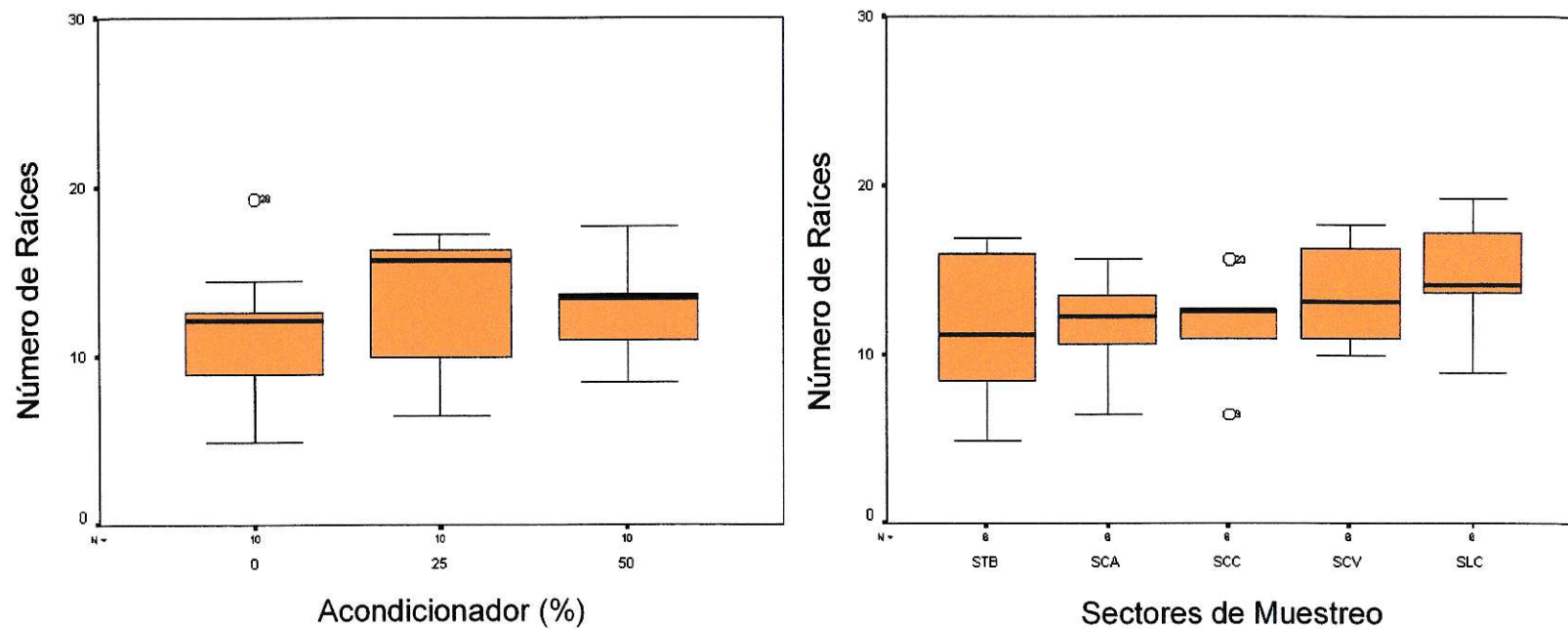


Figura 25. Influencia del acondicionador y del sector de muestreo sobre el número de raíces. STB: Sector Tranque Barahona; SCA: Sector Caletones Alto; SCC: Sector Campamento Caletones; SCV: Sector Caletones Viejo; SLC: Sector Los Cóndores

Al comparar el número de raíces con respecto a la localidad tampoco se encontró diferencias significativas, pero se mantiene la tendencia de un mejor desempeño a 25%.

Con ninguno de los test se encontró diferencias significativas, aún así el ensayo presenta mayor número de raíces en el sector de muestreo SLC, seguido de SCV.

Se observa que no hay ningún elemento significativo al 5%, pero si se aprecia una tendencia, la cual no alcanza a ser significativa de que el sector de muestreo influye de manera importante y que luego lo hace el acondicionador. El que no sea significativa no indica que éste no pueda serlo en el caso si el ensayo se hubiera dejado por más tiempo.

Los resultados obtenidos para las comparaciones de medias para la interacción del acondicionador y los sectores de muestreo sobre el efecto número de vástagos, se presentan en la siguiente figura:

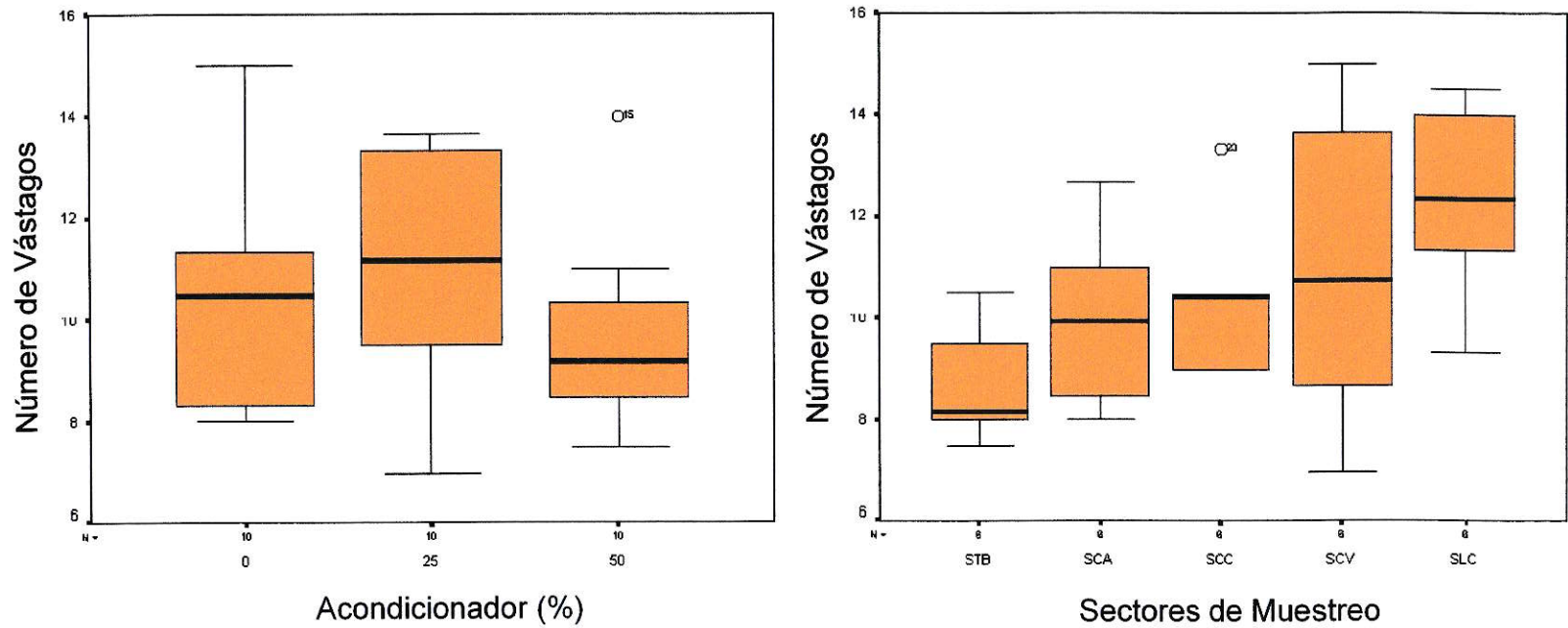


Figura 26. Influencia del acondicionador y del sector de muestreo sobre el número de vástagos. STB: Sector Tranque Barahona; SCA: Sector Caletones Alto; SCC: Sector Campamento Caletones; SCV: Sector Caletones Viejo; SLC: Sector Los Córdones

Hay diferencia significativa según el test de Duncan cuando se compara el número de vástagos con el sector de muestreo para SLC con respecto a STB. Con el resto de los sectores a pesar de no haber diferencia significativa si se aprecia como tendencia que SLC presenta mejor desempeño, por lo que la cantidad de vástagos según el sector de muestreo sigue el siguiente comportamiento SLC>SCV>SCC>SCA>STB. Para el test de Scheffe, a pesar de no haber diferencias significativas, los valores son muy similares por lo que se mantiene la misma tendencia de comportamiento.

No hay diferencias significativas entre los distintos porcentajes de acondicionador cuando se compara el efecto de éste sobre el número de vástagos. Aún así, es posible encontrar una tendencia de comportamiento en donde la carga de 25% > 50% > 0% para ambos test.

3.4 Discusión general

No se observó una relación entre la altura del vástago y el pH del suelo y entre la altura del vástago y la MO para el estudio de crecimiento, tanto en ambiente Caletones como en ambiente vivero. Pero si una relación entre los contenidos de sulfatos, manganeso y la saturación de bases, ya que en el suelo con los valores mas altos de este elemento (Sector Campamento Caletones) las plantas de *Stipa caudata* no sobrevivieron.

En ambos ambientes, la *Stipa caudata* ha logrado sobrevivir, pero en vivero se han desarrollado mejor, logrando mayor cantidad de hojas, las cuales son más largas, gruesas y se mantienen verdes por más tiempo. Esto se debe a que en vivero se encuentran más protegidas de los cambios climáticos bruscos y de la nieve.

En ambos ambientes, todas las repeticiones correspondientes al ensayo en el suelo SCC con 0% acondicionador, no sobrevivieron. Con un 25% de acondicionador se

desarrollaron de forma normal. Esto indica que para este suelo, es necesario un tipo de mejora antes de reforestar o hacer un análisis más exhaustivo para determinar aquellas condiciones críticas del suelo y de esta forma ver que plantas son aptas para reforestar bajo estas condiciones.

A pesar de las condiciones desfavorables enfrentadas por las plantas en el ambiente Caletones, éstas lograron sobrevivir. El desarrollo de raíces secundarias sugiere una adaptación de las plantas bajo estas condiciones, además de un probable mayor desarrollo durante el período de primavera-verano.

Los valores obtenidos para las comparaciones de media de Duncan y Sheffe son muy similares. Se observa que la tendencia general en el ensayo para la influencia del acondicionador sobre los diversos efectos estudiados (largo raíces, número raíces, número vástagos, peso planta) es que la carga de 25% genera un mejor desarrollo, luego la carga de 50% y por último 0%. (25% > 50% > 0%).

Para el caso de la influencia del sector de muestreo sobre los efectos estudiados, el análisis indica una tendencia donde el sector de Los Cóndores es el que presenta mejor desarrollo y desempeño. La tendencia es SLC > SCV > SCC > SCA > STB, excepto para efecto largo de raíces en donde la tendencia es SLC > STB > SCV > SCC > SCA.

El fertilizante que se utilizará y la cantidad, de que forma se aplicará; las especies vegetales, el tipo y la cantidad, son algunas de los aspectos que se deben tomar en cuenta. Dentro de este punto, la *Stipa caudata* es una especie económica que es extraída de vegas en el área alta y que es fácil de propagar en vivero, además de que los costos de plantación y mantención son bajos, al necesitar solo una fertilización localizada y no requerir de cuidados futuros.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la utilización de la *Stipa caudata* debe considerar una fertilización localizada en la casilla de plantación que incluya cal y compost, de forma de asegurar su sobrevivencia y establecimiento.

Todos los estudios realizados, en conjunto, permitirán generar una propuesta de mejora en las actuales reforestaciones desarrolladas por el convenio CONAF-Teniente.

El aspecto económico es un factor importante que se debe considerar al generar la propuesta de reforestación.

Es importante hacer notar que el periodo del ensayo coincidió con el periodo de receso vegetativo, por lo que no sería extraño pensar que las diferencias encontradas se hicieran significativas si el ensayo se realiza en otro periodo y por un tiempo más prolongado.

3.5 PROPUESTA DE MEJORAS EN LA REFORESTACION

Con todos los resultados obtenidos durante el desarrollo de este trabajo, es importante indicar algunas ideas generales sobre el trabajo para una reforestación en el sector industrial de la zona alta, las cuales pueden servir para complementar el trabajo que desarrolla actualmente el convenio CONAF-Teniente.

En primer lugar se debe considerar la preparación del suelo previo a la plantación. Dentro de este punto se debe considerar la decisión de adicionar fertilizantes. Otro es la de agregar material encalante, en caso de ser positiva, cual y en que cantidad. La elección adecuada de los fertilizantes dependerá de los efectos que se quieren conseguir y de las características de los suelos. Dada las condiciones adversas presentes en el sector a forestar, es que se busca favorecer el establecimiento, por

medio de una fertilización rica en fósforo (superfosfato triple) en la casilla de plantación. Cabe considerar que el fósforo es inmóvil en el suelo, de esta se forma se favorece el desarrollo de raíces, una vez establecida la plantación. Es necesario al primer año realizar una fertilización rica en nitrógeno y potasio (nitrato de potasio).

Dentro de los materiales encalantes se incluyen compuestos de calcio y magnesio de carácter básico. De acuerdo a los resultados obtenidos para el ensayo de crecimiento, se puede decir que la adición de caliza (carbonato cálcico) como encalante es adecuada. A esto además se puede sumar el hecho de que una adición de una mezcla de 25% encalante y 75% compost ha resultado adecuada cuando no se agrega en grandes cantidades como se ha podido apreciar en los resultados obtenidos para el ensayo de crecimiento.

En un texto sobre rehabilitación de suelos, Bradshaw y Chadwick (1980), señalaron que el éxito de la rehabilitación, generalmente necesita de fertilizaciones repetidas y otros tratamientos, por lo tanto se recomienda un seguimiento y una atención cuidadosa al restablecimiento de los ciclos de los nutrientes.

Luego de ver la preparación del suelo se debe pensar en que tipo de vegetación se plantará. Para esto se debe considerar si el suelo es capaz de soportar especies herbáceas, arbustivas o arbóreas superiores. Esto es muy importante ya que se debe pensar en cual es el objetivo que se quiere alcanzar con la reforestación y en cuanto tiempo. Se desea simplemente reforestar o que la reforestación sea de acuerdo a la vegetación presente en zonas similares. Se quiere que la reforestación sea rápida en el tiempo, es decir obtener resultados a corto plazo sin importar la influencia de estas especies ajenas al sector sobre la ecología. Importante es considerar el objetivo de la forestación, si es puramente paisajístico, si es así bastaría con introducir solo especies

exóticas resistentes a las condiciones adversas, de rápido crecimiento y en lo posible con propiedades ornamentales (colores, flores). Actualmente los objetivos del convenio CONAF-Teniente apuntan a una reforestación principalmente con especies autóctonas, pero en casos que lo requieran no se descartan las especies exóticas. Se recomienda considerar una reforestación mixta, o sea que incluya tanto vegetación autóctona como exótica que permita aunar estos factores de forma de obtener los resultados más óptimos, pero con la idea de a futuro ir cambiando las exóticas en aquellos lugares donde la reforestación se ha asentado.

Si se busca restaurar el ecosistema, como primera medida se debe caracterizar la formación vegetal clímax a la cual se espera llegar, según las distintas características fisiográficas presentes en el área alta, previo a ello se debe realizar una cartografía de la vegetación en cuencas vecinas caracterizando la arquitectura de las formaciones vegetales y su ubicación en la cuenca (exposición, pendiente, altitud entre otras). En este caso se puede tomar como referencia el sector de Los Cóndores.

La importancia que tienen las aplicaciones tanto de nitrógeno como de materia orgánica, resalta el valor de las plantas que fijan el nitrógeno para la rehabilitación de los suelos de minas. Varias especies de arbustos y árboles exóticos toleran condiciones muy ácidas ($\text{pH} < 4,5$), como la robinia (*Robinia pseudoacacia*), la acacia espinosa, el olivo de otoño y otras especies del género *Lespedeza* y de alisos (Jenks y col, 1982).

En varias zonas de los sectores en estudio se observa la presencia de robinia, la que fue introducida varias décadas atrás por los americanos que construyeron los campamentos, como una especie ornamental. Esta especie ha logrado sobrevivir en algunos sectores a pesar de condiciones adversas y gracias a experiencias

desarrolladas por el convenio, se ha determinado que es una especie exótica que da buenos resultados en la reforestación de la zona alta.

Basado en las observaciones durante la toma de muestras, experiencias previas del convenio CONAF-Teniente y la flora presenta en el sector control de Los Cóndores, a continuación se presenta una lista (tabla 14) de especies, tanto autóctonas como exóticas, que pueden ser utilizadas para reforestar el área alta en la zona industrial.

Tabla 14. Listado de especies para reforestación

Nombre científico	Nombre común
<i>Aristotelia chilensis</i>	Maqui
<i>Austrocedrus chilensis</i>	Ciprés de la cordillera
<i>Azara petiolaris</i>	Corcolén
<i>Colliguaya integerrima</i>	Colliguay
<i>Guindilla trinervis</i>	Guindilla
<i>Kageneckia angustifolia</i>	Fragel
<i>Kageneckia oblonga</i>	Bollén
<i>Lithrea caustica</i>	Litre
<i>Maytenus boaria</i>	Maitén
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Robinia
<i>Schinus montanus</i>	Muchi
<i>Schinus polygamus</i>	Molle

Los ciclos de los nutrientes requieren de una gran diversidad de organismos que los absorban, los devuelvan al suelo, los descompongan y los mineralicen. El material del subsuelo carece de inóculo de micorrizas, y el potencial de inóculo del humus almacenado puede disminuir con el tiempo. Los organismos que habitan el suelo son importantes en los procesos de descomposición y liberación de nutrientes, pero la recolonización de los suelos rehabilitados puede ser lenta. La introducción de organismos como la lombriz de tierra puede ser muy eficaz (Vimmerstedt & Finney, 1973). La inoculación con micorrizas puede ser una alternativa interesante, pero es

necesario realizar una investigación sobre la actividad biológica de estos suelos. Por otro lado la alternativa de introducir organismos como la lombriz puede ser una opción viable, ya que es de bajo costo y además en el vivero del convenio CONAF- Teniente se trabaja en la producción de humus por acción de las lombrices. Se recomienda identificar inóculos de micorrizas en formaciones vegetales cercanas a la cuenca del Río Coya; por ejemplo Los Cóndores, con este material inocular las plantas en Viveros Cauquenes y realizar ensayos de establecimientos en los sectores contaminados. Otra alternativa más económica es aplicar a modo de enmienda (junto a cal) suelo de bosques cercanos a caletones, de esta forma se estarían aplicando inóculos de microorganismos a los suelos alterados

Es importante considerar el efecto nodriza que pueden generar algunas especies arbustivas y arbóreas en la planeación de la reforestación (Callaway, 1992). En el caso de la zona alta (1500 a 2.100 m.s.n.m), este efecto nodriza podría estar dado principalmente por la protección que ejerce el dosel de la nieve, actuando como un contenedor de ésta, la que se acumula preferentemente en los espacios entre los árboles. El microclima generado bajo los manchones de vegetación aumenta significativamente la expectativa de vida de las plántulas en comparación con los espacios abiertos (del Pozo y col, 1989). Se aconseja generar un estudio a futuro, en donde se analice el efecto nodriza de diferentes especies, para ver cual es el más efectivo.

Como estrategia de reforestación, se podría establecer una formación vegetal resistente a las condiciones adversas presentes en el lugar y que generen un efecto nodriza. Éstas podrían ser exóticas, de rápido crecimiento tales como Fresno, Acer, Abedul, Robinia, Gleditzia, éstas últimas incluso tienen la propiedad de ser leguminosas incorporando nitrógeno al suelo. Asociadas a ellas o eventualmente con

posterioridad, establecer aquellas especies nativas en sus diferentes estratos (herbáceo, arbustivas, arbóreas). Importante es entender que la idea de restaurar el ecosistema debe considerar, que en la medida que mejoren las condiciones ambientales la fauna de las cuencas vecinas podrá reingresar en mayor cantidad a estas cuencas degradadas, por lo tanto es importante introducir especies que generen frutos que sirvan de alimento a la fauna propia de éstos ecosistemas (maqui, corcolén, guindilla, berberis entre otras). Con la información anterior, se puede generar una propuesta de reforestación basada en la sucesión de especies, en donde se puede utilizar la *stipa* en zonas con pendiente pronunciada y falta de cohesión en el suelo, como son los taludes generados en la zona industrial a causa de movimientos de tierra para la construcción de edificios y estructura para la actividad industrial. Estas zonas tienen un alto valor paisajístico debido a que es donde circulan los trabajadores, por lo que un manejo adecuado es muy importante para la mejora en la calidad de vida del trabajador gracias al alto impacto visual que se genera. Presentan una gran cantidad de taludes pequeños entre las diferentes construcciones y niveles de altura, las cuales se encuentran desprovistas de vegetación. Debido a lo anterior es que se recomienda la planta *Stipa caudata* como primera especie para que prepare el suelo. Luego se puede plantar quilo, el cual es un arbusto rastrero que genera manchones, resistente a condiciones adversas y que se presenta de forma natural en algunas laderas, como se observó durante la recolección de muestras. Estas especies además de modificar las condiciones del suelo, pueden actuar como nodrizas para el establecimiento de arbustos mayores y árboles. Previo a la plantación de la planta *Stipa caudata*, es importante una fertilización localizada en la casilla de plantación que contenga un 25% de cal y un 75% de compost, como se realizó en el estudio. Esto también se

recomienda para la plantación de otras especies, ya sean arbustos o árboles, ya que cambia las condiciones de la casilla ayudando a su supervivencia.

IV CONCLUSIONES

La consideración de información como geología, topografía y meteorología que incluya la elaboración de mapas, previa a la elaboración de un plan de reforestación, genera información útil que permite identificar las zonas probables de reforestar. Además permiten definir zonas de muestreo, en el caso que se desee realizar un análisis de suelo para complementar el plan de reforestación.

A partir de los datos obtenidos en los análisis realizados a los suelos de los distintos sectores de muestreo, se puede decir que éstos presentan condiciones manejables desde el punto de vista forestal, por lo que es posible una reforestación en ellos si se consideran aspectos como elección adecuada de las especies vegetales y fertilización localizada.

Hasta el momento y de acuerdo a los resultados encontrados, la *Stipa caudata* ha resultado adecuada para reforestar como primera especie, de forma de preparar el suelo y estabilizarlo para que soporte vegetación superior. Es importante seguir desarrollando estudios sobre esta especie en el área de control de taludes y erosión.

El manejo de especies nativas, como la *Stipa caudata*, que no necesiten aplicación de riego para su permanencia en el tiempo (autosostenible), es muy importante ya que se disminuyen los costos de mantención que actualmente se ocupan (sistema de riego, canalización de agua) hasta su establecimiento. Es por esto que esta especie debe ser

considerada como alternativa en las actuales reforestaciones desarrolladas por el convenio CONAF-Teniente.

Basado en las observaciones durante la toma de muestras, experiencias previas del convenio CONAF-Teniente y la flora presenta en el sector control de Los Cóndores, generó una lista de especies, tanto autóctonas como exóticas, que pueden ser utilizadas para reforestar el área alta en la zona industrial (tabla 13).

Es importante realizar un manejo forestal en aquellas zonas reforestadas, sin importar su antigüedad (podas de formación, manejo sanitario, fertilizaciones y enriquecimiento), de forma de asegurar la permanencia y desarrollo de las especies vegetales. Para esto se puede además desarrollar estudios paralelos en las especies nativas reforestadas que permitan analizar la influencia de los distintos tipos de fertilizantes en su crecimiento y en el suelo. Este punto es relevante, ya que en general los datos existentes sobre manejo forestal corresponden a especies exóticas. Además permitirá planear de mejor forma futuras reforestaciones.

En un futuro se puede desarrollar un estudio del suelo y un catastro de especies en función de la distancia de la chimenea de Caletones. En este caso sería importante considerar un muestreo a distintas profundidades, de forma de obtener información anterior a la creación de la planta de limpieza de gases para relacionar su efecto.

Además se puede realizar un estudio más exhaustivo del sector del antiguo Campamento Caletones, ya que es el que presenta los valores más extremos dentro de las muestras estudiadas, y el efecto de los gases que son liberados de las plantas de limpieza de gases sobre este sector y otros durante el mantenimiento.

V BIBLIOGRAFIA

- Aguirre, L., 1960. Geología de los Andes de Chile Central, provincia de Aconcagua. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Chile, Boletín N° 9, 70 p.
- Anativia C, Cecilia, 1999. Mapas de reconocimiento y mapas interpretativos de suelos de la VI región de Chile. Memoria de título, Facultad de Ciencias Agronómicas, Escuela de Agronomía. Universidad de Chile.
- Bará, S. 1998. Fertilización Forestal, Colección Técnica Tecnología Xunta de Galicia N° 9, cap.5
- Barazangi, M. and Isacks, B., 1976. Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nasca Plate beneath South America. *Geology* Vol 4, p. 686 - 692.
- Beutham, H; Harris, J.A; Birch. P; Short, K.C. 1992. Habitat classification and soil restoration assessment using analysis of soil microbiological and physico-chemical characteristics. *Journal of Applied Ecology*, 29 (3): 711-718
- Bradshaw, A.D. 1997. Restoration of mined lands – using natural processes. *Ecological Engineering* 8, 255-269
- Bradshaw; A.D and Chadwick, M.J. 1980. The restoration of land: the ecology and reclamation of derelict and degraded land. University of California Press. Berkeley. 317 pp.
- Burger, J.A and C.E Zipper. 2002. How to restore forest on surface mined land. Virginia Cooperative Extension publication, 460-123
- Burger, J.A; Kelting, D.L. 1999. Using soil quality indicators to asses' forest stand management. *Forest Ecology management*, 122: 155-156
- Burger, J.A; Johnson, J.E; Andrecos, J.A; Torbet, J.L. 1994. Measuring mine soil productivity for forests. International Land Reclamation and Mine Drainage Conference on Reclamation and Revegetation. USDOJ Bureau of mines, Special publication, SP O6C-94: 48-56
- Bustamante R, Faundez L. 1995. Estudio de Impacto Ambiental planta de ácido fundición Caletones. Enero/Febrero

- Callaway RM. 1992. Effect of Shrubs on recruitment of *Quercus douglasii* and *Q. lobata*. California Ecology 73: 2118-2128
- Charrier, R. 1982. La Formación Leñas-Espinoza: Redefinición, petrografía y ambiente de sedimentación. Revista Geológica de Chile, Santiago, N° 17, p. 71-82.
- CIREN. 1996. Estudio agrológico VI Región: Descripción de suelos, materiales y símbolos. Santiago, Publ. CIREN N° 114, 464 p. 2 v.
- Cline, MG. 1994. Principles of Soil Sampling. Soil Sci. 58:275-288
- CODELCO- Chile, División El Teniente. 1995. Estudio de Impacto Ambiental, proyecto limpieza de gases N°1 (PLG 1), fundición Caletones.
- CONAF, 1992. Catastro de Recursos Naturales Renovables en áreas de División El Teniente, cuenca de río Coya, VI Región. Chile, 69 p.
- Copaja, S.V. M.Cs. Guías de Laboratorio Química de Suelos, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile
- Del Pozo A, Fuentes E, Hajek E, Molina J. 1989. Microclima y manchones de vegetación. Revista Chilena de Historia Natural 62: 85-94
- EDIC. 1995. Disposición de residuos arsenicales, estudio hidrológico sector El Minero- Colón, CODELCO-CHILE, División El Teniente.
- Epstein, E. 2003. Land application of sewage sludge and biosolids. Ed. CRC Press LLC. Boca Raton, Florida, USA.
- Espíldora, B. 1981. Evaluación de los Recursos Hidrológicos disponibles para Sewell, Colón, Caletones y Barahona Codelco Chile, División El Teniente. Informe inédito.
- Field book for describing and sampling soils. National soil Survey Centre, Natural Resources Conservation Service, U.S Department of Agriculture, September 2002
- Fox, J.E.D. 1984. Rehabilitation of mined lands. Forest abstracts, 45: 565-600
- Fuentes Espoz, J.P, M.S.Ph.D. Pauta de ayuda para la descripción de suelos. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura.
- Fuenzalida, H. 1965. Clima. Geografía económica de Chile. CORFO. Santiago. Pp. 99_152

- Gajardo, R. 1983. Sistema básico de clasificación de la vegetación nativa chilena. Esc. de Cs. Agrarias y Forestales. U. de Chile – CONAF. 316 p. 13 mapas
- Gajardo, R. 1994. La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Santiago. 165p.
- Ginocchio R, Carvallo G, Toro I, Bustamante E, Silva Y, Sepúlveda N. 2004. Micro – spatial variation of soil metal pollution and plant recruitment near a copper smelter in Central Chile. *Environmental pollution* 127 (3): 343-352
- Gómez, R. 2001. Geología de las unidades volcanogénicas cenozoicas del área industrial de la mina El Teniente, entre Colón y Coya, Cordillera principal de Rancagua, VI Región. Memoria de título. Departamento de Geología, Universidad de Chile. 107 p.
- Heilman, P.E. 1982. Nitrogen and organic-matter accumulation in coal mine spoils supporting red alder stands. *Canadian Journal of Forests Research* 12:809-813.
- Holl, K.D; C.E. Zipper and J.A Burger. 2001. Recovery of native plant communities after mining. Virginia Cooperative Extension Publication, 460-140
- Jenks, E.M. Tyron, E.H and Contri. M. 1982. Accumulation of nitrogen in minespoils seeded to black locust. *Soil Science Society of America Journal* 46:1290-1293
- Johnson, A.H and Siccama, T.G. 1983. Acid deposition and forest decline. *Environmental Science Tecnology*, 7: 294a-305^a
- Kabata-Pendias, 2000. Trace elements in soils and plants. Ed. CRC Press LLC. Boca Raton, Florida, USA. 413 p.
- Karl J. Rockne and Krishna R. Reddy. 2003. Bioremediation of Contaminated Sites. Invited Theme Paper, International e-Conference on Modern Trends in Foundation Engineering: Geotechnical Challenges and Solutions, Indian Institute of Technology, Madras, India.
- Klohn, C. 1960. Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central. Instituto de Investigaciones Geológicas. Santiago de Chile. Boletín V.8, 95 p.
- Lin, Z.Q. Hendershot, W.H. Kennedy, G.G. Dutilleul, P. and Schuepp, P.H. 1996. Total elements in forest soil affected by acid deposition in southern Quebec. *Canadian Journal of soil science*, 165-171

- Marx, D.H. 1975. Mycorrhizae and establishment of trees on stripmined land. *The Journal of Science*, Columbus, 75: 289-97,
- Miao, Z. and Marrs, R. 2000. Ecological restoration and land reclamation in open-cast mines in Shanxi Province China. *Journal Environmental Management* 59 (3): 205-215
- McLean, J:E; Bledsoe, B:E. 1992. Behaviour of metals in soils. USEPA Ground Water Issue, EPA/540/S-92/018
- Minería chilena (mch). 2005. A los 100 años, El Teniente proyecta su futuro. N° 286, p. 47-49
- Mitsch, W.J. Mander, Ü. 1997. Remediation of ecosystems damaged by environmental contamination: Applications of ecological engineering and ecosystem restoration in Central and Eastern Europe. *Ecological Engineering*, 8: 247-254
- Montgomery, D. 2004. Diseño y análisis de Experimentos. Universidad Estatal de Arizona. Editorial Limusa – Wiley, Segunda Edición 686 p.
- Mullen, R. Lentz, E. Watson, M. 2005. Soil fertility. *Ohio Agronomy Guide*, 14th Bulletin 472-05, chapter 3.
- Munshower, F.F. and S.E. Fisher (Editors). 1984. Symposium on Surface Coal Mining and Reclamation in the Great Plains. Proceedings of Symposium held in Billings, MT on March 19-21, 1984.
- Nambiar, E.K.S, 1997. Sustained productivity of forests as a continuing challenge to soil science. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 1629-1642
- Navarro, M. 2001. Estratigrafía y estilo estructural de las formaciones del margen occidental de la Cordillera principal en el Norte de la VI Región. Memoria de título. Departamento de Geología, Universidad de Chile. 77p.
- Pawlowsky, L. 1997. Acidification: its impact on the environment and mitigation strategies. *Ecological Engineering*, 8 (4): 271-288
- Peralta, M. 1976. Uso, clasificación y conservación de suelos. Santiago, Chile. Servicio Agrícola y Ganadero (S.A.G). 337p.
- Petersen, R.G and Calvin, L.D. 1986. Sampling In A. Klute (ed). *Methods of soil Analysis, Part 1*, 2nd Ed. *Agronomy* 9(1): 33-51
- Proyecto FONDEF D9811036. 2001. Experiencias internacionales en la rehabilitación de espacios degradados. Publicaciones Misceláneas Forestales

Nº 3 junio, Santiago de Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile.

- Remon, E. Bouchardon, J.L. Cornier, B. Guy, B. 2005. Soil characteristics, heavy metal availability and vegetation recovery at a former metallurgical landfill: Implications in risk assessment and site restoration. *Environmental Pollution*, 137 (2): 316-323
- Roberts, T.L and Henry, J.L. 2000. El muestreo de suelos: Los beneficios de un buen trabajo. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, Nº8
- Russel; E.W. 1973. *Soil conditions and plant growth*. Longman, London. 849 pp.
- SEGPRES, D.S. Nº 81/98
- Schoenholtz, S.H. Van Miegroet, H. and Burger, J.A. 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, 138 (1-3): 335-356
- Swenson, L.J, Danhe W.C and Patterson, D.D. 1984. *Sampling for soil testing*. North Dakota State University, Dept. of Soil Sci. Res. Report Nº 8
- Taucher, Erica. 1999. *Bioestadística*. Editorial Universitaria. Colección Textos Universitarios, Universidad de Chile. 2ª edición 310 p.
- Thiele, R., 1980. Hoja Santiago, Región Metropolitana. *Carta Geológica de Chile* Instituto de Investigaciones Geológicas.
- USDA. 1982. Soil Conservation Service. *Soil survey laboratory Methods and procedure for collecting soil simples*. Soil survey investigations report Nº 1. Washington D.C US Department of Agriculture. 97 p.
- Vimmerstedt, J:P and Finney, J.H. 1973. Impact of earthworm introduction on litter burial and nutrient distribution in Ohio strip-mine spoil banks. *Soil Science Society of America Proceedings* 37:388-391.
- Wong, M.H. 2003. Ecological restoration o mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere*, 50 (6): 775-780

ANEXOS

ANEXO I

Recolección de muestras

Anexo I.1. Puntos de muestreo para STB

Pto.	Pendiente (%)	Altura (m.s.n.m)	Exposición	Pedregosidad (%)	Coordenadas (WGS84)
1	17	1779	280° WNW/W	35	362291
					6226461
2	21	1781	282° WNW/W	40	362266
					6226412
3	27	1779	285° WNW/W	15	362302
					6226367
4	31	1773	165° SSE/S	15	362280
					6226316
5	31	1778	275° W	35	362304
					6226262
6	26	1780	287° WNW/W	20	362278
					6226219
7	24	1778	270° W	15	362295
					6226168
8	17	1771	283° WNW/W	5	362255
					6226133
9	27	1779	276° W	20	362268
					6226066
10	24	1782	298° WNW	10	362205
					6226041

Anexo I.2. Puntos de muestreo para SCA

Pto.	Pendiente %	Altura m.s.n.m	Exposición	Pedregosidad %	Coordenadas (WGS84)
1	15	1773	135° SE	2	365921
					6226078
2	52	1780	128° ESE/SE	4	365921
					6226079
3	21	1800	132° SE	5	365844
					6226144
4	26	1800	142° ESE/SE	5	365781
					6226136
5	24	1810	154° SSE	35	365936
					6226439
6	30	1810	157° SSE	35	365876
					6226435
7	24	1808	143° SSE/SE	50	365813
					6226203
8	40	1803	106° ESE/E	25	365661
					6225879
9	30	1805	141° SSE/SE	35	365681
					6225994
10	26	1806	135° SE	10	365701
					6225996
11	27	1796	138° SE	50	365747
					6225964
12	35	1786	125 ESE/SE	25	365807
					6225950
13	31	1762	138° SE	15	365867
					6225930

Anexo I.3. Puntos de muestreo para SCC

Pto.	Pendiente %	Altura m.s.n.m	Exposición	Pedregosidad %	Coordenadas (WGS84)
1	50	1657	145° SSE/SE	60	366614
					6225087
2	60	1638	158° SSE	40	366779
					6225186
3	32	1619	167° SSE/S	35	366800
					6225132
4	33	1608	176° S	40	366811
					6225107
5	45	1608	145° SSE/SE	25	366657
					6225012
6	33	1592	169° SSE/S	25	366337
					6225087
7	50	1582	90° E	10	366601
					6224878
8	59	1569	99° ESE/E	10	366638
					6224875
9	62	1555	152° SSE	10	366789
					6224976
10	55	1548	156° SSE	10	366623
					6224870

Anexo I.4. Puntos de muestreo para SCV

Pto.	Pendiente %	Altura m.s.n.m	Exposición	Pedregosidad %	Coordenadas (WGS84)
1	17	1707	235° WSW/SW	40	364506
					6226032
2	27	1692	220° SW	50	364492
					6225982
3	34	1706	230° SW	40	364550
					6225968
4	35	1691	215° SSW/SW	30	364519
					6225907
5	22	1681	230° SW	30	364548
					6225836
6	55	1661	234° WSW/SW	30	364515
					6225801
7	30	1732	200° SSW	40	364366
					6226033
8	23	1713	170° SSE/S	40	364318
					6225931
9	25	1695	145° SSE/SE	60	364415
					6225934
10	17	1683	150° SSE	40	364374
					6225827
11	32	1663	123° ESE/SE	50	364436
					6225807

Anexo I.5. Puntos de muestreo para SLC

Pto.	Pendiente %	Altura m.s.n.m	Exposición	Pedregosidad %	Coordenadas (WGS84)
1	19	1935	210° SSW	15	364964
					6232157
2	11	1937	235° WSW/SW	5	365003
					6232128
3	29	1930	228° SW	15	365014
					6232117
4	27	1923	235° WSW/SW	5	365008
					6232097
5	24	1921	212° SSW/SW	20	365005
					6232093
6	30	1896	180° S	25	364973
					6232085
7	30	1893	210° SSW	25	364946
					6232073
8	35	1898	230° SW	25	364937
					6232061
9	30	1906	205° SSW	15	364942
					6232057
10	25	1904	240° WSW	15	364913
					6232057

ANEXO II

Ensayo de crecimiento de *Stipa Caudata*

Las mediciones realizadas durante el desarrollo del estudio para cada mes considerado, tanto en ambiente Caletones como vivero, se muestran a continuación.

Las mediciones, tanto para las plantas en caletones como en vivero, se realizaron a las hojas verdes presentes en la planta, seleccionando aquella más alta. Las muestras que no presentan medición es porque o están muertas o no presentan hojas verdes.

Anexo II.1. Mediciones en ambiente Caletones

Muestra	Junio Altura (cm)	Julio Altura (cm)	Agosto Altura (cm)	Septiembre Altura (cm)	Octubre Altura (cm)
S ₁ E ₀ 1	19,6	22	23	23,5	-
S ₁ E ₀ 2	22,4	23	23	22,5	-
S ₁ E ₀ 3	19,5	21	20,5	21,2	7,2
S ₁ E ₁ 1	25,5	32	37	37,7	23
S ₁ E ₁ 2	23,5	30,5	31,5	31,3	-
S ₁ E ₁ 3	25	31	32,5	32,7	26,5
S ₁ E ₂ 1	27,5	29,5	30,2	30,7	-
S ₁ E ₂ 2	27,3	29	29,6	30,1	25,2
S ₁ E ₂ 3	29	37	38,2	38,3	31
S ₂ E ₀ 1	20,5	22,2	21,7	23,8	5
S ₂ E ₀ 2	20,4	22,5	21,5	21,4	16
S ₂ E ₀ 3	30,2	31,5	31,5	31	-
S ₂ E ₁ 1	24,6	28,5	32	38,3	-
S ₂ E ₁ 2	27,5	31,5	34,5	38,2	19
S ₂ E ₁ 3	30,2	33,5	36	36,5	26
S ₂ E ₂ 1	16,5	16,5	17	16,4	9
S ₂ E ₂ 2	19	21,5	27,3	29,5	25
S ₂ E ₂ 3	28,1	15,5	30	29,9	25,5
S ₃ E ₀ 1	10	-	-	-	-
S ₃ E ₀ 2	10,	-	-	-	-
S ₃ E ₀ 3	10	-	-	-	-
S ₃ E ₁ 1	20,2	22	22,3	24	23
S ₃ E ₁ 2	24	28,2	31,5	41,6	24
S ₃ E ₁ 3	12,7	11	13,5	17,7	13
S ₃ E ₂ 1	30,5	34,5	39	40,3	-
S ₃ E ₂ 2	27,2	28,7	28,6	31,2	29
S ₃ E ₂ 3	14	14	14	20,3	24,5
S ₄ E ₀ 1	18,2	20,2	20,7	23,7	13
S ₄ E ₀ 2	13,5	13,5	13,5	13,9	-

S₄E₀3	13,1	13,3	13,5	13,6	-
S₄E₁1	12	13,2	15,6	17,7	19
S₄E₁2	24	22,5	38,1	39,5	27
S₄E₁3	17,7	22,5	23	23,7	25
S₄E₂1	27	30,5	33,7	34,5	29
S₄E₂2	22,7	25	27,4	30,5	21
S₄E₂3	24	25,2	25,7	29,2	27
S₅E₀1	29,2	29	29,5	29,6	-
S₅E₀2	27,7	30	37,3	46,3	17
S₅E₀3	31,8	33,5	34	35,2	22,5
S₅E₁1	22,2	24,5	26,4	30,6	27,5
S₅E₁2	27,5	32	40,5	46	32,3
S₅E₁3	17,5	18,5	13,5	18,2	-
S₅E₂1	27,3	29,5	32,5	41,4	29
S₅E₂2	25	22,7	26,9	36,8	30,5
S₅E₂3	25	32	40	43,2	29

Anexo II.2. Mediciones en ambiente vivero.

	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Muestra	Altura (cm)	Altura (cm)	Altura (cm)	Altura (cm)	Altura (cm)
S ₁ E ₀ 4	29,5	34,3	45	46,3	27,7
S ₁ E ₀ 5	25,5	26	26	25,7	23
S ₁ E ₀ 6	31,5	36,7	45	45,5	25,2
S ₁ E ₁ 4	-	-	-	-	-
S ₁ E ₁ 5	27	38,2	51	51,1	36,
S ₁ E ₁ 6	24,5	26,4	28,5	29,4	36,3
S ₁ E ₂ 4	17,5	19,2	-	18,8	-
S ₁ E ₂ 5	29	29,7	32	35,3	29
S ₁ E ₂ 6	19	29	27	38,3	40
S ₂ E ₀ 4	32	32,6	33	32,7	23,5
S ₂ E ₀ 5	20,8	20,8	8,8	-	-
S ₂ E ₀ 6	27,5	29,7	34	35	15
S ₂ E ₁ 4	17	17,9	20	22,8	20,5
S ₂ E ₁ 5	-	-	-	-	-
S ₂ E ₁ 6	-	-	-	-	-
S ₂ E ₂ 4	24,5	25,3	26,5	31,9	46,0
S ₂ E ₂ 5	30	37	41	43,1	41,5
S ₂ E ₂ 6	-	-	-	-	-
S ₃ E ₀ 4	-	-	-	-	-
S ₃ E ₀ 5	-	-	-	-	-
S ₃ E ₀ 6	-	-	-	-	-
S ₃ E ₁ 4	24	26,6	29	-	34
S ₃ E ₁ 5	25,5	31,4	35,5	36	43,5
S ₃ E ₁ 6	23	25,8	30	31,5	37
S ₃ E ₂ 4	29	33,5	38	37,7	34
S ₃ E ₂ 5	15	15	15,5	25,7	33
S ₃ E ₂ 6	26	26,7	27,5	27,2	33,4
S ₄ E ₀ 4	18	18	-	-	-
S ₄ E ₀ 5	26	27,6	30	30	-
S ₄ E ₀ 6	17	18	18	18	-
S ₄ E ₁ 4	21	28,2	30,5	30,2	37
S ₄ E ₁ 5	26	39,6	48,5	50	43
S ₄ E ₁ 6	38	44,3	56	57,5	40,5
S ₄ E ₂ 4	24,4	27	33	41,2	35,5
S ₄ E ₂ 5	25	33	42	43,6	40
S ₄ E ₂ 6	25	35,1	32	34,2	32
S ₅ E ₀ 4	22,5	39	42	44,5	34
S ₅ E ₀ 5	12,5	26,8	35	44,5	43
S ₅ E ₀ 6	26,5	27	30	30	34
S ₅ E ₁ 4	29	36	49	49,6	35,5
S ₅ E ₁ 5	24,5	3,2	39	44,5	37
S ₅ E ₁ 6	30	24	41	44,5	36,5
S ₅ E ₂ 4	19	20,8	22	36,9	37,5
S ₅ E ₂ 5	24,5	32	38	39,2	44
S ₅ E ₂ 6	25	30	36	42,6	40

ANEXO III

Anexo III.1 Análisis de Varianza Peso Planta

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Nivel de Significancia
Localidad	58,076	1	58,076	9,287	0,009
Sector_	46,058	4	11,514	1,841	0,177
Acondicionador	14,754	2	7,377	1,180	0,336
Sector + Acondicionador	114,025	8	14,253	2,279	0,085
Error	87,553	14	6,254	-	-
Total	5267,004	30	-	-	-
Total corregido	320,465	29	-	-	-

Comparaciones de media por Sectores de muestreo.

	Sector	N	Subset	
			1	2
Duncan	STB	6	11,000	
	SCA	6	11,947	11,947
	SCC	6	13,000	13,000
	SCV	6	13,857	13,857
	SLC	6		14,400
	Sig.			0,088
Scheffe	STB	6	11,000	
	SCA	6	11,947	
	SCC	6	13,000	
	SCV	6	13,857	
	SLC	6	14,400	
	Sig.			0,289

Comparaciones de media por porcentaje de acondicionador

	Acondicionador (%)	N	Subset
			1
Duncan	0	10	11,982
	50	10	12,840
	25	10	13,700
	Sig.		0,166
Scheffe	0	10	11,982
	50	10	12,840
	25	10	13,700
	Sig.		0,336

Anexo III.2 Análisis de Varianza Largo raíces

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Nivel de Significancia
Localidad	31,990	1	31,990	2,776	0,122
Sector	414,609	4	103,652	8,994	0,001
Acondicionador	42,424	2	21,212	1,841	0,201
Sector + Acondicionador	54,035	7	7,719	0,670	0,695
Error	138,301	12	11,525	-	-
Total	4633,519	27	-	-	-
Total corregido	677,544	26	-	-	-

Comparaciones de media por Sectores de muestreo.

		N	Subset	
	Sector		1	2
Duncan	SCA	6	8,5833	
	SCC	4	9,8725	
	SCV	5	10,4000	
	STB	6	11,5833	
	SLC	6		19,0550
	Sig.		0,208	1,000
Scheffe	SCA	6	8,5833	
	SCC	4	9,8725	
	SCV	5	10,4000	
	STB	6	11,5833	11,5833
	SLC	6		19,0550
	Sig.		0,727	0,053

Comparaciones de media por Porcentaje de acondicionador

		N	Subset
	Acondicionador (%)		1
Duncan	0	7	10,4286
	50	10	12,3820
	25	10	13,0000
	Sig.		0,157
Scheffe	0	7	10,4286
	50	10	12,3820
	25	10	13,0000
	Sig.		0,320

Anexo III.3 Análisis de Varianza Número de raíces

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Nivel de Significancia
Localidad	76,197	1	76,197	12,687	0,003
Sector	43,282	4	10,821	1,802	0,185
Acondicionador	24,062	2	12,031	2,003	0,172
Sector + Acondicionador	129,882	8	16,235	2,703	0,050
Error	84,084	14	6,006	-	-
Total	5166,619	30	-	-	-
Total corregido	357,507	29	-	-	-

Comparaciones de media por Sectores de muestreo.

		N	Subset
	Sector		1
Duncan	STB	6	11,5000
	SCA	6	11,8067
	SCC	6	11,8604
	SCV	6	13,5552
	SLC	6	14,5833
	Sig.		0,067
Scheffe	STB	6	11,5000
	SCA	6	11,8067
	SCC	6	11,8604
	SCV	6	13,5552
	SLC	6	14,5833
	Sig.		0,359

Comparaciones de media por porcentaje de acondicionador

		N	Subset
	Acondicionador (%)		1
Duncan	0	10	11,4813
	50	10	12,8520
	25	10	13,6500
	Sig.		0,080
Scheffe	0	10	11,4813
	50	10	12,8520
	25	10	13,6500
	Sig.		0,178

Anexo III.4 Análisis de Varianza Número de vástagos

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Nivel de Significancia
Localidad	0,902	1	0,902	0,187	0,672
Sector	43,119	4	10,780	2,240	0,117
Acondicionador	11,046	2	5,523	1,147	0,346
Sector + Acondicionador	18,659	8	2,332	0,485	0,848
Error	67,385	14	4,813	-	-
Total	3428,808	30	-	-	-
Total corregido	141,111	29	-	-	-

Comparaciones de media por Sectores de muestreo.

		N	Subset	
	Sector		1	2
Duncan	STB	6	8,6383	
	SCA	6	10,0000	10,0000
	SCC	6	10,4328	10,4328
	SCV	6	10,9681	10,9681
	SLC	6		12,3033
	Sig.		0,111	0,115
Scheffe	STB	6	8,6383	
	SCA	6	10,0000	
	SCC	6	10,4328	
	SCV	6	10,9681	
	SLC	6	12,3033	
	Sig.		0,136	

Comparaciones de media por Porcentaje de acondicionador

		N	Subset
	Acondicionador (%)		1
Duncan	50	10	9,6660
	0	10	10,6066
	25	10	11,1330
	Sig.		0,177
Scheffe	50	10	9,6660
	0	10	10,6066
	25	10	11,1330
	Sig.		0,355