



Informe Final

Estudio Acerca de las Turberas Productoras de Musgo en la Región de los Lagos

Santiago, Julio 2007

Proyecto “Estudio acerca de turberas productoras de musgo en la Región de los Lagos”

Resumen

Dentro del marco del estudio acerca de las turberas productoras del musgo *Sphagnum magellanicum*, se propuso emplear una metodología que integrara el procesamiento digital de imágenes multiespectrales, obtenidas por la teledetección satelital, con la cartografía digital y el análisis espacial de los datos utilizando un Sistema de Información Geográfica. Los resultados del estudio fue la creación de una base de datos geoespacial sobre la tenencia de las turberas y un análisis geocartográfico de la información generada. Paralelo al desarrollo del proyecto, se materializó la capacitación del personal del SAG en las tecnologías que fueron utilizadas dentro del estudio, con ello se garantizó la continuidad del estudio de la evolución sobre la explotación de las turberas en la X Región.

A.- Introducción

La incorporación de nuevas herramientas científico-tecnológicas a nivel global, han permitido el incremento de bienes y servicios a escala planetaria. Dentro del paradigma de Desarrollo Económico, esto a priori debería implicar una mejora de calidad de vida de la población en cada uno de los países. Aunque la realidad es que en las últimas décadas, la pobreza y la degradación ambiental han sido una constante en la vida de los países latinoamericanos.

En esta perspectiva Chile, a través del Servicio Agrícola y Ganadero, de acuerdo a su Ley Orgánica, le entregó la facultad de realizar estudios y catastros para evaluar la magnitud y estado de los recursos naturales renovables. Por tanto, para este organismo es una materia de interés los procesos de deterioro de las turberas productoras del musgo *Sphagnum magellanicum*.

Al respecto, en esta materia el musgo *Sphagnum magellanicum*, es uno de los principales componentes de estas turberas y se desconoce el estado de este recurso en la X Región. Está considerado que su explotación comercial, sin control por parte de campesinos y empresas exportadoras de este musgo, es una amenaza directa a su sustentabilidad, situación que ha requerido de la aplicación urgente de medidas preventivas en su gestión técnica y legal, con lo cual se garantice su explotación sustentable ambiental y económica, asegurando que este recurso se conserve en un área suficiente para desarrollar sus funciones vitales y para satisfacer, al mismo tiempo, las necesidades económicas y ambientales de la comunidad presente y futuro.

Hay que considerar que el mercado del musgo *Sphagnum magellanicum*, supera los seis millones de dólares anuales en divisas. Esto es importante, ya que el indicador de explotación de este recurso varía proporcionalmente al crecimiento de los volúmenes de exportación, de 35.283 kilos netos en 1995 y en la actualidad alcanza a más de 2.250.000 kilos netos, provocando esto una alerta ambiental,

por cuanto el crecimiento en 64 veces del volumen exportable ha obligado a ampliar el área de recolecta del recurso, sin dimensionar sus potenciales impactos.

La prevención de la destrucción de estas turberas, a través del conocimiento y valoración de su flora y fauna, conocer su superficie, su distribución, el estado de conservación y otras características, es una tarea ineludible que se debe realizar, por cuanto de su gestión racional dependen agricultores, exportadores y la sociedad, en general, por el uso y goce de sus recursos, funciones y atributos.

B.- Objetivos

1.- Objetivo General

Catastrar las turberas productoras del musgo *Sphagnum. magellanicum* en la X Región (provincias de Llanquihue, Chiloé y Palena).

2.- Objetivos Específicos

- Generar información cartográfica (SIG) sobre las distribuciones físicas de los diferentes tipos de turberas productoras del musgo *Sphagnum. magellanicum* en el área de estudio.
- Generar información cartográfica (SIG) sobre el estatus legal de las turberas productoras del musgo *Sphagnum magellanicum* en el área de estudio.
- Preparar dos profesionales del SAG en el manejo de los software de procesamiento digital de imágenes y Sistema de Información Geográfico.

C.- Definiciones

Las turberas; son una clase de humedal, y están caracterizadas por depósitos esponjosos de turba, el crecimiento de árboles y arbustos, y dependiendo del tipo, un suelo cubierto por una alfombra gruesa de musgo (*Sphagnum* spp.).

Son ecosistemas conformados por estratos subyacentes originados por acumulación de materia orgánica de origen vegetal en distintos estados de degradación anaeróbica (sin la presencia de oxígeno) y un estrato superficial biológicamente activo, conformado por asociaciones de especies, entre las que predominan plantas hidrófilas con gran capacidad de retener humedad (Iturraspe & Roig 2000). Acumulan y almacenan restos de plantas muertas, como juncos, arbustos y árboles en forma de turba en terrenos anegados (**Senda Darwin 2006**).

Las turberas; son ecosistemas de humedales ampliamente distribuidos en todo el mundo y que proveen importantes beneficios al hombre. En los últimos

años se observa una tendencia a otorgarles cada vez mayor importancia y, en el marco de la Convención de Ramsar o de los Humedales, se continúa avanzando en la elaboración de instrumentos que sirvan como directrices para su conservación (**Wetlands Internacional Publicación N° 19, 2004**).

Pomponales; aunque, estos pueden parecer similares, paisajísticamente hablando, a una turbera, ya que el componente principal sigue siendo el musgo *Sphagnum*, pero difieren de las turberas por varios motivos. Uno de ellos es que son originadas por quemas o tala rasa de bosques en sitios con drenaje pobre. Debido a esto, la regeneración arbórea es bastante baja, y se crea un ambiente en donde los árboles difícilmente pueden llegar a recuperarse. (**Senda Darwin, 2006**)

D.- Equipo de Profesionales de GeoSoluciones E. I. R. L que participo en el desarrollo del proyecto: Estudio Acerca de las Turberas Productoras de Musgo en la Región de los Lagos

Nombre	Profesión
Walton Edwards	Ing Geomensor
Roberto Richardson	Ing. Especialista en Teledetección
Daniela Vargas	Lic. Ing Civil en Geografía
Paula Garate	Geógrafa

E.- Metodología

I) Catastro

La metodología propuesta por Geosoluciones EIRL para la generación de información SIG sobre las distribuciones físicas y el estatus legal de los diferentes tipos de turberas productoras del musgo *Sphagnum Magellanicum* consistió en lo siguiente:

1. Adquisición de imágenes satelitales recientes. Se eligió el sensor ASTER "VNIR" según requerimientos técnicos y logísticos (p. ej de programación de toma y condiciones climáticas).
2. Georeferenciación de las imágenes, apoyada con cartografía digital del IGM a escala 1:50.000, cartografía local disponible e imágenes satelitales georeferenciadas.
3. Clasificación supervisada de las imágenes con la técnica de máxima probabilidad, la utilización de información de comprobación de campo, además de la generación y análisis de matrices de confusión. Esta clasificación toma importancia cuando se tiene conocimiento del terreno, por lo tanto, como se cuenta con 2 expediciones al área de estudio durante el desarrollo de este proyecto, se hace viable realizar este tipo de clasificación. Además, el conocimiento de la zona es otra herramienta para validar esta clasificación.

4. Clasificación No Supervisada, basándose en el hecho que el software a través de los algoritmos disponibles para este tipo de clasificación es capaz de separar en clases espectralmente puras cada imagen. Con estas clases y los puntos de muestra tomados en terreno, se identificaron las clases correspondientes a superficies con un alto nivel de humedad (turberas). Se validaron las clases a partir de los reportes generados en cada clasificación que dan muestra de la variabilidad espectral de las clases generadas. Cuando estas clases tienen una baja variabilidad son aceptadas como puras.
5. La utilización de imágenes satelitales históricas disponibles en archivos de la consultora, para así aumentar la confiabilidad en la identificación de las turberas productoras de musgo al incorporar información multitemporal.
6. La vectorización de los sitios identificados utilizando herramientas de conversión raster-vector y/o digitalización en pantalla después de una generalización y edición cartográfica para eliminar el efecto “sal y pimienta” dependiente de la resolución del sensor.
7. Conversión de los vectores al formato Shapefile de ArcView y la construcción de la geometría de polígonos.
8. Cruce de estos polígonos con variables geográficas de importancia, que limitan la existencia de este tipo de superficie, como por ejemplo la pendiente y vegetación.
9. La validación en terreno del resultado de las clasificaciones (supervisada y no supervisada).
10. Atributación de los polígonos con datos sobre su geometría (perímetro, superficie), tenencia y otras características relevantes aportadas por la contraparte técnica.
11. Análisis tabular y geoprocésamiento de los polígonos identificados, incluyendo su superposición con los datos provinciales para la generación de información estadística espacial.

II) Datos Utilizados

Los datos principales utilizados en el estudio provienen de la banda visible e infrarrojo cercano (VNIR) del sensor ASTER. Debido a la abundante nubosidad que generalmente se encuentra en el área de estudio, la revisión del archivo de imágenes permitió seleccionar quince imágenes recientes con baja cobertura de nubosidad y con distintas fechas como se aprecia en la siguiente tabla:

ID	AÑO	MES	DIA
29399	2004	1	15
29130	2004	1	15
17959	2002	2	1
22248	2005	2	2
22249	2005	2	2
21437	2005	2	2
21952	2005	2	2
21292	2006	11	18
20476	2006	11	18
20099	2006	11	18
20479	2005	12	1
19317	2005	12	1
20149	2005	12	1
20070	2005	12	1
19569	2005	12	1

Tabla n°1: Información Imágenes Aster utilizadas.

Los datos vectoriales de base y los datos sobre los SNASPES y la tenencia de la tierra fueron aportados por la oficina central del SAG y por el Ministerio de Bienes Nacionales. Además servir como referencia cartográfica, estos archivos permitieron clasificar los resultados obtenidos sobre la distribución de las turberas por comuna/provincia, por su ubicación en áreas protegidas y por su propiedad.

F.- Procesamiento Digital de las Imágenes Satelitales para la Identificación de las áreas productoras de *Sphagnum Magellanicum*.

1. Recolección de Puntos de Muestreo

Para la Clasificación Supervisada, como un primer paso, se efectuó la determinación de los sitios de entrenamiento a utilizar, de manera que se obtuvieron en terreno las coordenadas de turberas productoras de musgo, en base a la información proporcionada por lugareños, validada por la contraparte técnica sobre los lugares de hallazgo del recurso (áreas productoras de *Sphagnum Magellanicum* y pomponales).

2. Corrección y Georeferenciación de las Imágenes Satelitales

En el tratamiento de las imágenes en si, se efectuó una serie de pasos previos como fue el de la corrección geométrica que consistió en eliminar de la imagen el efecto sistémico, panorámico, de rotación y curvatura de la tierra y de la variación de altitud del satélite con respecto al elipsoide de referencia. El proceso de corrección consistió en operar un re-muestreo al paso indicado por la resolución geométrica del propio satélite.

Cuando se adquirieron las imágenes éstas no se encontraban corregidas geométricamente, para lo cual se desarrolló esta tarea través del software PCI Geomática V9.1 aplicando el algoritmo “vecino más cercano” (nearest neighbour), que sitúa en cada celdilla de la imagen corregida el nivel digital (ND) del píxel más cercano de la imagen original. La determinación de utilizar este método es que no modifica los valores originales de los Niveles Digitales de la imagen.

Para este caso, la georeferenciación que se aplicó consistió en un proceso de referenciar las imágenes dentro de un registro cartográfico de referencia. La corrección se operó bajo una óptica bidimensional utilizando puntos de apoyo de un sistema cartográfico conocido, una imagen Landsat georeferenciada, además de usar cartografía UTM 1:50.000. Se corrigió las imágenes con un error cuadrático medio fijo, para este caso se fijó un valor inferior a 1 píxel, teniendo en cuenta las características de la imagen y sus niveles de precisión, (resolución espacial 30m de sensor TM y ETM y 15m en Aster en bandas multiespectral, asimismo, 15m en banda pancromático Landsat).

El sistema de referencia utilizado fue el WGS84, de manera que el sistema de coordenadas utilizado fue el UTM para el Huso 18.

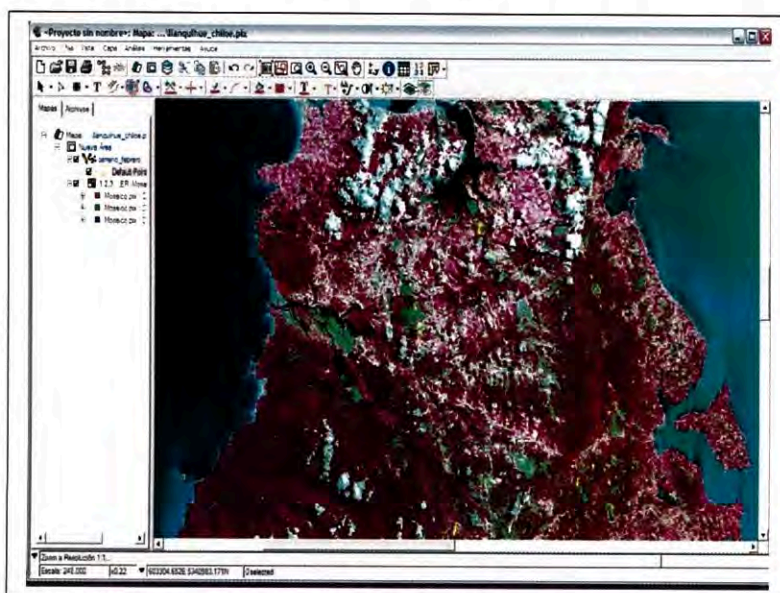


Imagen n° 1: Imagen Aster corregida, zona Ancud.

3. Clasificación Supervisada

Luego de la corrección geométrica de las imágenes, se efectuó aplicaciones de las técnicas de clasificación de las imágenes (supervisada y no supervisada) que constituye una operación de importancia al momento de querer generalizar un conocimiento puntual y localizado hacia grandes espacios locales o regionales.

Se consideró que la clasificación supervisada de imágenes en su sentido estricto, necesita de un conocimiento previo del contexto espacial y una idea muy clara de lo que se espera encontrar para poder adoptar una estrategia a fin de buscarlo. Para lo cual se determinaron las clases (tipo de superficies) que podían ser identificadas en las imágenes.

Con la visita a terreno se obtuvo un número de muestras para el entrenamiento de la clasificación supervisada. Luego, los sitios así identificados son complementados por los que arrojan la homologación de las clases espectrales en la clasificación supervisada con las clases de información confirmadas de las áreas productoras de *Sphagnum magellanicum*.

En el tratamiento digital operado con el apoyo del software mencionado, se puso en marcha el procedimiento estadístico basado sobre la vecindad de los píxeles y sus características radiométricas.

Se evaluaron los resultados a partir de la experiencia y observaciones obtenidas en terreno, con lo que se logró una capacidad de discriminación visual en favor de un proceso de reconocimiento sobre las imágenes utilizadas, con el fin de llegar a un agrupamiento temático válido.

Luego, para la identificación aún más eficiente de las turberas y pomponales, se aplicó un filtro modal, de manera de eliminar el “ruido” en la clasificación obtenida.

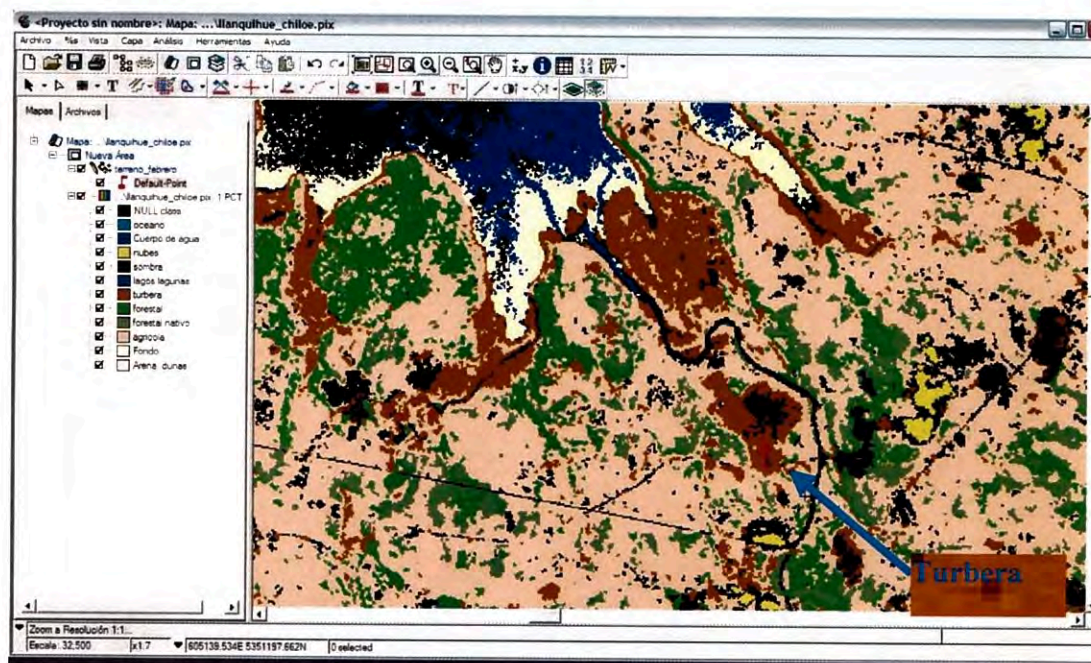


Imagen n° 2: Clasificación supervisada, Imagen Aster zona de Ancud.

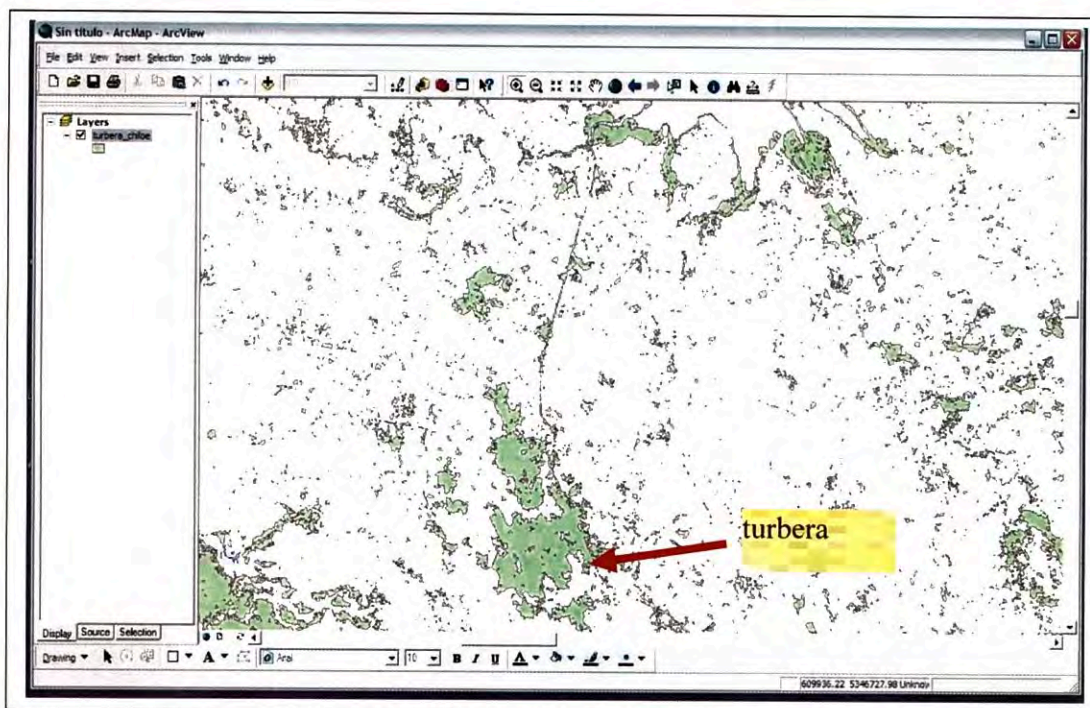


Imagen n° 3: Vectorización de la clase "turberas".

4. Clasificación No Supervisada

Tal como se mencionó en la metodología, paralelamente a la clasificación supervisada, se realizó una clasificación no supervisada. Esta clasificación se hizo sobre cada imagen, la que fue generada a partir del algoritmo k-means y se generaron 100 clases. La necesidad de generar tal cantidad de clases, fue tener la certeza de generar clases espectralmente "puras", esto se demuestra, ya que durante la clasificación de cada una de estas imágenes nunca llegaron a generarse 100 clases. Lo anterior muestra que cada clase generada por este algoritmo tiene una respuesta espectral homogénea y bajo este criterio queda validada esta parte de la clasificación no supervisada.

Luego de generar estas clases, con la utilización de los puntos de muestra (más de 100 puntos), se seleccionaron todas las clases que los contenían. Luego de un análisis espacial y espectral, se concluyó que las clases correspondían a zonas de humedad extrema, que coincide con la descripción de turberas, pero que hasta este punto no se pudo diferenciar si es productora de pompón o no.

Para diferenciar si estas turberas son o no productoras de musgo, se calculó un índice de vegetación, ampliamente utilizado en la percepción remota para cuantificar la vegetación en la imágenes, este índice es el NDVI, una de las grandes ventajas de este índice es que se calcula celda por celda a partir de las bandas del rojo y el infrarrojo cercano. De esta manera, se podrá diferenciar estas zonas, ya que como se sabe, las turberas poseen una vegetación muy baja, en cambio las pomponeras poseen vegetación viva en superficie.

Una vez generado este índice se cruzó esta información con los polígonos generados en la primera clasificación (No Supervisada) y se determinó cual de estos corresponden a turberas productoras de musgo y cuales no, utilizando los puntos de muestra obtenidos en terreno.

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), es un índice cuyos valores van de -1 a +1, donde -1 representa una actividad fotosíntesis de la vegetación prácticamente nula, lo que se traduce en un nivel extremadamente bajo de vegetación. Por el contrario, el valor +1 representa una concentración de vegetación muy alta. Con esta información, se procedió a determinar en qué nivel de NDVI se separarán las áreas productoras de musgo y las que no producen. Es así, como nuevamente se utilizaron los puntos de muestreo obtenidos en terreno, a partir de los cuales se definió el valor máximo de NDVI que poseían las unidades productoras de musgo, este valor fue determinado en 0.25.

Finalmente, con dicho valor se determinaron las unidades productoras de musgo y cuales no lo eran.

Concluida la etapa de procesamiento digital y comprobado los resultados de la clasificación supervisada y no supervisada, con los datos levantados in situ, se procedió a la vectorización de los sitios productores de Spahgnum identificados

utilizando herramientas de conversión raster-vector y/o digitalización en pantalla después de una generalización y edición cartográfica eliminando el efecto “sal y pimienta” dependiente de la resolución del sensor.

Una vez vectorizada la clasificación queda un último paso que fue determinar si estos polígonos cumplen un último requisito igual de importante que los anteriores, que es estar localizados en sectores con pendiente muy baja (5%), para esto se contó con una cobertura de pendientes proporcionada por el Ministerio de Bienes Nacionales, de tal manera que quedaron fuera de este estudio todos los polígonos que se encontraron en una pendiente mayor al 8%. Este valor utilizado, se debió a que la base de datos proporcionada tenía como rango mínimo 0 a 8%. Sin embargo, la validación de estos resultados fue satisfactoria utilizando los puntos de muestreo recolectados.

Posteriormente efectuada la conversión de los vectores al formato Shapefile de ArcGIS (Arcmap) y la construcción de la geometría de polígonos, se materializó la atribución de los polígonos con datos sobre su geometría (superficie), tenencia y otras características relevantes aportadas por la contraparte técnica del proyecto (SAG Central) y el Ministerio de Bienes Nacionales.

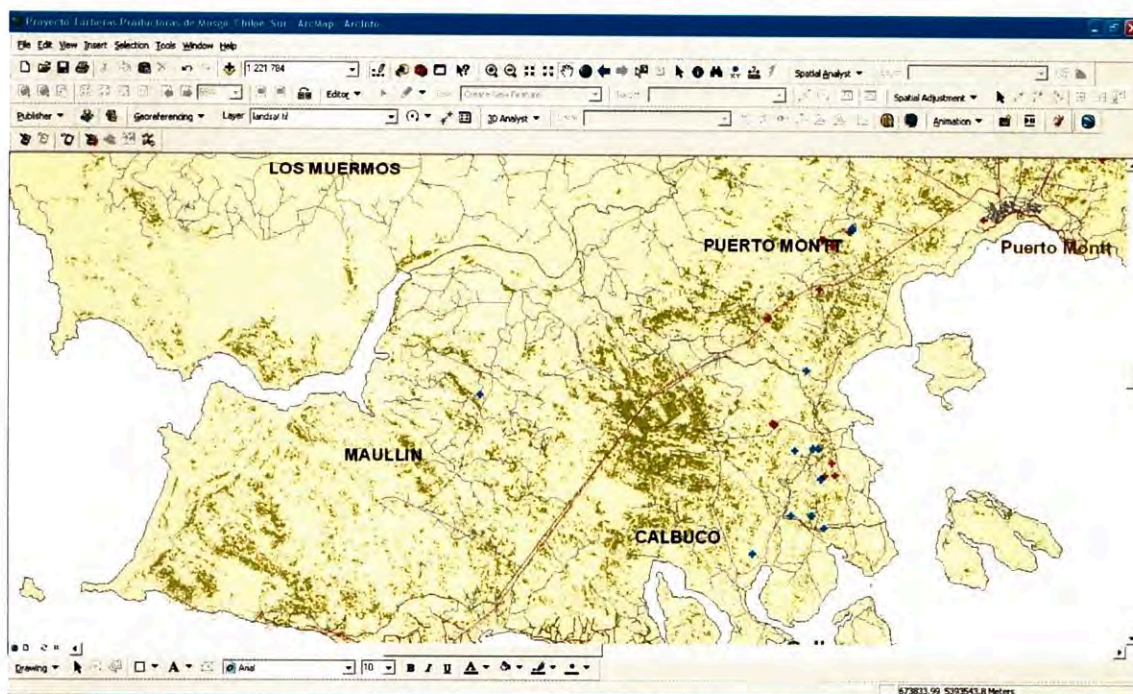


Imagen n° 4: Resultado Vectorizado de la clasificación No Supervisada, zona de Llanquihue. En color rojo y azul, los puntos de muestreo.

Finalmente se lleva a cabo el análisis tabular y el geoprocesamiento de los polígonos identificados, incluyendo su superposición cartográfica con los límites comunales y provinciales, los SNASPES y la tenencia de la tierra para la generación de información estadística sobre la distribución espacial de las áreas productoras de *Sphagnum magellanicum*, por unidad de paisaje.

G.- Capacitación

Se desarrolló el programa de capacitación como sigue:

Primero; se efectuó la capacitación en teledetección, entregando conocimiento en el fundamento físico y el análisis visual de imagen con el propósito de entregar criterios visuales para la identificación de cubiertas, así también la representación de datos digitales y su interrelación con la teoría del color.

Luego se llevó a cabo el empleo de software de procesamiento digital de imágenes, se efectuó análisis de los datos por banda del espectro electromagnético, histogramas, operaciones entre bandas. Dicha capacitación tuvo como fin el poder interactuar en un idioma común en las actividades de terreno y saber que se está haciendo y porque.

La segunda etapa de este curso fue el procesamiento digital de imágenes, trabajando con software dedicado, se aplicó filtraje, corrección geométrica a través de los diferentes algoritmos que trae el software, luego se aplicó métodos de clasificación, con los resultados obtenidos como parámetros se efectuó Interpretación visual de la imagen y el respectivo análisis estadístico de dichos resultados obtenidos.

El curso de teledetección se llevó a cabo entre los días 20 y 22 de diciembre del 2006 con el Sr. Roberto Richardson como instructor. Sin embargo cabe señalar que en la Región lamentablemente no contaban con software de procesamiento de imágenes propio después de la capacitación para seguir practicando con los nuevos conocimientos adquiridos.

El curso sobre Sistemas de Información Geográfica (SIG) se realizó entre los días 9 y 11 de abril del 2007 con el Sr. Walton Edwards siendo el instructor. El curso cubrió los siguientes temas: Introducción a los SIG, Gestión de archivos SIG, Creación de Cartografía temática, Creación de nuevos datos SIG por digitalización en pantalla, georeferenciación de imágenes y ingreso de datos de planillas (p. ej Excel, Geoprocesamiento vectorial y análisis espacial raster, y Sistemas de coordenadas. En esta oportunidad, por ser Distribuidor, GeoSoluciones les dejó una licencia de evaluación de la última versión del software ArcView (ArcGIS 9).

A continuación se presenta la lista de los participantes de los cursos:

Nombre	RUT	Curso
Eduardo Andrés Silva Allende	12.864.518-7	SIG
José Alberto Moraga Emhardt	11.927.001-4	Teledetección / SIG
Juan José Pardo Muñoz	6.684.902-3	Teledetección / SIG

H.- Resultados.

Comparando la clasificación supervisada con la no supervisada, coinciden en cuanto a su distribución espacial, pero existen diferencias considerables en cuanto a la cantidad y superficie de las unidades en estudio.

Sin embargo, no es difícil identificar el origen de esta diferencia. La clasificación supervisada necesita la creación de polígonos para definir cada una de las clases y, en el caso particular de este estudio pesa el factor humedad y las diferencias en las unidades de paisaje en donde se reproduce esta especie de Sphagnum. Dado que se está estudiando elementos del paisaje de alta humedad como son las áreas productoras de Sphagnum y que además, se encuentran en una zona geográfica húmeda, como lo es la décima región de nuestro país. El encontrar sectores apropiadamente característicos de cada clase se hace difícil y complejo, sobretodo al momento de diferenciar zonas húmedas de los pomponales, debido a la heterogeneidad de los paisajes en algunos de los humedales, y la potencial influencia de la copa de los árboles y arbustos por sobre la cobertura del musgo a nivel del suelo.

Por lo tanto, la separatividad espectral de cada uno de los elementos en estudio son captados en los píxeles de cada imagen y representan el promedio de las respuestas de cada uno de los componentes de la cobertura del suelo que se encuentran dentro de él, son parte integral de cada una de las unidades de paisajes observadas e identificadas, con la presencia del Sphagnum. Esto finalmente generó que el algoritmo seleccionado en esta actividad no siempre entregara los resultados esperados, según a los requerimientos establecidos, y esto se tradujo en la confusión entre ciertas clases de cobertura del suelo por su complejidad y/o similitud espectral, al clasificar las imágenes.

En el caso de la clasificación No Supervisada, no se presentó problema relacionado con la separatividad espectral de los elementos que componen cada una de las unidades de paisaje que presentan Sphagnum, ya que el programa por sí solo separó en tantas clases como fue posible, basándose en la variabilidad espectral de cada clase. Por lo tanto, cada clase generada en esta clasificación tiene información espectral homogénea.

Luego de analizar las dos clasificaciones generadas, se llegó a la conclusión que técnicamente la clasificación No Supervisada es la más confiable, por lo tanto, los resultados que se muestran a continuación corresponden a esa clasificación.

Acontinuación se presentan las tablas de los resultados de la distribución de las turberas separadas por Provincia, la tenencia de la propiedad a que pertenece, y el grado de protección legal que gocen:

Turberas Productoras de Musgo

Chiloé

Comuna	Provincia	Privada			Fiscal*			Superficie Total
		Sin Protección	Con Protección	Total	Sin Protección	Con Protección	Total	
Ancud	Chiloé	7.952,9	17,3	7.970,2	5.815,7	0,0	5.815,7	13.785,9
Castro	Chiloé	1.223,2	0,0	1.223,2	314,2	0,3	314,5	1.537,8
Chonchi	Chiloé	3.686,6	0,0	3.686,6	2.401,3	334,0	2.735,3	6.421,9
Curaco de Velez	Chiloé	51,8	0,0	51,8	23,8	0,0	23,8	75,7
Dalcahue	Chiloé	5.265,0	0,0	5.265,0	1.341,0	22,1	1.363,0	6.628,0
Puqueldón	Chiloé	186,0	0,0	186,0	95,4	0,0	95,4	281,4
Queilén	Chiloé	166,0	0,0	166,0	143,8	0,0	143,8	309,8
Quellón	Chiloé	6.291,4	0,0	6.291,4	9.566,2	0,0	9.566,2	15.857,6
Quemchi	Chiloé	2.118,8	0,0	2.118,8	565,1	0,0	565,1	2.683,9
Quinchao	Chiloé	23,9	0,0	23,9	2,7	0,0	2,7	26,5
TOTALES		26.965,6	17,3	26.982,9	20.269,3	356,3	20.625,6	47.608,5

Tabla n° 2: Resumen de Superficie (hà) cubierta de Sphagnum magellanicum por comuna en Chiloé

Llanquihue

Comuna	Provincia	Privada			Fiscal*			Superficie Total
		Sin Protección	Con Protección	Total	Sin Protección	Con Protección	Total	
Calbuco	Llanquihue	2.575,1	0,0	2.575,1	6.657,5	0,0	6.657,5	9.232,6
Fresia	Llanquihue	387,4	0,0	387,4	774,1	0,0	774,1	1.161,4
Frutillar	Llanquihue	0,8	0,0	0,8	5,7	0,0	5,7	6,5
Llanquihue	Llanquihue	0,4	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,4
Los Muermos	Llanquihue	932,9	0,0	932,9	1.478,2	0,0	1.478,2	2.411,0
Mauillin	Llanquihue	3.368,8	0,0	3.368,8	3.817,7	0,0	3.817,7	7.186,5
Puerto Montt	Llanquihue	3.696,1	0,0	3.696,1	3.763,6	0,0	3.763,6	7.459,6
Puerto Varas	Llanquihue	536,0	0,0	536,0	856,0	0,0	856,0	1.391,9
TOTALES		11.497,3	0,0	11.497,3	17.352,6	0,0	17.352,6	28.850,0

Tabla n° 3: Resumen de Superficie (hà) cubierta de Sphagnum magellanicum por comuna en Llanquihue.

Palena

Comuna	Provincia	Privada			Fiscal*			Superficie Total
		Sin Protección	Con Protección	Total	Sin Protección	Con Protección	Total	
Chaitén	Palena	5.749,5	0,0	5.749,5	4.030,5	0,0	4.030,5	9.780,0

Tabla n° 4: Resumen de Superficie (hà) cubierta de Sphagnum magellanicum por comuna en Palena.

Región de Los Lagos

Provincia	Privada			Fiscal*			Superficie Total
	Sin Protección	Con Protección	Total	Sin Protección	Con Protección	Total	
Chiloé	26.965,6	17,3	26.982,9	20.269,3	356,3	20.625,6	47.608,5
Llanquihue	11.497,3	0,0	11.497,3	17.352,6	0,0	17.352,6	28.850,0
Palena	5.749,5	0,0	5.749,5	4.030,5	0,0	4.030,5	9.780,0
TOTALES	44.212,4	17,3	44.229,7	41.652,4	356,3	42008,7	86.238,4

Tabla n° 5: Resumen de Superficie (hà) cubierta de Sphagnum magellanicum por Provincia en la Región de Los Lagos.

Turberas

Chiloé

Comuna	Provincia	Privada			Fiscal*			Superficie Total
		Sin Protección	Con Protección	Total	Sin Protección	Con Protección	Total	
Ancud	Chiloé	946,95	0,55	947,50	640,69	0,00	640,69	1.588,19
Castro	Chiloé	291,28	0,00	291,28	80,27	0,07	80,34	371,62
Chonchi	Chiloé	1.417,79	0,00	1.417,79	509,26	28,49	537,75	1.955,54
Curaco de Velez	Chiloé	6,33	0,00	6,33	3,37	0,00	3,37	9,69
Dalcahue	Chiloé	872,72	0,00	872,72	203,26	1,23	204,50	1.077,21
Puqueldón	Chiloé	37,74	0,00	37,74	20,01	0,00	20,01	57,75
Queilén	Chiloé	34,86	0,00	34,86	26,11	0,00	26,11	60,98
Quellón	Chiloé	2.039,86	0,00	2.039,86	3.656,39	0,00	3.656,39	5.696,25
Quemchi	Chiloé	213,82	0,00	213,82	43,76	0,00	43,76	257,58
Quinchao	Chiloé	3,77	0,00	3,77	0,72	0,00	0,72	4,49
TOTALES		5.865,1	0,5	5.865,7	5.183,8	29,8	5.213,6	11.079,3

Tabla n° 6: Resumen de Superficie (hà) de Turberas por Comuna en la Provincia de Chiloé.

Llanquihue

		Privada			Fiscal*			
Comuna	Provincia	Sin Protección	Con Protección	Total	Sin Protección	Con Protección	Total	Superficie Total
Calbuco	Llanquihue	437,2	0,0	437,2	1.154,7	0,0	1.154,7	1.592,0
Fresia	Llanquihue	273,2	0,0	273,2	263,7	0,0	263,7	537,0
Frutillar	Llanquihue	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Llanquihue	Llanquihue	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Los Muermos	Llanquihue	199,7	0,0	199,7	350,8	0,0	350,8	550,5
Mauñin	Llanquihue	638,1	0,0	638,1	728,2	0,0	728,2	1.366,3
Puerto Montt	Llanquihue	472,5	0,0	472,5	436,5	0,0	436,5	909,1
Puerto Varas	Llanquihue	51,7	0,0	51,7	95,1	0,0	95,1	146,8
TOTALES		2.072,5	0,0	2.072,5	3.029,1	0,0	3.029,1	5.101,6

Tabla nº 7: Resumen de Superficie (há) de Turberas por Comuna en la Provincia de Llanquihue.

Palena

		Privada			Fiscal*			
Comuna	Provincia	Sin Protección	Con Protección	Total	Sin Protección	Con Protección	Total	Superficie Total
Chaitén	Palena	193,3	0,0	193,3	236,4	0,0	236,4	429,6

Tabla nº 8: Resumen de Superficie (há) de Turberas por Comuna en la Provincia de Palena.

Región de Los Lagos

		Privada			Fiscal*			
Provincia		Sin Protección	Con Protección	Total	Sin Protección	Con Protección	Total	Superficie Total
Chiloé		5.865,1	0,5	5.865,7	5.183,8	29,8	5.213,6	11.079,3
Llanquihue		2.072,5	0,0	2.072,5	3.029,1	0,0	3.029,1	5.101,6
Palena		193,3	0,0	193,3	236,4	0,0	236,4	429,6
TOTALES		8.130,9	0,5	8.131,5	8.449,3	29,8	8.479,1	16.610,5

Tabla nº 9: Resumen de Superficie (há) de Turberas por Provincia en la Región de Los Lagos.



Imagen nº 5: Imagen Landsat, muestra los resultados, en color amarillo las turberas y rojo las turberas productoras de musgo.

I.- Validación de la clasificación

Considerando los resultados obtenidos concuerdan con valores que se indican en la literatura técnica que trata este tema, aseguran un 85% la clasificación que identifica a las áreas productoras de *Sphagnum Magellanicum*, denominadas pomponales. Se llevó a cabo la verificación de dichos clasificadores en dos expediciones. En la primera verificación efectuada en Isla de Chiloé se presentó una anomalía, en el sector de las lagunas Auquilda - Pastahue y Butalcura – km 60 al norte de Castro, cuyo punto tuvo un resultado que fue negativo, es un área con similitud de unidad de paisaje a las zonas en que hay *Sphagnum*. Los puntos siguientes que se visitaron hacia al norte de la ciudad de Castro dieron un resultado positivo de la identificación de puntos productores de *Shagnum* o pomponales.

También se llevó a cabo el mismo patrón de validación del clasificador en la zona de Ancud, desde Quemchi al norte cuyos resultados fueron positivos validando el clasificador aplicado. La muestra total del clasificador efectuada proporcionó un resultado de un 90% de certeza, en relación con los resultados cartográficos obtenidos.

La segunda expedición de validación del clasificador se realizó en el área oeste de la isla de Chiloé visitando algunos puntos de la zona de Abtao y Cucao, donde también está ubicado un SNASPE, el resultado de la visita y muestra fue positivo validando el clasificador. Posteriormente se desarrollo la validación en la zona sur de la ciudad de Castro en dirección a la localidad de Quellón, puntos próximos a la Ruta N° 5, cuyos resultados de la muestra fueron positivos, validando el clasificador.

En la provincia de Llanquihue se efectuó visita a la zona oeste de la ciudad de Puerto Montt próximo a la localidad de Maullín, donde se tuvo un resultado confuso debido a que los lugares visitados son áreas de similar característica a las unidades de paisaje productores de *Sphagnun magellanicum*, la diferencia estuvo en que se encontró pajonales en ves de juncáceas y otro tipo de musgo. Por tanto en dicha zona no se pudo identificar áreas productoras de *Sphagnum* y no valido el clasificador.

Al respecto para subsanar este impasse en dicha zona, se apoyo con información vectorial proporcionada por INDAP, material que no cubre dicha área pero si valida el clasificador en otras áreas de la zona de Llanquihue además proporciona punto en un área no visitada, próxima a la localidad de Lenca en el sector este de la provincia. Por tanto, quedo establecido que el clasificador para la provincia de Llanquihue se valida.

Cabe destacar que la clasificación de imágenes satelitales utilizando métodos supervisados y no supervisados con los datos espectrales no es una ciencia exacta, sino un proceso estadístico probabilístico, tal como se les enseñó a los participantes del curso que formó parte de esta asesoría, y es común la ocurrencia de confusión de clases temáticas. Más bien el análisis de imágenes satelitales digitales utiliza el principio de la inferencia estadística y por lo tanto, es sujeto a errores de omisión o comisión en donde el objetivo global es minimizar ambos tipos de errores, a veces priorizando un tipo sobre el otro.

El método utilizado, la probabilidad máxima, asigna nuevos píxeles a la clase productora de *Sphagnum* o pomponera cuando tengan la mayor probabilidad de pertenecer a ellas y por sobre cualquier otra clase, según los parámetros estadísticos de la distribución espectral de los píxeles de los sitios de entrenamiento en las bandas utilizadas.

Con el fin de mejorar el resultado de la clasificación realizada utilizando el criterio espectral solamente, se aplicó un análisis topográfico por pendiente con el fin de eliminar potenciales píxeles de clases confundidas en terrenos con pendientes fuertes ya que se sabe que los humedales bajo estudio se encuentran en las llanuras.

Debido a la naturaleza de la teledetección utilizando plataformas remotas las respuestas de energía captadas en cada celda (píxel), de 15 x 15 mts en el caso de ASTER VNIR, representan el promedio de las respuestas de cada uno de

los componentes de la cobertura del suelo que se encuentran dentro de él. Debido esto a la heterogeneidad de los paisajes en algunos de los humedales, y la potencial mayor influencia de la copa de los árboles y arbustos por sobre la cobertura del musgo a nivel del suelo. También, se aprecia que una máxima exactitud en la clasificación de las turberas productoras de Sphagnum requerirá de un trabajo mas exhaustivo de campo (con el riesgo que ello implica) combinado con el uso de varias tecnologías complementarias.

El estudio realizado, debe ser considerado como un primer paso en el catastro y cuantificación de la distribución del Spagnum de una manera objetiva, lo cual permitiría realizar estudios multitemporales sobre la evolución de su explotación en el tiempo. Asimismo, permite identificar zonas donde se podría requerir mayor información y seguimiento utilizando datos satelital de mayor resolución durante distintas épocas de año (cuando el clima lo permite), vuelos Aerofotogramétricos en el verano con el fin de obtener fotos a color a gran escala (1:4.000) para una fotointerpretación visual asistida por computador.

De igual manera, se debe tener presente o considerar otra tecnología como es la utilización de un sensor hiperespectral aerotransportado, cuyas bandas hayan sido configuradas especialmente para separar la firma espectral de las áreas productoras de Sphagnum de otras clases de cobertura de suelos similares. Para definir la firma con precisión se requerirá la utilización en terreno de un espectralradiómetro con muestras representativas del Sphagnum o las coberturas de suelo a catastrar georreferenciadas con receptores GPS.

Se recomienda realizar estudios para detectar la separabilidad de las firmas espectrales del Sphagnum de las otras coberturas de suelo típicas de los paisajes de los humedales de la X Región.

Cabe destacar que todas estas alternativas implican un mayor costo que el del estudio actual, que se debe apreciar como preliminar y válido, de acuerdo a la metodología y los datos utilizados.

J.- Discusión

El futuro de las turberas es un tema mundial. Las turberas han sido consideradas por la Convención de los Humedales Ramsar por su creciente degradación en países como Canadá, Estados Unidos y varios países Europeos. Aunque en Chile aún no es tema principal, podría llegar a serlo si sigue la explotación del recurso Sphagnum magellanicum sin una regulación por parte del estado. Se ha detectado que más del 51% de las turberas productoras de musgo está en mano de privados. Además prácticamente ninguna de las pomponeras detectadas cuentan con algún grado de protección legal (menos del 0,00%).

No existen entidades y autoridades de gobierno que regulen la extracción del musgo de áreas privadas o de tierras fiscales. Instituciones como la CONAMA, SERNAGEOMIN, y el SAG, no han recibido instrucciones explícitas en esta

materia y tampoco existe algún programa conocido para proteger las turberas, ni para garantizar la extracción de musgo ni de turba en forma sostenible. Sin embargo, existe una "Asociación Gremial de Pequeños Agricultores, productores de musgo pompón" de la provincia de Llanquihue. Su presidente, don Héctor Aburto, tiene experiencias de manejo sustentable y la asociación que dirige se ha encargado de informarse para hacer un buen uso y normar la explotación y reproducción del musgo. La idea es que el recurso se explote, pero que también tenga proyección a futuro.

En (Ramsar 1971) se señala que en América del Sur las turberas altoandinas sufren modificaciones por el pastoreo excesivo, la desecación con fines agrícolas, el comercio de turba seca y la alteración de cursos de agua naturales para usos humanos.

En la Provincia de Chiloé donde se encuentra más del 55% de las pomponeras catastradas, por ejemplo, se observó en el desarrollo de las actividades de campo, algunos cambios de uso de estos suelos, pasando a ser forestales, en su mayoría. Las personas que han hecho estas plantaciones, de eucaliptus, son pequeños agricultores. Información obtenida de varias viviendas próximas a estos sitios forestales confirma que habían sufrido sequía de sus pozos de agua, por tanto la forestación de las turberas puede llegar a producir efectos negativos. Las turberas desempeñan un papel fundamental en la conservación de la biodiversidad, por eso han adquirido gran relevancia. Junto con la biodiversidad, es importante recalcar la función que tienen en la regulación del ciclo hídrico y como grandes reservorios de carbono.

La función ambiental de regulación del ciclo hídrico es de suma importancia dado que en Chiloé no hay aguas de deshielo provenientes de la Cordillera de los Andes como lo es en el continente. Siendo por tanto, la fuente de agua más importante en este aspecto la precipitación y los pomponales. Estas son las que almacenan toda esa agua lluvia y descargar a los ríos de manera regulada, de a poco, amortiguando a veces el exceso de lluvia característico de los meses de invierno (Senda Darwin 2005).

Cabe hacer presente, el hecho de que sean grandes reservorios de carbono tiene una gran importancia debido a que podría ser a futuro una unidad económica al vender bonos de carbono para contrarrestar las emisiones de carbono de nuestro país. O bien a estados que tienen emisiones de carbono muy alta.

Las visitas efectuadas a las tres provincia en la toma de datos, hicieron ver que la extracción de turba no es sustentable, mas aun por la falta de una regulación o manejo, teniendo presente que la extracción observada solo destruye las turberas y altera la hidrología.

Es importante al respecto tener en consideración el tiempo que demora la regeneración de las turberas cuando son intervenidas sin manejo o regulación dado que la turba se acumula a razón de 2 cm. por siglo.

Otro problema observado, de mayor cuantía que la extracción de musgo, es que dicha actividad está regida y regulada por la ley minera, la cual considera la turba como un recurso mineral. Visto esto en las turberas de Chonchi y Tarahuin. Las fotos 1, 2, 3 y 4, son de la primera turbera y las fotos 5, 6, 7 y 8 son de la segunda. Estas no vuelven a su condición inicial luego de ser intervenidas por el nivel de deterioro a que son sometida en la explotación, debido a que ésta, altera las condiciones físicas e hidrológicas necesarias para el reestablecimiento del musgo Sphagnum (Heathwaite 1994, Price 1996).

Turbera n° 1 bajo registro de concesión minera en explotación



Foto n° 1



Foto n° 2

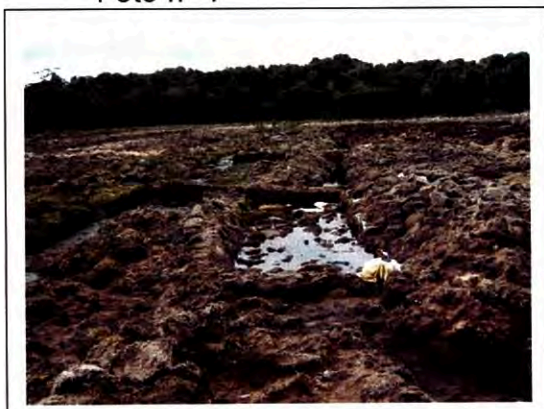


Foto n° 3



Foto n° 4

Turbera n° 2 bajo registro de concesión minera en explotación



Foto n° 5



Foto n° 6



Foto n° 7



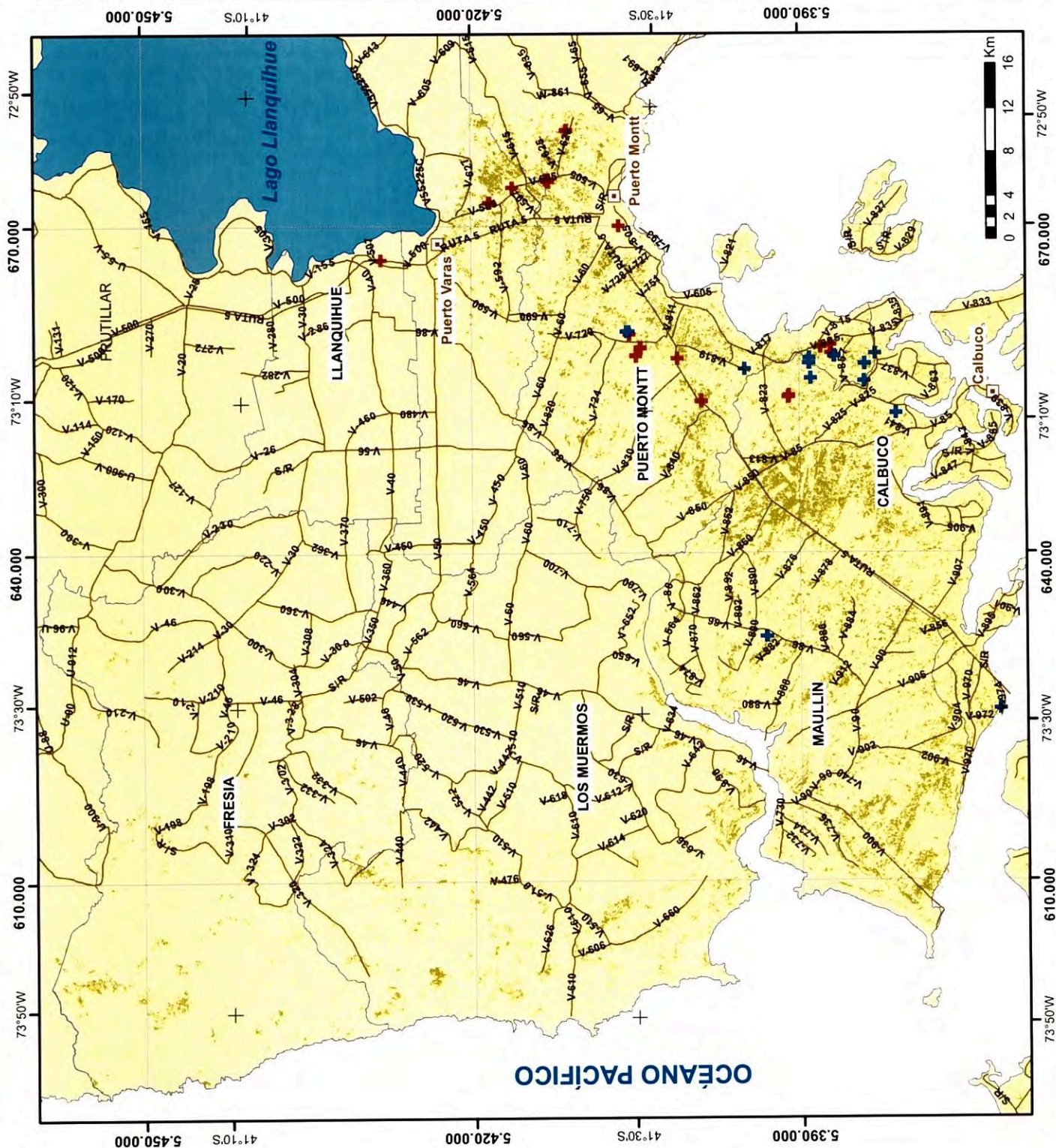
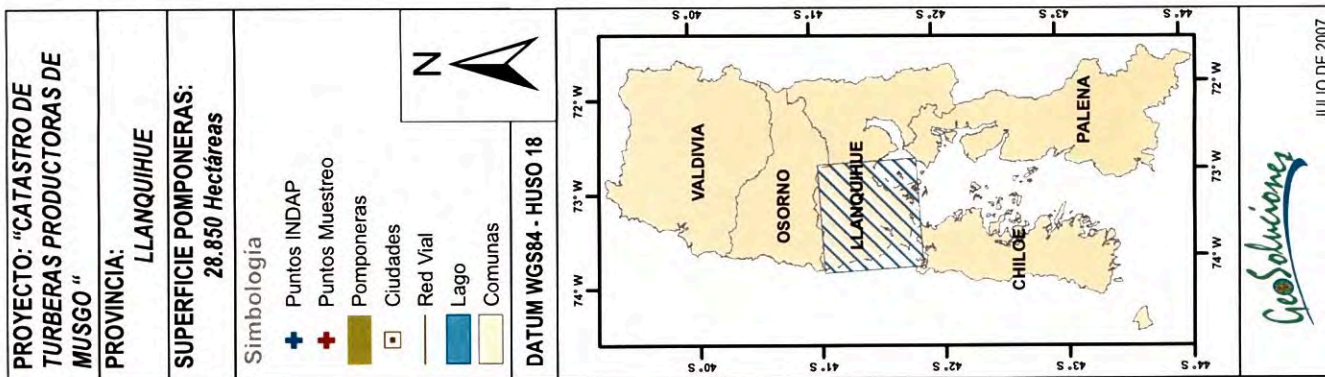
Foto n° 8

Agradecimientos

Se agradece a los señores Edgardo Fuster y Stefan Bagladi del Ministerio de Bienes Nacionales, y Mario Ahumada y Eduardo Camacho del SAG Central por el aporte de la información geográfica base utilizada en este estudio. Finalmente se debe destacar el apoyo del Sr. Juan Pardo del SAG X Región y su compromiso con el estudio, y que fue fundamental para el logro de los objetivos planteados.

ANEXOS

Mapas del Catastro de las Turberas Productoras de Musgo o Pomponeras



PROYECTO: "CATASTRO DE TURBERAS PRODUCTORAS DE MUSGO"

PROVINCIA: CHILOÉ (NORTE)

SUPERFICIE POMPONERAS: 47.608 Hectáreas

Simbología

- + Puntos INDAP
- + Puntos Muestreo
- Pomponeras
- Ciudades
- Red Vial
- Lago
- Comunas

DATUM WGS84 - HUSO 18

JULIO DE 2007

