



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
FACULTAD DE HISTORIA, GEOGRAFIA Y CIENCIAS POLITICAS
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA



Seminario de grado

“Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5 y verificación en terreno en Valle Exploradores. Región de Aysén, Chile”.

Por:

Jacqueline Andrea Cordero Rivera.

Seminario de Grado presentado al instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile, como uno de los requisitos para obtener el grado académico de Licenciado en Geografía.

Profesores guías:

Pilar Cereceda Troncoso

Pablo Osses Mc Intyre

Agosto, 2013



Agradecimientos

Después de un año trabajo y de nuevas experiencia, quiero agradecer a todas las personas que estuvieron conmigo durante todo este proceso. Deseo partir por aquellos que me han apoyado en mis locuras de seguir mis ideas y sueños, ellos son mis padres y hermanos; que junto con su apoyo y amor; también me han ayudado con sus critica que me han permitido mejorar y crecer como persona. No puedo dejar de mencionar, las palabras que siempre me ha inculcado mi madre (Jacqueline Rivera Gamonal): “*siempre hace lo que te haga feliz*” y lo que constantemente me ha repetido mi padre (Ricardo Cordero Navarro): “los detalles son los que hacen la diferencia”. Y el parquito de mis hermanos (Ricardito y Claudito) que siempre estaban ahí para bromear.

Quiero agradecer a la persona que siempre creyó y sé que sigue creyendo en mi, sea donde sea que este, ella es mi abuelita Irma Gamonal Muñoz, que a pesar que no está hace 8 años corpóreamente, se que siempre está a mi lado. Tengo claro que si no fuera por ella, nunca habría formado mi espíritu explorador y soñador; aquel de no conformarse con lo fácil sino que dar siempre la pelea hasta al final. Recuerdo muy bien unas de esas noches que se acostaba conmigo diciéndome que era su estufita y una de ellas se transformó en un hito que encamino a mi espíritu geográfico, eso fue entre los 5 y 6 años de edad; en que me dijo que ella se aprendió en el colegio cada una de las ciudades de las regiones y que hasta ese momento nunca se le había olvidado –lo cual me llamo bastante la atención- y las comenzó a nombrar, desde ese momento me las aprendí.

También deseo agradecer el apoyo de mis profesores guías Doña Pilar Cereceda Troncoso y Don Pablo Osses Mc Intyre; con quienes puede contar para llevar a cabo mi presente investigación. Además, mi agradecimiento a ellos es doble, ya que su apoyo se extendió más allá del área académica en el momento en lo necesitaba; conociendo así durante todo el proceso a dos personas maravillosas.

En relación a los profesores, no puedo dejar de mencionar la ayuda otorgada por el Profesor Camilo del río López, quien me guió con el trabajo de las imágenes satelitales.

No puedo dejar de mencionar el apoyo recibido por parte de mis tatas, abuelita, tíos y primos; que de una u otra forma aportaron un granito de su parte para llevar a cabo todo este proceso.

Y como no nombrar a mis amigos, especialmente a Silvia Pereira Foster, Daniela Gonzales Navea, Viviana Espinoza, Carolina Rodríguez y por supuesto a Don Juan Correa Parra; que estuvieron ahí para subirme el ánimo y apoyando creyendo en mi.

No puedo olvidar agradecer a todas esas bellas personas que conocí durante el terreno realizado en el mes de enero en la región de Aysén, como a la Señora Rosita, Don Jaime, Pamelita, Don Felidor, Claudia, Prisci, Paulo, Don Juan, Señora María, Don Cheo, Señora

Silvia con Don Kike, Vicente, Bastean y Piero. Además, a todos los profesores y compañeros con quienes compartí en Valle Exploradores

No puedo dejar de agradecer aquellos vecinos y caseros de la feria que constantemente me preguntaban ¿cómo voy con mi seminario? y me daban sus buenas energías.

Por último, a mis mascotas – gatitas y conejita - quienes me acompañaban en las noches largas calentándome los pies, escuchando buena música –como Blur, La ley, Gustavo Cerati, Pulp, Sabina & Serrat, Paul Weller, Cat Steven, Beatles, etc.- y a mis perritos que me mantenían despierta con sus ladridos.

En fin, no me queda más que decir: *Gracias totales!!!!*

Índice

Capítulo I

1. Planteamiento del problema.....	1-6
1.1. Objetivos.....	6
1.1.1. Objetivo General.....	6
1.1.2. Objetivo Específicos.....	6
1.2. Hipótesis.....	6

Capítulo II

2. Metodología.....	7-23
2.1. Primera etapa.....	7-8
2.1.1. Recopilación de imágenes satelitales.....	7-8
2.2. Segunda etapa.....	8- 9
2.2.1. Visita al área de estudio (terreno).....	8-9
2.3. Tercera etapa.....	9-22
2.3.1. Caracterización de la turbera en relación a su altitud y cobertura del suelo.....	9
2.3.2. Traspaso de los datos de GPS a <i>SHAPES</i>	10
2.3.3. Corrección radiométrica y atmosférica.....	10
2.3.4. Georreferenciación y corrección geométricas.....	10-11
2.3.5. Conversión de radiancia y reflectividad.....	11-15
2.3.6. Generación de la sub-escena	15-16
2.3.7. Criterios para la delimitación de las turberas.....	17
2.3.8. Generación de NDVI y NDWI.....	17
2.3.9. Composición de las bandas espectrales.....	18
2.3.10. Obtención de los (datos) valores.....	19
2.3.11. Análisis y comparación de los valores de NVDI, NWDI y bandas espectrales.....	19

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat 5 TM...

2.3.12. Elección de la imagen.....	20
2.3.13. Identificación del comportamiento espectral de las turberas.....	20
2.3.14. Reclasificación no supervisada.....	20
2.3.15. Reclasificación supervisada.....	20
2.3.16. Reclasificación por mascara.....	21
2.3.17. Limpieza de las aras de turberas.....	22
2.3.18. Cartografía final de distribución de turberas en Valle Exploradores.....	22
2.3.19. Resumen de la metodología.....	23

Capítulo III

3. Marco Teórico.....	24-55
3.1. Turberas.....	24-42
3.1.1. Las turberas.....	24-27
3.1.2. Formación de las turberas.....	28-30
3.1.3. Ambiente geográficos favorables al desarrollo de turberas en Chile.....	31-33
3.1.4. Características del suelo.....	34
3.1.5. Composición florística.....	34
3.1.6. Estado de conservación de las turberas.....	35-36
3.1.7. Explotación de las turberas.....	36-42
3.1.7.1. Explotación de turba.....	36-38
3.1.7.2. Explotación del musgo vivo.....	38-42
3.1.7.2.1. Manejo sustentable del musgo Sphagnum.....	39

3.1.7.2.2.	Protocolo para realizar un manejo sustentable del ponpón (<i>Sphagnum magellanicum</i>).....	40
3.1.7.2.3.	Principales usos del musgo <i>Sphagnum</i>	41-42
3.2.	Percepción remota.....	43-55
3.2.1.	Utilización de imágenes satelitales multiespectrales.....	43-44
3.2.2.	Consideraciones climáticas para la utilización de imágenes satelitales.....	44-45
3.2.3.	Comportamiento espectral de las superficies.....	45-47
3.2.4.	Criterios para la delimitación de turberas.....	48-50
3.2.4.1.	Índice de la Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI) e índice de la Diferencia Normalizada de Agua (NDWI).....	49-50
3.2.4.2.	Composición de bandas espectrales.....	50
3.2.5.	Interpretación visual de imágenes satelitales.....	51
3.2.6.	Interpretación digital de las imágenes satelitales.....	51-52
3.2.6.1.	Clasificación digital.....	51
3.2.6.1.1.	Clasificación supervisada.....	51
3.2.6.1.2.	Clasificación no supervisada.....	52
3.2.7.	Las técnicas de la percepción remota en el Medio Ambiente.....	52
3.2.8.	Confusión entre terminología y catastro de turberas.....	53-54
3.2.9.	Importancia de la percepción remota en la detección de turberas.....	54-55

Capítulo IV

4. Área de estudio.....	56-/6
5.1. Factores Físicos.....	57-68
5.1.1. Localización.....	57
4.1.1. Límites.....	57
4.1.2. Clima.....	57-59
4.1.3. Geomorfología.....	59-61
4.1.4. Geología.....	61-62
4.1.5. Vegetación.....	63-65
4.1.6. Suelo.....	65-66
4.1.7. Hidrografía.....	66-68
4.2. Factores Humanos.....	68-76
4.2.1. Características demográficas.....	68-70
4.2.2. Condiciones socioeconómicas de la población.....	70-72
4.2.3. Historia.....	73
4.2.4. Paisaje.....	74-75
4.2.5. Accesibilidad.....	75-76

Capítulo V

5. Resultados.....	77-97
5.1. Objetivo_1: Caracterizar las turberas en función a sus condiciones geográficas como: altitud y cobertura de suelo en Valle Exploradores.....	77-79

5.2. Objetivo_2: Identificar a través del procesamiento de las imágenes satelitales, junto a la información obtenida en terreno, la firma espectral de las turberas.....	80-83
5.3. Objetivo_3: Identificar la localización de las turberas a través del procesamiento de las imágenes satelitales Landsat TM 5 con la implementación de la información obtenida en terreno.....	84-95
5.3.1. Reclasificación no supervisada.....	84-86
5.3.2. Reclasificación supervisada.....	87-90
5.3.3. Reclasificación por mascara.....	91-92
5.3.4. Síntesis de las tres reclasificaciones.....	93-95
5.4. Discusión de los resultados.....	95-97
Capítulo VI	
6. Conclusión.....	98-99
Capítulo VII	
7. Bibliografía.....	100-111

Índice Gráfico

Grafico n°1: Total de días con precipitaciones en Puerto Aysén (1970 -2000).....	44
Grafico n°2: Climograma de Puerto Aysén.....	57
Grafico n°3: Distribución de la población por sexo.....	69
Grafico n° 4: Distribución de la actividad económica en la Comuna de Aysén.....	71
Grafico n° 5: Distribución porcentual de la altitud.....	77
Grafico n° 6: Reflectividad de las áreas de la turbera catastrada y sitio de entrenamiento para la reclasificación supervisada	81
Grafico n° 7: Comportamiento espectral de la turbera.....	81
Grafico n° 8: Comportamiento espectral de la turbera en relación al bosque y mallín.....	83

Índice de tabla

Tabla n° 1: Fechas de las imágenes trabajadas.....	8
Tabla n°2: Características técnicas de las imágenes.....	15
Tabla n° 3: Áreas utilizadas en la reclasificación supervisada.....	19
Tabla n° 4: Extensión de humedales en zonas no tropicales del mundo y pérdida por actividad humana.....	35
Tabla n° 5: Características técnicas de las imágenes Landsat 5 TM y 7ETM.....	43
Tabla n° 6: Descripción de las regiones del espectro electromagnético.....	46
Tabla n°7: Frecuencia y velocidades media del viento en Puerto Aysén (2011).....	58
Tabla n° 8: Frecuencia y velocidades media del viento en Puerto Aysén (2007).....	59
Tabla n° 10: Distribución porcentual de la población rural y urbana.....	68
Tabla n° 11: Tasa de natalidad de Río Ibáñez.....	69
Tabla n° 12: Tasa de Natalidad de la Comuna de Aysén.....	70
Tabla n° 13: Tasa de Mortalidad en Río Ibáñez y la Comuna de Aysén.....	70

Tabla n° 14: Pobreza en los hogares de Río Ibáñez.....	71
Tabla n° 15: Pobreza en los Hogares de la Comuna de Aysén.....	72
Tabla n° 16: Ingresos promedios para las comunas de Aysén y Río Ibáñez.....	72
Tabla n°17: Valores mínimos y máximos de reflectividad por banda alcanzados por la turbera tomada como sitio de entrenamiento en la reclasificación supervisada.....	81

Índice de carta

Carta n° 1: Sitio Ramsar Glaciar y Turberas asociadas (Mapa General).....	27
Carta n°2: Carta ocurrencia de turberas y turbales.....	30
Carta n° 3: Distribución del hielo actual y estimado durante las últimas glaciaciones Cuaternarias, en la zona austral Chilena.....	33
Carta n° 4: Región de Aysén.....	56
Carta n° 5: Geomorfología de Aysén.....	60
Carta n° 6: Vegetación de Valle Exploradores.....	64
Carta n° 7: Hidrografía de Valle Exploradores.....	67
Carta n° 8: Accesibilidad a Valle Exploradores.....	76

Índice de Imágenes

Imagen n°1: Trabajo de campo.....	9
Imagen n° 2: Localización de los datos levantados en terreno.....	10
Imagen n° 3: banda 4 (infrarrojo cercano) en valores DN (Digital Number).....	12
Imagen n°4: banda 4 (infrarrojo cercano) en valores de radiancia.....	13
Imagen n°5: banda 4 (infrarrojo cercano) en valores de reflectividad.....	14
Imagen n°6: banda 4 (infrarrojo cercano) en valores de reflectividad reclasificado.....	14
Imagen n° 7: Polígono del área de estudio.....	16

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat 5 TM...

Imagen n°8: Área de estudio.....	16
Imagen n°9: valores de NDVI y NWDI.....	17
Imagen n° 10: composición de bandas.....	18
Imagen n° 11: Mascara de Valle Exploradores.....	21
Imagen n° 12: Metodología Completa.....	23
Imagen n° 13: Turbera de musgo Sphagnum magellanicum en Tierra del Fuego Argentina....	25
Imagen n° 14: Estructura de una turbera diplotérmica.....	26
Imagen n° 15: Formación de una turbera natural.....	28
Imagen n° 16: etapa de formación de una turbera.....	29
Imagen n° 17: Turba.....	37
Imagen n° 18: Extracción de Turba.....	38
Imagen n° 19: Musgo Sphagnum.....	38
Imagen n°20: Cultivo de orquídeas.....	41
Imagen n° 21: Turba y musgo Sphagnum utilizado para decoración externa de construcciones.....	41
Imagen n° 22: Diferencia en la germinación de la fruta.....	42
Imagen n°23: Espectro electromagnético.....	45
Imagen n° 24: Firmas espectrales.....	47
Imagen n° 25: Relación entre términos turbal, humedal y turbera.....	53
Imagen n° 26: Hans Steffen.....	73
Imagen n° 27: Hans Steffen en Chile.....	73
Imagen n° 28: Augusto Grosse.....	73
Imagen n° 29: Puerto Tranquilo.....	74
Imagen n° 30: Cobertura de suelo de la turbera.....	78
Imagen n° 31: Algunas especies que conviven con el Sphagnum.....	79

Imagen n° 32: Turbera de Valle Exploradores.....	80
Imagen n° 33: Resultado de la reclasificación no supervisada.....	85
Imagen n° 34: Áreas del cluster 3.....	86
Imagen n° 35: Firmas espectrales de las áreas utilizadas en la reclasificación supervisada.....	87
Imagen n° 36: Firma espectral de la turbera a través del comando SIGCOMP.....	87
Imagen n° 37: Resultados de la reclasificación supervisada.....	89
Imagen n° 38: Áreas arrojadas como turberas en la reclasificación supervisada.....	90
Imagen n° 39: Reclasificación por mascara.....	92
Imagen n° 40: Áreas turberas antes y después de aplicar el filtro pendiente.....	93
Imagen n° 41: Diferencias de áreas.....	94
Imagen n° 42: Mallín en Valle Exploradores.....	95
Imagen n° 43: Turbera en Valle Exploradores.....	96

Capítulo I

1. Planteamiento del problema.

En el último tiempo se ha observado un aumento en la degradación y destrucción de los recursos naturales, lo que ha conllevado a fenómenos de erosión, pérdida de la biodiversidad, degradación de los suelos, contaminación del agua, deforestación, desertificación y otros procesos similares; generando situaciones como la pérdida de capacidad productiva de la tierra y la afectación de la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos. Ocasiona a su vez altos costos económicos para las regiones (Ovalle, 2006). Es probable que una de las causas de esta situación, sea la escasez de conocimiento sobre el manejo sustentable de los bienes naturales; ejemplo de ello es el problema que se presenta en el desconocimiento de la tasa de explotación del musgo *Sphagnum magellanicum* - conocido en el sur de Chile como pompón o pompoñ (Díaz et al, 2011), el cual tiene la capacidad de retener 20 veces su tamaño en agua (Tapia, 2008) y propiedades antibacteriales (Yu, 2006) - en las turberas (humedales, formados por los retiros de glaciales, donde se acumula el agua y se forman estratos de vegetación descompuesta con una capa superficial viva (Iturraspe, 2010)) de la Región de Aysén, en especial en las proximidades de Bahía exploradores y Caleta Tortel. Dichos ambientes están siendo explotados para la comercialización del musgo y la turba (serie de estratos de tejidos vegetales muertos que se acumulan con el paso del tiempo (de Miguel, 2006), tanto a nivel nacional como internacional. Lamentablemente, esta situación se agrava aún más al no existir información sobre la tasa de renovación del recurso. Permitiendo una sobre explotación ambiental, social y económica; lo que lleva al uso de prácticas pocas razonables - el concepto uso racional hace referencia al mantenimiento de los beneficios/servicios de los ecosistemas a fin de asegurar el mantenimiento a largo plazo de la biodiversidad, así como el bienestar humano y la mitigación de la pobreza (Ramsar, 2010) – en la extracción del musgo por parte de la población que vive de ello, viéndose limitadas las posibilidad de manejarlos adecuadamente y potenciarlos al futuro; ya que no se cuenta con información sobre su manejo, distribución, caracterización, cuantificación, valorización e impactos.

1

El desconocimiento, tanto público como privado, de la tasa de explotación del musgo *Sphagnum magellanicum*, es reflejo de la carente preocupación que se tiene por la explotación de los recursos naturales en Chile, especialmente en aquellos lugares más apartados de los principales centros económicos, administrativos y políticos del país. Lo que denota la centralización territorial en los más diversos ámbitos, incluso en las investigaciones científicas, es decir un desinterés sobre las actividades que se dan en zonas alejadas, trayendo como consecuencia directa la no valorización del patrimonio natural en su justa medida y, por lo tanto, no se lo ha protegido adecuadamente, sufriendo importantes procesos de degradación y destrucción (Gascón, 2005).

Las turberas productoras de musgo *Sphagnum magellanicum*, están siendo explotadas desde la zona de la décima Región de los Lagos hacia el sur (Tapia, 2008); lamentablemente se tienen pocos estudios claros sobre su espacialización, caracterización del suelo, número de exportaciones, ingresos que generan, relación con otras actividades, tasa de extracción sustentable y sostenida en el tiempo, prácticas de uso racional, etc. Lo que ha significado la explotación de dicho recurso de manera no muy amigable con el medio ambiente en dicha región, en especial en la Isla de Chiloé. Reflejo de ello es la formación de turberas secundarias o pomponales que se caracterizan por ser similares paisajísticamente que a las turberas naturales, ya que su componente principal sigue siendo el musgo *Sphagnum*, pero difieren de ellas por varios motivos, entre la que se puede mencionar su origen; dado por quemas o tala rasa de bosques en sitios con drenaje pobre (Richardson, 2011).

Ahora bien, el problema de la explotación de las turberas es un fenómeno que afecta a todo el mundo, ejemplo de ello es la explotación en el sureste (Wetlands International, 2010) y suroeste asiático (Neofrontera, 2012) – región que tiene el 7% de las turberas mundiales, almacena 64.000 millones de toneladas de carbono (Neofrontera, 2012) - donde ha desaparecido un 77% las zonas pantanosas; un 36% durante el periodo 1990 a 2010 (Neofrontera, 2012). Además, es muy probable que se tienda a pensar que es propio de países subdesarrollados o en vía de crecimiento pero no es así; ejemplo claro es la pérdida casi total de las turberas de los Países Bajos, el 90 % de las del Reino Unido, el 82% de las de Irlanda y la mitad de las de Alemania y Suiza (de Miguel, 2006). A pesar de ello, es necesario destacar que estos países invierten en estudios e investigaciones sobre diversos factores como el suelo, hidrología, geología, economía de recursos naturales por nombrar algunos; a través de universidades y organismos públicos como privados. Situación que en nuestro país estamos muy alejados de alcanzar, como es posible apreciarlo en las series de suelos de CIREN que datan del año 1951.

Si bien lo anterior no es muy alentador, existen países que han logrado conciliar la protección del patrimonio natural con el crecimiento sostenible económico en el tiempo, tal situación es la de Nueva Zelandia, país que registra un per-cápita (2011) de US \$ 27.900 (indexmundi, 2012); caracterizado por ser un productor exportador de musgo *Sphagnum*. Cabe destacar que actualmente se le está dando valor agregado a través del uso en packing de frutas, puesto que se ha logrado demostrar que retarda el proceso de germinación (Yu, 2006); ejemplo de un aprovechamiento integro del recurso, lo cual puede ser repetido en otros países. Otra nación que ha trabajado las turberas durante años ha sido Canadá, el cual tiene un amplio historial de su explotación. Por eso, han surgido una serie de investigaciones para intentar recuperar estos ecosistemas. Algunos de ellos, demuestran datos de campo que la recolonización de turberas abandonadas es bastante difícil, menos del 1% de la superficie es colonizada por *Sphagnum* en estos sitios, y generalmente muestran una tendencia a la invasión por abedules (Lavoie & Rochefort, 1996). Otro punto a destacar de este país es la organización de agricultores

en asociaciones, como *The Canadian Sphagnum Peat Moss Association (The Canadian Sphagnum Peat Moss Association, 2012)*.

Junto a lo anterior se desprende la relevancia de estudiar las turberas y sus beneficios, ya que son un tipo de humedal, los cuales a nivel mundial, han adquirido gran importancia por su valor económico y ecológico; debido que se expanden en una superficie de 4 millones de km², el 3% de la superficie continental e insular global, pero están presentes en más de 170 países. Albergan el 10% del agua dulce disponible en el mundo y 1/3 del carbono existente en el suelo (*Joosten & Clarke, 2002*).

Las turberas desempeñan una función global fundamental al regular la hidrología, manteniendo la calidad del agua dulce y la integridad de los ciclos hidrológicos, constituyendo verdaderos reservorios hídricos (*Bullock & Acreman 2003*). Dada su estructura cerrada y esponjosa, el agua caída durante lluvias intensas y copiosas se almacena dentro de esta enorme esponja, de forma que se suprimen y laminan posible punto de inundación agua abajo, evitando procesos erosivos e incluso daños a las poblaciones que se encuentran en la cuenca hídrica. Posteriormente, el agua retenida por la turbera se libera paulatinamente, lo que proporciona un caudal más constante durante más tiempo y, por tanto, más útil para el hombre y los ecosistemas (*del Miguel, 2006*). Por lo que, al referirnos a cambio climático, se habla de alteraciones en la disponibilidad de agua dulce y de las consecuencias de las grandes tormentas e inundaciones, por eso he aquí las principales tramas que relacionan turberas y cambio climático, tanto en materia de mitigación como a tener en cuenta en estrategias de adaptación (*Ramsar, 2004*).

3

Otra importancia que se desprende de las turberas, es su vinculación entre el cambio climático y el efecto invernadero, resultante de emisiones de gases (especialmente dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄)), ya que estos ambientes son reconocidos internacional como uno de los mayores almacenamientos de carbono (C) del mundo, superando a los bosques (*RAMSAR, 2002*). Por lo que, al realizarse actividades de extracción de turba se libera dióxido de carbono (CO₂), dado a través de la respiración y descomposición microbiana de la vegetación. También metano (CH₄), fenómeno dado cuando el carbono (C) liberado entra en contacto con el agua – por ende con el O₂-, originándose un proceso de oxidación, llevando a emisión globales de estos gases (*Iturraspe, 2010*). Producto de la pérdida de suelos orgánicos de turba se estima en más de 3.000 millones de toneladas de dióxido de carbono (Tm/CO₂) por año, cerca del 10% de las emisiones reportadas. Pese a que la mayoría de las emisiones (2 000 millones Tm/CO₂) ocurren en el Sudeste Asiático, otras 1.000 (Tm/CO₂) son emitidas en las turberas de otras partes del mundo. Además, estas emisiones por pérdida de turberas actualmente no se contabilizan bajo el protocolo de kyoto, solamente se reportan (*Wetlands international, 2010*).

Entre otros aportes que se pueden hallar de los medios turbales es la conservación de especies animales y vegetales, ya que son muy pocas las especies vegetales y

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat 5 TM...

especializadas que son capaces de sobrevivir a las condiciones impuesta. Los nutrientes son escasos y, en su lucha por la luz las plantas se tienen que adaptar al patrón de vida de los esfagnos, con un crecimiento vigoroso en verano y una gran compresión de sus estructuras durante el invierno (de Miguel, 2006). Además, no se tiene conocimiento completo de toda la flora y fauna que habitan en estos medios. Otras funciones presente en las turberas es el apoyo a la ganadería extensiva, interés turístico y de recreo, arqueológico, el valor científico (de Miguel, 2006) y el control de la erosión (*Wetlands international*, 2010).

Lamentablemente, a partir de 1800, el área global de turberas se ha visto reducido entre un 20% y 30%, siendo la actividad humana la principal causa de la reducción (*Joosten & Clarke*, 2002). Las amenazas que afectan a los ecosistemas turbales pueden ser de dos tipos: a) directas, como el drenaje y conversión de tierras, las excavaciones, las quemas, el exceso de pastoreo, la presión de los visitantes y la explotación comercial; y b) las indirectas, como la contaminación, la extracción excesiva de agua, la reducción de la extensión y el cambio climático (*de la Balze et al.*, 2004). Además, la reducción de las turberas implicaría una disminución de bosques (turberas arboladas), dado que algunos de ellos se forman en estos ambientes acuáticos como resultado de una larga cadena (*Ramsar*, 2011). Por lo que, sería posible definir a las turberas como recursos renovables, si se considera la escala temporal de renovación como geológica. Por lo tanto, el uso racional de estos ambientes es esencial para asegurar las funciones vitales del ecosistema, satisfaciendo los requerimientos de las comunidades locales. El uso racional de los turbaras involucra la evaluación de sus funciones, usos, impactos y limitaciones (*Joosten & Clarke* 2002).

4

En nuestro país, las turberas se distribuyen desde la cordillera Pelada, en la provincia de Valdivia, cordillera de la Costa en Osorno, isla de Chiloé, en los Chonos y en el seno de Ultima Esperanza (*Oberdorfer 1960, Pisano 1977, Roig et al. 1985, citados por Blanco y Balze*, 2004). Su límite austral está en la Isla de Navarino, Seno Almirantazgo y Estrecho de Magallanes, en la península Brunswich (*de la Balze et al.*, 2004) Lo que es sumamente importante ya que según un estudio realizado por el Ministerio del Medio Ambiente, nuestro país consta con un total de casi 2 millones de hectáreas de humedales y de lo cual, un porcentaje importante de ello corresponden a turberas, según Ramsar (2010): “la mitad de los humedales del planeta se consideran como turberas”.

En la actualidad, al hablar del uso y conservación de turberas en Chile, debemos entenderlo como un aprovechamiento casi íntegro de estos ambientes. Esto se debe básicamente a que además de extraérseles y aprovechar las fracciones de depósitos vegetales en descomposición incompleta (*Crignola y Ordóñez*, 2002) - la turba propiamente dicha, su extracción en el país corresponde a una actividad minera que se rige por la legislación correspondiente y su explotación se considera como una actividad “ambientalmente depredadora”, ya que exige la intervención o alteración de extensas superficies (*Crignola y Ordóñez*, 2002). -, además, últimamente se ha sumado la

explotación del musgo *Sphagnum* sp., que se encuentra generalmente en la superficie de las turberas (Valenzuela-Rojas. & Schlatter, 2004).

La explotación de musgo *Sphagnum* en Chile ha tenido un explosivo interés por parte de los poderes compradores por este recurso en la última década, principalmente con fines de exportación, lo que ha ocasionado una extracción progresiva e irracional del recurso, principalmente en la Región de Los Lagos, con lo cual, pelagra tanto su sustentabilidad, como la del ecosistema en que habita (Salinas, 2009). Como es posible visualizarlo en la transacción del valor del saco de musgo húmedo (recién cosechado) en la Isla de Chiloé, el que varía entre los 300-400 pesos por 20 kg de musgo. Una vez seco, el Kg de pompón vale entre 500-650 pesos. Cada saco de 20 kg húmedos equivale aproximadamente a 1,5 kg de *Sphagnum* seco (Díaz et al., 2005).

Todo lo anterior, se reduce a la necesidad de tomar medidas públicas en la protección del medio ambiente y una mayor inyección de recursos en investigaciones que permita obtener la información necesaria para crear un ecodesarrollo – concepto emergido a mediados de la década de los 80, hace referencia a cambiar ciertos modelos y estrategias de desarrollo por otros que permitan el uso sostenido de los recursos, respetando los plazos de los ecosistemas para su regeneración biológica" (Crespo, 1994). – en el país, lo que toma gran énfasis ya que Chile se caracteriza por ser una potencia exportadora de recursos naturales.

5

Por último, es necesario no caer en el extremismo verde o ecologista de proteger todo y no extraer nada; ya que si queremos o no las personas o comunidades lo seguirán haciendo. Debido a esto, es mejor trabajar en pro de la sociedad de manera realista e informarla, para crecer de manera sustentable; y no seguir siendo un país en el cual las empresas vengán a lucrar con la explotación de recursos de manera desmedida y una vez obtenidos todos sus beneficios, abandonar a las comunidades y su entorno impactado. Por lo cual, se pretende aportar a través de la presente investigación, con los siguientes objetivos, los cuales son identificar donde se ubican las turberas productoras de musgo *Sphagnum* y caracterizarlas. Por lo que, en modo de conclusión es necesario enfatizar en que la riqueza natural de un país constituye una ventaja comparativa estratégica para el desarrollo económico y social y su utilización racional puede constituir un factor positivo para la formación de la riqueza nacional que bien distribuida generará oportunidades de desarrollo humanamente viables para las poblaciones locales (Sánchez, 2004).

1.1. Objetivos.

1.1.1. Objetivo General

Identificar y caracterizar las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5 y verificación en terreno en Valle Exploradores, Región de Aysén.

1.1.2. Objetivos Específicos:

1. Caracterizar las turberas en función a sus condiciones geográficas como: altitud y cobertura de suelo en Valle Exploradores.
2. Identificar a través del procesamiento de las imágenes satelitales, junto a la información obtenida en terreno, la firma espectral de las turberas.
3. Identificar la localización de las turberas a través del procesamiento de las imágenes satelitales Landsat TM 5 junto a la implementación de la información obtenida en terreno.

6

1.2. Hipótesis

Mediante la utilización del sensor remoto Landsat TM 5, es posible identificar y caracterizar las turberas en ambientes templados lluviosos como en Valle Exploradores de la Región de Aysén.

Capítulo II

2. Metodología.

Para Identificar y caracterizar las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat y verificación en terreno en Valle Exploradores, Región de Aysén, se llevó en primer lugar una exhaustiva revisión bibliográfica, consultándose Al diseño del inventario nacional de humedales y el seguimiento ambiental (*MMA & CEA, 2011*), Catastro y caracterización de los turbales de Magallanes (*Ruiz & Doberti LTDA, 2005*), Catastro de turberas productoras de musgo en la Región Los Lagos (*Richardson Varas, 2011*) - utilizando este último estudio como principal referencia metodología – entre otros. Además, del “Manual Laboratorio de Percepción Remota” de Farías & Cárdenas (2005), como apoyo para un adecuado manejo del programa IDRISI Selva, lo que se complemento con otras actividades con sistemas de información geográfica y google earth. Sin olvidar mencionar, el principal énfasis que tuvo levantamiento de datos en el área de estudio para la validación de la información. Los pasos que se realizaron fueron los siguientes:

2.1. Primera etapa

2.1.1. Recopilación de imágenes satelitales

Para la recopilación de imágenes satelitales se dirigió a la página web del UNITED **GEOLOGICAL SURVEY** (USGS) de la página (<http://glovis.usgs.gov>). De donde se obtuvieron las imágenes Landsat TM 5 de resolución espacial de 30 m X 30 m (*MMA & CEA, 2011*).

El número de imágenes descargadas corresponden a 5 fechas, las cuales deben cumplir con los siguientes requerimientos:

- a) Las tomas deben pertenecer a fechas que estén dentro de los meses de octubre a abril, ya que estos meses existe una menor precipitación en comparación al período mayo – septiembre, según los registros de la estación meteorológica de Puerto Aysén.
- b) Otro punto de relevancia en tener en cuenta es el porcentaje de nubosidad presente en las imágenes, por ello es probable que la escena completa presente un porcentaje alto, lo que no implica que el área misma de estudio tenga una alta nubosidad.

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat 5 TM...

Tabla n°1: Fechas de las imágenes trabajadas

N° de imágenes	Fechas	Sensor Landsat	Nubosidad (%)
1	19 -09-1998	TM 5	31,92
2	09 -11-1999	TM 5	28,17
3	16-12- 2001	TM 5	19,19
4	08-02-2004	TM 5	36.00
5	11-03-2004	TM 5	16,00

2.2. Segunda etapa

2.2.1. Visita al área de estudio (terreno).

Dicha actividad fue realizada en el mes de enero del 2013, en donde se observó en campo la escasa información directa que se tiene del área de estudio, por lo que se procedió a realizar entrevistas personales con los pobladores de Valle Exploradores. De esta manera se obtuvo a través de fuente directa aquellos sitios que según el conocimiento de ellos se ubican las turberas, después se procedió a visitar aquellas áreas y verificando si correspondían o no a estos sistemas, lo que permitió la obtención correcta de los puntos de control (coordenadas) de su localización, así también fue posible la obtención de registros fotográficos. Con respecto a los datos levantados, estos se registraron en fichas (adjuntada en el anexo), ya que la obtención correcta de ellos es de gran importancia para la generación adecuada de la cartografía final sobre la distribución geográfica de las turberas en el área de estudio. Además, las tomas de coordenadas se realizaron en aquella área en que existía facilidad de ingreso a la turbera, puesto que no existe una buena accesibilidad a estos lugares, dado principalmente por la presencia de ríos, escasos caminos y la abundante vegetación que las rodea.

Además, es necesario precisar que el levantamiento de los datos también correspondió a la adquisición de otras coberturas vegetales como los bosques, mallín, roca desnuda, cuerpos de agua, etc.

Para la realización de este propósito, se implementó la herramienta GPS (Sistema de Posición Geográfica), las fichas nombradas anteriormente y cámara fotográfica.

Imagen n° 1: Trabajo de campo.



2.3. Tercera etapa

2.3.1. Caracterización de la turbera en relación a su altitud y cobertura del suelo

La información sobre la altitud del área de estudio, fue obtenida mediante el levantamiento de los datos en el terreno, de la cual se extrajo información estadística relevante para el estudio. Estadística que será adjuntada en el anexo del informe.

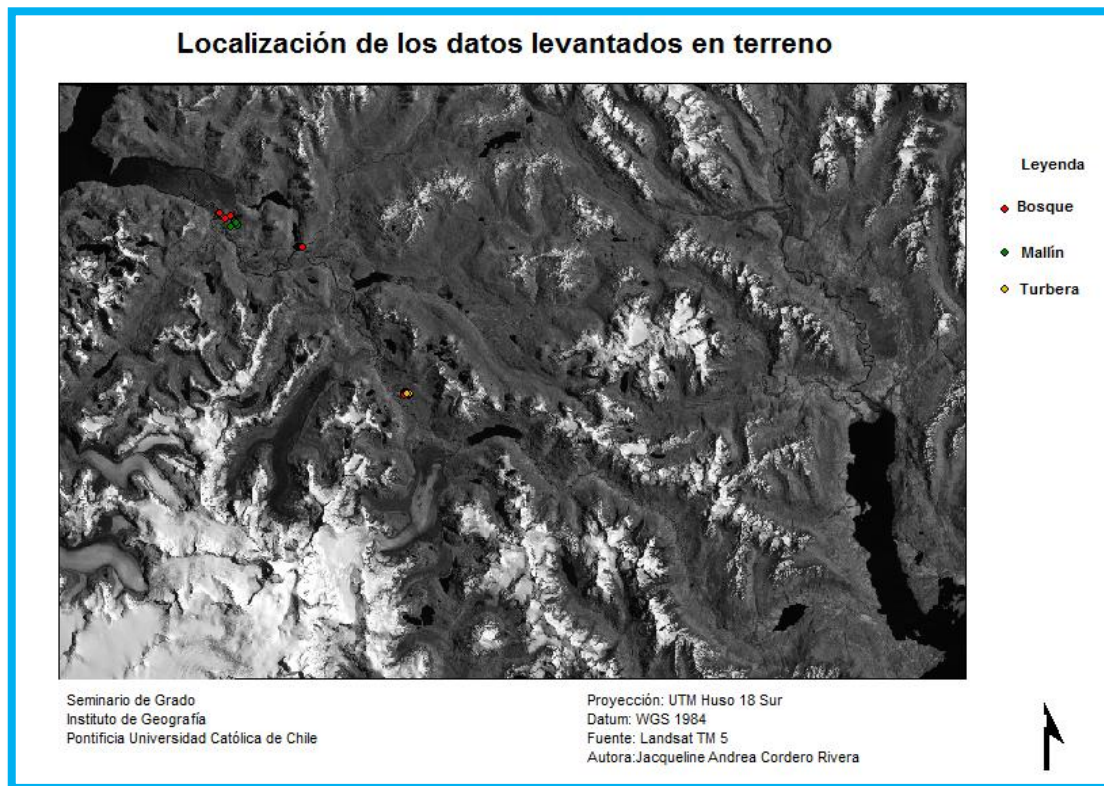
Con respecto a la cobertura de suelo se obtuvo la información con la visita a terreno observando el tipo de vegetación presente en ella, debido a que la presente investigación no es un estudio biogeográfico en detalle; se procedió a identificar las especies de vegetación mas resaltantes hallada en la turbera, para ello se baso en un trabajo de laboratorio en la cual se analizo las fotografías capturadas en el área.

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat 5 TM...

2.3.2. Traspaso de los datos de GPS a *SHAPES*

El primer paso que se procedió a realizar en laboratorio fue traspasar los datos (mallín, bosque y turbera) obtenidos en terreno a una tabla Excel. Dicha información fue llevada al programa **GOOGLE EARTH**, donde se procedió a guardarlos en archivos kmz, para poder posteriormente con el programa **ARCGIS** generar **SHAPES** que contuvieran los datos ya mencionados. Los que por último fueron importado de **SHAPEFILE** a **IDRISI** para ser trabajado con dicho programa.

Imagen n° 2: Localización de los datos levantados en terreno.



10

2.3.3. Corrección radiométrica y atmosférica

Debido a que muchas veces las imágenes presentan líneas o pixeles blancos, causados por diversos motivos entre los que se haya el mal funcionamiento del sistema de detección o bien, por la transmisión o recepción de la energía electromagnética, se hace necesaria la corrección radiométrica, que en esta ocasión no fue necesario realizarla, ya que las imágenes trabajadas no traían el problema mencionado.

En relación a la corrección atmosférica se implementó el modelo chavez's, el que constan en restarles los valores anómalos a cada banda de las imágenes.

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat 5 TM...

2.3.4. Georreferenciación y correcciones geométricas.

Para la georreferenciación de las imágenes, se implementó la herramienta **RESAMPLE** (Farías, et al. 2005), lo que consiste en un proceso de referenciar las imagen dentro de un registro cartográfico; lo que será operado bajo una óptica bidimensional (x,y) con la utilización de la imagen georreferenciada de la banda 4, con lo cual se corregirá las imágenes con un error cuadrático medio (residual), para este caso se fijó menor a 1 píxel, teniendo en cuenta las características de la imagen y sus niveles de precisión (Richardson, 2011).

Cuando se adquirieron las imágenes, éstas no se encontraban corregida geométricamente, por lo cual se aplicara la técnica del 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. Es posible decidir esto por estar vinculado a una zona relativamente llana (humedales) con características de tipo lineal (Richardson, 2011).

La proyección utilizada fue la UTM, centrada en la zona 18 Sur (provincias de Río Ibáñez y Aysén en la Región del mismo nombre), con un elipsoide de referencia WGS 84.

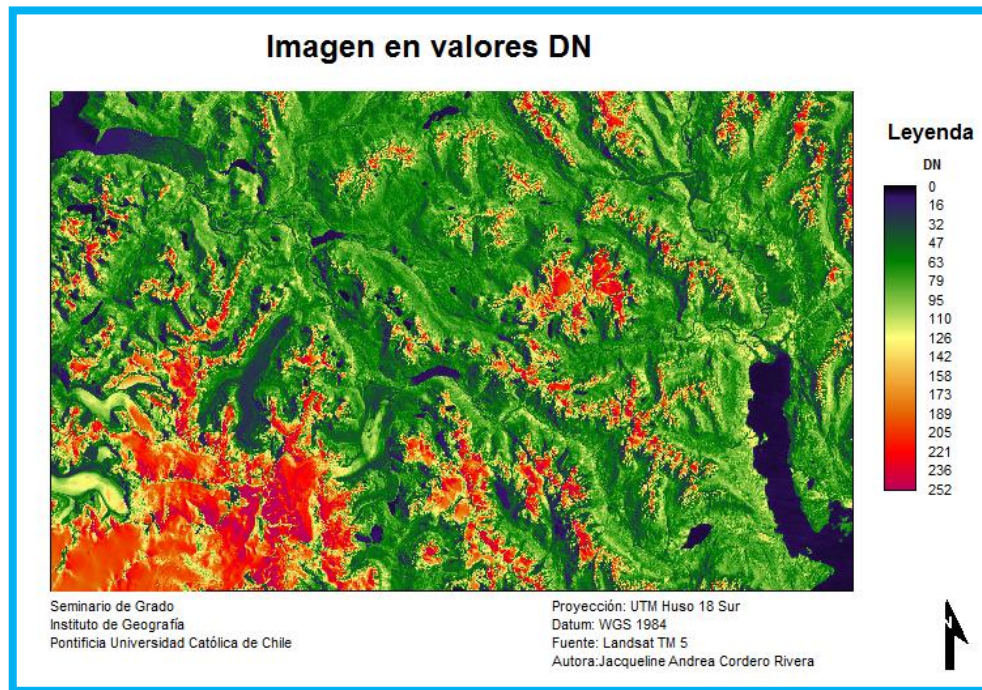
Es necesario precisar que este tratamiento se llevó a cabo a todas las imágenes.

11

2.3.5. Conversión de radiancia y reflectividad

Una vez realizado el paso anterior se procedió a la utilización de dos formula una para pasar de DN (**DIGITAL NUMBER**) a radiancia y posteriormente de radiancia a reflectividad, lo que permite la calibración de datos -“estos datos satelitales son necesario cuando se trata de análisis cuantitativos de las propiedades biofísicas de los elementos de la superficie terrestre e identificar y evaluar los procesos que en ella ocurren mediante la comparación de diferente escenas en estudios temporales (SIB, 2005 : 12)” -, las formulas implementadas fueron las siguientes:

Imagen n° 3: banda 4 (infrarrojo cercano) en valores DN (Digital Number).



Fórmula para la radiancia (Chander & Markhan, 2003)

12

$$L_{\lambda} = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{cal\ max}} \right) Q_{cal} + LMIN_{\lambda}$$

Donde:

L_{λ} : Radiancia espectral captada por el sensor

Q_{cal} : Cuantificación de los valores de pixeles en DN

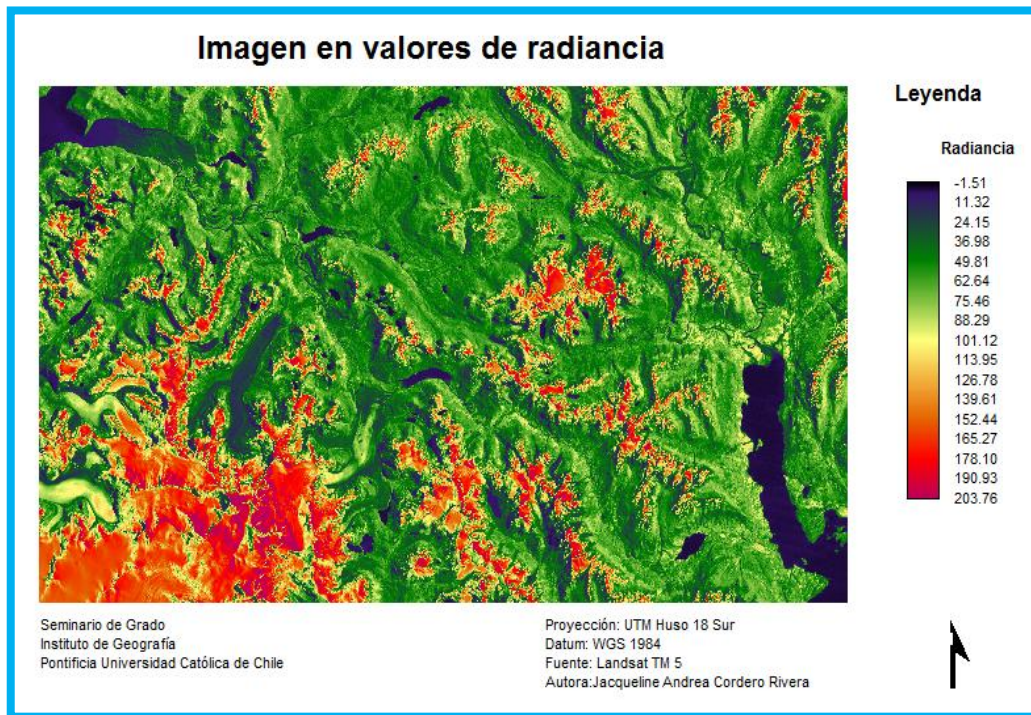
$Q_{cal\ min}$: Cuantificación del valor mínimo del pixel en DN (DN= 0)

$Q_{cal\ max}$: Cuantificación del valor máximo del pixel en DN (DN = 255)

$LMIN_{\lambda}$: Radiancia espectral a escala de $Q_{cal\ min}$ en $W / (m^2 * sr * \mu m)$

$LMAX_{\lambda}$: Radiancia espectral a escala de $Q_{cal\ max}$ en $W / (m^2 * sr * \mu m)$

Imagen n° 4: banda 4 (infrarrojo cercano) en valores de radiancia.



13

Fórmula para la reflectancia (Chander & Markhan, 2003)

$$\rho_P = \frac{\Pi \cdot L_\lambda \cdot d^2}{ESUN_\lambda \cdot \cos \theta_s}$$

Donde:

ρ_P : Reflectancia planetaria sin unidades;

L_λ : Radiancia espectral a la sensor

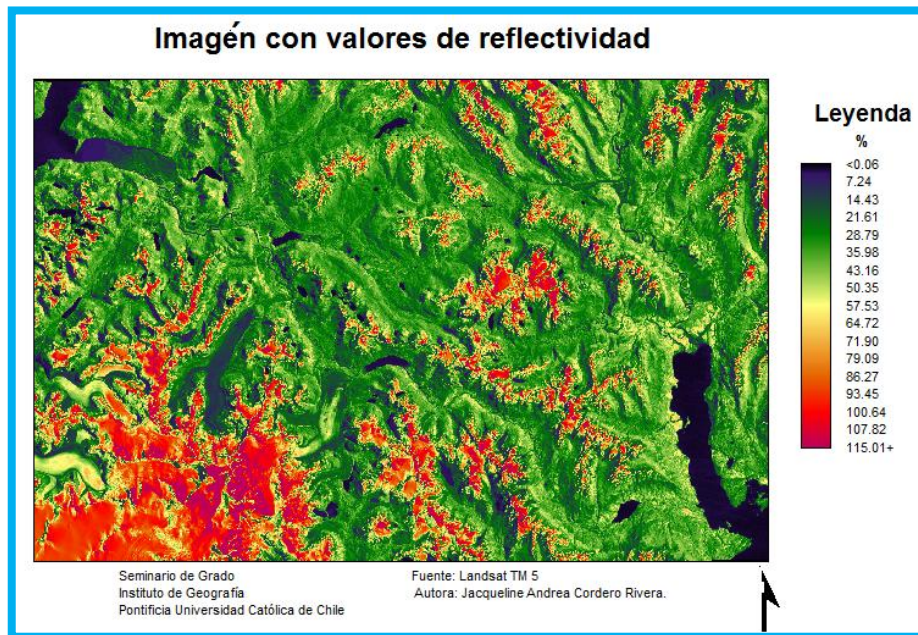
d : Distancia de la tierra al sol en unidades astronómicas

$ESUN_\lambda$: Irradiación exoatmoferica media solar

θ_s : Angulo solar zenit en grados.

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat 5 TM...

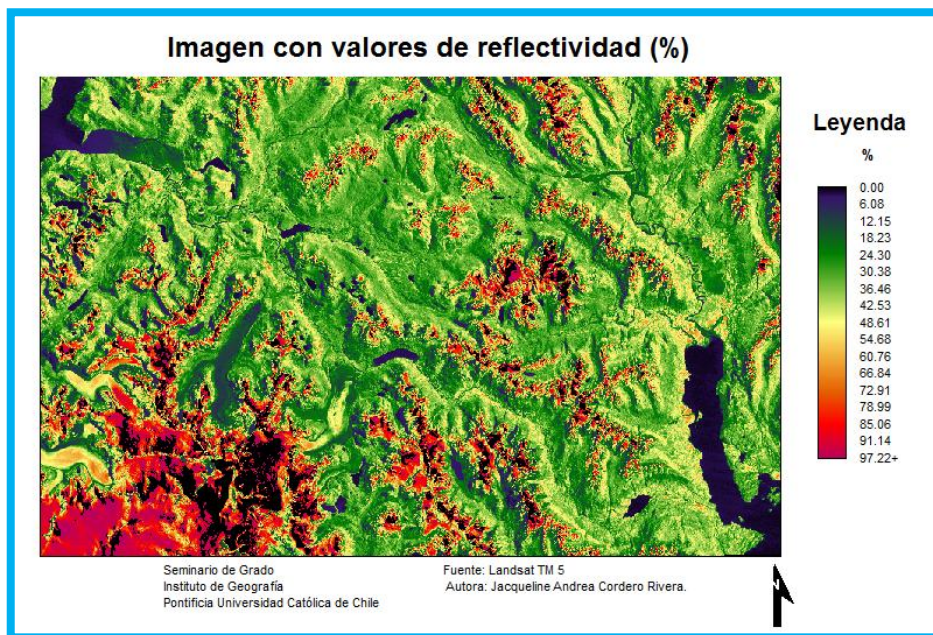
Imagen n° 5: Banda 4 (infrarrojo cercano) en valores de reflectividad.



Como es posible observar en la imagen n°6 los valores obtenidos al transformar de DN a reflectividad existen algunos que son menores a cero y mayores a 100; es por ello que se procedió a reclasificar dicha imagen, de esta manera los valores anómalos se eliminan quedando solos los valores entre el rango 0 – 100; de esta manera poder trabajar como porcentaje

14

Imagen n°6: Imagen en valores de reflectividad reclasificado.



Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat 5 TM...

Tabla n°2: Características técnicas de las imágenes.

Propiedades	Detalle	06-11-1998	09-11-1999	16-12-2001	08-02-2004	11-03-2004
Fecha de imagen	Juliano	311	314	351	39	71
Hora	GTM	14.17	14.11	14.17	14.17	14.17
Satélite		Landsat 5	Landsat 5	Landsat 5	Landsat 5	Landsat 5
Sensor		TM	TM	TM	TM	TM
resolución espacial	Metros	30 x30	30 m x30 m	30 m x30 m	30 m x30 m	30 m x30 m
Angulo de elevación solar	Grado	47.24	47.41	50.93	41.83	33.24
Angulo cenital	Grado	42.76	42.59	39.07	48.17	56.76
Distancia tierra – sol	Grado	0.9892	0.979	0.969	0.971	0.982
Gain	Banda 1	0.60243	0.60243	0.60243	0.762824	0.762824
	Banda 2	1.1751	1.1751	1.1751	1.44251	1.44251
	Banda 3	0.80577	0.80577	0.80577	1.03988	1.03988
	Banda 4	0.81455	0.81455	0.81455	0.872588	0.872588
	Banda 5	0.10808	0.10808	0.10808	0.119882	0.119882
	Banda 7	0.05698	0.05698	0.05698	0.65294	0.65294
Bias	Banda 1	-1.52	-1.52	-1.52	-1.52	-1.52
	Banda 2	-2.84	-2.84	-2.84	-2.84	-2.84
	Banda 3	-1.17	-1.17	-1.17	-1.17	-1.17
	Banda 4	-1.51	-1.51	-1.51	-1.51	-1.51
	Banda 5	-0.37	-0.37	-0.37	-0.37	-0.37
	Banda 7	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15
Irradiancia solar	Banda 1	1957	1957	1957	1957	1957
	Banda 2	1826	1826	1826	1826	1826
	Banda 3	1554	1554	1554	1554	1554
	Banda 4	1036	1036	1036	1036	1036
	Banda 5	215	215	215	215	215
	Banda 7	80.67	80.67	80.67	80.67	80.67

15

2.3.6. Generación de la sub-escena.

Este procedimiento fue necesario realizarlo, debido a que todas las imágenes vienen en escena completa, por ello se procedió a cortarlas para generar una imagen que abarcara solo el área de estudio (interés). Para ello se generó una cobertura vectorial en **ARCGIS** 9.3, en relación al los ríos que cruzan Valle Exploradores en dirección Este – Oeste, con lo cual se generó un buffer, el cual se fue modificando para que cubriera todo el valle, el resultado de ello fue importado al Software **IDRISI**, para generar la sub – escena de la imagen; lo que queda ejemplarizado en la siguiente imagen.

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat 5 TM...

Imagen n° 7: Polígono del área de estudio.

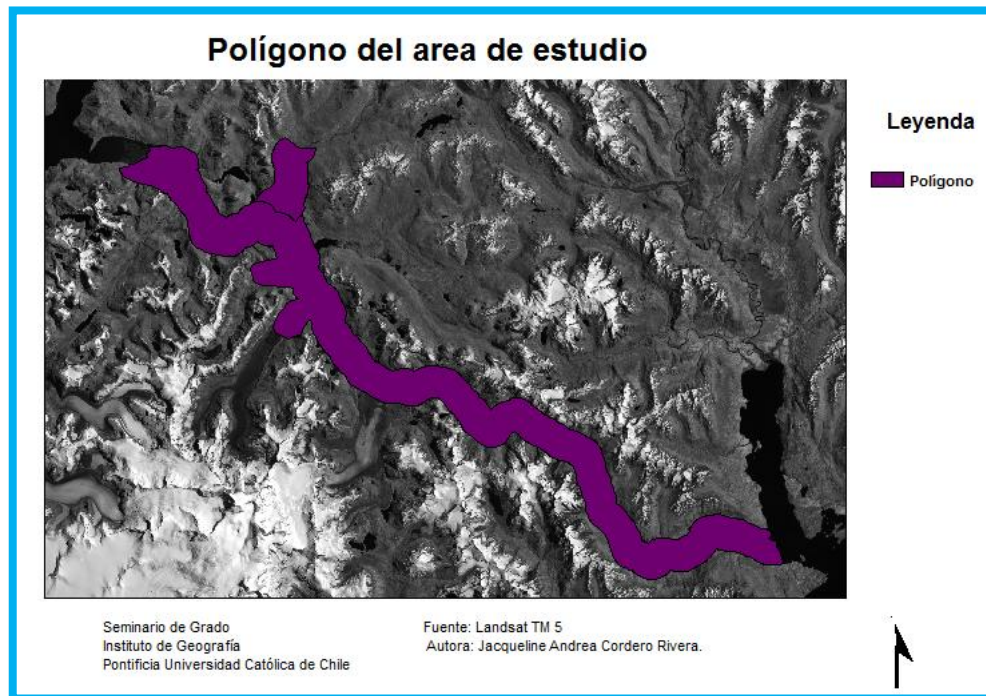
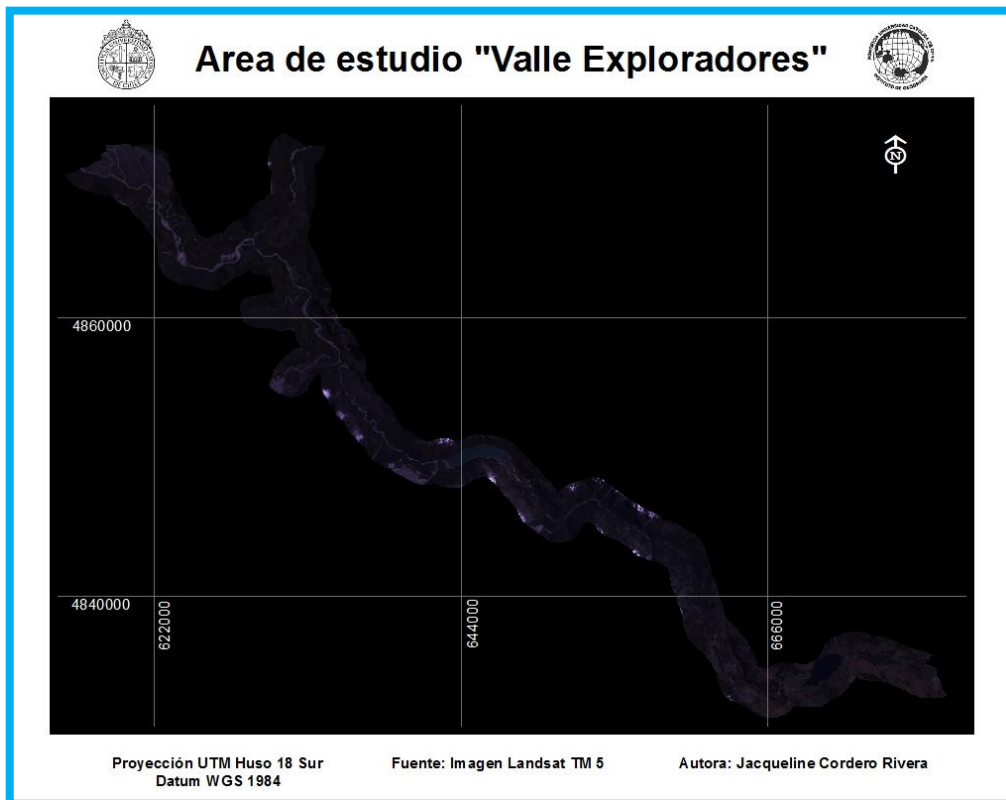


Imagen n° 8: Area de estudio.

16



Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat 5 TM...

2.3.7. Criterios para la delimitación de las turberas.

Para delimitar las turberas, los criterios que se implementaron fueron la vegetación y el agua y el comportamiento espectral de las bandas, por lo que se generaron índices de **NDVI** (Índice diferencial normalizado de vegetación), **NDWI** (Índice diferencial normalizado de agua) - por lo que fue necesario la formulación de algoritmos - y composiciones de bandas (RGB) (MMA & CEA, 2011).

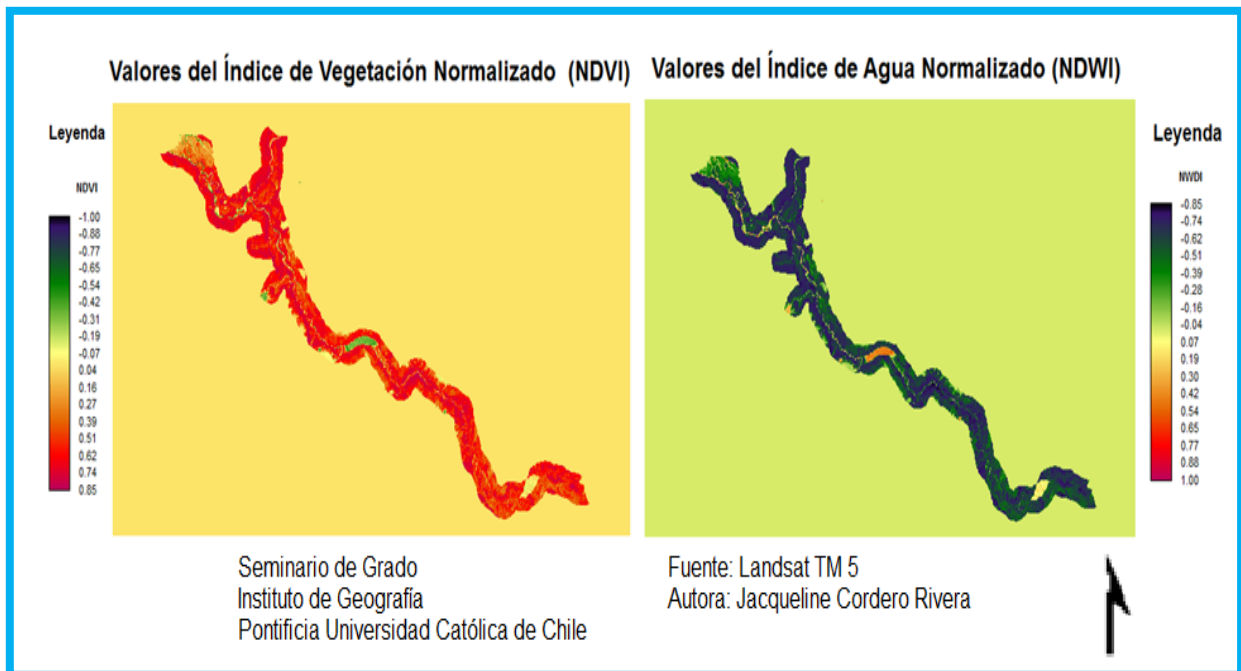
La formulación del algoritmo **NDVI** se realizó al observar la firma espectral de la vegetación, donde presenta su mayor y menor reflectividad, es decir en el infrarrojo cercano y el rojo respectivamente; de igual manera se procedió a realizarse la formulación del algoritmo del agua (**NDWI**); dado porque cada fenómeno o superficie refleja su radiación de acuerdo a distintas longitudes de ondas a que es expuesto, lo que se denomina firma espectral.

2.3.8. Generación de NDVI y NDWI.

Se basó en la implementación de los algoritmos **NDVI** y **NDWI**, ya que la implementación de la fórmula de la diferencia normalizada da a mostrar valores entre 1 y -1; cuando el valor es positivo y próximo al primer número, quiere decir que el fenómeno en esa área se da con fuerza; al contrario si toma los valores menores a 0, es porque la presencia de él es débil, ejemplo de la generación de los índices se presentan las siguientes imágenes:

17

Imagen n° 9: Valores de NDVI y NDWI.

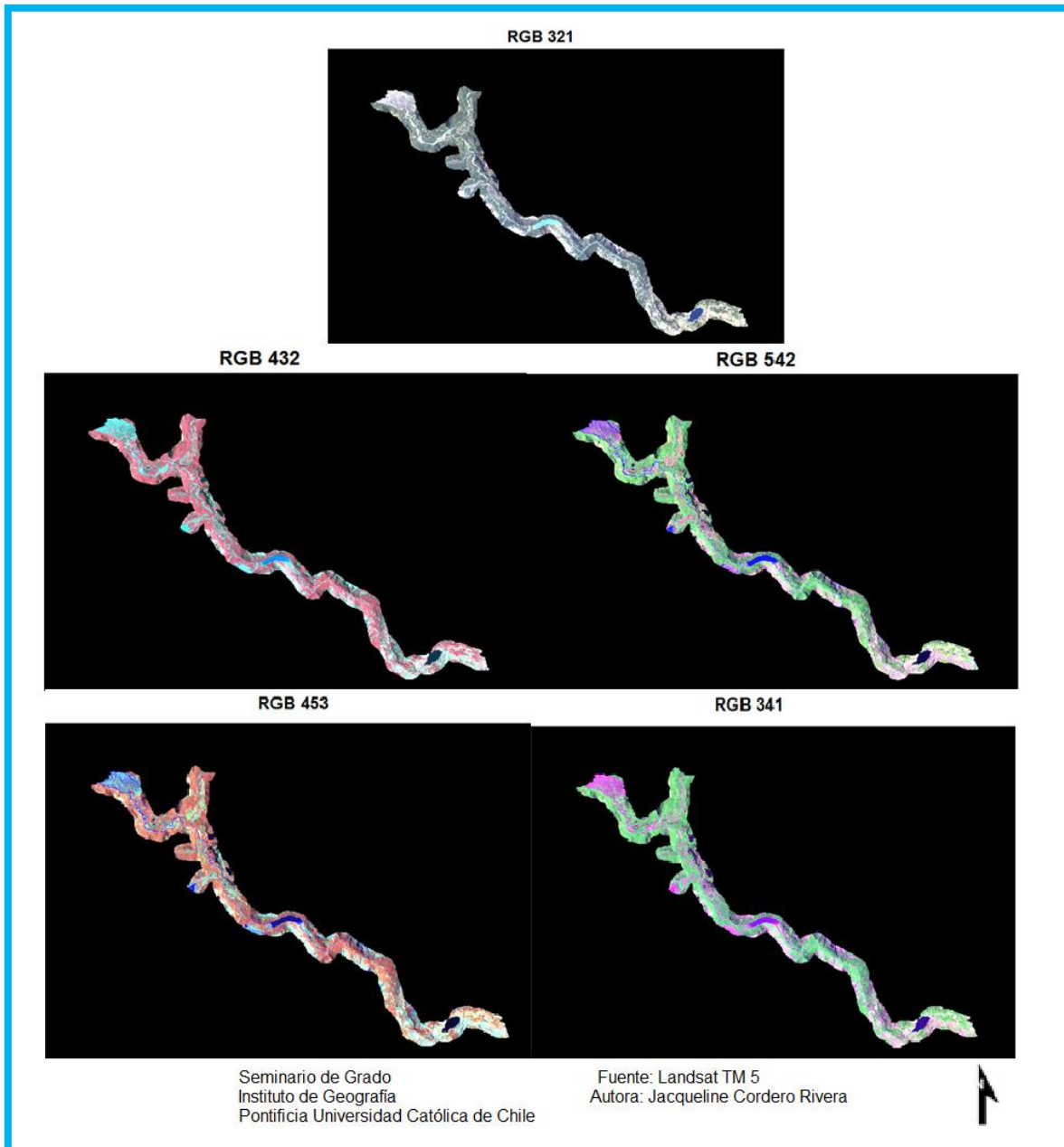


Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat 5 TM...

2.3.9. Composiciones de bandas espectrales.

La composición de bandas espectrales se utilizó para la interpretación visual de las superficies se compuso las siguientes imágenes en orden RGB:

Imagen n° 10 : Composición de bandas.



18

Siendo la tercera y la última de la lista las más utilizada ya que permitió observar diferencias visuales entre los distintos tipos de superficies.

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat 5 TM...

2.3.10. Obtención de los (datos) valores

Una vez obtenido todo lo anterior, se procedió a ingresar en un **RASTER GROUP** las bandas con las que se trabajaron, los **NDVI – NDWI** y las composiciones de bandas que mas acomodaba para la distinción visual, principalmente RGB 453 y 542. En las que se desplegó y se procedió a abrir el **SHAPE** con la información obtenida de la localización de las turberas, bosque y mallín; para extraer los datos de cada una de las áreas que calzaba con la localización de los puntos obtenidos en terreno. Además, también se extrajo la información de otras coberturas de superficie que se hallaron en Valle Exploradores como son cuerpos de agua, nieve, sedimentos, etc. Para ello, se utilizó el comando **EXTRACT** para la adquisición de todos los datos.

Al finalizar, esta parte del proceso se obtuvo los valores máximos, mínimos y la moda de cada superficie y cobertura vegetal (un total de ocho), Por lo tanto, se obtuvo los valores de los **NDVI – NDWI**, las bandas en DN y reflectividad de cada una de ellas.

Tabla n° 3: Áreas utilizada para la clasificación supervisada.

	Superficie
1	Turbera
2	Mallín
3	Bosque
4	Agua
5	Sombra
6	Sedimentos
7	Roca vegetación
8	Otra

19

2.3.11. Análisis y comparación de los valores de NDVI, NDWI y bandas espectrales.

En esta etapa, se basó en el análisis y comparación de los valores de los índices (NDVI y NDWI) y las bandas espectrales, que adquirieron las áreas captadas como turberas, con ello se pretendió concluir si existe o no algún patrón de comportamiento que identifique a cada una de las superficies, es decir, si se observa algún rango (numéricamente) en el cual se manifieste una turbera, bosque, nieve, mallín, sedimento, etc.; tanto para los NDVI y NDWI como en el comportamiento de sus bandas, ayudando esto al momento de distinguir las turberas de otra cobertura de suelo.

2.3.12. Elección de la imagen

Una vez que se tuvo la información de todas las imágenes analizadas correspondientes a 5 fechas, se procedió a elegir la más representativas de ellas siendo la del 16 de diciembre 2001, ya que es la que representaba mejor los valores, encontrarse dentro de una fecha promedio y sin ni una presencia de nube. La cual tomo la función de ser la imagen que se utilizó para la generación de las tres reclasificaciones.

2.3.13. Identificación del comportamiento espectral de las turberas

Para ello se observo el comportamiento espectral que presentaba las áreas perteneciente a las turberas y otras coberturas de suelos, de acuerdo a los valores extraídos tanto en el terreno como las áreas de entrenamiento tomadas para la reclasificación supervisada, ello con el propósito de observar como varia el comportamiento de las turberas al largo del espectro en las regiones visibles e infrarrojos cercanos y medios; además de hacer comparaciones para diferenciar con el resto de las otras superficies

2.3.14. Reclasificación no supervisada

20

Una vez que se realizo todas las actividades anteriores, ya se contó con la información necesaria para identificar de manera adecuada las diferentes superficies; por ello se implementó la técnica de clasificación no supervisada de las imágenes para observar las diferentes superficies que está captando el software, para ello se trabajo con una técnica en especial (**ISOCLUSTER**), para ello las imagines trabajadas fueron realizadas en valores de reflectividad.

2.3.15. Reclasificación supervisada

Después de realizar la reclasificación no supervisada, se procedió a la reclasificación supervisada, al tener un mayor conocimiento del área de estudio, gracias al terreno realizado en el mes de enero a Valle Exploradores, fue posible generar áreas de entrenamiento (a través de la digitalización sobre la imagen), obteniéndose en esta etapa como resultado la generación de una imagen reclasificada, de acuerdo a las 8 superficies que se ingresaron como sitios de entrenamiento.

2.3.16. Reclasificación por mascara

Esta etapa se baso en reclasificar por masacara las bandas, para ello fue necesario trabajar con la información obtenida de cada una de las bandas y de los índices (**NDVI** – **NWDI**). Para ello primeramente se reclasifico el índice NDVI de manera binaria, dejando 1 solo el rango perteneciente a las turberas y todo el resto en cero, como se observa en la siguiente imagen:

Imagen n° 11: Mascara de Valle Exploradores.



21

Luego las áreas generadas adquirieron los valores del índice NWDI y se realizo el mismo procedimiento del índice anterior, las áreas que resultaron aquí adquirieron los valores de la banda 1, generándose nuevamente una máscara en que todo quedo en cero menos las áreas pertenecientes a las turberas. Este procedimiento se repitió hasta la última banda, es decir hasta la número 7, tanto para los valores DN como la reflectividad.

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat 5 TM...

2.3.17. Limpieza de las áreas de turbera

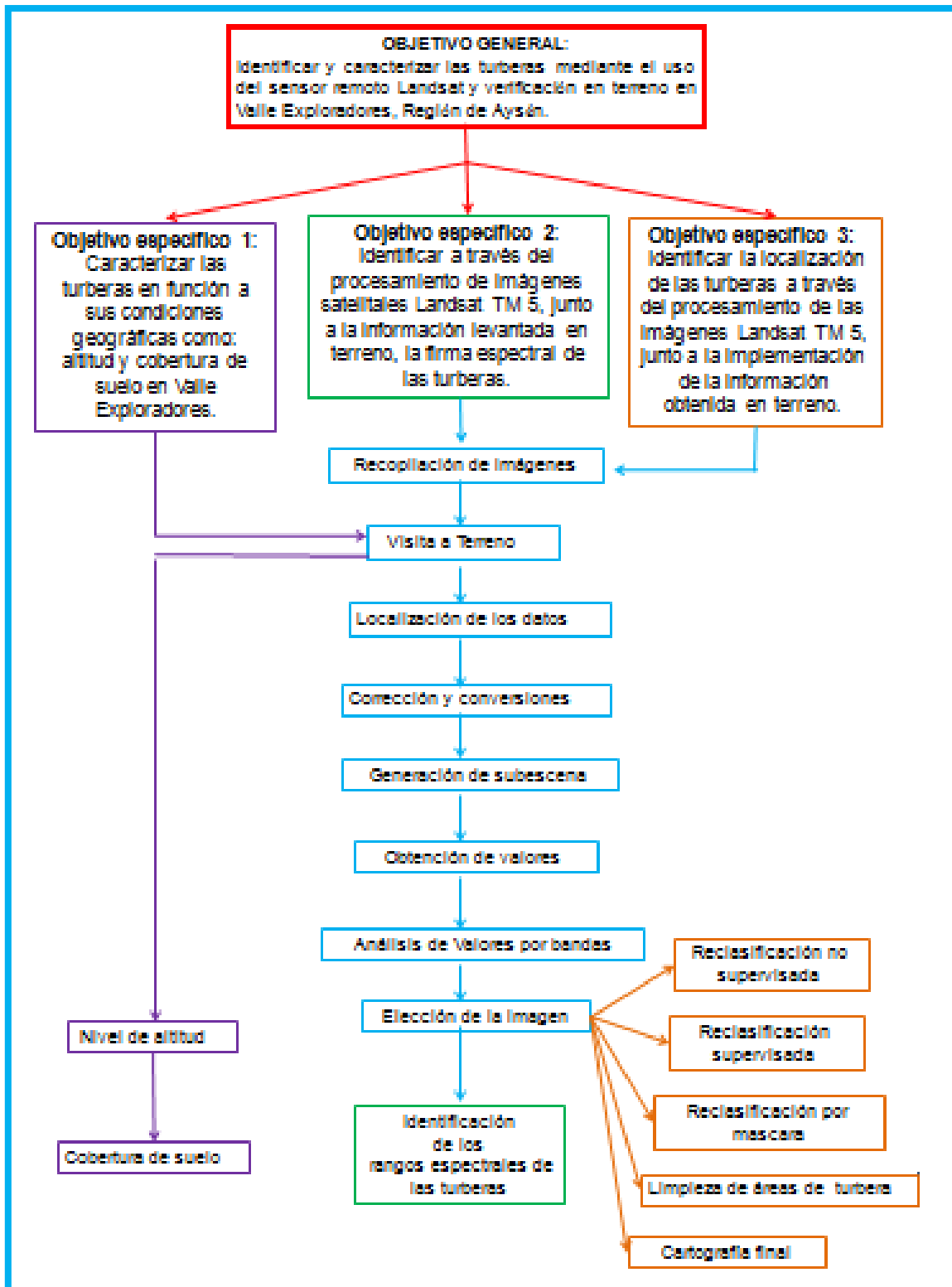
Una vez finalizada los pasos anteriores, se procedió a elegir la reclasificación que arroja de manera más precisa las áreas pertenecientes a turberas, luego esta se procedió a interceptarla con un archivo de pendientes, la cual fue generada a partir de un DEM (modelo de elevación digital), las cuales fueron acotadas a un pendiente menor a 5°, ya que las turberas se sitúan en zonas de baja pendientes. El resultado de lo obtenido aquí sirvió para el paso final, el cual será detallado a continuación.

2.3.18. Cartografía final de distribución de turberas en Valle Exploradores.

Una vez obtenida las áreas pertenecientes a turberas, se procedió a generar una cartografía en que se visualizan todas las superficies detectada por el programa IDRISI Selva. Luego dicha información fue llevada al software Arcgis 9.3, con el cual se procedió a eliminar todas aquellas áreas que quedaron aisladas y poco representativa para la escala que se generara finalmente de 1:50.000.

2.3.19. Resumen de la metodología .

Imagen n° 12: Metodología Completa



Capítulo III

3. Marco Teórico.

3.1. Turberas.

3.1.1. Las turberas.

Las turberas son ecosistemas húmedos con mayor distribución a nivel global, representando más del 50% de los humedales del mundo (Ramsar, 2010), cubren 4 millones de km² de la superficie terrestre, lo que corresponde al 3% de las tierras emergidas del planeta (Joosten & Clarke, 2002). Son grandes reservorios hídricos y de carbono, por lo que estos ecosistemas disponen del 10% del agua dulce mundial, como así también 1/3 del carbono disponible en el suelo (Joosten & Clarke, 2002).

Estos medios son hábitat para la vida silvestre, siendo soporte de la diversidad biológica y especies en riesgo. Además, se encuentran ligada a las actividades sociales, económicas y culturales de las comunidades humanas (Joosten & Clarke, 2002)

Los turbales son sistemas que abarcan niveles locales, regionales e incluso globales ya que cumplen diversas funciones para las personas. Ellos pueden ser considerados como tierras, humedales, depósitos geológicos, cuerpos de agua, hábitat natural y bosques; incluso pueden ser todo ello a la vez (Joosten & Clarke, 2002).

24

El concepto turbera es aplicado a un depósito de turba con un espesor de, al menos, 30 cm (Hauser, 1996); este material se forma por la acumulación de los tejidos de plantas que crecen sobre los restos de otras ya descompuestas; formando así una serie de estratos vegetales muertos que se acumulan con el paso del tiempo formando el material, llamado turba el cual puede alcanzar varios metros de alto (de Miguel, 2006) y una capa superficial biológicamente activo, conformado por asociaciones de especies, entre la que predomina las briofitas con gran capacidad de retener agua, en especial el género *Sphagnum*, el cual forma ambientes pobre en nutrientes (baja concentración de nitrógeno), ácido, anóxico y frío (Van Breemen, 1995). Esto ayuda a prevenir la presencia de hongos y bacterias, las que de otra forma descompondrían el material muerto (Díaz et al, 2005).

El paisaje original comienza habitualmente como una lámina abierta de agua que progresa paulatinamente a una zona pantanosa y posteriormente, se transforma en turbera con la acumulación de materia orgánica en lenta descomposición. Esas diferentes etapas se pueden percibir como más o menos estables en términos humanos, pero realmente la evolución es continua vista en términos geológicos (de Miguel, 2006).

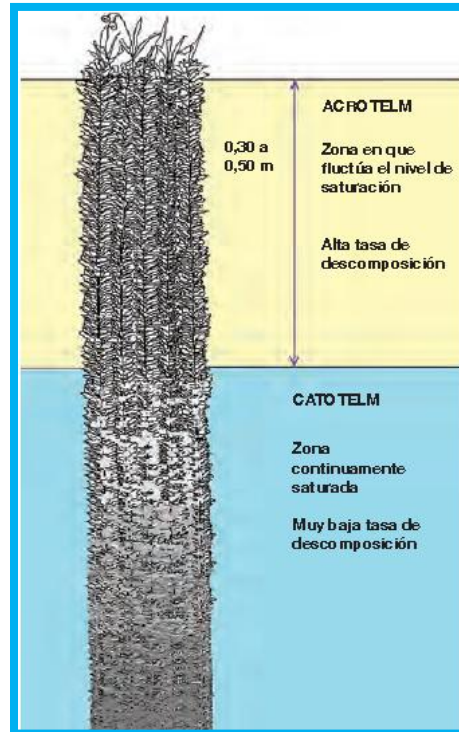
Imagen n° 13: Turbera de musgo *Sphagnum magellanicum* en Tierra del Fuego Argentina.



25

. Fotógrafo: Hans Joosten, marzo 2000.

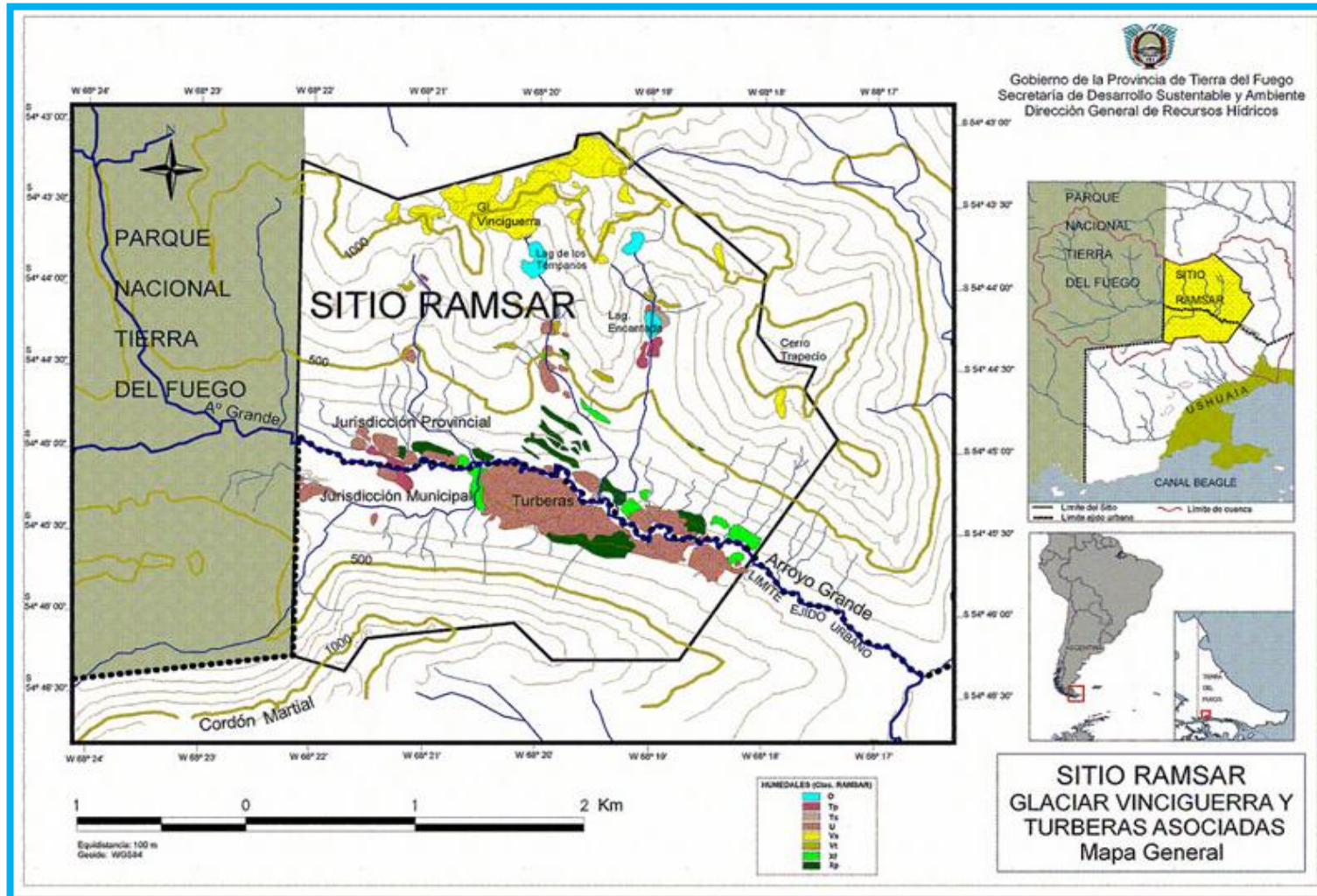
En la estructura de las Turberas son reconocibles dos horizontes, denominados en inglés **ACROTELM** y **CATOTELM** (Ingram ,1978; Ivanov, 1981). El primero, es un nivel superficial con espesor de 30 a 50 cm, correspondiente a la zona donde varía el nivel de saturación; con presencia de aire en los poros, alberga importante actividad microbiana. El segundo, siempre saturado, mantiene condiciones anaeróbicas y bajísima permeabilidad (Iturraspe, 2010). Las propiedades hidrológicas y el comportamiento ante el ciclo de carbono varían notablemente en cada uno. Esta estructura denominada “diplotélmica”, es evidente en las turberas elevadas ombrogénicas y menos definidas en las geogénicas.

Imagen n° 14: Estructura de una turbera diplotérmica.

Fuente: Iturraspe, 2010.

Ahora bien, con respecto a la localización de las turberas, se suelen desarrollar en ambientes en que predominaron los hielos en épocas pasadas, es decir ambientes periglaciares (donde se haya depósitos de morrenas y lagunas de origen glaciario), específicamente en los fondos de los valles en zonas planas (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2009). Con respecto a la precipitaciones están juegan un papel primordial en el aporte hídrico de estos ecosistemas, como es el caso de Valle Exploradores en la Región de Aysén, donde llueve entre 2000 a 4000 mm anuales -elemento con gran importancia de tener en consideración ya que esto limita la utilización de imágenes satelitales, solo a aquellas fechas en que existe poca presencia de nubes y ausencia de precipitaciones de 3 días mínimos- (Silva Lira, 2009). La turberas no solo reciben a porte de agua de las precipitaciones, también están aquellas que se alimentan de los caudales máximos mensuales, meses que coinciden con la época de las crecidas máximas anuales, ejemplo de ello son las turberas de la provincia de Tierra del Fuego en Argentina las que están asociadas al glaciar Vinciguerra, la que se localizan al sur del Arroyo Grande que se encuentran dentro del tejido urbano de la ciudad de Ushuaia, lugar en que sus precipitaciones no superan los 300 mm anuales (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2009).

Carta n°1: Sitio Ramsar Glaciar y Turberas Asociadas (Mapa General)



Fuente: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (Argentina), 2009

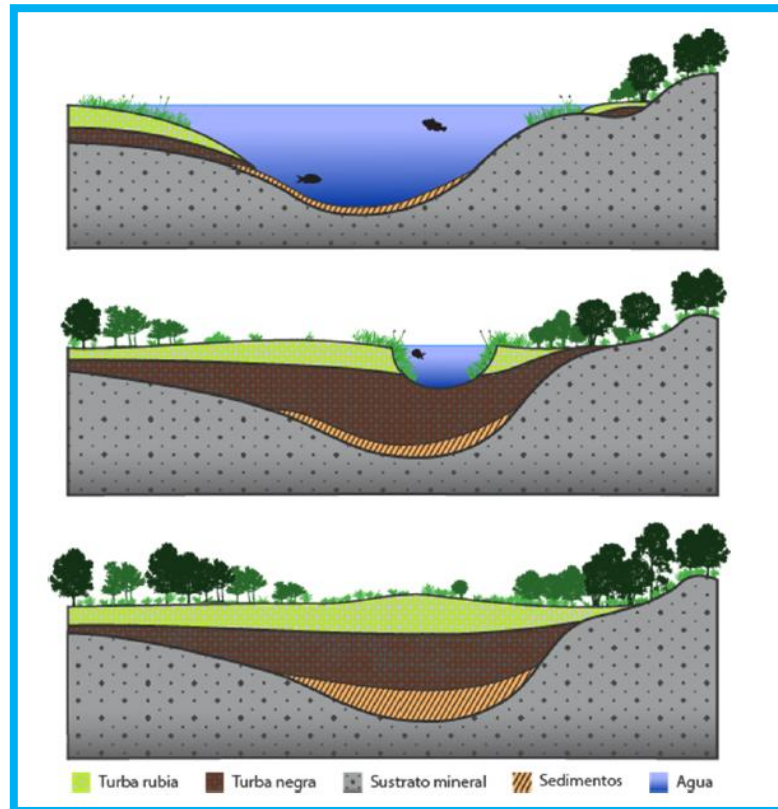
Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

3.1.2. Formación de las turberas.

Las turberas típicas son las que se forman a partir del musgo *Sphagnum*, lo cual es un proceso muy largo que suele remontarse a las últimas glaciaciones, hace aproximadamente 10.000 años (de Miguel, 2006).

Los glaciares formaron un paisaje caracterizado por numerosas depresiones, las que fueron rellenadas por el hielo y/o material sedimentario (Porter, 1981). El descenso de la actividad glacial, hace unos 13.000 años, hizo que se formaran numerosos humedales y lagunas someras (Tapia, 2008), que con el paso del tiempo fueron colonizadas por el musgo *Sphagnum* (Díaz et al., 2005). Como se observan en la imagen adjunta a continuación:

Imagen n° 15: Formación de una turbera natural.

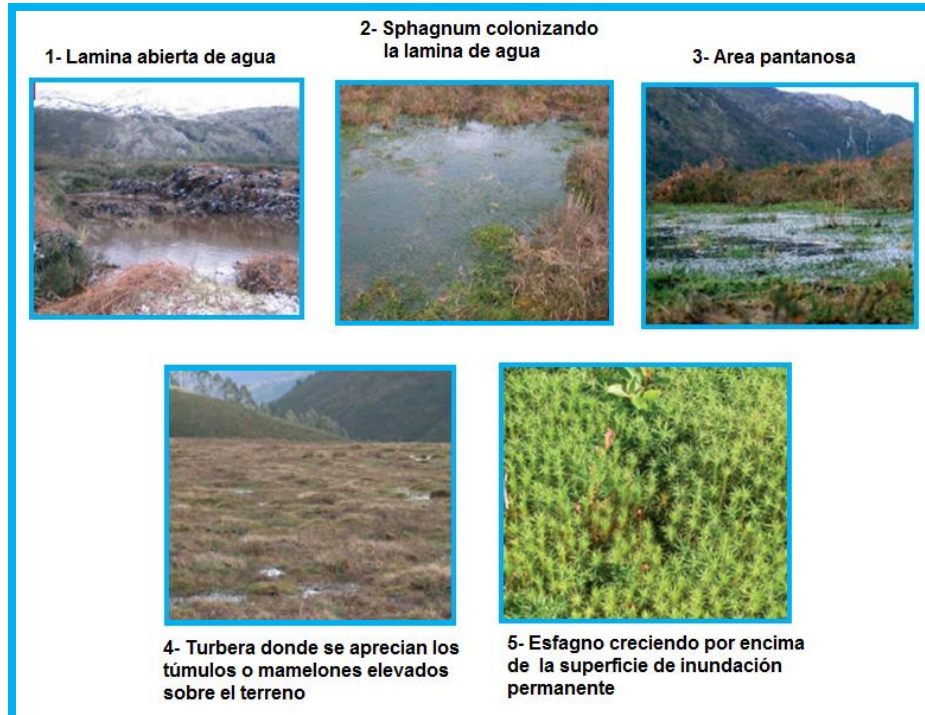


(Valdebenito, 2012).

En la imagen anterior, se observa la formación de una turbera natural, donde se aprecia que los musgos *Sphagnum* colonizan los bordes de la laguna hasta llegar al centro dando origen a una matriz orgánica (turba) sobre la cual, a lo largo del tiempo es posible la colonización de otros tipos vegetacionales como los matorrales y bosques (Schofield, 1985). Según de Miguel (2006) el proceso de formación se basa en 5 pasos, los que son:

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

Imagen n° 16: etapa de formación de una turbera.



Fuente: de Miguel, 2006.

La Localización, formación y desarrollo de turberas en Chile, se hayan a partir de la octava región, específicamente en la Cordillera Pelada, en la Provincia de Valdivia; siendo esta el sector más norte donde se pueden encontrar. Es a partir de aquí hacia el sur que aparecen estos ecosistemas hasta la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena, en la península de Brunswish (*Blanco y Balze, 2004*); es necesario mencionar que a medida que se avanza hacia el sur aumenta la presencia de ellas. Como es posible visualizar en la carta de “Ocurrecia de turberas y turbales” que está un poco más abajo. De donde se puede desprender que el área de estudio, Valle Exploradores, tiene una presencia abundante de turberas, ya que está localizada en la Undécima Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.

“Aun cuando abarcan una gran extensión de terreno en el país, las turberas chilenas son ambientes desconocidos. El Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile (CONAF *et al.*, 1999), cifra en 44.980,61 Km² de humedales, que representan el 5,9% de la superficie total del país; incluyendo a marismas herbáceas, ñadis herbáceos y arbustivos, turberas y vegas. El reciente inventario nacional de humedales arrojó una superficie de 19.861,67 km² de humedales (MMA & CEA, 2011). Desafortunadamente, en estos trabajos no se detalla la extensión de cada uno de los tipos de humedales que mencionan. Joosten & Clarke (2002) estiman para Chile alrededor de 10.500 Km² de turbales (**PEATLANDS**), lamentablemente es una estima sesgada debido a la poca claridad en la definición de turbales (**PEATLANDS**) y turberas (**MIRES**), y al desconocimiento que se tiene en general (*Valdebenito, 2012: p.9*)”.

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

Carta n° 2: Carta de ocurrencia de turberas y turbales.



3.1.3. Ambientes geográficos favorables al desarrollo de turberas en Chile.

El territorio ubicado en el extremo sur del continente sudamericano, aproximadamente a partir de 42° Sur, conocido como Patagonia, en virtud de sus características geomorfológicas, climáticas, vegetacionales e historia geológica, presenta condiciones comunes a aquellos sectores donde en otros continentes, los depósitos de turba alcanzan gran desarrollo, comprobando el control latitudinal de sus yacimientos: regiones circundantes al Polo Norte en Canadá, Estados Unidos, Países Escandinavos (Suecia, Finlandia, Noruega), norte de Europa (Alemania, Dinamarca), Países de la Comunidad Británica (Irlanda, Escocia y Gales), norte de Rusia y Siberia (*Hauser, 1996*).

La historia geológica cuaternaria, referida muy especialmente a los procesos climáticos y modeladores ocurridos a partir del Holoceno, ultimo 10.000 a 12.000 años, resultaron determinantes para favorecer el desarrollo de importantes depósitos de turbas en Chile (*Hauser, 1996*).

Los severos cambios climáticos ocurridos a nivel global a partir del término del Terciario superior, 1,8 – 2,0 millones de años atrás, determinaron el inicio de un activo ciclo glacial. Como resultado de esta actividad, gran parte de la zona patagónica fue cubierta por extensos casquetes glaciales, con máximo desarrollo de elevados relieves cordilleranos localizados en torno al margen del pacífico, integrados, principalmente, por rocas graníticas y metamórficas (imagen 5). Mediante voluminosas lenguas y lóbulos del tipo piedemontano, de acuerdo a trayectorias preferenciales oeste - este, las voluminosas masas de hielo descendieron hacia las zonas llanas vecinas al borde atlántico (*Hauser, 1996*).

Ciertos autores como Mercer y Heusser en 1970 y 1960 respectivamente, establecieron que en la zona patagónica, el ultimo gran avance glacial se registrado hacia los 4.000 4.500 años atrás.

En numerosos sectores de nuestra actuales XI y XII Regiones, aun persisten importantes remanentes de esos primitivos campos de nieve: Campo de hielo Patagónico Norte 4.200 km², Campo de Hielo Patagónico Sur, 13.000 km² (*Naruse & Aniya, 1992*) y cordillera de Darwin (*Hauer, 1996*).

Una vez concluido el avance de los glaciares, estos experimentaron un activo retroceso, desglaciación, a partir de aproximadamente 3.800 - 4.000 años atrás, instante en que la turba maga laica habría comenzado a formarse (*Mercer, 1970*). Como consecuencia de lo anterior, la topografía glacial preexistente fue devastada y remodelada por actividad erosiva fluvial y fluvio – glacial. El producto topográfico de esta actividad, generó un modelado llano, con abundantes lomas y zonas de depresión, donde los rasgos sobresalientes corresponden a remanentes rocosos que resistieron los efectos abrasivos

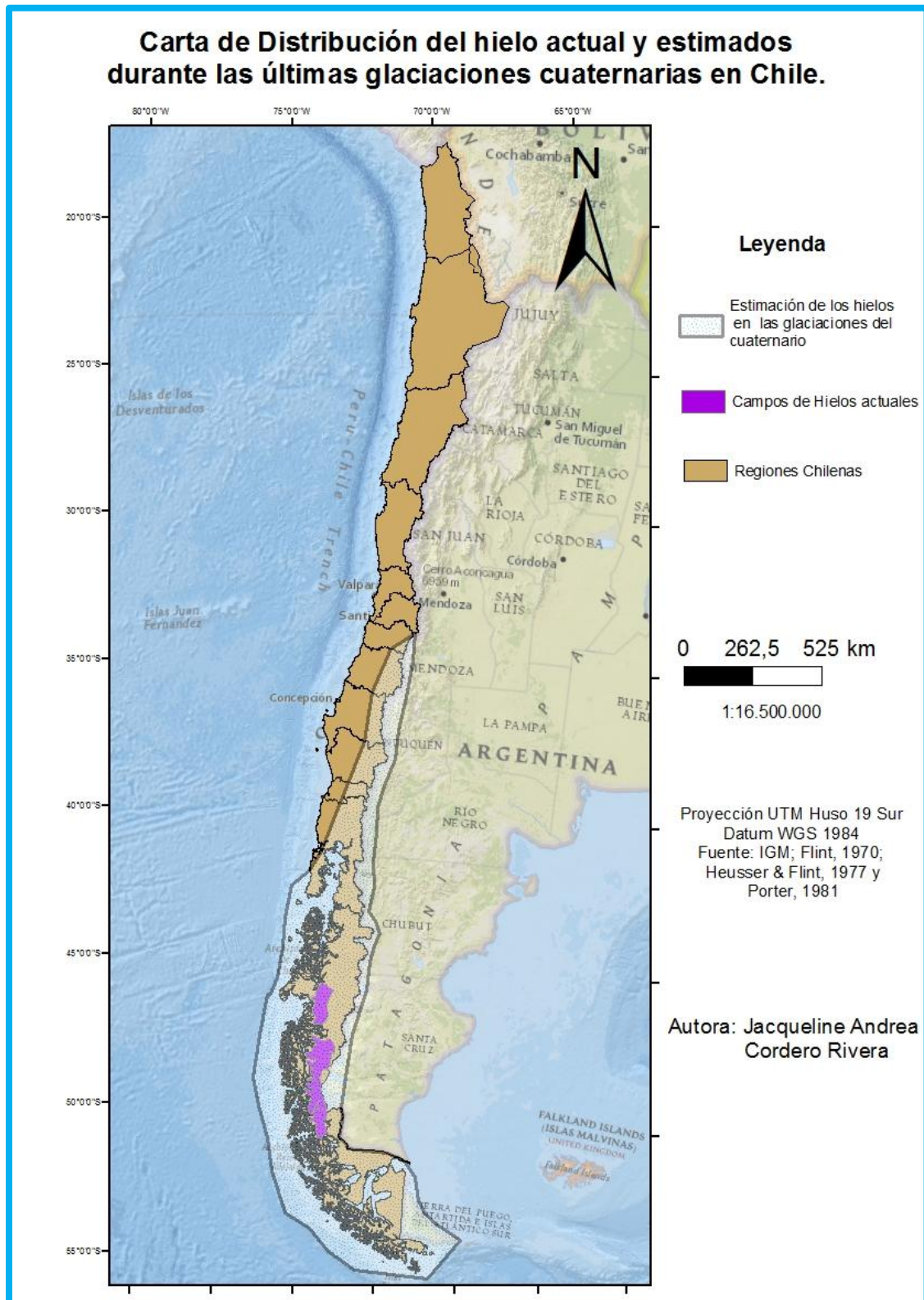
Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

del avance glacial (*Hauer, 1996*). Con el tiempo, las zonas de depresiones alimentadas por sinuosos canales (producto de flujos lineales del hielo) con aguas pluviales o del derretimiento de nieve o hielos, originadas en zonas altas circundantes, dieron lugar a abundantes lagunas y lagos (*Hauser, 1996*).

En ciertos sectores, la presencia de sedimentos finos impermeables, arcillas y limos, limitan la percolación de las aguas y restringen el drenaje superficial, condicionaron el desarrollo de pequeñas cuencas endorreicas. En estas depresiones, especiales condiciones climáticas favorecieron el dominio de comunidades vegetales esteparias, musgo del género *Sphagnum* (*fuscum* y *magellanica*), en ambientes anaerobios, determinaron el desarrollo de importantes acumulaciones de materia orgánica, con posterioridad, evolucionaron a extensos y voluminosos turbales (*Hauser, 1996*).

Lo anterior se relaciona con el Valle Exploradores, puesto que el área se localiza en las cercanías del campo de hielo Norte, por lo tanto este sector tuvo y ha tenido gran influencia de los hielos en el cuaternario como en su retroceso; influyendo en la configuración del terreno, lo que se visualiza en la forma de u del valle, como también los valles colgantes, los registros de material morrenicos, lagunas glaciales, etc. Generándose un ambiente propicio para las turberas (zonas planas y acumulación de agua). Es por ello que surge la inquietud de saber donde se hayan distribuidas a lo largo del área de estudio, las características de cada una de ellas y las que comparten; debido al poco conocimiento que se tienen de ellas.

Carta n° 3: Distribución del hielo actual y estimado durante las últimas glaciaciones Cuaternarias, en la zona austral Chilena.



3.1.4. Características del suelo.

Según la naturaleza de los suelos sobre los que se asientan, las turberas presentan también notables diferencias. Así, las turberas que se forman sobre suelos de naturaleza silíceas, como cuarcitas, areniscas o pizarras, presentan como elemento limitante para su crecimiento la escasez de nutrientes que aportan. Suelen ser más pobres en especies vegetales que las turberas que se desarrollan sobre suelos más ricos (*Iturraspe, 2010*).

Las turberas en Chile se dan en suelos que permanecen anegados todo el año, especialmente en la zona sur del país, los que han sido catalogados de suelos ñadis (Tapia, 2008) como nombre generalizado, lo que es el reflejo de la poca claridad que se tiene en los estudios de humedales, poniendo dentro de la misma categoría a las turberas, ñadis y mallines. Estos suelos son derivados de cenizas volcánicas sedimentadas sobre arenas y/o gravas, en superficies planas o casi planas del valle central en el sur de Chile (Tapia, 2008).

3.1.5. Composición florística.

34

Las turberas son formaciones vegetales que corresponden a pantanos de climas fríos, con una napa freática muy alta y dificultades en el drenaje (*Willmanns, 1989*). La cubierta vegetal de las turberas es continua y presentan una cantidad variables de especies leñosas que sobresalen aisladamente de la cubierta herbácea (*Villagra et al., 2009*).

La especie más abundante en las turberas es el *Sphagnum*, lo que les confiere un aspecto de pantano turboso (*Schlatter & Schlatter, 2004*). En la asociación vegetal *Sphagnum magellanicum* (*Pisano, 1977*), se han identificado 47 especies, con abundante presencia de *Nothogagus antarctica*, que suele alcanzar hasta los seis metros de alto. La especie más extendida en Chile es *Sphagnum magellanicum*, formando cojines blandos como montículos, donde se hunden los pies. Además son importantes *Baccharis magellanica*, *Chusquea nigricans*, *Blechnum penna-marina* y *Myrteola nummularia*. Es común encontrar Ciprés enano (*Lepidothamnus fonckii*) (*San Martín et al., 2004; Ramírez & San Martín, 2005*), coigüe (*Nothophagus betuloides*), ñirre (*N. antártica*) y lenga (*N. pumilio*). Esta variedad vegetal está controlada, de lugar en lugar, por el clima, altura sobre el nivel del mar y naturaleza del subsuelo. Los páramos boscosos del sur de la isla de Tierra del Fuego, favorecen el desarrollo de musgos hidrófilos, debido a que allí el terreno es más húmedo que en los parajes abiertos (*Hauer, 1996*).

3.1.6. Estado de conservación de las turberas.

En nuestro país al igual que en muchos países del hemisferio norte, existen extensos depósitos de turba, los cuales alcanzan el mayor desarrollo en las Regiones de Aysén (XI) y Magallanes (XII), donde prevalecen las características naturales para su asentamiento (*Hauser, 1996*).

En el informe “Examen global de los recursos de los humedales y prioridades de los inventarios de los humedales”, se define a las turberas como un tipo de humedal prioritario y se señala, en particular, que se encuentran amenazadas por el drenaje destinado a generar más tierras para la agricultura y la forestación en Europa, Asia y América del Norte, a pesar de su importancia como sumidero mundial de carbono y como recurso económico (*RAMSAR, 2004*). Lo que toma mayor relevancia debido a la pérdida de estos ecosistemas, como se observa en el recuadro adjunto a continuación:

Tabla n° 4: Extensión de humedales en zonas no tropicales del mundo y pérdida por actividad humana.

	Extensión de pantanos y turberas	Extensión de pérdida de Áreas húmedas	
	000 km ²	000 km ²	%
Europa	617	322	52
Asia	1070	90	8
África	10	5	50
Norte América	1415	65	5
Sur América	25	5	20
Australia	--	--	-
Antártica	--	--	-
Total	> 3137	>487	16

Fuente: Joosten & Clarke, 2002.

La degradación y explotación comercial de las turberas es un fenómeno que abarca a todos los continentes, como es posible desprenderlo del recuadro adjunto anteriormente, donde el 52% de los ecosistemas húmedos se han perdido, así como el 50% de África (*Joosten & Clarke, 2002*). Sin embargo, estos datos han aumentado con el paso de tiempo; ya que estos registros corresponden a 10 años atrás.

Entre algunas malas prácticas a las que son expuestas las turberas en Canadá, ellas pueden ser inundadas para almacenar aguas mientras que se construyen embalses, son

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

drenada para la agricultura y silvicultura, son socavadas para la extracción de turba, o simplemente desaparecen bajo el desarrollo industrial y urbano (*Rocherfort, 2000*).

En nuestro país con el propósito de avanzar en el ámbito de conservación y protección de los humedales en el año 2011, se llevó a cabo el informe final del “Diseño del inventario nacional de humedales y el seguimiento ambiental”. Con respecto a ello, la conservación de los humedales debe ser abordada en términos de funcionalidad de los ecosistemas, la cual da por resultado un amplio rango de valores incluyendo la recarga y descarga de las aguas subterráneas, interrupción del flujo por inundación, estabilización de sedimentos, calidad del agua, etc. (*Maltby, 1991*).

3.1.7. Explotación de las turberas.

La explotación de las turberas en la actualidad se desarrolla de manera completa, puesto que se realizan actividades extractiva tanto de turba como la cosecha del musgo *Sphagnum* vivo, constituyen actividades extractivas cuyo grado de perturbación en el ambiente difieren entre sí. La primera tiene por objetivo extraer la turba, es decir, la materia orgánica semi-descompuesta que forma los estratos inferiores de las turberas (catotelmo) y la segunda tiene como fin cosechar sólo las partes vivas del musgo, que en general se ubican en los primeros 50 cm de la turbera (acrotelmo) (*Tapia, 2008*).

36

3.1.7.1. Explotación de turba.

Dado que el recurso turba se considera mineral no metálico, los estudios para su explotación son dirigidos principalmente por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). Esta institución se encarga de recabar información respecto a la localización, propiedades físico-químicas, espesores explotables, evaluación preliminar de reservas y modalidades de explotación del recurso turba en la Isla de Chiloé. Ésta debe pasar por las siguientes normas: 1) otorgamiento de una concesión de exploración (manifestación) y 2) explotación con mensura y pago permanente de patente minera, por tanto distinta e independiente del dominio del terreno superficial (*Valenzuela – Roja & Schlatter, 2004*).

Los planes de utilización de la turba surgen como una alternativa propuesta por los organismos del Estado para obtener un valor productivo de suelos poco provechosos desde el punto de vista agrícola - ganadero (*Valenzuela – Roja & Schlatter, 2004*).

Se estima que el conocimiento de nuevos usos para la turba, la correcta evaluación del potencial y reservas de este recurso en la zona, unido a la incorporación de modernas técnicas de extracción, secado, envasado y transporte, generarían en el mediano plazo un

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

gradual y sostenido incremento en el interés por desarrollar nuevas explotaciones del recurso turba (*Valenzuela – Roja & Schlatter, 2004*).

Las principales limitaciones que restringen la explotación y comercialización de la turba tienen relación con la extensión de los depósitos y mayoritariamente con el desconocimiento de sus propiedades, muy particularmente en lo que se refiere a sus características físico-químicas y a su capacidad como fertilizante orgánico y sustrato de cultivo (*Crignola y Ordóñez 2002*).

Ahora bien, para que una turbera sea atractiva comercialmente para la explotación de su turba en Chile, debe cumplir con los siguientes factores (*Hauser, 1996*):

- a. La calidad de producto debe satisfacer la demanda de mercado: composición, textura, grado de humidificación, pH.
- b. La extensión del yacimiento debe garantizar su desarrollo. Normalmente, se requiere de superficies mínimas cercanas a las 50 hectáreas.
- c. La turbera explotable debe tener espesores mínimos de 1,5 a 2,0 m.
- d. El terreno objeto de explotación debe permitir el diseño y construcción de eficientes obras de drenaje.
- e. El yacimiento debe localizarse próximo a adecuadas obras de infraestructura vial y escasa cobertura de arboles; debe disponer de energía eléctrica y facilidades para la contratación de mano de obra.
- f. Condición climática compatible con la posibilidad de realizar el secado natural de la turba, lo que hace referencia a días con ausencia de precipitación.

37

Imagen n° 17: Turba.



Imagen n° 18: Explotación de Turba.

3.1.7.2. Explotación del musgo vivo.

Poco es lo que se sabe sobre los efectos ecológicos de la cosecha del musgo, si se cosechara todo, la regeneración de *Sphagnum* es baja y a veces nula, permitiendo la colonización de otras especies tales como arbustos y/o pastos (Whigham & Buxton, 1997). En un estudio efectuado en Nueva Zelanda, se encontró que la biomasa de *Sphagnum* era menor en sitios donde se ha cosechado el musgo en comparación con los sitios no cosechados o prístinos (Buxton et al., 1996). Después de la cosecha de *Sphagnum*, se ha observado que el nivel freático queda expuesto (en la superficie de la turbera) y se postula que la posición del nivel freático después de la cosecha, es un factor limitante en la regeneración de *Sphagnum* (Buxton et al., 1996). Además, encontraron que el impacto de la cosecha de *Sphagnum* sobre la regeneración vegetal (estimada a través del número de plántulas), fue muy pequeño (Buxton et al. 1996).

En el año 2004 en la Isla de Chiloé, se exportaba 25.000 kilos secos de *Sphagnum* por mes a Japón, EE.UU. y Francia, agregándose últimamente Costa Rica. El material que se extrae corresponde al musgo *Sphagnum* ubicado en las capas superficiales de la turbera (Valenzuela – Roja & Schlatter, 2004). Los sitios de extracción se extienden mayoritariamente desde el norte de la isla hasta la comuna de Dalcahue, permaneciendo intacta la zona de mayor concentración del recurso, la comuna de Quellón. Sin embargo en este sector se han vendido decenas de cientos de hectáreas para la pronta explotación de *Sphagnum*, y en los próximos meses comenzarían las primeras faenas extractivas. Por su parte, la zona intermedia entre Dalcahue y Quellón ha sido explotada de manera más moderada en comparación al extremo norte de la isla (Valenzuela – Roja & Schlatter, 2004).

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

Imagen n° 19: Musgo *Sphagnum*.



3.1.7.2.1. Manejo sustentable del musgo *Sphagnum*.

El musgo *Sphagnum* se reproduce fácilmente a partir de ramas desprendidas y segmentos del caulidio (tallo), pero no desde los filidios (hojas) (Sundberg & Rydin, 2002). En dos experimentos de cosecha experimental, llevados a cabo en Black Bobs Marsh en Tasmania y Lewis Pass en Nueva Zelanda, se observó que la regeneración del musgo *Sphagnum*, en términos de porcentaje de cobertura después de la cosecha, resultó ser más rápida cuando se dejó al menos un 30% de musgo cosechable en el sitio, en comparación con dejar la superficie de turba desnuda (Whinam & Buxton, 1997).

La extracción artesanal de pompón es una actividad potencialmente sustentable siempre que se realice según un protocolo relativamente simple, empleado en algunos lugares de Chile (Tapia, 2008) y en otros países como Nueva Zelanda (Whinam & Buxton 1997; Héctor Aburto 2005 comunicación personal, citados por Díaz et al., 2005). Por todo lo anterior, se propone a los pomponales o turberas secundarias como sitios susceptibles de ser explotados y no las turberas naturales (Díaz et al., 2005).

En Nueva Zelanda se proponen dejar aproximadamente del 10 al 20% de musgo en el sitio. Así, la regeneración se daría en 3 o 5 años. La remoción total da lugar a especies exóticas que degradan el área. Al igual que el resto de los países, concuerdan con que la cosecha debe ser manual, y el traslado de los sacos cosechados también debe ser manual o por helicóptero (Díaz et al., 2005). La idea es minimizar el impacto sobre el sitio. En este país, las fábricas de empaquetamiento están certificadas por el Ministerio de Agricultura y Pesca para asegurar que el musgo esté libre de insectos, pestes y enfermedades. Sin embargo, al igual que en nuestro país, no existe regulación alguna para la extracción del musgo (Díaz et al., 2005).

3.1.7.2.2. Protocolo para realizar un manejo sustentable del pompón (*Sphagnum magellanicum*).

El siguiente protocolo se basa en recomendaciones para el manejo sustentable elaboradas en Nueva Zelandia por Whinam & Buxton (1997) y en la experiencia de los agricultores chilenos pertenecientes a la Asociación Gremial de Productores del Musgo Pompón (Tapia, 2008). Actualmente dicha asociación utiliza como guía este protocolo, de tal modo de realizar un manejo sustentable de musgo que les permita conservar el recurso en el tiempo (Díaz *et al.*, 2005). Protocolo para realizar un manejo sustentable del pompón (*Sphagnum*), formas de minimizar el impacto de la cosecha:

- Realizar una cosecha por parches, es decir, dividir el terreno en pequeñas parcelas e ir cosechando por parcelas. Una vez que se ha cosechado la parcela dejarla descansar hasta que el pompón haya crecido lo suficiente para una nueva cosecha (3 a 5 años).
- Dejar algunos arbustos o junquillos durante la cosecha. En el caso de los junquillos, es recomendable podar las plantas, cortándolas un poco más alto que el nivel de la capa de musgo para así evitar accidentes a la vista al cosechar.
- Dejar algunos montículos de pompón intacto, protegiendo así a las plantas madres que pueden realizar reproducción sexual y producir esporas, las cuales se dispersarán por el viento y aportarán nuevas plantas para futuras cosechas.
- Dispersar las esporas sobre los parches cosechados. Durante el proceso de secado del musgo suele acumularse en el suelo de los secadores, pequeñas partes de las plantas como hojitas, esporas y trozos de tallos, que si son sembrados en un sitio con humedad permanente pueden originar nuevas plantas del musgo.
- Resembrar y aplanar la zona cosechada, para que el musgo nuevo quede cercano al nivel freático. Esto permitirá que el agua esté disponible en todo el sitio y no sólo en las partes bajas.
- Rezagar entre 3 a 5 años, para permitir la regeneración antes de volver a cosechar. Durante este tiempo es recomendable transitar lo menos posible por el sitio, para que el musgo no se dañe.
- Evitar el uso de maquinaria pesada. Retroexcavadoras o tractores pueden producir un daño irreversible en los pantanos, al provocar el drenaje de las aguas. Lo ideal es retirar los sacos tratando de ejercer el menor impacto en el sitio. Facilitar el drenaje puede detener completamente el crecimiento del musgo.
- Minimizar los caminos y drenajes en la turbera trabajada

3.1.7.2.3. Principales usos del musgo *Sphagnum*.

El musgo *Sphagnum* es utilizado por productores de orquídeas, como sustrato de propagación, como también se utiliza para envolver rosas y portainjertos de árboles frutales que van a ser transportados largas distancias (Whinam & Buxon, 1997). Algunos usos del *Sphagnum* en la horticultura, “se utiliza como acondicionador de tierras de cultivos agrícolas, cobertura de suelos, sustratos para jardines; para el almacenaje de frutas, verduras y bulbos de flores que se envían al mercado exterior; para cultivos hidropónicos; como materia orgánica para el cultivo de champiñones; como sustrato en la aplicación de abonos muy solubles, ya que estos se mantienen adheridos a *Sphagnum* impidiendo su lixiviación; como material de cama de animales de establo (Crignola & Ordoñez, 2002)”.

Imagen n°20: Cultivo de orquídeas.



41

Históricamente, la turba de *Sphagnum* ha sido cortada en bloques y luego secada, para ser quemada como combustible (Tapia, 2008). El musgo *Sphagnum* seco y la turba son pulverizados y utilizados como un valioso material aislante, también utilizado para embalar, gracias a que sus células vacías encierran espacios considerables de aire y siendo además un producto liviano (Schofield, 1985), o bien por estética, como es utilizado por el hotel intercontinental en Santiago de Chile para su fachada.

Imagen n° 21: Turba y musgo *Sphagnum* utilizado para decoración externa de construcciones.



Industrialmente, la turba se utiliza para el tratamiento de aguas residuales, dada su capacidad filtrante y poder absorbente (Crignola & Ordoñez, 2002). El musgo *Sphagnum* es también reconocido por sus características antibióticas, por ejemplo retardando el proceso de germinación de la fruta (Yu, 2006). A partir de él, se ha extraído un compuesto fenólico llamado Sphagnol, el cual ha sido utilizado como agente curativo de enfermedades a la piel (Schofield, 1985).

42

Imagen n° 22: Diferencia en la germinación de la fruta.



Fuente: Yu, 2006. El parking de la izquierda sin musgo *Sphagnum* y el de la derecha es con musgo *Sphagnum*.

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

3.2. Percepción remota

La percepción remota se define como la ciencia y arte de la obtención de información acerca de un objeto, área o fenómeno a través del análisis de la información adquirida por un dispositivo que no está en contacto con el objeto, área o fenómeno bajo investigación (Lillesand et al., 2004). Por otra parte, Chuvieco (2002) la define como la técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, suponiendo que entre la tierra y el sensor existe una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial, o por emisión propia. Es necesario aclarar que existe muchos autores que aun utilizan en termino teledetección en vez de percepción remota, pero ambos términos hacen referencia a los mismo.

3.2.1. Utilización de imágenes satelitales multiespectral

“El programa Landsat existe desde 1972 y es considerado uno de los programas más fructíferos de teledetección espacial desarrollado hasta el momento. Ha sido utilizado con Éxito en diversos estudios (Villeneuve, 2005), debido a la buena resolución de sus sensores, su carácter global, lo periódico de la observación que realiza y su gran difusión (Jensen 1996 y 2007; Chuvieco, 2002). Además, como se menciona en líneas anteriores, las características técnicas de las bandas de éste satélite permiten discriminar superficies inundadas y de vegetación” (MMA & CEA, 2011: p.29).

43

Tabla n° 5: Características técnicas de las imágenes Landsat 5 TM y 7ETM.

Banda	Espectro	5 TM		7 ETM+	
		Ancho de banda (µm)	Tamaño de píxel (m)	Ancho de banda (µm)	Tamaño de píxel (m)
1	Azul	0,45-0,52	30 x 30	0,450-0,515	30 x 30
2	Verde	0,52-0,60	30 x 30	0,525-0,605	30 x 30
3	Rojo	0,63-0,69	30 x 30	0,630-0,690	30 x 30
4	Infrarrojo cercano	0,76-0,90	30 x 30	0,750-0,900	30 x 30
5	Infrarrojo medio	1,55-1,75	30 x 30	1,55-1,75	30 x 30
6	Infrarrojo térmico	10,4-12,5	120 x 120	10,4-12,5	60 x 60
7	Infrarrojo medio	2,08-2,35	30 x 30	2,080-2,350	30 x 30
8	Pancromática	-		0,520-0,900	15 x 15

Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, 2012).

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

El programa Landsat es el programa civil de observación de la tierra más antiguo. Comenzó el año 1972 con el Satélite Landsat-1. Hasta ahora al último Landsat (el 7) se ha incorporado un nuevo sensor, el ETM+, que mejora las características del TM (Guerra Cerezo, 2006), las que tienen resolución 30m x 30 m; añadiéndole una banda pancromática de 15 m de resolución, y aumentando la resolución de la banda térmica a 60 m. (Chuvieco, 2002).

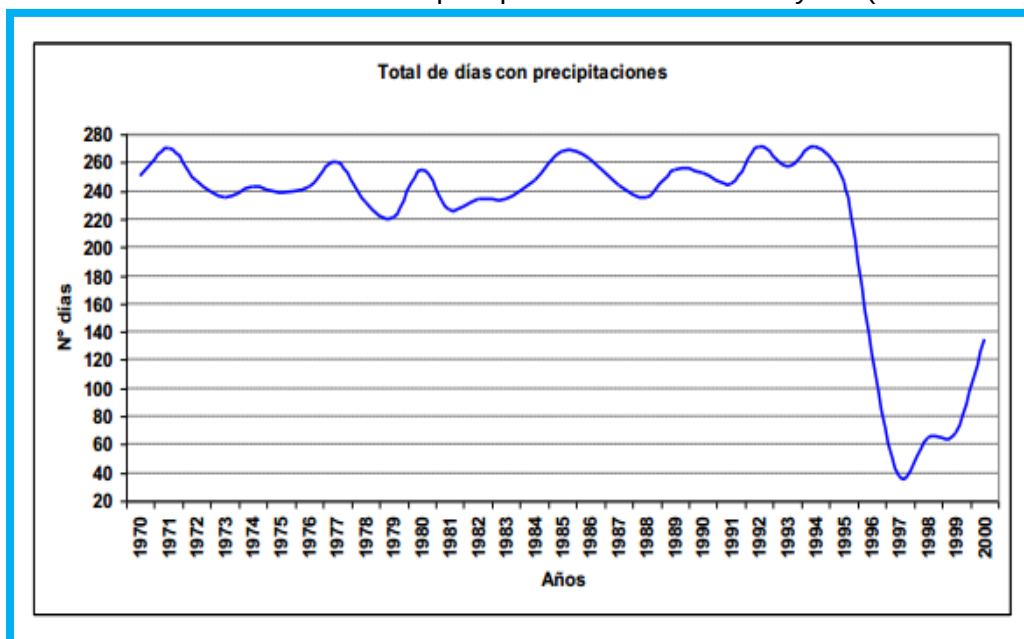
Para la presente investigación se implementaron imágenes satelitales del landsat 5, el que fue puesto en órbita el 1 de marzo de 1984 y dejó de funcionar en diciembre 2012, por lo que estuvo 27 años scaneando la superficie terrestre. El landsat 5 fue diseñado y construido simultáneamente con su antecesor "Landsat 4" ya que llevaba los mismos instrumentos: el Multispectral Scanner System (MSS) así como el Thematic Mapper (TM) (USGS, 2012).

3.2.2. Consideraciones climáticas para la utilización de imágenes satelitales

Para el trabajo con imágenes satelitales es esencial tomar en cuenta las consideraciones climáticas del área de estudio, sobre todo las precipitaciones. En el caso de Valle Exploradores, es un área que suele presentar altas precipitaciones durante el largo del año entre 2000 a 4000 mm anuales, y gran parte de los días del año pasan con lluvia cómo es posible observarlo en el grafico adjunto:

44

Gráfico n°1: Total de días con precipitaciones en Puerto Aysén (1970 -2000).



Fuente: Dirección Meteorológica de Chile, 2001b.

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

Debido a lo anterior, las posibilidades de adquisición de imágenes satelitales se ven reducidas, por ello es fundamental que los días de tomas hayan sido como mínimo 2 o 3 después de la caída de lluvia, porque si no perjudicaría o alteraría los Índices de la Diferencia Normalizada del Agua (**NDWI**). Otra consideración ligada a la anterior es que la nubosidad no sea alta, ya que limita la visualidad de las superficies a estudiar y altera los valores de reflectancia que capta el sensor.

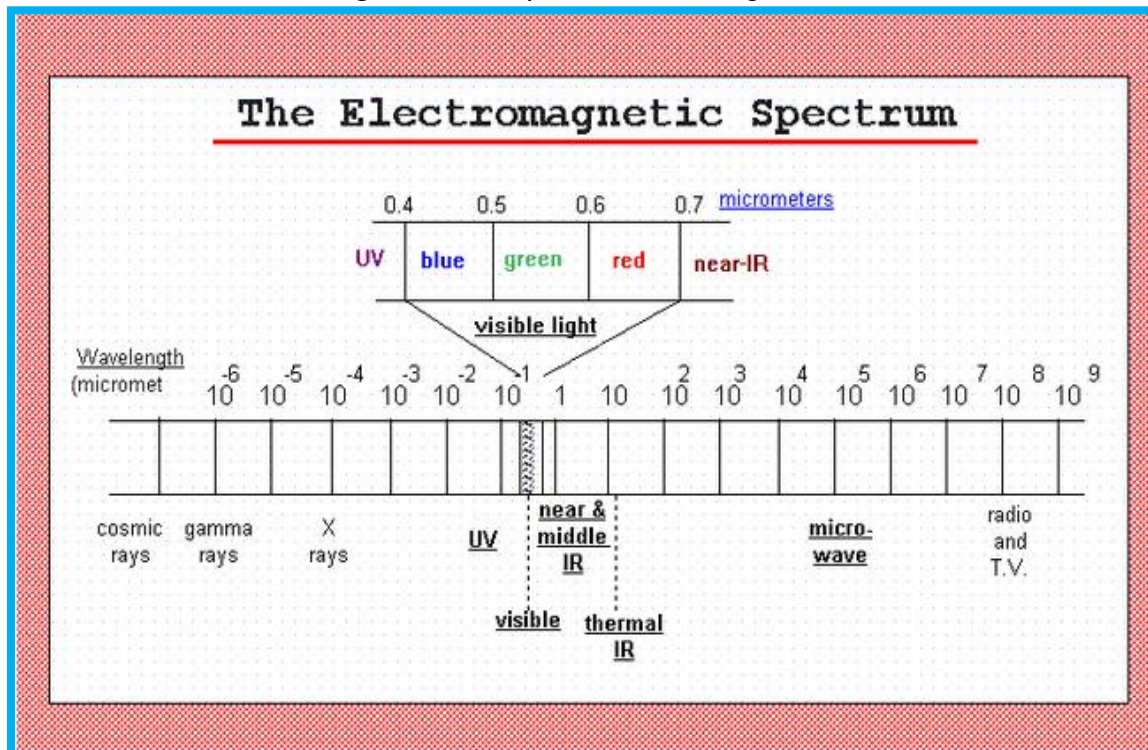
3.2.3. Comportamiento espectral de las superficies

El comportamiento espectral de las superficies es dada porque cada una de ellas refleja la radiación de manera distinta – dado por el flujo continuo de energía que se desplaza por el espacio o la atmosfera y que interactúa con los objetos que encuentra en su camino, lo que es llamado espectro electromagnético - . La radiación reflejada en función de la longitud de onda se llama firma espectral de la superficie (MMA & CEA, 2011).

Considerando la longitud de onda como variable discriminadora es posible distinguir entre distintos tipos de energía electromagnética, las principales zonas del espectro electromagnético abarca desde longitudes de onda muy pequeñas (Rayos gamma, rayos X y Ultravioleta) y aquellas muy largas (microondas y comunicaciones). (Hernández & Montaner, 2009: p.1).

45

Imagen n°23: Espectro electromagnético.



Fuente: Universidad de Colorado Boulder, 2013.

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

Tabla n°6: Descripción de las regiones del espectro electromagnético.

Región o Banda Espectral		Longitud de Onda (λ)	Características
Rayos Gamma		$< 0,03 \text{ nm}$	Radiación completamente absorbida por las capas superiores de la atmósfera. No se utilizan en teledetección.
Rayos X		$0,03 - 30 \text{ nm}$	
Ultravioleta (UV)		$0,03 - 0,4 \text{ }\mu\text{m}$	La radiación con $\lambda < 0,3 \text{ }\mu\text{m}$ es completamente absorbida por la capa de ozono de la atmósfera.
Visible (azul, verde, rojo)		$0,4 - 0,5 \text{ }\mu\text{m}$ (azul) $0,5 - 0,6 \text{ }\mu\text{m}$ (verde) $0,6 - 0,7 \text{ }\mu\text{m}$ (rojo)	Se puede detectar a través de fotodetectores y películas fotosensibles normales (color y B/N).
Infrarrojo (IR)	Infrarrojo reflejado	$0,7 - 1,3 \text{ }\mu\text{m}$ (IR cercano) $1,3 - 3,0 \text{ }\mu\text{m}$ (IR medio)	Radiación solar reflejada que no contiene información acerca de las propiedades térmicas de los materiales. El rango $0,7$ a $0,9 \text{ }\mu\text{m}$ se puede detectar usando películas fotosensibles (infrarrojo fotográfico).
	Infrarrojo térmico	$3,0 - 5,0 \text{ }\mu\text{m}$ $8,0 - 14,0 \text{ }\mu\text{m}$	Corresponden a dos ventanas atmosféricas en la región térmica.
Radar (región de la microondas)		$0,1 - 100 \text{ cm}$.	Radiación de grandes longitudes de onda, capaces de penetrar nubes, nieblas y lluvia.
Ondas de Radio y TV		$> 100 \text{ cm}$.	Radiación con las mayores longitudes de onda del espectro. Se utilizan en telecomunicaciones.

Fuente: (Hernández & Montaner, 2009).

“Una vez que la energía electromagnética llega a la superficie terrestre, transmisión, de acuerdo a un patrón de respuesta espectral particular. Este comportamiento distintivo de cada tipo de material es aprovechado en procesos de clasificación de imágenes, siendo común referirse a él como “firma espectral”. Su determinación en forma consistente presenta algunas dificultades asociadas a las siguientes razones”(Hernández & Montaner, 2009: p.5):

- La vegetación tiene un comportamiento dinámico debido a los cambios fenológicos que ocurren estacionalmente. Esto significa que su firma espectral cambia durante el año.
- Las condiciones de iluminación asociadas a la topografía (pendiente y orientación), la posición del sol durante el año (elevación y azimut), y las

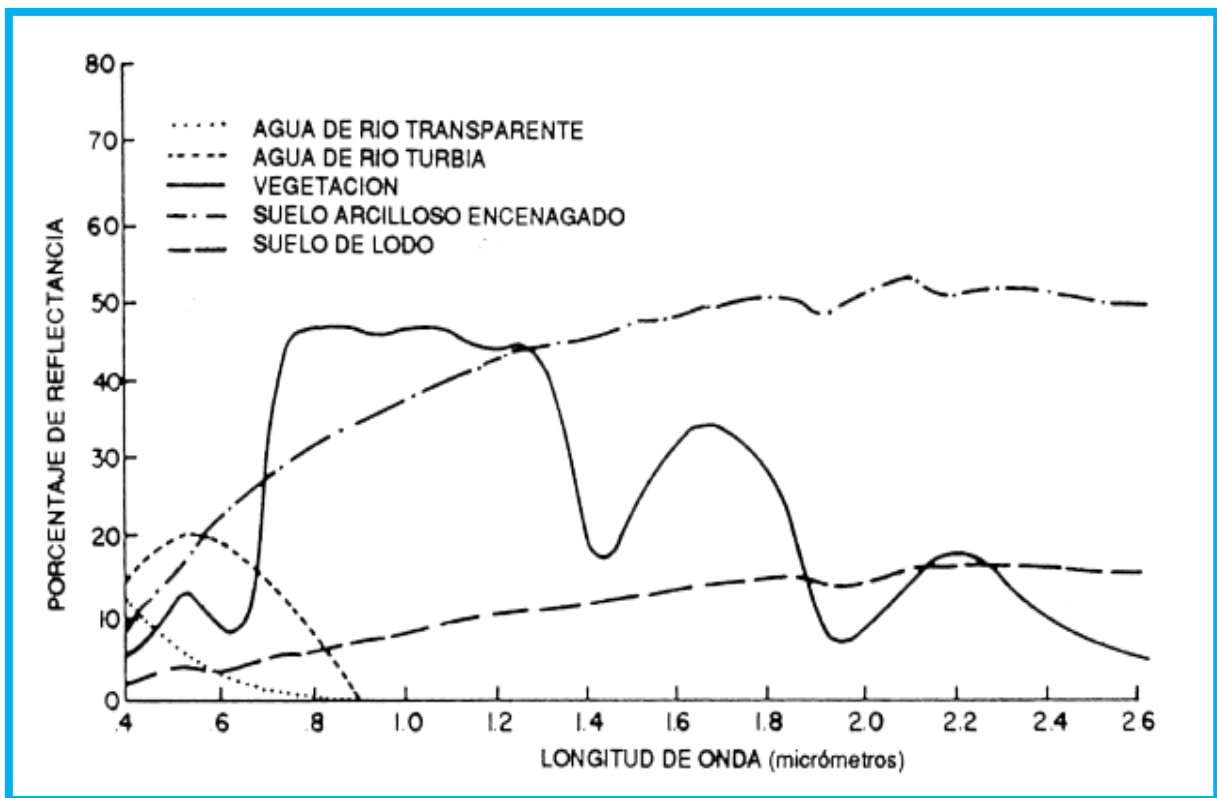
Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

condiciones de humedad del suelo y la vegetación pueden significar variaciones importantes en el patrón de respuesta espectral.

- Debido a la resolución espacial⁴ de la mayoría de los sensores, la información contenida en un píxel es el resultado de una mezcla espectral de varios tipos de materiales. Por ejemplo, en el caso de Landsat TM / ETM+ el área asociada a un único píxel (30 x 30 m) puede estar compuesta por vegetación herbácea, vegetación arbórea, suelo desnudo y pavimento, todo lo cual queda registrado en un único nivel digital.

La firma espectral se define como el comportamiento diferencial que presenta la radiación reflejada (reflectancia) o emitida (emitancia) desde algún tipo de superficie u objeto terrestre en los distintos rangos del espectro electromagnético. Una forma gráfica de estudiar este comportamiento es disponer los datos de reflectancia (%) en el eje Y y la longitud de onda λ en el eje X. Al unir los puntos con una línea continua se origina una representación bidimensional de la firma espectral (*Hernández & Montaner, 2009*).

Imagen n° 24: Firmas Espectrales.



Fuente: Meaden & Kapetsky, 1992.

3.2.4. Criterios para la delimitación de turberas

Para la delimitación de los humedales se utiliza tres criterios primordiales:

1. **La vegetación:** la cual es especialmente variable, dependiendo de múltiples factores como el estado fenológico, la forma y el contenido en humedad. De manera general se puede decir que la vegetación presenta una reducida reflectividad en las bandas visibles (azul, verde y rojo), con un máximo relativo en la región del verde $0.55 \mu\text{m}$. Esto se debe al efecto absorbente de los pigmentos fotosintéticos de las hojas. Entre ellos, la clorofila absorbe en la zona del rojo (MMA & CEA, 2011: p. 28).

La estructura celular interna da la elevada reflectividad en el infrarrojo cercano que luego va reduciéndose paulatinamente hacia el infrarrojo medio. Por tanto, el contraste más nítido se presenta entre las bandas visibles (especialmente rojo) y el infrarrojo cercano. Cuanto mayor es ese contraste, mayor es el vigor de la vegetación (MMA & CEA, 2011: p. 28).

En definitiva, tres parámetros -pigmentos, estructura celular y contenido en agua - manifestados en la respuesta espectral de la masa de vegetación de la que forman parte, puede servir para establecer el estado de salud de la vegetación (MMA & CEA, 2011: p. 28).

48

2. **El agua:** esta refleja en el rango de la luz visible y casi no refleja en el rango del infrarrojo. Se distingue muy bien de otras superficies, apareciendo claramente delimitadas como áreas oscuras (valores de píxel bajos) en imágenes registradas en el rango cercano al infrarrojo. Es decir que, absorbe o transmite la mayor parte de la radiación visible que recibe. Por tanto presentará una curva espectral plana, baja y de sentido descendente. A pesar de esto, en aguas poco profundas, la reflectividad aumenta, ya que es afectada por: la profundidad, contenido en materias en suspensión (clorofila, arcillas y nutrientes) y rugosidad de la superficie (MMA & CEA, 2011: p. 28).
3. **El comportamiento espectral de las superficies:** análisis fundamental del paisaje (Jensen y Chuvieco, 2009). Lo cual se da por la energía electromagnética, "la cual es una forma dinámica de energía que es causada por la oscilación o aceleración de una carga eléctrica, de este modo, todas las sustancias naturales o sintéticas continuamente producen o emiten un rango de energía electromagnética en proporción a su temperatura (Avery, 1992: p. 472)". Lo que puede ser visualizado a través de las curvas espectrales que se generan.

3.2.4.1. Índice de la Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI) e Índice de la Diferencia Normalizada del Agua (NDWI)

Una de las técnicas implementadas para la identificación de las turberas es el índice diferencial de agua normalizado (**NDWI**) e índice diferencial de vegetación normalizado (**NDVI**) a las imágenes satelitales Landsat, debido a que permitirán diferenciar aquellas áreas que tienen presencia de vegetación de las que no; al igual que el **NDWI** para las zonas con o sin presencia de agua; por lo tanto se reduce las áreas con que se deberán trabajar (Ryan, 1997).

El índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación, es unos cálculos basados en la banda espectrales, en la salida del valor fotosintético de un pixel de una imagen satelital. Por efecto de la vegetación de un área. El cálculo está basado en el principio de la tasa activa de la absorción fuerte de la radiación del verde en la región visible del espectro electromagnetico (el “PAR” – abreviación en ingles de Photosynthetically Active Radiation – Radiación activa fotosintética) y la fuerte radiación reflectante en la región del infrarrojo cercano. Lo dicho se reduce al siguiente algoritmo (Ryan, 1997):

Algoritmo para el Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (**NDVI**)

$$NDVI = (IRc - R) / (IRc + R)$$

49

- IRc :Infrarrojo cercano
- R: Rojo

Según la IUFRO, dice que las bandas 3, 4 y 7 de la información Landsat son los más apropiado para el estudio de la vegetación y para la evaluación del estado sanitario de los bosque (IUFRO, 1994).

El índice de la Diferencia Normalizada del Agua, es similar a los principios del Índice de la Diferencia Normalizada de Vegetación (en la comparación del uso de dos bandas diferentes). La presencia de la vegetación y el suelo se mejora con la presencia de las aguas abiertas dado por las maneras con que se reflejan las ondas (Mc Feeters, 1996).

Algoritmo para el Índice de la Diferencia Normalizada del Agua (NDWI)

$$NDWI: (V - IRc) / (V + IRc)$$

- V: Verde
- IRc : Infrarrojo cercano

La selección de las máximas ondas de reflectancia del agua, es dado por:

- La máxima reflectancia típica del agua que se usa es la onda verde (V).
- La mínima reflectancia del agua es el infrarrojo cercano (IRc).
- La máxima reflectancia del infrarrojo cercano (IRc) es para las características de la vegetación terrestre y suelo.

3.2.4.2. Composición de bandas espectrales

La implementación de las bandas espectrales, se integraran para discriminar de mejor manera aspectos de la vegetación, los cuerpos de agua, cultivos, humedad, etc.; ayudando a complementar información para percibir antes del terreno las potenciales áreas turbales.

La composición en color natural (RGB 321), permite la observación de la imagen en color verdadero, lo que es más próxima la percepción de la tierra a nuestros ojos, permitiendo discriminar aguas poco profundas, aguas turbias y zonas con sedimentos (Atencia *et al.*, 2008),

Para resaltar la vegetación se emplea el falso color convencional (RGB 432), permitiendo observar la vegetación vigorosa de color rojo intenso (Atencia *et al.*, 2008):

50

Para observar los detalles los limites de agua y tierra, se utiliza la composición RGB 453, donde el agua se visualizara de color azul intenso y los diferentes tipos de vegetación se muestran con colores marrones, verdes y naranja, además esta combinación realza las diferencias de humedad en el suelo; ideal para el análisis de humedad en los suelos y en la vegetación generalmente en el suelo húmedo se observa más oscuro (Vidal *et al.*, 2008).

Con la composición RGB 341, la vegetación se observa de color verde intenso, las zonas urbanas color violeta, de verde a negro la vegetación arboleadada muy intensa y en negro las zonas cubiertas de agua (Atencia *et al.*, 2008).

La composición RGB 531, permite mostrar zonas urbanas de color azul claro a plateado; la vegetación de color marrón a negro, dependiendo de la densidad y estados sanitario, entre más denso y vigorosa la vegetación tiende a ser más oscuro. El agua se registra en colores que van del negro al azul oscuro, lo que dependerá del contenido de partículas en suspensión y los suelos desnudos tienen un color amarillo (Atencia *et al.*, 2008).

Por último, la composición 542, permitió visualizar de manera más clara las áreas entre bosque y otros tipos de vegetación, ya que el primero se presenta en tonalidades verde, en cambio lo segunda en tonos anaranjados.

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

3.2.5. Interpretación visual de imágenes satelitales

“La interpretación visual de las imágenes, se basa en la habilidad humana de relacionar colores y patrones en una imagen de características del mundo real. Muy a menudo el resultado de la interpretación es hecho explícito a través de la digitalización de la geometría y los datos temáticos objetos relevantes (“mapeo). Esta es utilizada para producir información espacial como ser: Mapas de suelos, mapas catastrales, mapas de uso de la tierra, etc. (*Bakker, et al., 2001*)” (*Guerra Cerezo, 2006: p.11*).

Uno de los programas que se utiliza la para el procesamiento e interpretación de las imágenes satelitales es el software IDRISI SELVA, el cual tiene las características de ser “un Sistema de Información Geografía especializado en el procesamiento de Imágenes. Con más de 300 módulos para la visualización y el análisis de información geográfica, IDRISI ofrece un completo paquete de herramientas en un único entorno de trabajo, lo que evita la necesidad de añadir plugins para incrementar sus aplicaciones”, según el Centro de Recursos IDRISI de España (2010).

3.2.6. Interpretación digital de las imágenes satelitales

3.2.6.1. Clasificación digital

51

En el proceso de clasificación digital de imágenes, el operador instruye a la computadora a que realice una interpretación de acuerdo a ciertas condiciones predefinidas. Esta técnica forma parte de la interpretación digital de imágenes (*Bakker; Jansen, 2001*).

Tradicionalmente se han dividido los métodos de clasificación en dos grupos: supervisado y no supervisado, de acuerdo a la forma en que son obtenidas las estadísticas de entrenamiento. El método supervisado parte de un conocimiento previo del terreno, a partir del cual se seleccionan las muestras para cada una de las categorías. Por su parte, el método no supervisado procede a una búsqueda automática de grupos de valores homogéneos dentro de la imagen (*Chuvieco, 2002*).

3.2.6.1.1. Clasificación Supervisada

Esta es realizada por un operador que define las características espectrales de las clases, mediante la identificación de áreas de muestreo (áreas de entrenamiento). Se requiere también que el operador esté familiarizado con el área de interés (*Chuvieco, 2002*).

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

3.2.6.1.2. Clasificación No Supervisada

Este método se dirige a definir las clases espectrales presentes en la imagen. Esto implica que los ND (Números Digitales) de la imagen forman una serie de agrupaciones o conglomerados o “clusters” de píxeles con similares características. Basado en esto, la computadora localiza arbitrariamente vectores principales y los puntos medios de los grupos. Luego cada píxel es asignado a un grupo por la regla de decisión de mínima distancia al centroide del grupo (*Bakker; Jansen, 2001*).

3.2.7. Las técnicas de la percepción remota en el Medio Ambiente

Las técnicas de la utilización de la percepción remota permite el estudio del medio ambiente en un amplio rango de aplicaciones como en la geografía, recursos naturales, cartografía, agricultura, calidad de agua, oceanografía, entre otros. Por ello, es necesario aclarar que esta técnica es usada como complemento y no como sustitutos de los estudios del medio ambiente (*Medina Mena, 2001*).

Debido a sus ventajas y posibilidades permite la localización de espacios geográficos, observación de fenómenos temporales e integración de resultados de un Sistema de Información Geográfica (SIG), reduciendo en muchos casos el tiempo de empleo y del dinero invertido en los estudio sobre el terreno (*Baker et al., 2006; Shanmugan, 2006*).

52

“Su aplicación en los recursos naturales se fundamenta en que los elementos de la naturaleza tienen una respuesta espectral propia que se denomina signatura espectral. De esta forma estudia las variaciones espectrales, espaciales y temporales de las ondas electromagnéticas, y pone de manifiesto las correlaciones existentes entre éstas y las características de los diferentes materiales terrestres. Entre las ventajas proporcionadas por estos sistemas destacan, la cobertura global y exhaustiva, perspectiva panorámica, observación multiescala, información sobre regiones no visibles del espectro, multitemporalidad de las observaciones, transmisión a tiempo real y registro digital de la información (*Chuvieco, 2002*)”.

“El desafío de conservar la biodiversidad, el funcionamiento ecosistémico y los servicios ambientales exige aproximaciones novedosas tanto para conocer mejor (plano conceptual) como para gestionar mejor (plano aplicado) los sistemas ecológicos (*Cabello y Paruelo, 2008*) y es la teledetección quien permite incorporar a este aspecto la posibilidad de estudiar los sistemas ecológicos a escalas espaciales y temporales distintas a las que se acceden desde experimentos controlados, los cuales son también necesarios e imprescindibles, pero a veces insuficientes” (*Ortega, 2006: p.6*).

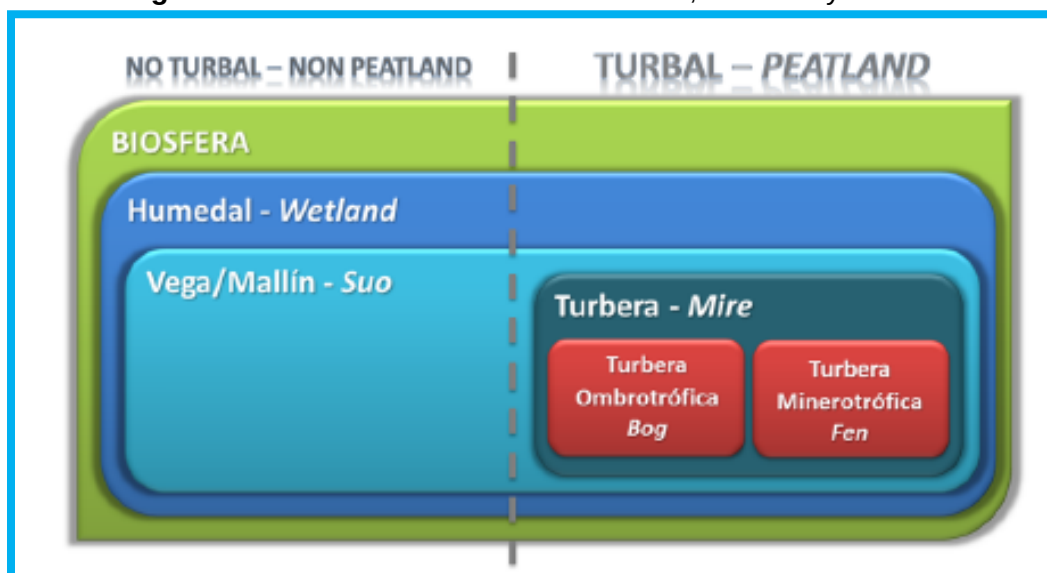
3.2.8. Confusión entre terminología y catastro de turberas

“En Chile la terminología para humedales es confusa. Ramírez *et al.* (2002) reconocen 15 tipos de humedales naturales divididos en dos grandes categorías: salinos (litorales, estuarios, marismas, albuferas y salares) y dulceacuícolas: lóticos (ríos, arroyos, bañados y oasis), lénticos (lagos, lagunas y charcos), y anegadizos (pantanos, turberas y ñadis). Schlatter & Schlatter (2004) mencionan cuatro tipos de humedales desde el punto de vista edáfico: turberas, ñadis, mallines y catricos con hualves. Ramírez & San Martín (2008) señalan cinco categorías de humedales anegadizos: pantanos, bosques pantanosos o hualves, ñadis, turberas y marismas. Considerando estas tipologías queda en evidencia el enorme vacío de conociendo que se tiene y el problema de interpretación e identificación de los tipos de humedales, ya que existe una falta de coherencia en los criterios de clasificación. Para Sudamérica las clasificaciones dentro de las turberas son escasas, Roig & Roig (2004) señalan distintas formas de clasificación respondiendo a las diferentes escalas y formas de estudio. (Valdebenito, 2012: p. 7)”.

La situación anterior no solo se limita a nuestro país y a Sudamérica sino que es una problemática a nivel mundial como es la no claridad entre las definiciones de *peatland* y *mires* en el hemisferio norte, lo que aun genera controversia, ya que en un sentido el término *mire* es más amplio porque la acumulación de turba puede ocurrir en sitios que no tienen el espesor de turba requerido para ser calificado como turbera y en otro sentido *peatland* es más amplio ya que un sitio drenado que ha sido explotado para turba aún es un *peatland*, pero al perder la vegetación formadora de turba ya no es un *mire* (Rydin & Jeglum, 2006: p. 360). Mientras que otros autores sugieren que *mire* sea usado en un sentido más amplio y que la palabra *peatland* se use para áreas con turba, definiendo así *mire* como esencialmente un humedal permanente (Wheeler & Proctor 2000).

53

Imagen n° 25: Relación entre términos turbal, humedal y turbera.



Fuente: Joosten & Clarke (2002). Modificado por Roig & Roig (2004).

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

“Rydin & Jeglum (2006) explica que una posible razón para el conflicto de las definiciones es que estos términos han sido usados con distintos propósitos, *mire* es a menudo empleado en investigaciones botánicas o ecológicas de tipos de vegetación o procesos de formación de turba, en cambio *peatland* es frecuentemente utilizado en temas de manejo de recursos donde la profundidad de la turba es crucial. Charman (2002) menciona que otra posible explicación es que en Norteamérica no está ampliamente reconocido el término *mire*, usando en sentido más genérico *peatland*, mientras que en Europa y Rusia se hace la diferenciación entre *peatland* y *mire*” (Valdebenito, 2012: p. 7).

Esta situación se ve reflejada incluso al momento de realizar detección de turberas a través de sensores remotos, ya que no existe claridad en la identificación de ellas; catastrándose dentro una categoría generalizada de humedales sin distinción entre ellos, lo que implica la no existencia de una metodología clara para implementar a las turberas, mallín o vegas cada uno por separado; como se observa en el “Diseño del Inventario Nacional de Humedales y el seguimiento ambiental” del Ministerio del Medio Ambiente en el año 2011. Otro estudio que incurre en esta falta son los estudios de “Catastro y caracterización de los turbales de Magallanes (Ruiz & Doberti LTDA, 2005)” y el “Catastro de turberas productoras de musgo en la Región Los Lagos (Richardson Varas, 2011)”, los cuales no muestra una técnica o metodología en que se especifique que las áreas identificadas como turberas corresponden a ellas y no otro tipo de humedal.

3.2.9. Importancia de la percepción remota en la detección de turberas

Tradicionalmente, los humedales se han estudiado mediante mapas, fotointerpretación, trabajo de campo y análisis laboratorio, pero las imágenes de satélites ofrecen información adicional a partir de otros canales del espectro electromagnético. Así se obtiene una valiosa información de las características subsuperficiales (humedad, temperatura, presencia de materia orgánica, etc.), no perceptibles en las fotografías aéreas convencionales (García et al., 2006) y permite obtener su delimitación sobre grandes áreas en distintos momentos (De Roeck, et al., 2008).

La percepción remota es un método de suma importancia para la detección e inventario de las turberas, lo que es esencial para la gestión y planificación de la conservación adecuada de estos humedales, ya que con su utilización permite identificar los cambios en la variabilidad de ellos tanto espacial como temporalmente (Pérez, 2011). Por lo tanto siendo primordial para los planes de gestión de las zonas húmedas como una herramienta esencial para la protección y conservación de las turberas, teniendo una implicancia territorial y el uso del agua a nivel de cuenca (Pérez, 2011).

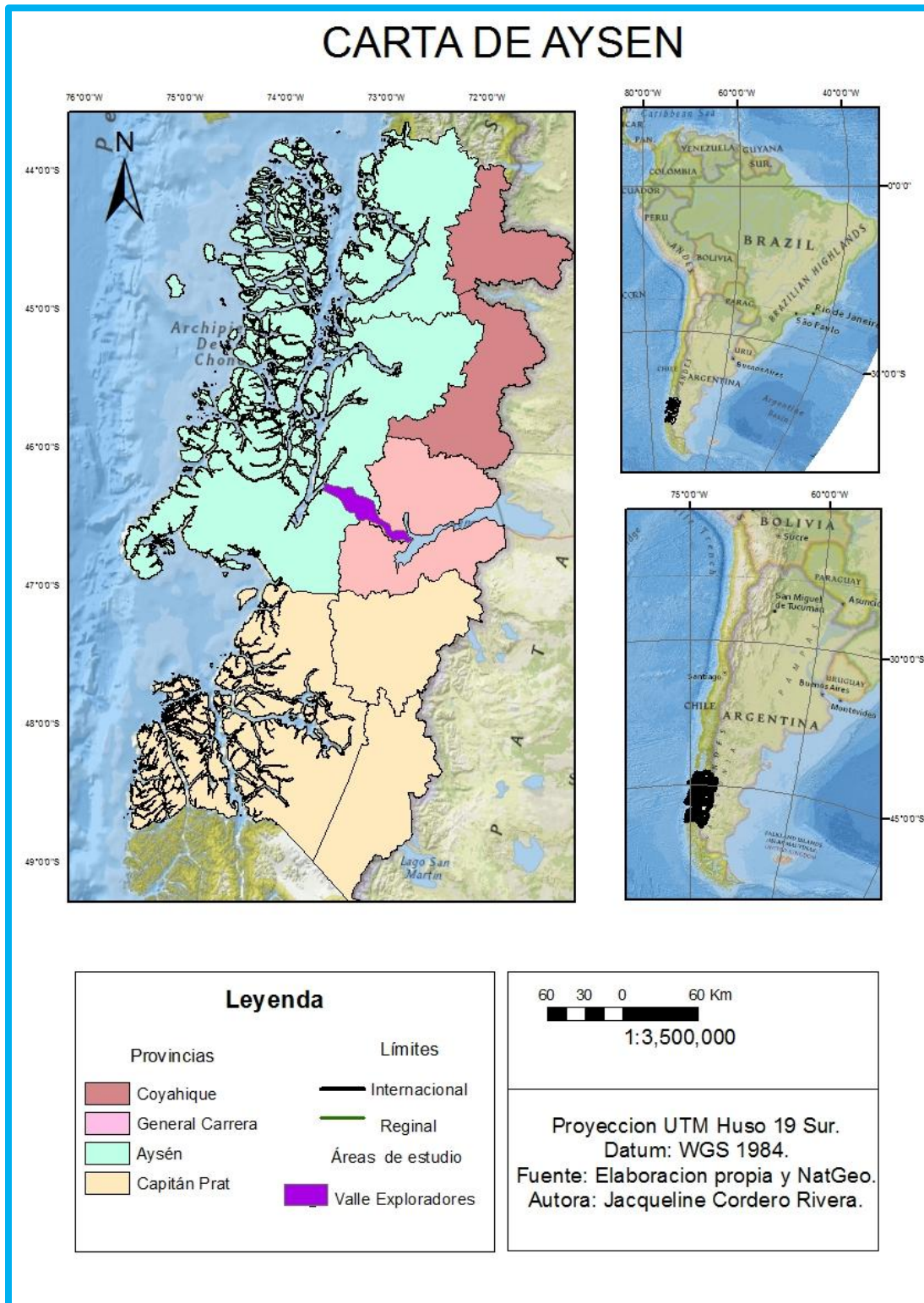
En relación a lo anterior, la percepción remota permite el desarrollo de políticas de manejo y conservación de los humedales, por lo que es esencial contar con información actualizada a nivel tanto regional y nacional. Por ello es necesario generar respuestas a las siguientes preguntas “¿Qué tipos de humedales existen?” (Clasificación), y enmarcarlos en el espacio geográfico “¿En donde están?” y “¿cuál es su extensión?” (Inventario). Esto basado principalmente en que no se puede conservar o proteger sin tener un conocimiento previo, cuando no se sabe la importancia tan cualitativa como cuantitativa que tienen (*Carrera et., al, 2003*).

“El inventario de humedales es una herramienta importante, que sirve como base para apoyar programas de protección y manejo de estos ecosistemas. Sin embargo, como cualquier otra técnica, las clasificaciones e inventarios son valiosos, solo si el usuario es consciente de los alcances y limitaciones que pueden tener las técnicas de percepción remota” (*Carrera et., al, 2003*). Por ello, es esencial complementar esta actividad con terreno en el área de estudio – en este caso en Valle Exploradores de la Región de Aysén, lo cual permite validar o no la información obtenida con dicha técnica. Estas dos actividades nombradas son los ejes fundamentales de la presente investigación.

Por último, para reafirmar la importancia de la percepción remota en la detección de las turberas, es posible observarlo en el interés que le otorga la Convenio de Ramsar al dar prioridad a la cartografía de zonas húmedas, el que recomienda el uso de la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica para la elaboración de inventarios de humedales (*Vega, 2006*)

4. Área de estudio.

Carta n° 4: Región de Aysén.



4.1. Factores Físicos

4.1.1. Localización

Valle Exploradores se encuentra localizado entre las coordenadas 45° 15' - 46° 45' latitud Sur y los 74° - 72° 35' longitud Oeste (*Turismo Científico, 2012*) a unos 103 km del centro de Coyhaique; entre las comunas de Aysén y Río Tranquilo.

4.1.2. Límites.

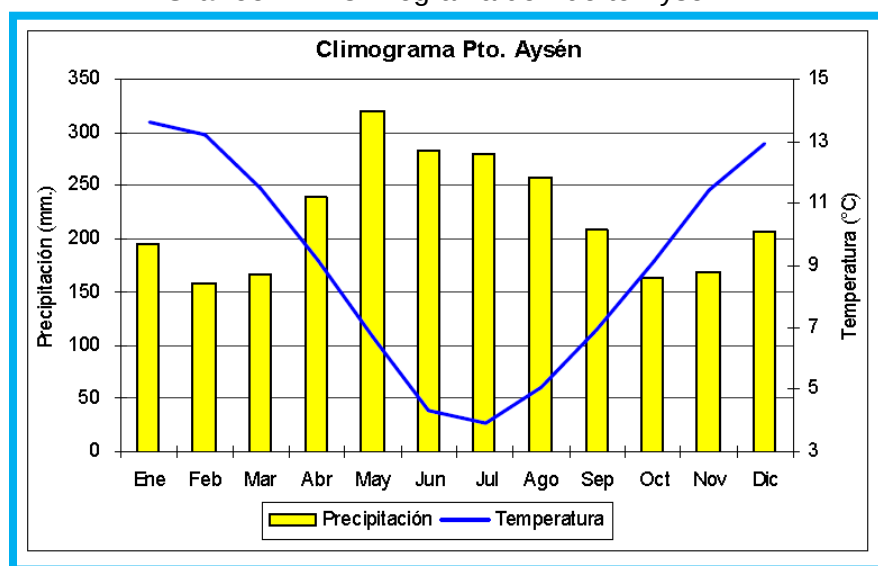
Valle Exploradores se ubica en el sector Sureste en la provincia de Aysén y Suroeste de la provincia de General Carrera (*SERPLAC Aysén, 2005*); limitando al Este con el lago General Carrera y al Oeste de la laguna San Rafael. Desde una perspectiva regional y de provincia limita con la región de Los Lagos por el Norte; por el Este con la provincia de Coyhaique, al Oeste con el océano Pacífico y al Sur con la provincia de Capitán Prat, como es posible apreciarlo en la carta anterior.

4.1.3. Clima.

El clima predominante en Valle Exploradores, corresponde al tipo marítimo templado lluviosos, con precipitaciones de régimen anual, que oscilan entre 2.000 y 4.000 mm. Durante todo el año presenta un superávit hídrico (entre 100 y 340 mm.). Tiene baja luminosidad, y la influencia oceánica que disminuyen las fluctuaciones de temperatura. En el sector insular son menos habituales las heladas, pero éstas aumentan hacia el interior. La temperatura media estival oscila entre 10° y 13°C, mientras que en invierno fluctúa entre 4° y 7°C. Localidades representativas de este sector son Puerto Aysén, Puerto Cisnes y La Junta (*Silva Lira, 2009*).

57

Grafico n°2: Climograma de Puerto Aysén.



Fuente: Dirección Meteorológica de Chile, 2001a.

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

El clima nombrado anteriormente, corresponde al clima de la parte Sur de la X Región y se extiende por la Región de los canales hasta el Estrecho de Magallanes. En la XI Región cubre todo el sector de los canales australes y la ladera occidental de la cordillera patagónica, excluyendo los Campos de Hielo (*Dirección Meteorológica de Chile, 2008*).

Las temperaturas continúan disminuyendo con la latitud, pero la influencia marítima, reforzada por la acción de los vientos, hace que no sean extremadamente bajas. Las temperaturas medias de los meses más fríos, raramente descienden de 4° C. Por los mismos motivos, las amplitudes térmicas no son muy elevadas; la amplitud térmica anual en Puerto Aysén es inferior 10° C, en tanto la amplitud diaria varía a través del año entre 5° y 7°C (*Dirección Meteorológica de Chile, 2008*).

La influencia marítima y las altas precipitaciones se manifiestan también en los altos valores que alcanza la humedad atmosférica, la que presenta un valor medio anual de 87% en Puerto Aysén, sin haber ningún mes con humedad relativa inferior a 80%. Otra característica asociada es el predominio de una gran cantidad de nubosidad durante todo el año (*Dirección Meteorológica de Chile, 2008*).

Los vientos en relación con su dirección anual poseen un predominio Suroeste y Oeste (*Dirección Meteorológica de Chile, 2011*), como es posible apreciarlo en el cuadro adjunto a continuación:

Tabla n° 7: Frecuencia y velocidades media del viento en Puerto Aysén (2011).

58

MES	FRECUENCIA Y VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO (nudos)												DATOS					
	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		CALMA	Válidos
	Nº	V	Nº	V	Nº	V	Nº	V	Nº	V	Nº	V	Nº	V	Nº	V	Nº	Nº
ENERO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FEBRERO	-	-	1	6	-	-	-	-	-	-	19	10	4	11	-	-	16	44
MARZO	-	-	1	8	-	-	-	-	-	-	19	10	2	15	-	-	24	47
ABRIL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	10	1	10	-	-	9	71
MAYO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	9	1	14	-	-	5	78
JUNIO	-	-	2	11	-	-	-	-	-	-	1	4	2	11	-	-	11	74
JULIO	4	7	1	8	-	-	-	-	-	-	4	9	-	-	-	-	10	74
AGOSTO	1	6	6	6	-	-	-	-	-	-	3	10	2	11	1	10	8	72
SEPTIEMBRE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	9	1	12	-	-	2	82
OCTUBRE	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	20	10	6	9	-	-	7	59
NOVIEMBRE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	11	2	10	-	-	7	66
DICIEMBRE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	9	4	9	1	4	2	84
ANUAL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Dirección Meteorológica de Chile, 2011.

Tabla n° 8: Frecuencia y velocidades media del viento en Puerto Aysén (2007).

MES	FRECUENCIA Y VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO (nudos)														N° Datos faltantes			
	N		NE		E		SE		S		SW		W			NW		CALMA
	N°	V	N°	V	N°	V	N°	V	N°	V	N°	V	N°	V	N°	V	N°	
ENERO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FEBRERO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MARZO	1	6	3	13	-	-	-	-	-	-	14	10	4	12	-	-	7	64
ABRIL	1	4	2	8	1	3	-	-	1	8	15	10	2	6	-	-	6	62
MAYO	2	6	2	5	1	12	-	-	1	6	17	9	3	5	2	7	17	48
JUNIO	1	3	2	7	1	4	1	4	-	-	9	8	3	7	4	6	5	64
JULIO	-	-	1	6	-	-	-	-	-	-	9	8	2	6	1	4	5	75
AGOSTO	-	-	1	4	1	6	-	-	1	4	16	7	-	-	1	6	2	71
SEPTIEMBRE	1	6	1	10	2	12	-	-	6	10	4	8	1	10	-	-	1	74
OCTUBRE	-	-	-	-	1	4	1	6	2	5	10	9	1	14	2	7	1	75
NOVIEMBRE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DICIEMBRE	1	4	-	-	1	8	-	-	-	-	22	11	-	-	-	-	-	69
ANUAL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Dirección Meteorológica de Chile, 2007.

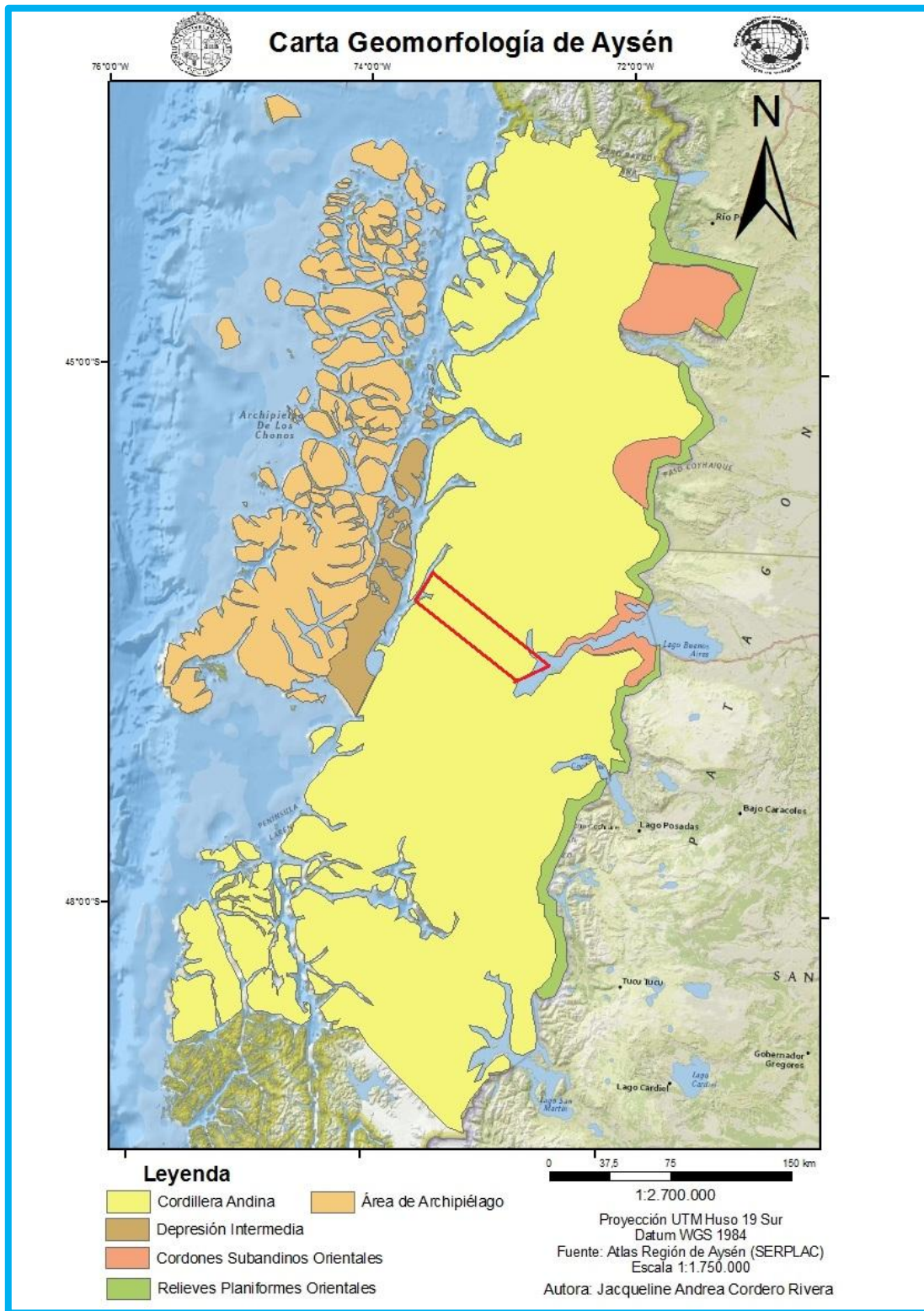
4.1.4. Geomorfología

59

En la geomorfología de Aysén, es posible distinguir cinco fajas de sentido Norte - Sur, las que desde el occidente se ordenan en: área archipelágica (incluye la Península de Taitao), depresión central, cordillera andina, cordones subandinos orientales y relieves planiformes orientales (*SERPLAC Aysén, 2005*).

De las áreas nombradas anteriormente, Valle Exploradores se ubica específicamente en la Cordillera Andina (como se aprecia en la carta anterior), la cual es la unidad de mayor magnitud, y está constituida esencialmente como un cuerpo granítico asociado con rocas de otro origen, transformadas a través de deformación y temperatura en metamórficas. De topografía abrupta, presenta desniveles de cientos de metros, donde es posible encontrar estrechas gargantas, cascadas y algunos estrechos planos depositacionales intramontanos, ejemplo de esto último son los valles de los ríos del sector. Presenta grandes sectores cubiertos por hielo, el cual fluye en forma de glaciares hacia las partes más bajas. Las alturas principales se asocian al Campo de Hielo Norte. (*SERPLAC Aysén, 2005*).

Carta n° 5: Geomorfología de Aysén.



60

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

Ahora bien, en Valle Exploradores mismo de Este a Oeste, el sector muestra formaciones como los cordones subandinos orientales que son transversales a la cordillera principal, diferenciándose de esta última tanto por su litológica, morfológica y de altitud. Las laderas de este relieve, contrariamente al sector andino, presentan perfiles derechos o escalonados según la resistencia a la erosión de los distintos estratos rocosos. En general, los valles son más anchos con relleno sedimentario de origen glaciar en el paisaje, lo que hoy podemos apreciar como valles en “U” (*turismo científico, 2012*).

Debido a la existencia de zonas en altura, existen sectores cubiertos por glaciares y campos de hielo. Otras zonas están desprovistas de vegetación o nieve pero están constituidas por una espesa capa detrítica generada in situ. “Los depósitos se presentan en forma de deslizamientos, conos coluviales y de deyección, de terrazas aluviales y de morrenas. Otra particularidad que presenta el sector cordillerano es una cadena volcánica poco estudiada en su parte occidental” (*Turismo Científico, 2012*).

Con respecto a la zona del litoral, por donde es posible acceder a la laguna San Rafael, esta la presencia de la cordillera costa sumergida cuyas cumbres emergen como islas, delimitadas por una malla densa de fiordos y canales. La península de Taitao y su prolongación al Sur, la península de Tres Montes, también pertenecen a este territorio litoral (*Turismo Científico, 2012*).

Por último, acerca de la Depresión Intermedia en el Valle Exploradores, se da de manera diferente a Chile continental desde Puerto Montt al Norte, en la Región Aysén está representada por el golfo Elefante, la laguna San Rafael, el istmo de Ofqui, el golfo de Penas y el canal Messier: mar intrincado y silencioso, bosques densos sobre islas y penínsulas (*Turismo Científico, 2012*), como es posible visualizarlo en la carta geomorfológica de Aysén.

61

4.1.5. Geología

Según la carta geológica 1: 1.750.000 de Aysén (*Serplac, 2005*), el área comprendida de Valle Exploradores presenta formaciones geológicas como:

- a) **Batolito Patagónico (Kgbp):** “Es un afloramiento de rocas plutónicas que se puede apreciar al interior del valle Exploradores, al adentrarse en la cordillera de los Andes, acercándose ya a la zona de desarrollo glaciar. Estas rocas pertenecen al segmento del Cretácico inferior del Batolito Patagónico, el cual es un extenso complejo intrusivo que en otras regiones de la cordillera Patagónica presenta un rango de edad amplio desde el Jurásico (140 Ma) al Mioceno (18 Ma) y caracteriza una franja Norte-Sur de 20 a 130 km de ancho y alrededor de 1.800 km de longitud” (*Turismo Científico, 2012: p. 3*).

- b) Basamento Metamórfico (DCcm):** “es la formación rocosa predominante en el valle. Son rocas metamórficas de a lo menos 380 millones de años, o sea anterior al Jurásico, expuestas principalmente en la región centro oriental de la Cordillera Patagónica (Hervé, 1998). Característicos de este complejo, por su belleza y variedad, son el mármol y esquisto calcáreos, originados por eventos comprensivos continuos, que pueden apreciarse en el sector de Puerto Tranquilo, en particular en la “Capilla de Mármol” y también en un sector de la ruta que va hacia el valle Exploradores. Se presentan como lentes o bolsones, se encuentran finamente bandeados y presentan colores blancos a gris claro y rosado. Consisten principalmente en calcita poligonal granoblástica con inclusiones de otros minerales (moscovita, plagioclasas, cuarzo, etc.)” (*Turismo Científico, 2012: p.3*).
- c) Formación Ibáñez (JKi):** “es una sucesión de rocas volcánicas y volcanoclásticas de carácter esencialmente silíceo, cuya área tipo se encuentra en los alrededores de Puerto Ingeniero Ibáñez, en la costa norte del lago General Carrera y al Noreste de la zona existente entre Puerto Guadal y Puerto Sánchez. Representa un evento volcánico, presente desde el Jurásico superior hasta el Cretácico inferior bajo (Covacevich et al, 1994; Suárez et al, 1996, 2005) expuesto en la cordillera Patagónica Central, desde Futaleufú hasta el lago O’Higgins, y continua al Sur en Magallanes” (*Turismo Científico, 2012: p. 3*).

62

Por otra parte, el estudio “Geología del área de Puerto Guadal – Puerto Sánchez (*De la Cruz & Suarez, 2006*)”, describe la existencia de las formaciones anteriores y agregando otras más, como las que podemos agregar depósitos actuales, depósitos fluviales actuales (Hf), depósitos de abanicos aluviales actuales (Ha), depósitos coluviales actuales (Hc), depósitos fluviales jóvenes (Hfj).

Finalmente, en el sector de la laguna San Rafael, no existe aún un detalle específico de las formaciones geológicas presentes, sin embargo en el Mapa Geológico de Chile (*SERNAGEOMIN, 2003*) a escala 1:1.000.000 se registran depósitos recientes (Holoceno) asociados a las últimas glaciaciones y substratos graníticos y metamórficos (*Turismo Científico, 2012*).

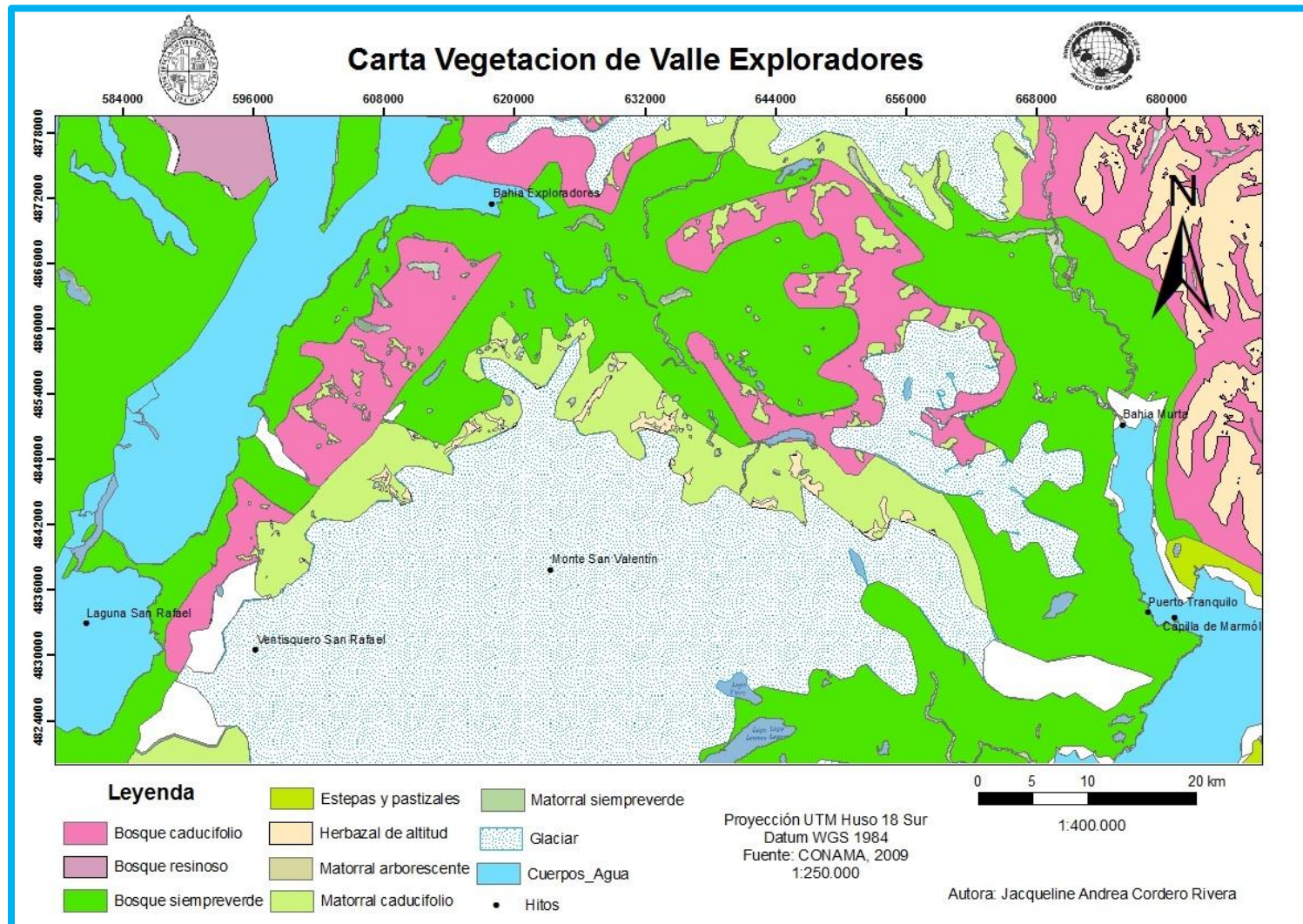
Por otra parte se encuentran rocas magmáticas y metamórficas. Las más recientes son del Mioceno (18-6 Ma): Granodioritas, dioritas y tonalitas de la cordillera Patagónica y franja central del Batolito Norpatagónico y plutones orientales asociados a la falla Liquiñe-Ofqui, más precisamente en el fiordo Exploradores y canal de Moraleda (*Turismo Científico, 2012*).

4.1.6. Vegetación

Valle Exploradores presenta una interesante mixtura en sus hábitats para las especies nativas de la región de Aysén puesto que en su interior y desde el lago General Carrera hasta la laguna San Rafael pueden identificarse al menos 5 ecosistemas diferentes, en cada uno de ellos habitan especies nativas diversas de flora y fauna (*Turismo Científico, 2012*).

- **Bosque Caducifolio:** “son bosques de asociación ñire-lenga (*Nothofagus antártica* - *Nothofagus pumilio*, respectivamente). Reconocidos por la variación cromática que ofrecen a la construcción de distintos paisajes según estaciones del año. Hábitat de rapaces, mamíferos como zorros (*Lycalopex griseus*, *Lycalopex culpaeus*), chingues (*Connepatus humboldtii*), piches (*Zaedyus pichiy*, *Chaetophractus villosus*). También son comunes aquí los pájaros carpinteros (*Campephilus magellanicus*, *Colaptes pitius*, *Veniliornis lignarius*)” (*Turismo Científico, 2012: p.8*).
- **Bosque Siempreverde:** “su nombre hace referencia a la permanencia de hojas en los árboles y arbustos durante todo el año, es una selva húmeda de ambientes muy fríos. Existen en él abundantes mañíos (*Podocarpus nubigenus*), coigües (*Nothofagus dombeyi*), chilcos (*Fuchsia magellanica*), plantas epífitas como la estrellita (*Asteranthera ovata*), musgos, líquenes y hepáticas. Habitan aquí algunas de las especies ya mencionadas, pero son más características la güiña (*Leopardus guigna*), el chucao (*Scelorchilus rubecula*) y el huedhued (*Pteroptochos tarnii*). También hay una gran variedad de especies asociadas a batracios e invertebrados. Vale la pena dedicar tiempo a observar y escuchar, pues la recompensa será importante debido a la alta tasa de biodiversidad que existe en estos parajes” (*Turismo Científico, 2012: p. 8*).
- **Matorral Peri-Glacial:** “son formaciones vegetacionales con abundante humedad y tolerante a temperaturas muy bajas. Una de las especies abundantes es la nalca (*Gunnera tinctoria*), musgos de gran desarrollo y árboles maduros que han crecido tras el retroceso glaciar” (*Turismo Científico, 2012: p. 9*).
- **Matorral Caducifolio:** “es un ecosistema poco conocido. Es típico de zonas húmedas, frías y expuestas al viento, generalmente definen el límite altitudinal superior de la vegetación. Dominado por ñire, casi siempre “achaparrado”, calafate (*Berberis microphylla*) y chaura (*Gaultheria mucronata*)”. (*Turismo Científico, 2012: p. 9*).

Carta n° 6: Carta de vegetación de Valle Exploradores.



Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

- **Turberas:** “el desarrollo de las turberas en esta zona es inmenso. Las turberas están compuestas por vegetación briófitas (musgos) del género *Sphagnum*. Estos ecosistemas se encuentran poco estudiados y cartografiados” (Turismo Científico, 2012: p. 9).

Es necesario precisar, que no todos los ecosistemas que se nombraron al interior de Valle Exploradores, aparecen en la carta vegetación adjuntada, ya que la información pertenece a la cobertura vegetal del “Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile”, la que fue realizada por la CONAMA (2006), a una escala de 1: 250.000.

4.1.7. Suelo

Los mejores suelos presentes en la Región de Aysén son los de Clase III, los cuales con adecuadas rotaciones y algunas medidas de conservación pueden ser empleados de manera regular para cultivos de cereales, praderas, y con algunas restricciones para chacras. Es posible encontrar estos tipos de suelo en sectores muy puntuales de la cuenca del Lago General Carrera, como Chile Chico, Bahía Jara y Puerto Ibáñez; así como áreas de pequeña extensión ubicadas en el corredor Balmaceda - Puerto Chacabuco; y en el sector norte es posible encontrar esta categoría de suelos en el sector de La Junta y Lago Verde. Generalmente se identifican como terrazas aluviales muy planas, sin problemas de inundación o de mal drenaje (*SERPLAC Aysén, 2005: p. 17*).

65

Otra clase de suelos que es posible hallar en Valle Exploradores es de categoría V no son aptos para cultivos agrícolas, ya sea por pedregosidad, rocosidad, inundaciones, salinidad u otros. La mayoría de estos suelos en la Región tienen problemas de humedad, sobresaturación, drenaje e inundaciones. En general esta clase coincide con los “mallines” pastoreables (*SERPLAC Aysén, 2005*).

Los suelos de Clase VII: son terrenos no aptos para empastados con serias limitantes para la ganadería y de aptitud mayormente forestal, pero únicamente mediante un manejo cuidadoso, ya que dadas sus fuertes pendientes, presentan mayor erosión; además de poca profundidad, pedregosidad, rocosidad, entre otras limitantes. Se identifican como cerrilladas, conos aluvionales y pie de montes (*SERPLAC Aysén, 2005*).

Finalmente, los suelos Clase VIII son aptos sólo para vida silvestre, recreación y/o protección de cuencas hidrográficas, ya que cualquier actividad consuntiva de recursos naturales presenta una alta probabilidad de generar fuertes impactos. Funcionan como corredores biológicos y reservorios de nieve. Se identifican como “bardas”, “candongos”, “cañadones”, “cajas de río y arroyos”, “mallines inundados”, altas cumbres, glaciares y “turberas” (*SERPLAC Aysén, 2005: p. 17*).

Ahora bien, en la región de Aysén se presentan suelos mayormente pobres en desarrollo y potencial agrícola, ya que gran parte de éstos se extienden en pendientes pronunciadas y en zonas rocosas afectas a la influencia glaciaria reciente (*Silva Lira et al., 2009*).

4.1.8. Hidrografía

La hidrografía presente en la Región de Aysén es muy extensa y a la vez muy variada considerando las condiciones geomorfológicas y climáticas existentes, conformada por importantes cuencas, microcuencas y numerosos lagos, ríos, glaciares, ventisqueros y dos extensos campos de hielo (*Silva Lira, 2009*). Por lo que es posible evidenciar la presencia de dos grandes grupos de sistemas hidrográficos: litoral y continental (*SERPLAC Aysén, 2005*).

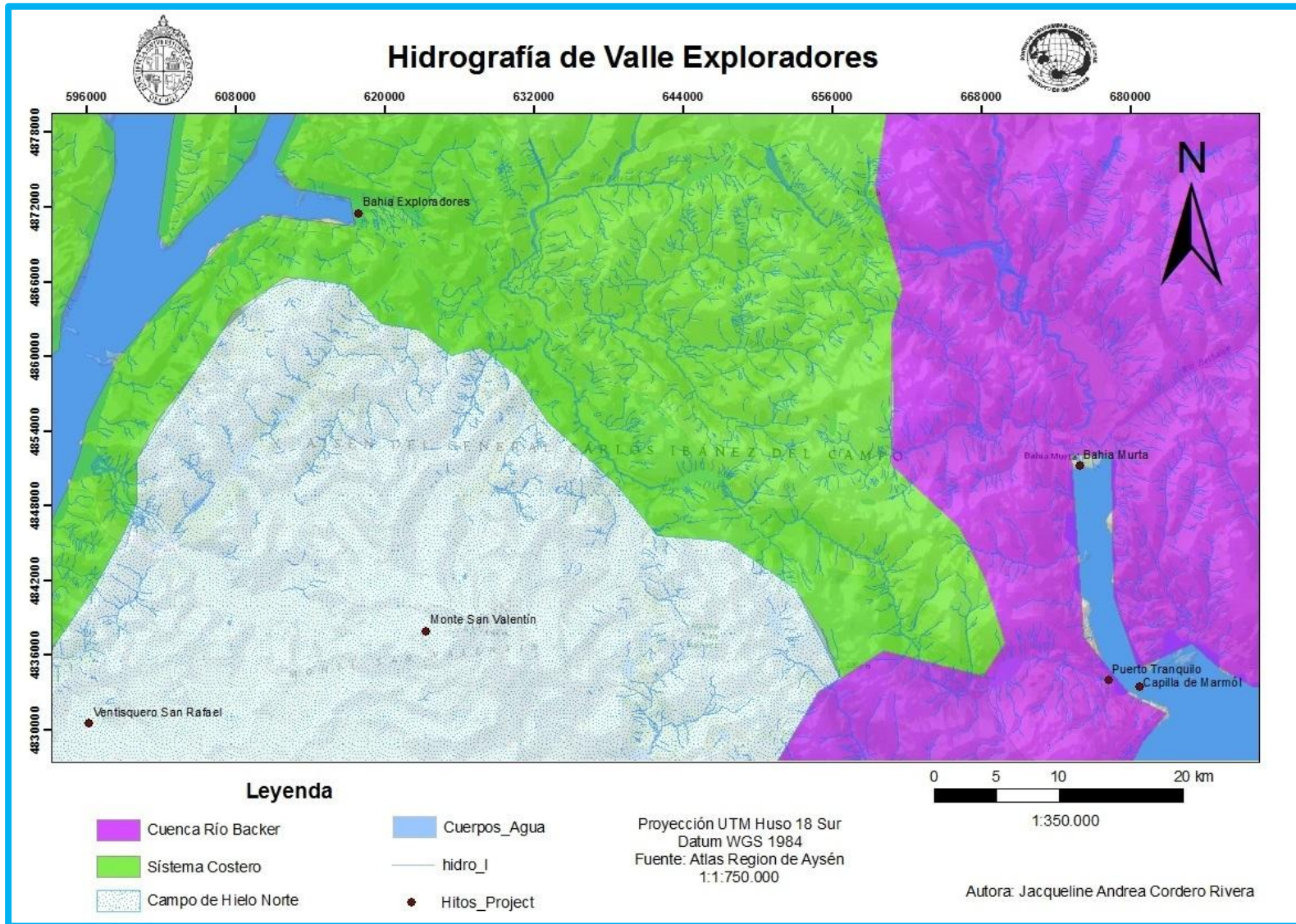
Como es posible desprender de la carta Valle Exploradores está dividido entre dos sistemas, uno el sector Este correspondiente a la cuenca del Río Baker; mientras que por el sector Oeste tiene influencia meramente del sistema litoral.

En el caso del sistema litoral, se caracteriza por poseer un gran número de cursos, que luego de un corto recorrido desembocan en el mar, y donde las superficies asociadas a éstos no representan grandes extensiones. En el sistema continental los ríos más importantes nacen de la vertiente oriental de la Cordillera de Los Andes, escurriendo luego por la Cordillera de los Andes, interceptados por valles, desfiladeros típicos y desembocando en amplios fiordos. Estos cursos son muy caudalosos, con una alimentación pluvial, nival y glaciaria. Estos caudales se ven frecuentemente regulados por lagos interpuestos en sus cursos (*SERPLAC Aysén, 2005*).

La hoya que tiene implicancia directa en el área de estudio es el Río Backer, el cual drena una superficie de 26.487 km², de los cuales 17.159 km² están en territorio nacional. Además, es el segundo más largo de Chile (después del Loa con 440km), con un recorrido de 175 km, hasta desembocar en las inmediaciones de Caleta Tortel, recibe el aporte de numerosos afluentes como el Chacabuco, Cochrane, El Salto y Los Ñadis por el oriente; Nef, Colonia y Ventisqueros por el occidente. Su caudal medio estimado es de 1.500 m³/seg., siendo el más caudaloso del país. Tiene su origen en el Lago Bertrand, el que recibe las aguas del Lago General Carrera (*SERPLAC Aysén, 2005*).

En un análisis más específico, el sistema hidrográfico continental de la Región comprende seis hoyas principales: Palena, Cisnes, Aysén, Baker, Bravo y Pascua, todas ellas con parte de su territorio en tierras argentinas, a excepción de los ríos Cisnes y Bravo (*SERPLAC Aysén, 2005*).

Carta n° 7: Carta de Hidrografía de Valle Exploradores.



Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

En el interior de Valle Exploradores es posible visualizar una importante red hidrográfica, observándose quebradas, ríos, lagos y lagunas; entre los que se hayan Laguna San Rafael, Lago General Carrera, Río Exploradores, Río Tranquilo, Lago Los Leones, Lago Fierro, Lago Bayo, Río Teresa, Río Oscuro, Río Tempano, Río Oscuro, etc.

4.2. Factores Humanos.

4.2.1. Características demográficas

El área de estudio se inserta al interior de la Región de Aysén, específicamente entre las comunas de Río Ibáñez y Aysén, según el reporte estadístico comunal del Sistema Integrado de Información Territorial (SITT) del año 2008, la población total de la primera comuna es de 2.225 habitantes, la cual ha tenido una disminución de 10.2% en relación al año 2002; agudizándose aun mas ya que las proyecciones estimadas para el 2011 por el INE (Instituto Nacional de Estadística) los habitantes son 2.100 (*SINIM, 2012*). La segunda comuna, presenta una población de 26.830 habitantes (*SINIM, 2012*). Actualmente, en ambas comunas no se cuenta con información respecto a la densidad de población.

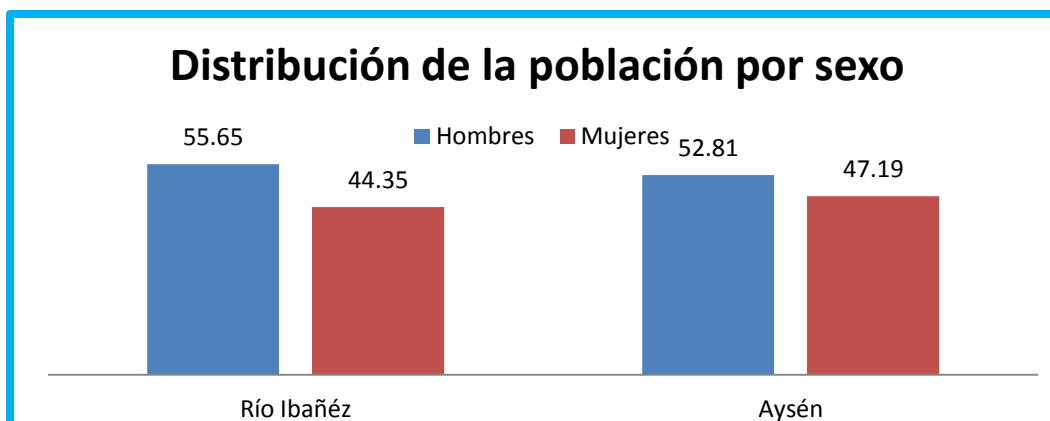
Según la proyección estimada para el año 2011 por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), el 100% de la población comunal de Río Ibáñez es rural (*SINIM, 2012*), en contraposición a la comuna de Aysén la cual tiene un 91,26% de población urbana (*SINIM, 2012*). Sobre la composición por sexo al año 2008, la primera comuna tiene un 55,65% de hombres, mientras que un 44,35% de la población es de sexo femenino (*SIIT, 2008*); en cambio el segundo municipio tiene un 47,19% de composición de mujeres y 52,81 % de hombres (*SIIT, 2012d*).

68

Tabla n° 10: Distribución porcentual de la población rural y urbana.

Comuna	Rural (%)	Urbana (%)	Total (%)
Río Ibáñez	100	0	100
Aysén	8,74	91,26	100

Fuente: Elaboración propia en base al Sistema Nacional de Información Municipal (SINIM) 2012.

Grafico n°3: Distribución de la población por sexo.

Fuente: Elaboración propia en base al Sistema Integrado de Información Territorial (SIIT), 2012d.

Las estructuras etarias de las comunas, son bastante similares entre si, en el caso de Río Ibáñez presenta un predominio de la población en edad económicamente activa, es decir entre 18 a 64 años, abarcando casi un 61,6% (SIIT, 2008a) del total, lo cual se traduce en una fuerte y creciente necesidad de generar empleo para no seguir con la tendencia del éxodo poblacional de las áreas rurales. En la comuna de Aysén 93% de la población se concentra entre los 0 a 64 años, de ellos un 74,4% pertenece a la población entre 15 – 64 años (SIIT, 2012d).

Dentro de las estadísticas vitales de las comuna resaltan situaciones como la tasa de natalidad de Río Ibáñez, en el año 2002 era de 16,2 por cada mil habitantes, posteriormente, en el año 2004 era de 12,7 cada mil habitantes y teniendo una leve alza en el 2006 con 13,6% (SIIT, 2008a), como se visualiza a continuación:

Tabla n° 11: Tasa de natalidad de Río Ibáñez.

	Año 2002	Año 2004	Año 2006
Tasa de natalidad	16,2	12,7	13,6

Fuente: Elaboración propia en base al Sistema Nacional de Indicadores Municipales (SINIM) 2006.

Aunque, la situación anterior en el año 2009, ha cambiado nuevamente la tendencia con una disminución en la tasa de natalidad, la cual registra 12 nacimientos por cada mil habitantes (SIIT, 2012b), por lo tanto existe una disminución en la tasa de nacidos en la comuna.

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

Con respecto a la situación de la comuna de Aysén la tasa de natalidad para el año 2009 fue de 17,3 (*SIIT, 2012e*) por cada mil habitantes; superior al de la región, la cual es de 16,04 (*SIIT, 2012e*).

Tabla n° 12: Tasa de Natalidad de la Comuna de Aysén.

Natalidad (nacidos vivos cada mil habitantes)	Comuna de Aysén	Región de Aysén
Año 2009	17,3	16,04

Fuente: Elaboración propia en base al Sistema Integrado de Información Territorial (SIIT) 2012.

En el caso de la mortalidad, Río Ibáñez tiene una tasa de defunción de 7,4 por cada mil habitantes. Desglosando esta variable, se puede indicar que la mortalidad infantil ha disminuido, llegando al año 2009 a cero (*SIIT, 2012b*). En el caso de la comuna de Aysén, presenta una tasa de mortalidad general de 5,6 menor al municipio anteriormente nombrada. Ahora bien, en relación a la mortalidad infantil, registrando una tasa de 13,30; estando muy por encima del nivel nacional, 7,9 (*SITT, 2012e*).

70

Tabla n° 13: Tasa de Mortalidad en Río Ibáñez y la Comuna de Aysén.

Comuna	Mortalidad General	Mortalidad Infantil
Río Ibáñez	7,4	0
Aysén	5,6	13,3
Nacional	5,4	7,9

Fuente: Elaboración propia en base al Sistema Integrado de Información Territorial (SIIT) 2012.

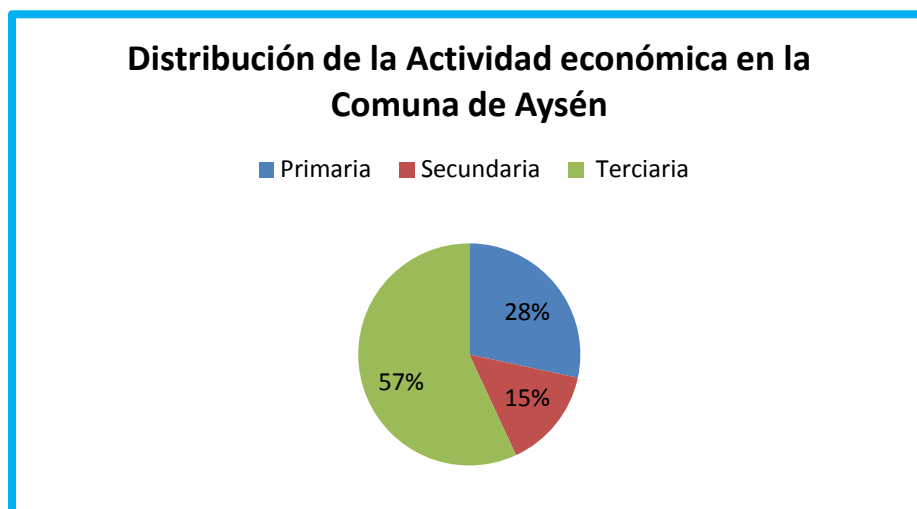
4.2.2. Condiciones socioeconómicas de la población.

La fuerza de trabajo de la comuna de Río Ibáñez corresponde al 50,8% en el 2006, porcentaje que está por debajo el total del país, el cual en la misma fecha alcanzaba solo el 57,3% de la población. Además, la población económicamente activa se desenvuelve principalmente en el sector primario (*SIIT, 2008a*).

La comuna de Aysén presenta en el año 2006 un 57,6% (*SIIT, 2008b*) de fuerza de trabajo, presentándose una disminución de 8,1% en comparación al año 2003. La

principal actividad economía de la comuna es la terciaria común 56,89%, seguida de la primaria con un 28,36% y por último, la secundaria con un 14,7% (SIIT, 2012f).

Grafico n° 4: Distribución de la actividad económica en la Comuna de Aysén.



Fuente: Elaboración propia en base al Sistema de Información Integral Territorial.

Los hogares de Río Ibáñez está compuesta por un 91,65% de no pobres, y por un 4,25% de que sí entran en dicha clasificación, aparte de un 4,1% de indigentes al año 2009 (SIIT, 2012), como se visualiza a continuación:

Tabla n° 14: Pobreza en los Hogares de Río Ibáñez.

Pobreza en los Hogares	2003	2006	2009	Comuna (%) 2009	Región (%) 2009	País (%) 2009
Pobre indigente	97	9	28	4,1	4,44	3,44
Pobre no indigente	124	39	29	4,25	7,19	9,30
No pobres	1.124	622	626	91,65	88,37	87,25
Total	1.345	670	683	100	100	100

Fuente: Elaboración propia en base a la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN). Ministerio de Desarrollo Social., extraído del Sistema Integrado de Información Territorial (SIIT), 2012.

La tabla anterior deja en evidencia que los hogares de Río Ibáñez en condición de no pobreza está muy por encima de los valores a nivel de país de un 87,26%; al igual que el número de hogares pobres que a nivel nacional llega a 9,3% y regional a 7,19%; situación

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

que se invertida con respecto a la indigencia ya que la comuna esta por sobre al nivel nacional, lo que corresponde a un 3,44% (SIIT, 2012a).

Sobre los índices de pobreza en la comuna de Aysén, existe un 9,32% de ellos que no quepan en la categoría de indigentes y un 3,85% que si lo son. Ahora bien, el 86,83% de la comuna es catalogada como no pobre; índice que está por debajo al nivel país ya que p el 2009, se registraba un 87,26% a nivel nacional (SIIT, 2012c).

Tabla n° 15: Pobreza en los Hogares de la Comuna de Aysén.

Pobreza en los Hogares	2003	2006	2009	Comuna (%) 2009	Región (%) 2009	País (%) 2009
Pobre indigente	253	148	291	3,85	4,44	3,44
Pobre no indigente	482	100	705	9,32	7,19	9,30
No pobres	5.602	6.314	6.566	91,65	86,37	87,25
Total	6.337	6.562	7.562	100	100	100

Fuente: Elaboración propia en base a la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN). Ministerio de Desarrollo Social, extraído del Sistema Integrado de Información Territorial (SIIT), 2012.

En relación con el ingreso promedio de los hogares, según la encuesta CASEN 2003 – 2009, en el último año en Río Ibáñez llega a 503.853 pesos; lo que significa un aumento de los ingresos en casi un 100% en comparación al año 2003. A pesar de ello los ingresos siguen siendo un 47,3% menor en comparación al nivel regional (742.670 pesos) y un 45,9% a nivel nacional (735.503 pesos) (SIIT, 2012a).

En el caso de la comuna de Aysén, presenta un mayor ingreso monetario, en comparación con Río Ibáñez, siendo de 563.674 (SIIT, 2012c) pesos mensuales; aunque tanto a nivel regional y nacional se posicionan muy por debajo de ellos. Esta situación es observable en la tabla adjunta a continuación, donde se reúne la información de ambas comunas:

Tabla n° 16: Ingresos promedios para las comunas de Aysén y Río Ibáñez.

Ingresos Promedios	2003	2006	2009	Región	País
Comuna Aysén	378.912	559.802	543.468	742.670	735.503
Comuna Río Ibáñez	244.459	326.577	503.853	742.670	735.503

Fuente: Elaboración propia en base Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN). Ministerio de Desarrollo Social.

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

4.2.3. Historia

El primer vestigio que se tiene de Valle Exploradores, es de Hans Steffen, geógrafo alemán que escribió en su obra *Patagonia Occidental* (tomo II) publicada en el año 1944, ocho años después de su muerte. Dice Bahía Exploradores "...habría sido reconocida por primera vez por Simpson"..... "En su segunda expedición el comandante Simpson había reconocido en el interior de la bahía Exploradores, ramificación del estero de San Francisco, en los 46°12' de latitud, un río caudaloso, sobre el cual se hallan algunas indicaciones incompletas en su memoria." (Steffen, 144: 293).

Imagen n° 26: Hans Steffen.



Imagen n° 27: Hans Steffen en Chile.



73

El valle del río Exploradores fue reconocido en su totalidad en 1943 por el explorador Augusto Grosse, en una campaña personal y junto a sus colaboradores, lo recorrió en bote y luego a pie, desde el Oeste, llegando al lago General Carrera; como relata en su libro "Visión de Aysén" de 1955. "El objetivo de la expedición de Grosse es muy diferente al que había tenido Steffen en su época. Ahora se buscaba evaluar la factibilidad de una ruta que permitiera a los colonos del lago Buenos Aires sacar su producción al Pacífico de manera directa, por lo cual se debía retomar la exploración del río Exploradores para encontrar la ruta posible y considerar la apertura de un camino allí " (Osorio, 2011:p. 21).

Imagen n° 28: Augusto Grosse.



El
hombre
de la
derecha
es
Agusto
Grosse

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

4.2.4. Paisaje

Puerto Tranquilo es el nombre del poblado más conocido de Valle Exploradores, se ubica en la ribera oeste del lago General Carrera y disfruta de las bondades del clima moderado por la influencia del lago. En posible observar la presencia de árboles frutales, huertos e invernaderos. Como en muchas otras localidades de la región, sus viviendas son en general de madera nativa extraída de los valles aledaños. Sin embargo, existen muchas viviendas que evidencian una época en que se construyó con ladrillos y madera. Se trata de la época de colonización inicial del sector (*Turismo Científico, 2012*).

Imagen n° 29: Puerto Tranquilo



74

“Durante mayor parte del año Puerto Tranquilo lleva una vida tradicional organizada en función de la actividad ganadera y la horticultura de subsistencia. La primera se realiza en los campos cercanos camino al valle Exploradores o a orillas de la carretera austral. La segunda en los patios de las casas. En las calles del pueblo suelen transitar jinetes, se observan caballos pastando en las veredas, camionetas transportando leña o madera, camiones para el ganado” (*Turismo Científico, 2012: p.7*).

En las fechas próxima a la primavera, la gente de Puerto Tranquilo comienza a prepararse para la temporada de alta actividad turística (verano), que desde hace algunos años ha venido modificando su rostro. Lo que se denota por la creciente proliferación de cabañas de turismo, oferta de servicios turísticos como la visita a la Capilla de Mármol, a Puerto Sánchez o al glaciar Exploradores. (*Turismo Científico, 2012*).

“Al recorrer el valle el paisaje sugiere a cada paso una biodiversidad inmersa en la tupidez del bosque, bajo las aguas mallinosas o allá lejos cerca de las cumbres de las montañas. Pero también observamos las huellas de la actividad humana como campos empastados, Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

alamedas diseminadas, zonas con cicatrices de antiguos incendios y viviendas de familias campesinas que mantienen todavía la vida rural. Entre Puerto Tranquilo y el lago homónimo podrán observar dos manifestaciones culturales importantes: la presencia de cementerios familiares y una serie de ermitas religiosas dedicadas al santo católico “San Sebastián” (*Turismo Científico, 2012: p.8*).

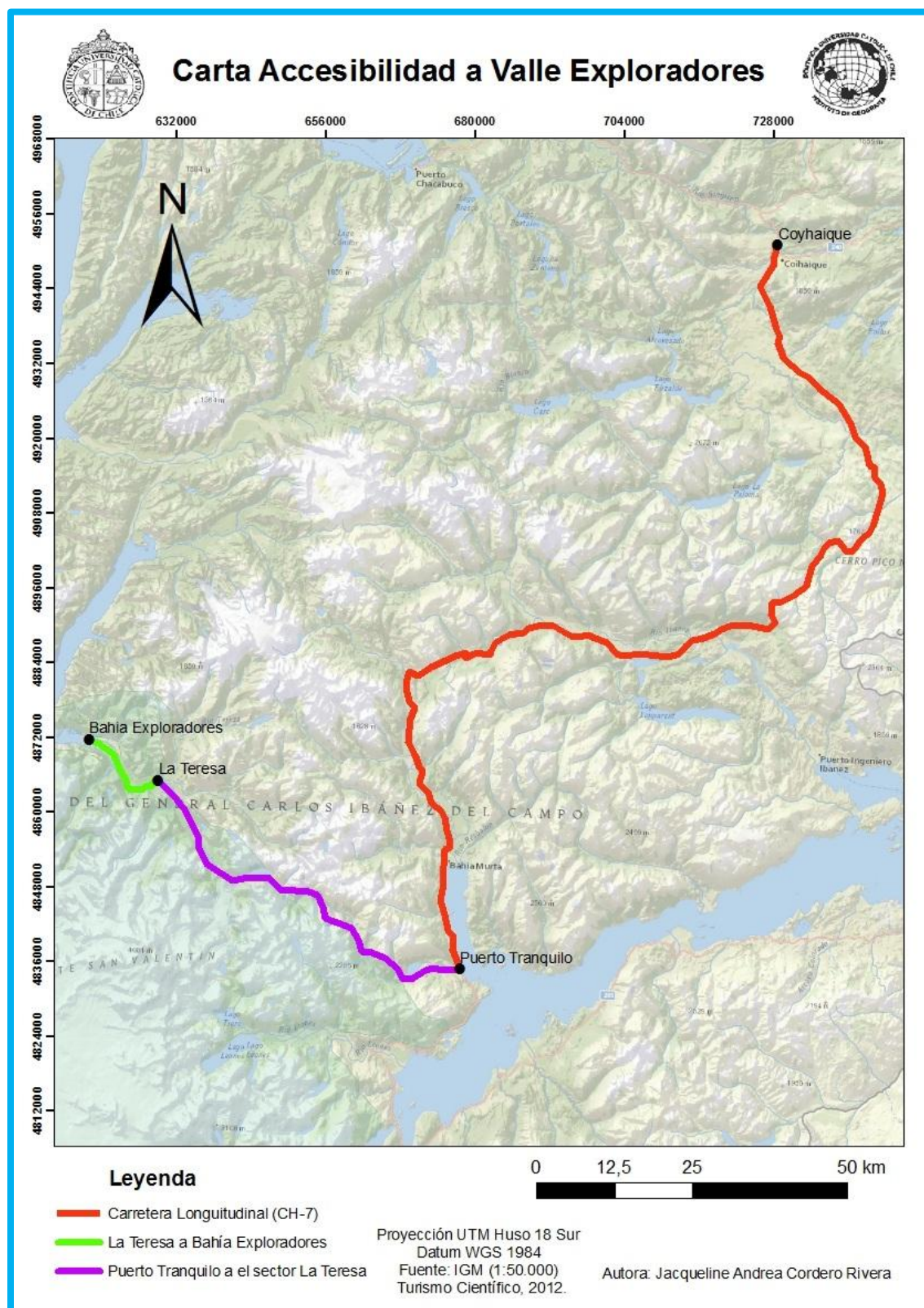
En relación a la presencia indígena, no se han encontrado vestigios de ellos, lo que sugiere que este valle no habría sido visitado por canoeros desde el Pacífico ni por cazadores terrestres desde el oriente. Sin embargo, tanto en este como en otros temas de Aysén, pueden surgir grandes sorpresas (*Turismo Científico, 2012*).

4.2.5. Accebilidad

Para llegar a Valle Exploradores es necesario acceder a través de Puerto Tranquilo, lo que es posible a través de vía terrestre por Carretera Austral (CH-7) o bien, por vía aérea del aeródromo de Bahía Murta y luego en vía terrestre hasta Puerto Tranquilo.

Para una descripción mas específica, se procederá a citar textualmente la información que se entrega en la “Guía de Campo Valle Exploradores” de Turismo Científico (2012), donde se cita lo siguiente: “Por vía terrestre por la Carretera Longitudinal Austral hasta Puerto Río Tranquilo, localidad ubicada a 224 km al sur de Coyhaique, donde se toma el camino público señalado. Desde Puerto Tranquilo al sector La Teresa, 75 km. Allí se cruza el río Exploradores y se recorren 10 km de camino hasta un muelle sobre el río, donde se aborda embarcación para recorrer 9 km hasta la bahía Exploradores por la que se puede continuar navegación al estero Cupquelán y la laguna San Rafael” (*Turismo Científico, 2012:p.5*).

Carta n° 8: Carta de Accesibilidad de Valle Exploradores.



Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

Capítulo V

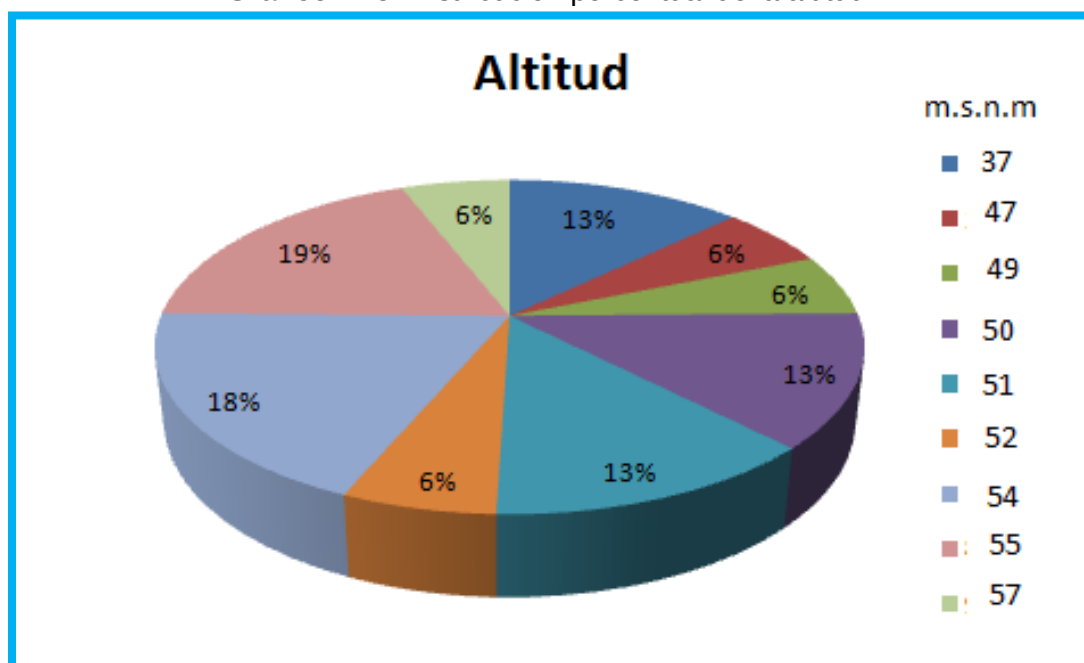
5. Resultados

A continuación se dará inicio a la exposición de los resultados generados en la etapa de implementación metodológica, los cuales serán expuestos a continuación por objetivos:

5.1. Objetivo_1: Caracterizar las turberas en función a sus condiciones geográficas como: altitud y cobertura de suelo en Valle Exploradores.

En relación al nivel altitudinal catastrado en terreno, correspondiente a la turbera localizada entre los 46° 26' Sur - 73° 14' Oeste y 46° 28' Sur - 73° 14' Oeste, fue posible determinar mediante los datos levantados que el 37% de ellos varía entre 54 y 55 m.s.n.m; por lo tanto la turbera catastrada se sitúa en una baja altitud; no variando mas allá de los 20 metros entre los datos levantados. En la grafica siguiente se observa la distribución porcentual de las altitudes:

Grafico n° 5: Distribución porcentual de la altitud.



El detalle de la información levantada esta anexada al final del informe.

De acuerdo a la cobertura vegetal que presentaba la turbera catastrada en terreno, fue posible observar la presencia de una diversidad de especies entre las que se hallaron desde *Carex* hasta *Notofagus*, esto últimos van a depender su tamaño por la presencia del estrato mineral, lo que quiere decir que si este está próximo a la superficie se van a dar árboles más abundante y de mayor tamaño; mientras que si ocurre lo contrario la presencia arbórea será menor, aunque para comprobar aquello es necesario un trabajo de campo en el cual se cuente con las herramientas necesarias para realizar un perfil de suelo. Además, lo que fue posible visualizar en el área de estudio es la presencia de muchos árboles secos y quemados dado principalmente por los incendios ocurridos en las zonas a comienzo hasta mediado del siglo XX, los que eran intencionales con el propósito de habilitar suelos para hacerlos aptos para el cultivo.

Ahora bien, volviendo a la cobertura de suelo, la especie que se visualizo con mayor predominancia fue el musgo *Sp. Magallanicum*, el cual se presentó en un gran porcentaje en cojín, lo que denota el aporte hídrico recibido por la turbera a través de las precipitación, ya que es necesario recordar que en Valle Exploradores precipita entre 2.000 – 4.000 mm anuales, en la siguiente imagen se observa el montículo de *Sphagnum*:

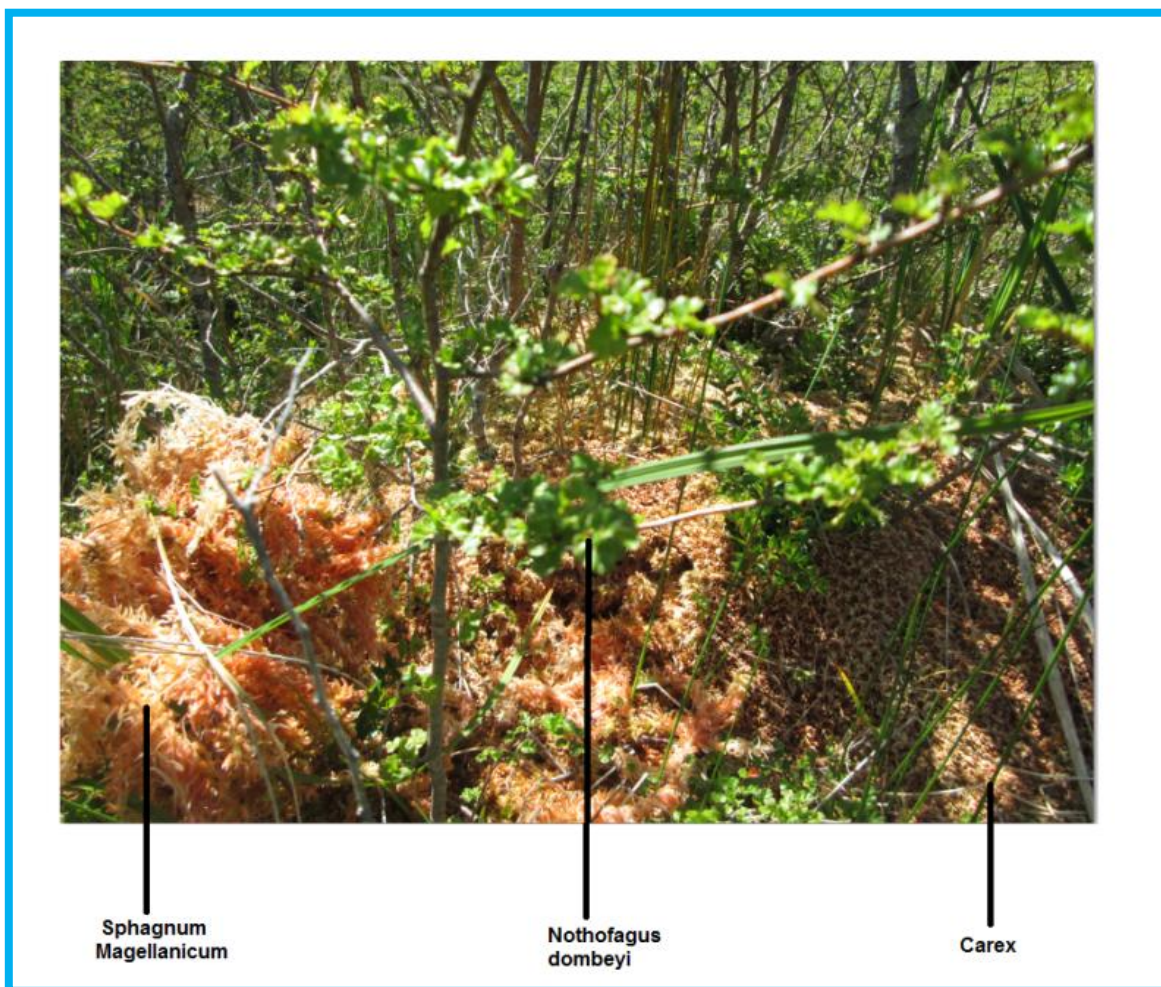
Imagen n° 30: Cobertura de suelo de la turbera



Otra característica que se visualizó en el área de estudio respecto al musgo *Sphagnum*, es que este se localiza principalmente en arbustos y troncos de los árboles, los que pueden estar parados como medios tumbados, los que en su gran mayoría estaban vivos.

Además, de ser el musgo *Sphagnum magellanicum* una de las especies más importantes en cobertura de suelo, este convive con otras especies como juncos, *Sp. Fimbriatum*, *Carex magellanica*, *cladonia rengiferina myrteola nummularia*, *Nothofagus (dombeyi y antartica)*, entre otros como es posible observar a continuación:

Imagen n° 31: Algunas especies que conviven con el *Sphagnum*



5.2. Objetivo_2: Identificar a través del procesamiento de las imágenes satelitales, junto a la información obtenida en terreno, la firma espectral de las turberas

Imagen n° 32: Turbera de Valle Exploradores



80

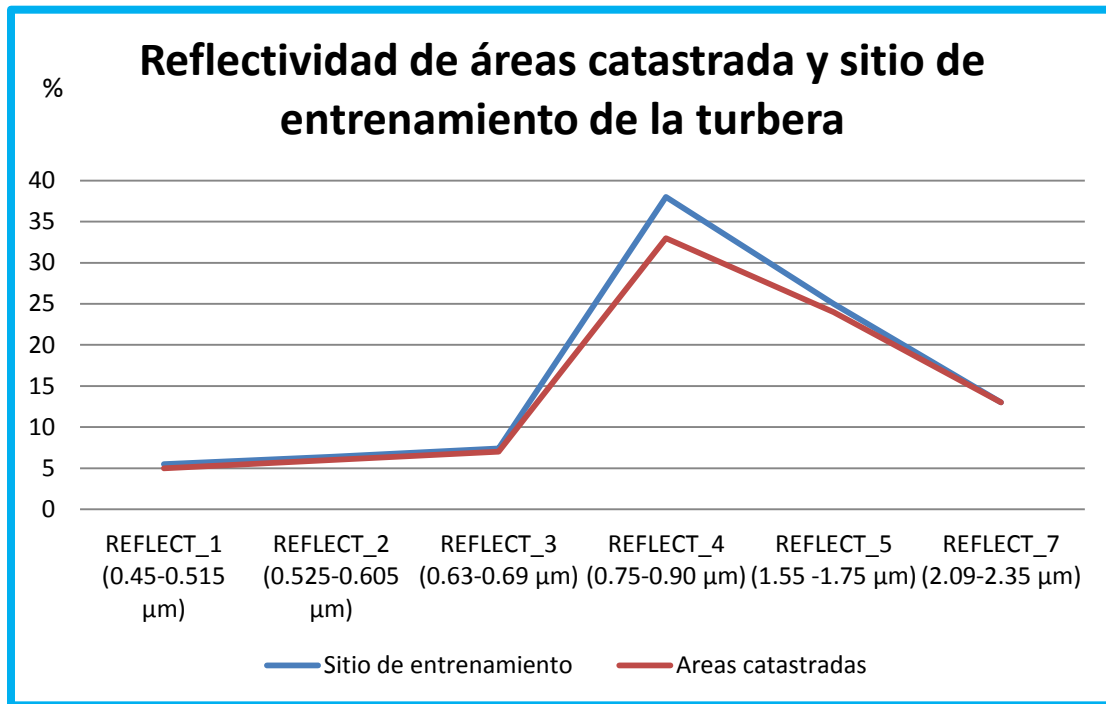
De acuerdo a los 16 puntos levantados en la turbera en el terreno realizado durante el mes de enero del 2013 en Valle Exploradores, se procedió a obtener el comportamiento espectral de ella, para ello fue necesario trabajar con una mayor área a la levantada; es por ello que se procedió a extraer los valores con que se trabajaron en los sitios de entrenamiento que se utilizaron para la reclasificación supervisada (procesamiento que sirvió también para el objetivo 3).

Debido a lo anterior, es necesario aclarar que dentro de las áreas pertenecientes a la turbera para la reclasificación supervisada se encuentran incluidas las áreas que se identificaron en terreno como tal, esta aclaración se debe hacer, ya que el área que se abarco como sitios de entrenamiento en el software **IDRISI** es mayor al área recorrida al interior de ella en terreno (dichas datos levantados será adjuntada en el anexo del informe). La utilización de ellas se debe a que la diferencia entre las áreas levantadas en terreno con las utilizadas en la reclasificación supervisada solo variaron en un 5% - lo que

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

es posible observarlo en el grafico n°7 - en los valores de su máxima reflectividad, por ende siendo ambas muy representativa; pero dejándose como definitiva el sitio de entrenamiento, utilizado para la reclasificación supervisada, ya que como se menciono anteriormente en ellas se encuentran inmersas las áreas catastradas.

Grafico n° 6: Reflectividad de las áreas de la turbera catastrada y sitio de entrenamiento para la reclasificación supervisada



81

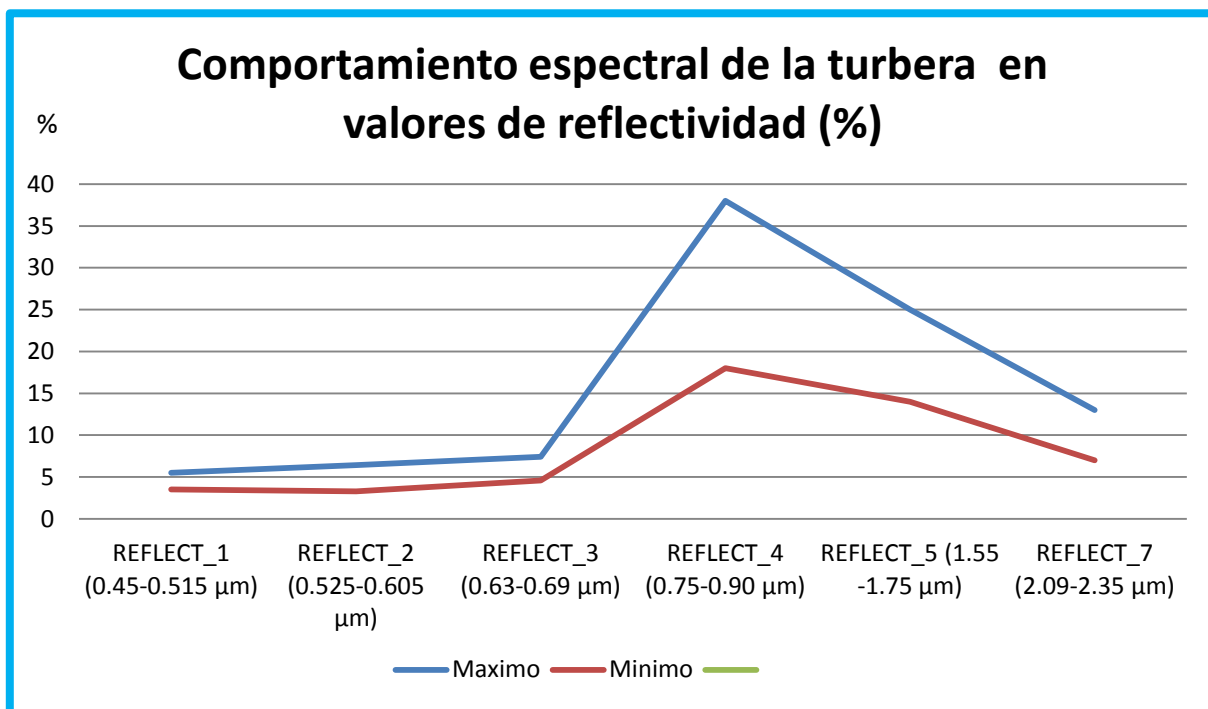
Tabla n° 17: Valores mínimos y máximos de reflectividad por banda alcanzados por las áreas de la turbera tomada como sitio de entrenamiento.

	REFLECT_1 (0.45-0.515 μm)	REFLECT_2 (0.525-0.605 μm)	REFLECT_3 (0.63-0.69 μm)	REFLECT_4 (0.75-0.90 μm)	REFLECT_5 (1.55 -1.75 μm)	REFLECT_7 (2.09-2.35 μm)
Máximo	5.5	6.4	7.4	38	25	13
Mínimo	3.5	3.3	4.6	18	14	7

Con respecto a los resultados obtenidos del procesamiento de las imágenes, fueron los siguientes (los cuales son posible apreciar en el grafico n° 7 y tabla n° 17):

1. La máxima reflectividad que se halló en la turbera fue en la banda 4 (infrarrojo cercano "0.45-0.515 μm ", como se aprecia en la siguiente grafica.

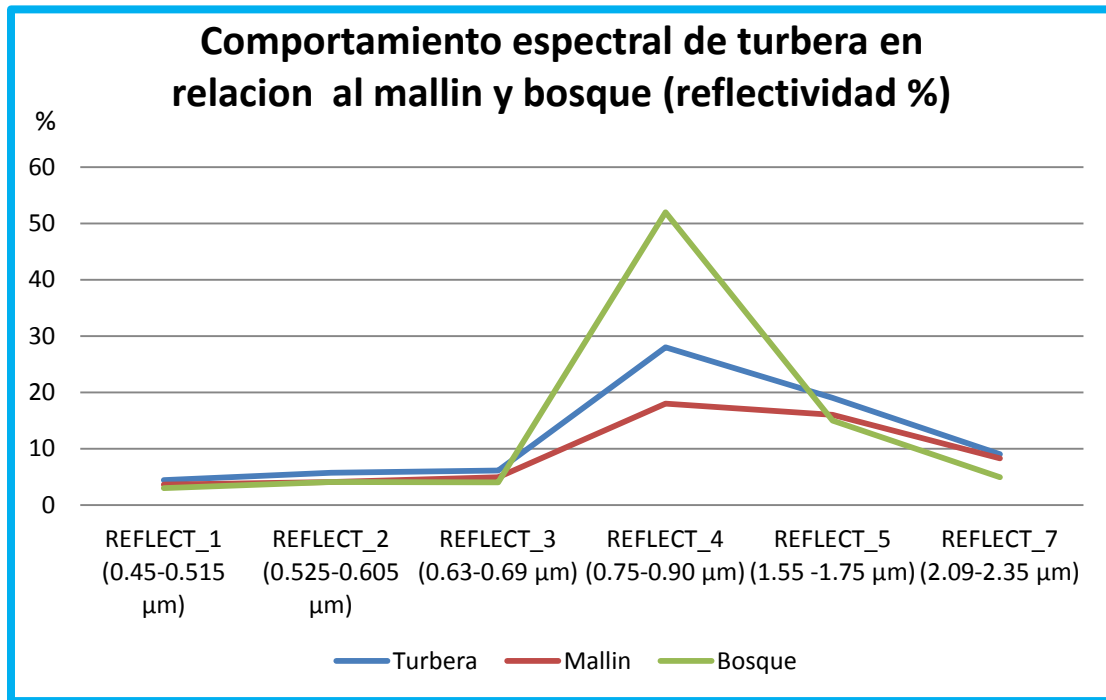
Grafico n°7: Comportamiento espectral de la turbera en valores de reflectividad (%)



82

2. La menor reflectividad identificada fue en el espectro visible, es decir de la banda 1 a la 3 (0.45 -0.69 μm); siendo muy similar o constantes el comportamiento entre ellas. Además, la diferencia existente en su máximo y su mínimo no es superior 3.1% en la banda 2 (verde), mientras que en las otras dos es menor. Como se visualiza en el grafico anterior.
3. El máximo valor alcanzado por la turbera fue de un 38%, en la banda 4, lo que muestra una menor reflectividad en comparación al bosque que sobrepasa el 64%, pero siendo mayor al del mallín el cual alcanza solo un 32%, como se aprecia a continuación:

Grafico n° 8: Comportamiento espectral de turbera en relación al mallín y bosque, valores de reflectividad (%)



83

- Con respecto al mínimo valor alcanzado por el sitio de entrenamiento de la turbera en la banda 4 esta fue de un 18%, lo cual es inferior al bosque pero superior al mallín, como es posible observar en la tabla n° 17.

5.3. Objetivo_3: Identificar la localización de las turberas a través del procesamiento de las imágenes satelitales Landsat TM 5 con la implementación de la información obtenida en terreno.

De las imágenes que se obtuvieron de las correcciones, transformaciones y sub-escenas se procedió a realizar las clasificaciones a través de los tres métodos desarrollados en la metodología (Reclasificación no supervisada, Reclasificación supervisada y Reclasificación por mascarar).

5.3.1. Reclasificación no supervisada

Para iniciar la presentación de los resultados obtenido en la reclasificación no supervisada del procesamiento de las imágenes, es necesario mencionar que se trabajo con las bandas – de la 1 a la 7, exceptuando la 6 - que contenían los valores en reflectividad (%), ya que esto nos permite tener una magnitud física y comparable de las coberturas del suelo. Además es necesario precisar que la clasificación no supervisada se llevo a la imagen de 16 de diciembre del 2001. Se utilizaron como parámetros las 6 bandas, un número de clúster igual a 8 y 4 iteraciones. Los que fueron trabajados con los módulos **ISOCLUST**.

84

La generación de la imagen arrojó 8 **CLUSTERS**, para su análisis se realizo un zoom al área donde se halla la turbera catastrada en terreno; lo que permitió desprender que el **CLUSTER** que mas cubre las áreas del ecosistema es el 2 (color amarillo claro), seguido ello por el **CLUSTER** 3 (color verde), como se observa en la imagen n° 33

Ahora bien, al observar la imagen n° 30, es posible observa que el área que cubre el **CLUSTERS** 2 es mayor al ecosistema que se desea hallar, lo cual es respaldado porque cubre un total de 92.5 km²; lo cual se traduce en un 29 % del área total, siendo por lo tanto excesivo, como se aprecia en la imagen n° 34.

Siguiendo con el **CLUSTER** 3, este también representa el área del mallín catastrado en terreno; lo que permite determinar que el programa **IDRISI** a través de la utilización del comando de **ISOCLUST** no distingue claramente las áreas entre mallín y turbera, lo cual se visualiza en la imagen n° 33.

Por último, el detalle de todas las hectáreas de los clúster será adjuntado en el anexo del seminario.

Imagen n° 33: resultado de la reclasificación no supervisada

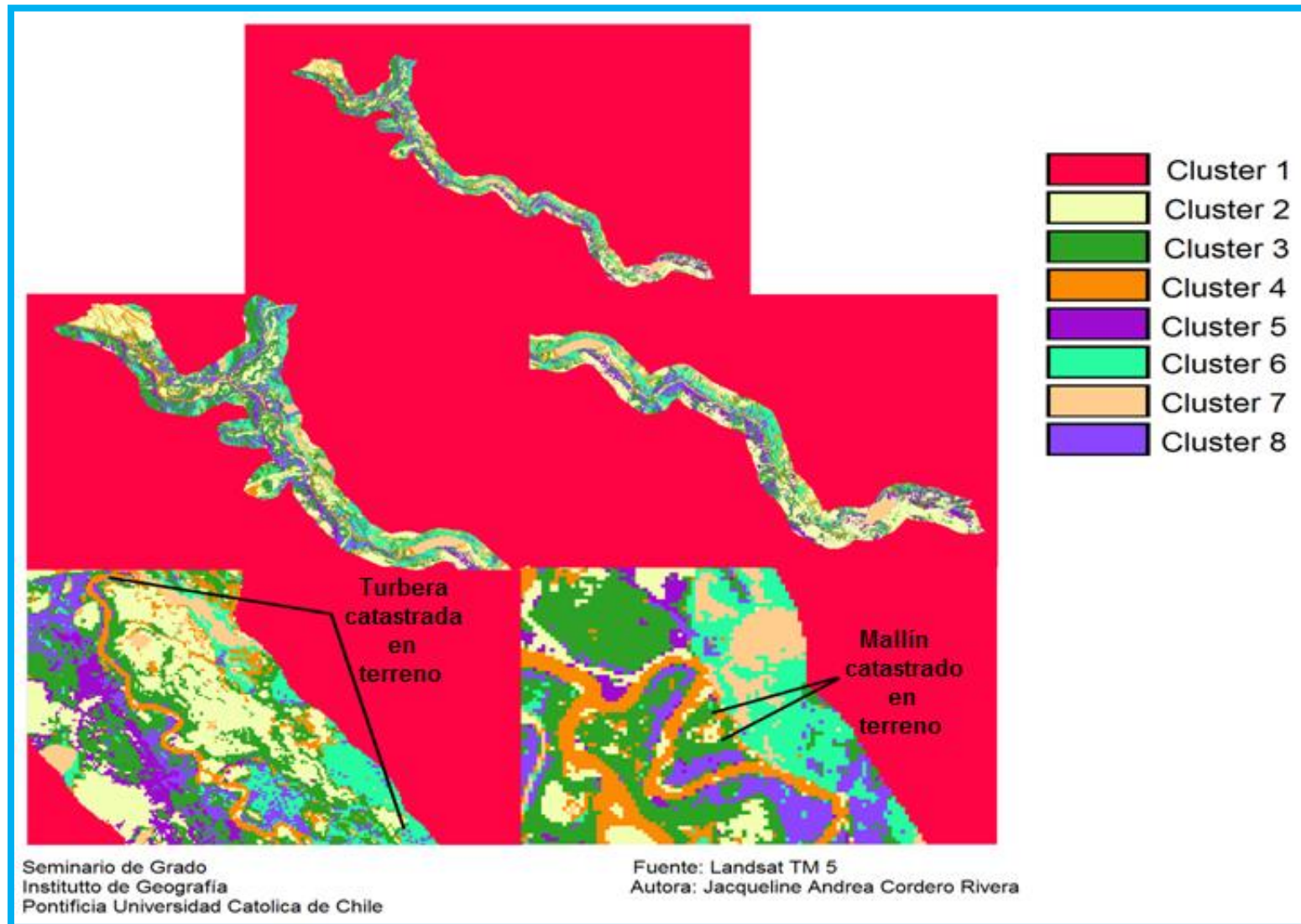
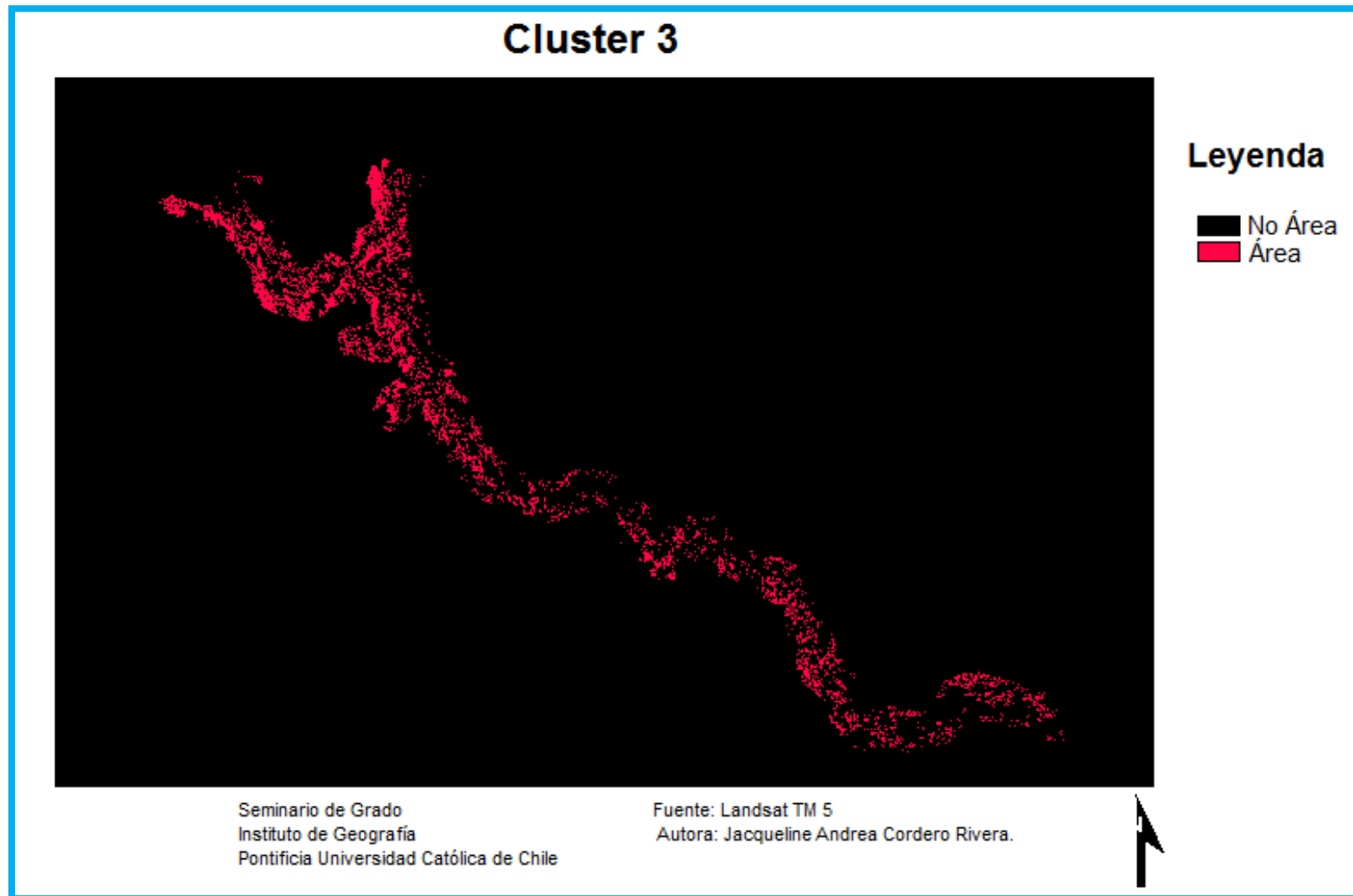


Imagen n° 34: Áreas del cluster 3

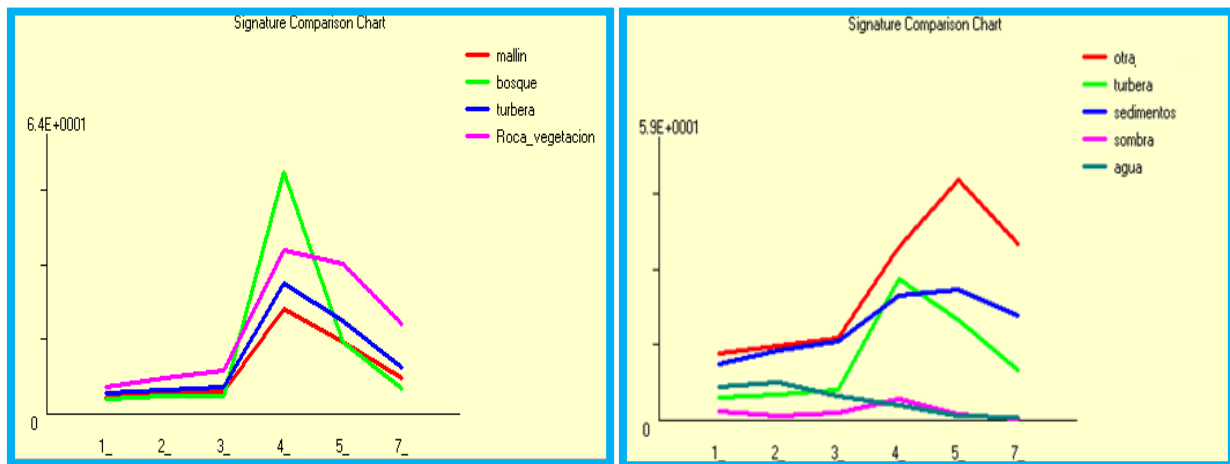


5.3.2. Reclasificación supervisada

De acuerdo a la realización de la reclasificación supervisada a la imagen del 16 de diciembre 2001 con los comandos **MAKESIG**, **SIGCOMP** y **MAXLIKE**, se obtuvieron los siguientes resultados:

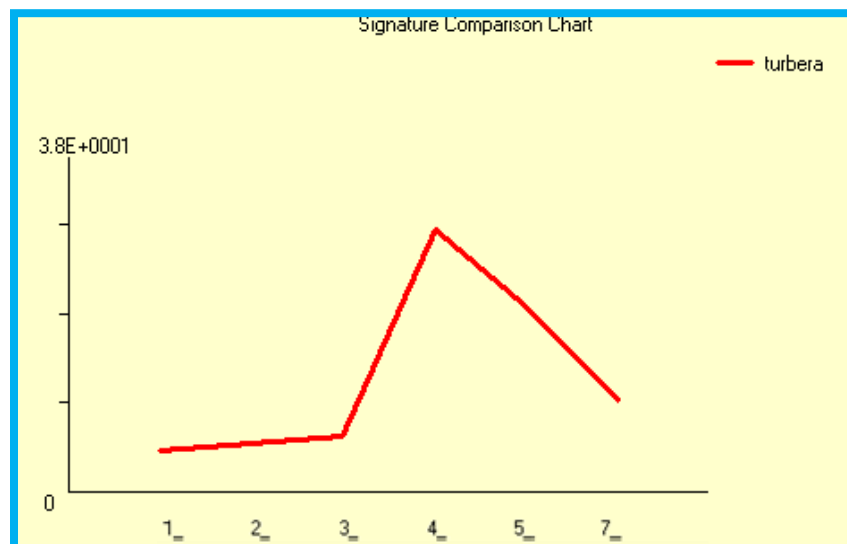
A continuación se observan las firmas espectrales generadas de cada una de las superficies utilizadas como sitios de entrenamiento para la reclasificación supervisada:

Imagen n° 35: Firmas espectrales de las áreas utilizadas en la reclasificación supervisada.



87

Imagen n° 36: Firma espectral de la turbera a través del comando **SIGCOMP**



Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

En las imágenes adjuntas (n° 35 y n° 36), se observa el comportamiento espectral arrojado por el software **IDRISI** Selva para las 8 coberturas utilizada para el análisis de la imagen en la reclasificación supervisada, concordando claramente con las firma espectral resultante del análisis del comportamiento espectral de la turbera, realizado en el objetivo 1. Por otra parte, antes de continuar con el análisis, es necesario aclarar que las coberturas de suelo denominada Roca_vegetación y Otra, pertenece a áreas de afloramiento rocoso con presencia de vegetación en el caso de la primera y la segunda a áreas de altura en donde se limita con áreas de nieve.

De lo anterior, se procedió a obtener la imagen resultante, en la cual se observa las 8 coberturas generadas por el comando **MAXLIKE**, como se observa en la imagen n° 37 adjuntada un poco más abajo.

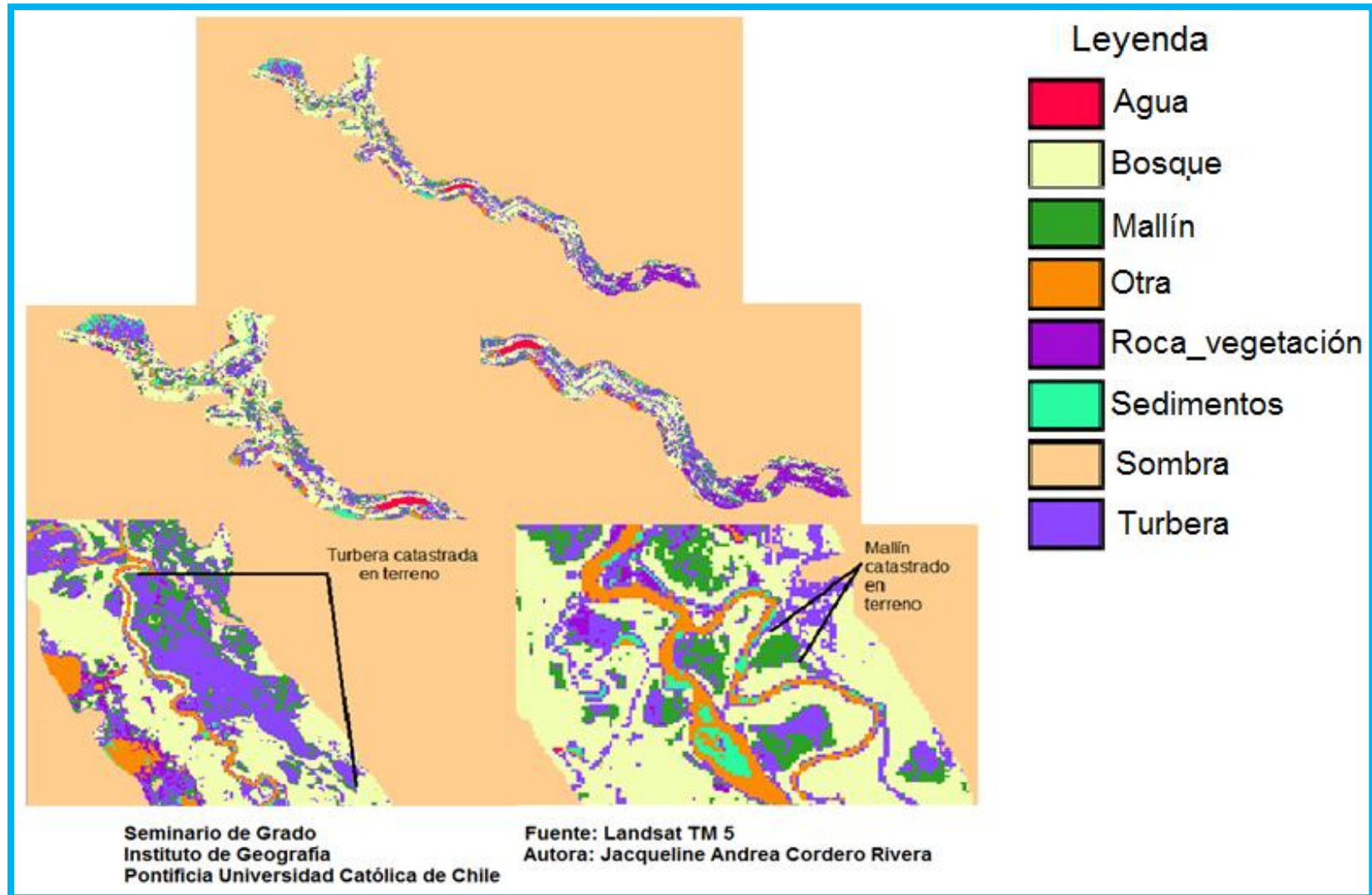
Para analizar la imagen generada fue necesario realizarle un zoom de la cual es posible desprender que el **SOFTWARE IDRISI** Selva detecto efectivamente la turbera hallada en terreno, existiendo una distinción más clara entre turbera y mallín, en comparación a la reclasificación no supervisada, a pesar de ello esta diferencia no fue un 100% ya que ciertas áreas de la turbera presenta áreas catalogadas como mallín, esta situación es probable que se haya dado porque las áreas de las turberas que poseen mayor cantidad de agua, el sistema de información geográfica (SIG) las toma como mallín.

88

Es muy probable que la distinción radique en el porcentaje de área que cubre cada ecosistema, esto quiere decir que si la cobertura de suelo presenta un mayor porcentaje como turbera claramente identificable, será dicho ecosistema en tal caso, si ocurre la situación contraria se identificara como mallín, pero esto es solo un supuesto.

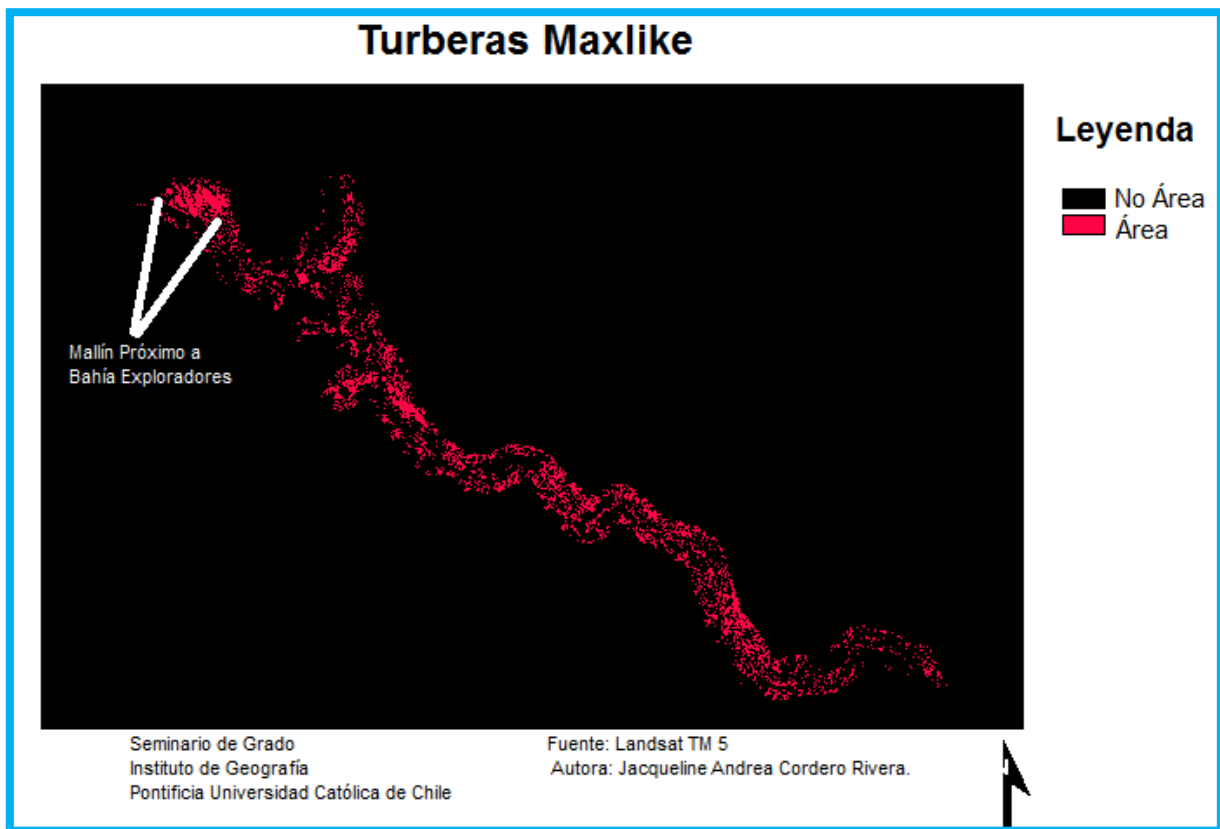
Por otro lado es necesario mencionar que existe la posibilidad que las áreas de las turberas identificadas como tal, pertenezcan a áreas en que se halla presencia de musgo sphagnum o algún otro tipo de vegetación, debido a que son sectores con una mayor presencia cobertura vegetal en sus suelos que las láminas de agua superficial como la de un mallín, pero para comprobar esto es necesario verificarlo en campo de dichas áreas.

Imagen n° 37: Resultados de la reclasificación supervisada



Por último, el área captada por el software como turberas según la reclasificación supervisada corresponden a 76.5 km² – lo que corresponde a un 23,9% del área total -, captando todas las áreas que aparecen en la imagen n° 38. En la cual se visualiza que las superficies captadas como turberas son mayores a la correspondiente a estos ecosistemas, recogiendo las áreas del gran mallín que se halla entre los 46° 18' 16" - 46° 18' 26" latitud Sur y los 73° 24' 12" - 73° 28' 38" Longitud Oeste, en las cercanías a Bahía Exploradores.

Imagen n° 38: Áreas arrojadadas como turberas en la reclasificación supervisada



5.3.3. Reclasificación por mascara

La última reclasificación que se llevó a cabo fue por medio de la implementación de mascarar, procesamiento que fue detallado en la metodología, generando los siguientes resultados:

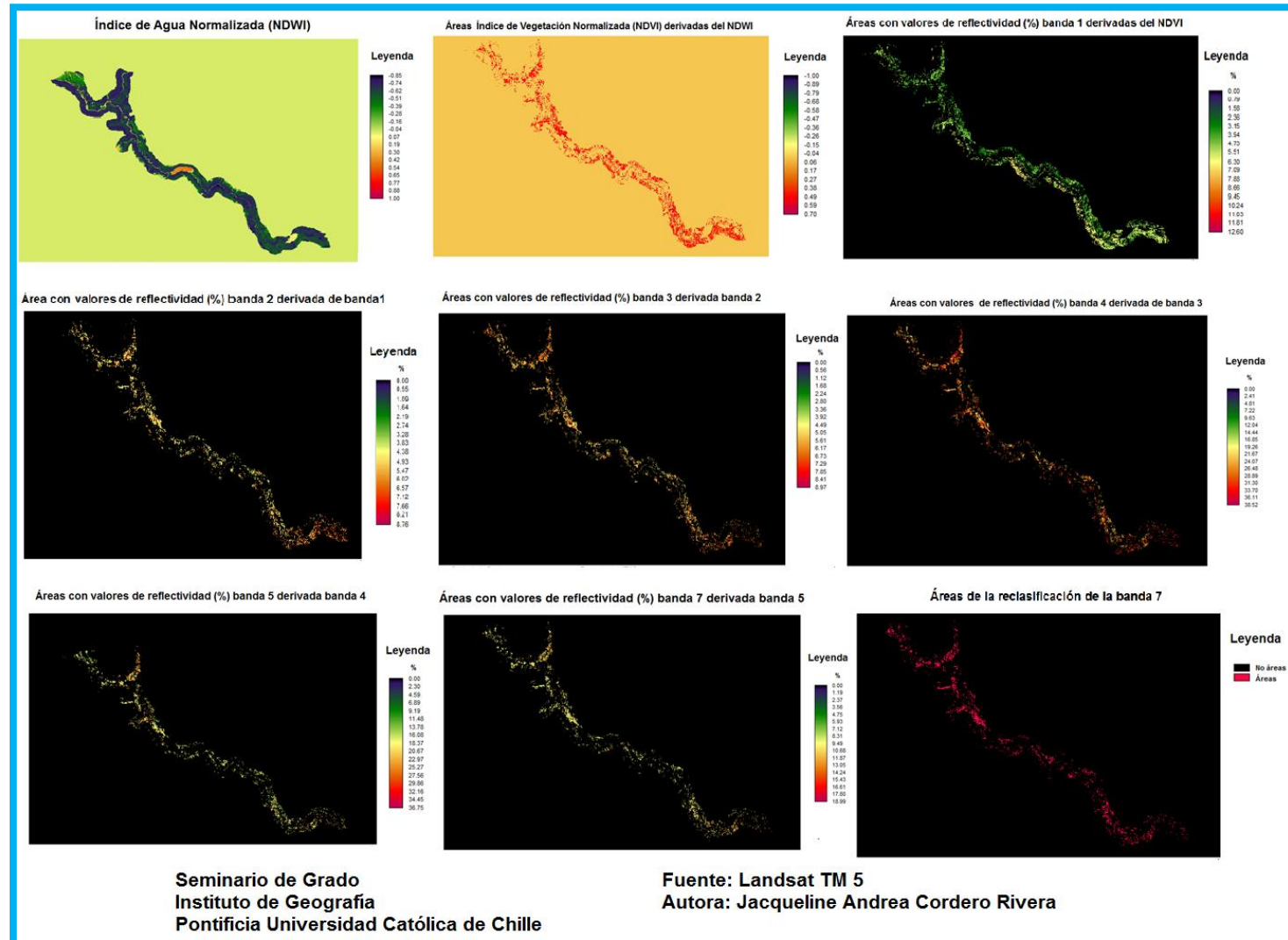
El área inicial con la cual se comenzó la reclasificación pertenece a 317 km², una vez que se realizó la última reclasificación de la banda 7, se obtuvo como áreas final un total de 28 km² con potencialidades de ser turberas, por lo tanto reduciéndose todo el área de trabajo en un 8,8 % del total de las áreas; como se observa en la imagen n° 39.

Al finalizar los procedimientos de la reclasificación por mascara, se pudo determinar: que esta reclasificación permite tener una mayor reducción de las posibles áreas de turberas, siendo por ende la más asertiva.

Por último, esta técnica permite una reducción considerable de las de área de trabajo pero no resuelve el problema de identificar las turberas sin que tome otras áreas, por ello se hace necesario complementar la información que genera la imagen satelital con otras informaciones como es la pendiente, ya que las turberas se hallan en zona planas y sobre todo toma mayor relevancia la verificación de las áreas en terreno, además que es necesario conocer el área para poder dar una interpretación a la imágenes generadas.

Por último, es necesario mencionar que el trabajo que se debe realizar para utilizar el método de reclasificación a través de mascarar, implica un mayor tiempo de inversión en comparación a las otras reclasificaciones, debido a la necesidad de extraer los valores de cada banda antes de reclasificar las imágenes, por ello siendo una actividad ardua que debe ser realizada respetando todos los pasos.

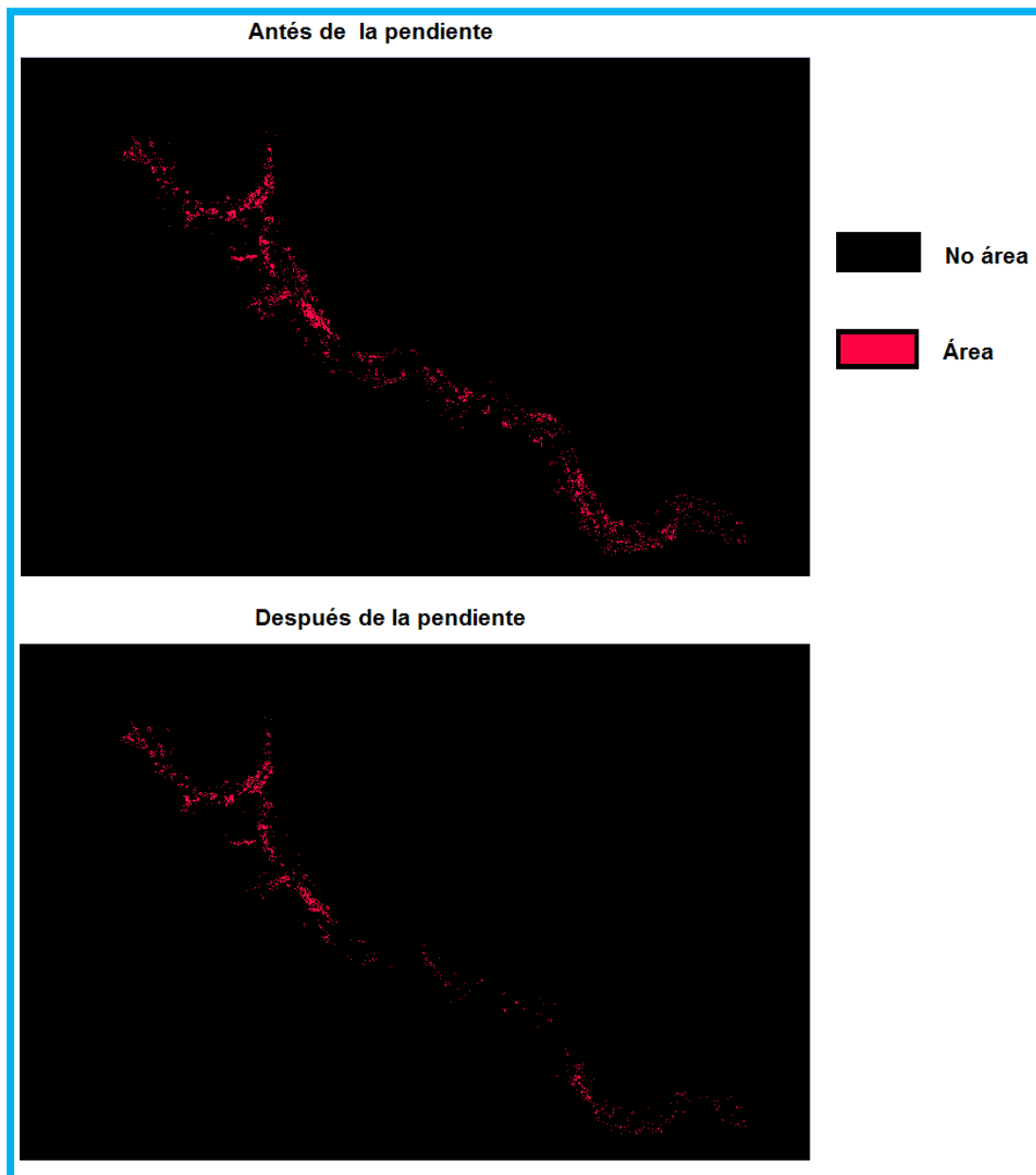
Imagen n° 39: procesamiento de la reclasificación por máscara



5.3.4. Síntesis de las tres reclasificaciones

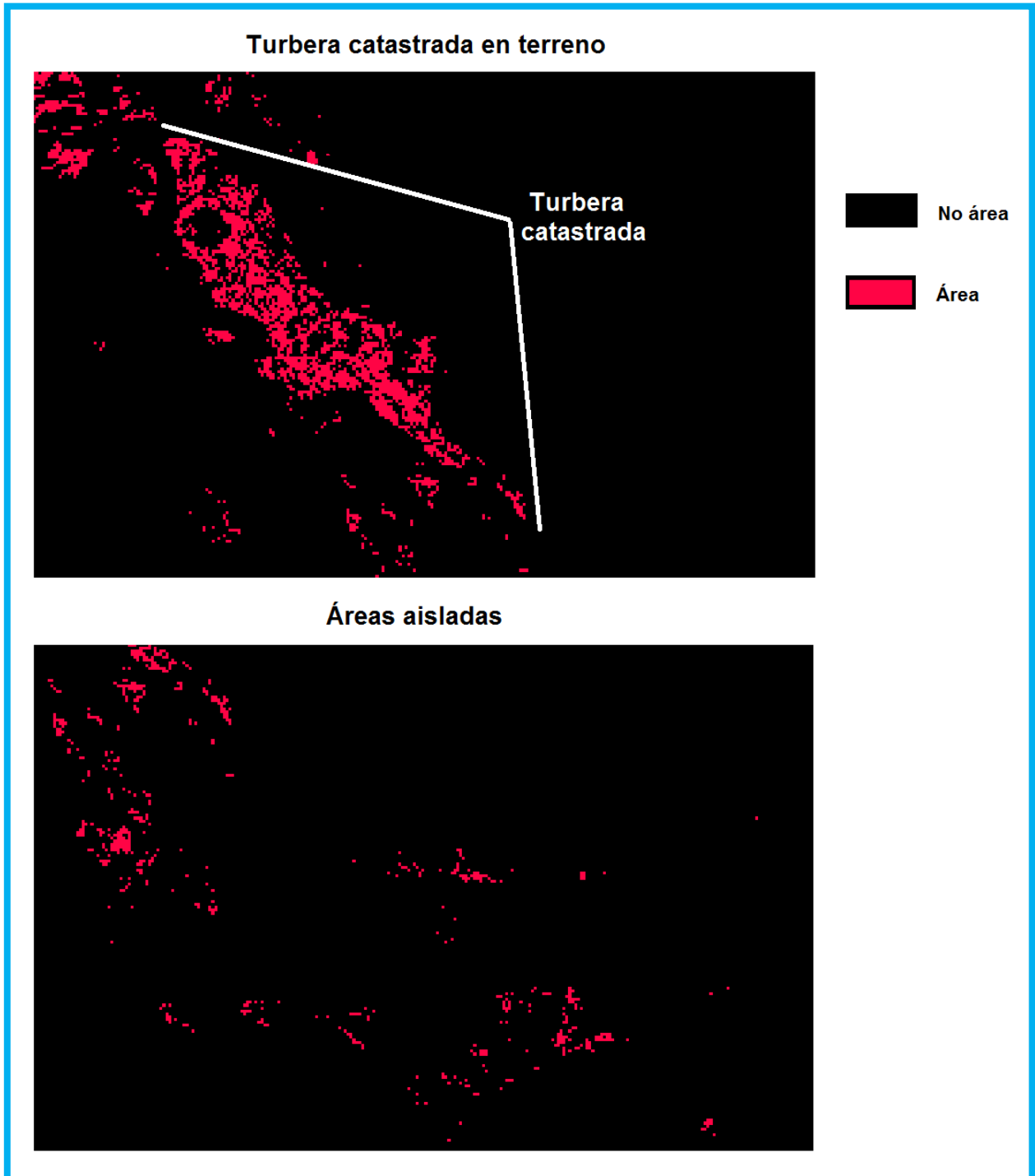
Ahora bien, de las tres reclasificaciones que se desarrollaron se procedió a elegir la que acotaba de mejor manera las áreas correspondientes a las turberas, siendo elegida la reclasificación por máscara; la cual posteriormente se procedió a interceptarse con la pendiente del área de estudio; la que debía cumplir el requisito de ser igual o menor a 7° . Lo que permitió eliminar las áreas que tienen una alta pendiente, generando el siguiente resultado.

Imagen n° 40: Áreas turberas antes y después de aplicar el filtro pendiente



Las imágenes anteriores nos permiten observar que las áreas de la turbera se presentan como sectores de mayor tamaño y compacto; y no como áreas aisladas como se puede observar a continuación en las siguientes imágenes:

Imagen n° 41: Diferencias de áreas



Luego se procedió a dejar solo aquellas áreas compactas, permitiendo generar finalmente la carta que será adjuntada al final del informe. Finalmente el sector en que más se localizaron las potenciales áreas de turberas, las que deben ser verificadas en terreno, fue el sector próximo a La Teresa hasta unos 5 km del Lago Bayo, es decir entre los 46° 21'48'' - 46° 28'42'' Latitud Sur y los 73° 19'30'' - 73° 11'14'' Longitud Oeste. Lo que será apreciado en la carta adjuntada al final del informe titulado: "Potenciales turberas en Valle Exploradores, Región de Aysén".

5.4. Discusión de los resultados

Con respecto a los resultados obtenidos de acuerdo a la caracterización de las turberas de Valle Exploradores en relación a la altitud, estas presentan muy poca variación no más de 20 Metros; por lo tanto siendo áreas bastante planas. Ahora bien, con respecto a la cobertura vegetal del suelo está presenta una clara dominancia del musgo *Sphagnum magellanicum*, pero no siendo solo este la única especie que se da en estos ecosistemas, sino que conviviendo con muchas otras especies especialmente con juncos; los que también se dan en los mallines como se aprecia en la siguiente imagen:

Imagen n° 42: Mallín en Valle Exploradores



95

En relación a los resultados obtenidos en la firma espectral de la turbera en Valle Exploradores, es necesario mencionar, para lograr un trabajo adecuado con sensores remoto se debe llevar a cabo visita al área de estudio, ya que ello permitió la obtención

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

segura del comportamiento espectral de la turbera, la cual arroja el resultado esperado de que manifestara su mayor reflectividad en la región del infrarrojo cercano (banda 4) y siendo esta menor que en los bosque. Ello dado porque a pesar que en muchas áreas de la turbera existe presencia de arboles, estos no se encontraban unos tan cerca del otro como en los bosques, como se puede observar en la siguiente imagen:

Imagen n° 43: Turbera en Valle Exploradores



En relación a los resultados obtenidos en la identificación de las áreas de turberas, se pudo obtener que estas no fueron identificadas de manera exacta por el programa utilizado; debido principalmente por que se cofunde con otras áreas como los mallines; puesto que ambos tienen una respuesta espectral similar, es por ello que el trabajo para diferenciar una de la otra debe ser realizada con imágenes con mayor resolución espacial; ya que requiere de un trabajo más minucioso que la resolución de Landsat TM 5, no logra. Por lo tanto, es posible determinar a través de la utilización del sensor remoto; no se puede diferenciar distintos tipos de humedales; pero si permitiendo identificar de modo generales a estos ecosistemas.

Por último, a través de los objetivos específicos fue posible desarrollar el objetivo general de Identificar y caracterizar las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5 y verificación en terreno en Valle Exploradores, con lo cual se obtuvo que la caracterización e identificación de las turberas a través de la utilización del sensor remoto Landsat TM 5, con resolución espacial 30 x 30, es limitado ya que permite hallar áreas de humedales pero no permite distinguir claramente a qué tipo de humedal corresponde si a una turbera o un mallín; haciéndose fundamental la verificación en terreno de dichas áreas; ya que el tipo de resolución de las imágenes no posibilita la distinción de una vegetación con otra; para ello es necesario trabajar con imágenes de mayor resolución espacial. Por lo tanto, con los resultados obtenidos, se puede responder a la hipótesis inicial de la investigación, en la cual se postulaba que “Mediante la utilización del sensor remoto Landsat TM 5, es posible identificar y caracterizar las turberas en ambientes templados lluviosos como en Valle Exploradores de la Región de Aysén”. La cual no es aceptada en un 100%; por lo tanto rechazándose.

En síntesis, la turbera catastrada está situada en un área de baja altitud, con gran cobertura de su suelo por musgo sphagnum; su reflectividad presenta su máxima en la banda 4, reflectando un 38% de la energía que llega a su superficie y con respecto a la identificación de sus áreas a través del Landsat TM 5, no es completamente asertiva ya que el software confunde con otras área con comportamiento espectral similar; como los mallines.

Capítulo VI

6. Conclusión

La utilización de las imágenes satelitales del sensor Landsat TM 5, no es adecuado para la distinción clara entre turbera y otro tipos de ecosistemas húmedos; ya que solo permite la identificación de ellos de una manera genérica (humedales), es por ello que se recomienda para un trabajo más minucioso la utilización de imágenes con un mayor detalle de resolución espacial; lo que a su vez genera una problemática debido a su accesibilidad (precios). Es por ello que se hace fundamental, el trabajo en terreno cuando se cuenta o no con el financiamiento para adquirir dichas imágenes, ya que dicha actividad es esencial para verificar los resultados obtenidos.

Se recomienda además, realizar un trabajo previo en las imágenes satelitales a la actividad de campo, lo que permite acotar las áreas de trabajo y de esta manera verificar la información obtenida. Lo que significó una limitación en el presente estudio, puesto que no se contaba con las investigaciones previas sobre identificación de turberas mediante la utilización de sensores remoto. Denotando la falta de información específica sobre el comportamiento espectral de las turberas; ya que no se tiene de ante mano cual es la reflectividad que emite este ecosistema, es decir en que rango se mueve su firma espectral; solo contando con información sobre el NVDI y NWDI; con lo cual tampoco existe una clara distinción entre una turbera o un suelo húmedo.

98

Otra limitante que se enfrentó en la implementación de la metodología, es la al momento de recurrir al área de estudio, ya que existía una escasa accesibilidad a los sectores en que se hallan las turberas, limitando el ingreso a gran parte de ellas ya que se sitúan alejadas camino, así también la gran presencia de vegetación como la imposibilidad de cruzar los ríos; si no se cuenta con la implementación necesaria para cruzarlos o bien, para contratar el servicio de algún poblador de la zona.

Una de las recomendaciones fundamentales al momento de realizar un trabajo en campo sobre las turberas, es el no adentrarse solo en estos ecosistemas, puesto que al hacer esto, se expone de manera ineducada; ya que son medios muy pocos estudiados - donde Valle Exploradores no es la excepción -; debido a que son áreas muy fáciles hundirse en y si no se cuenta con la fuerza necesaria, es difícil salir una vez hundido, es por ello que debe caminar sobre los montículos de vegetación y sobre todo contar con más de un compañero de trabajo.

Continuando con lo anterior, también es necesario ingresar a estas áreas con alguien que conozca el lugar o bien, contar con los instrumentos necesarios para andar en ella, haciéndose fundamental la utilización del GPS y carta; puesto que la desorientación al interior de las turberas es muy fácil. Por otra parte, es necesario ingresar con botas de agua porque es muy incomodo el trabajar con zapatillas o bototos puesto que el suelo está constantemente saturado de agua.

Identificación y caracterización de las turberas mediante el uso del sensor remoto Landsat TM 5...

Otra recomendación es contar con una metodología clara del procesamiento de las imágenes satelitales, ya que esta se vuelve en el pilar fundamental para una adecuada y buena obtención de resultados.

En relación a la utilización de imágenes satelitales, observado durante el largo de todo el proceso de la investigación, es posible concluir que el trabajo con sensores remotos presenta un gran potencial para la gestión y manejo de los recursos naturales, lo cual permitiría una explotación sustentable sobre ellos. Además, es preciso mencionar que dicha herramienta no se suele usar comúnmente en las investigaciones, lo que se aprecia en la falta de metodologías para el procesamiento de las imágenes satelitales.

Por último, no se puede cerrar la presente investigación sin decir que el potencial de estudios sobre turberas es enorme, ya que son ecosistemas muy poco estudiados en nuestro país, por ello siendo el presente un pequeño aporte para potenciar las investigaciones relacionado con estos ecosistemas; sobre todo en lo que tiene que ver con su protección, conservación y explotación sustentable.

Capítulo VIII

7. Bibliografía

- Acuña, Osvaldo (2011). Proyecto final: Correcciones radiométricas en Idrisi. Recuperado 17 de octubre del 2012, de <http://jfv.files.wordpress.com/2011/10/correcciones-radiometricas-con-idrisi.pdf>
- Atencia, V., Contreras, J. & Vergara, D. (2008). Estudio multitemporal de imágenes satelitales con fines de limitación del complejo bajo San Jorge margen izquierdo (B13) y diagnostico de zonas intervenidas antrópicamente (Agricultura y Ganadería). Universidad de Sucre. Facultad de Ingeniera.
- Avery, E. and Graydon B. 1992. Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation. Macmillan Publishing Company. 5ª Edición.
- Baker, C., Lawrence, R., Montagne, C. & Patten, D. (2006). Mapping wetlands and riparian areas using Landsat ETM+ imagery and decision-tree-based models. *Wetlands*, 26, pp. 465-474.
- BAKKER, Wim H. Lucas L. F. Jansen, et al. 2001. Principles of Remote Sensing. ITC. The Netherlands. 100
- Bold, H. (1967) Morphology of plants. A harper international edition, Tokyo. 541 pp.
- Bullock, A. & Acreman, M. (2003): The role of wetlands in the hydrological cycle. *Hydrology and Earth System Sciences* 7: 358-389. Recuperado 30 de julio del 2012, de <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/30/47/86/PDF/hess-7-358-2003.pdf>
- Buxton, R., Johson, P. y Espie, P. (1996). Sphagnum research programme: the ecological effects of commercial harvesting. Published by Department of Conservation, Wellington, New Zealand. *Science for Conservation*: 25. 33 p.
- Carrera G., E. y de la Fuente L.,G. 2003. Inventario y Clasificación de Humedales en México, Parte 1. Ducks Unlimited de México A.C. México.
- Castro, R. (1999). Sistema para el seguimiento y análisis de tierras mediante teledetección. Información sobre tierras agrícolas y aguas para un desarrollo agrícola sostenible. FAO. Recuperado el 02 de octubre del 2012, de http://www.inia.cl/medios/platina/descarga/TallerSatelital/bsesteoricasp.remota_rcastro.pdf

- Cellini Juan Manuel (2005). "Tesis: Estado y Propuesta de manejo de los recursos naturales de la cuenca del arroyo grane, tierra del fuego". Universidad Nacional de la Plata. Argentina. Recuperado el 17 de julio del 2012, de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/1819/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Centro de Recursos IDRISI España (2010). Recuperado el 23 de abril del 2013, de <http://www.sigte.udg.edu/idrisi/idrisi-selva>
- Chander, G. & Markham, B (2003). Revised Landsar – 5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. IEEE transactions on geosciences and remote sensing, vol. 41, no. 11, November 2003.
- Chuvieco, E. (2002). "Teledetección ambiental: la observación de la tierra desde el espacio". Barcelona, España. Ariel.
- Clymo, R. (1970). The growth of Sphagnum: methods of measurement. Journal of Ecology 58: 13-49.
- Clymo, R. y Hayward, P.(1982). The ecology of the Sphagnum. In: Smith AJE (ed). Bryophyte Ecology. Chapman and Hall, New York. pp. 229-289.
- CONAF (Corporacion Nacional Forestal) (1999). Catastro y evaluación de recursos vegetacionales nativos de Chile. Recuperado el 17 de abril del 2012, de http://www.bcn.cl/carpeta_temas_profundidad/ley-bosque-nativo/archivos-pdf/Catastro.pdf
- Corporación Nacional Forestal (CONAF) (1999). El Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Recuperado el 18 de abril del 2013, de http://www.bcn.cl/carpeta_temas_profundidad/ley-bosque-nativo/archivos-pdf/Catastro.pdf
- Covacevich, V.; De la Cruz, R.; Suárez, M. 1994. Primer Hallazgo de fauna del Berriasiano Inferior (Neocomiano) en la Formacion Ibáñez, Región XI, Aisén. In *Congreso Geológico Chileno, No. 7, Actas* 1: 425-429.
- Crespo, P. (1994): Agenda Ecuatoriana de educación y comunicación ambiental para el desarrollo sostenible. FTPP/FAO. Recuperado el 9 de agosto del 2012, de http://www.fao.org/docrep/X5600S/x5600s05.htm#el_concepto_del_desarrollo_sostenible

- Crignola, P. & Ordoñez, A. (2002). Perspectivas de utilización de los depósitos de turba de la Isla de Chiloé, Decima Región de Los Lagos. Simposio Internacional de Geología Ambiental para Planificación del Uso del Territorio. Recuperado el 20 de agosto del 2012, de http://www2.sernageomin.cl/pto_varas/Biblioteca/Articulos.pdf/CRIGNOLAORDO%D1EZ.pdf
- de la Cruz, R. & Suárez, M. 2006. Geología del área Puerto Guadal-Puerto Sánchez, region Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 95: 58 p., 1 mapa escala 1:100.000. Santiago, Chile.
- De la Balze V.M., D.E. Blanco & N. Loekemeyer. 2004. Aspectos sobre usos y conservación de los turbales patagónicos. pp. 129-140. En: Blanco D. E. & V. M. de la Balze (Editores). Los turbales de la Patagonia: Bases para su inventario y la conservación de su biodiversidad. Publicación No. 19. Wetlands International Buenos Aires. Argentina. 150 pp.
- de Miguel, E. (2006): Manuales de Desarrollo Sostenible “Conservación y restauración de turberas”. Recuperado el 14 de agosto del 2012, de <http://www.fundacionbancosantander.com/media/docs/SOST.%20MANUAL%202%20baja.pdf>
- De Roeck, Els R., Verhoest, N.E.C., Miya, M.H., Lievens, H., Batelaan, O., Thomas, A. & Brendonck, L. (2008). Remote Sensing and Wetland Ecology: a South African Case Study. *Sensors* 8, pp. 3542-3556.
- Díaz, F., Zegers, Gabriela & Larraín, J. (2005): “Antecedentes sobre la importancia de las turberas y el pompoñ en la Isla de Chiloé”. Recuperado 09 de diciembre del 2011, de <http://www.infoandina.org/sites/default/files/recursos/Turberas.pdf>
- Dirección Meteorológica de Chile (2001a). Climatología Regional. Recuperado el 10 de septiembre del 2012, de <http://164.77.222.61/climatologia/>
- Dirección Meteorológica de Chile (2001b). Estadística climatológica, tomo III. Recuperado el 22 de abril del 2013, de <http://164.77.222.61/climatologia/>
- Dirección Meteorológica de Chile (2008). Climatología Sinóptica para el Sur de Chile. Recuperado el 15 de octubre del 2012, de <http://164.77.222.61/climatologia/>
- Dirección Meteorológica de Chile (2011). Anuario Climatológico 2010. Recuperado el 15 de octubre del 2012, de <http://164.77.222.61/climatologia/>

- ELDRIDGE DJ (1999) Distribution and floristics of moss- and lichen-dominated soil crusts in a patterned *Callitris glaucophylla* woodland in eastern Australia. *Acta Oecologia International* 20:159-170.
- Farías, M. & Cárdenas, R. (2005). "Manual Laboratorio de Percepción Remota". Laboratorio de Percepción Remota. Recuperado el 31 de agosto, de http://www.cartografia.cl/download/manuales/Manual_Idrisi_PUC.pdf
- Flint, F.R. (1970). *Glacial and Quaternary geology*. John Wiley and Sons, 892 p. New York.
- García, M.P., Pérez, M.E. & Sanz, J.J. (2006). Variabilidad hídrica y edáfica de humedales peninsulares interiores a partir de imágenes Landsat (TM y ETM). *Estudios Geográficos*, LXVII, 260, Enero-Junio, pp. 57-78.
- Gascón, A. (2005): "Situación forestal y biodiversidad en la Región de Aysén". Recuperado el 12 de agosto del 2012, de http://www.ecosistemas.cl/1776/articles-74102_documento_pdf.pdf
- Glaser P., D. Siegel, E. Romanovicz, y S. Ping (1997). Regional linkage between raised bogs and the climate, groundwater and landscape of north-western Minnessota. *J. of Ecology* 85: 3-16.
- Goffinet, B., Buck, W., Massardo, F. y Roíz, R. (2006) *Los bosques en miniatura del Cabo de Hornos*. Editorial Fantástico Sur Ltda. Publicación Punta Arenas, Chile. 255 pp.
- Goffinet, B., Buck, B. y Russell, S. (compilers). (2003). *Biology and identification of austral Mosses, Liverworts and Lichens*. Puerto Williams, Chile. 59 pp.
- Grosvernier, P., Mathey, Y. y Butler, A. (1997). Growth potential of three *Sphagnum* species in relation to water table level and peat properties wiyh implications for their restoration in cut-over bogs. *Journal of Applied Ecology* 34: 471-483.
- Guerra Cerezo (2006). Análisis multitemporal de la cobertura y uso de la tierra a través del sistema LCCS en la cuenca baja del Río Grande – Santa Cruz". Tesis de grado de Maestría Profesional en Información de suelos para el manejo de los recursos naturales. Universidad Mayor de San Simón.

- Gunnaesson, U. (2005). Global patterns of Sphagnum productivity. *Journal of Bryology* 27:269-279.
- Jensen, J.R. 1996. *Introductory Digital Image Processing. A remote sensing perspective*. Prentice Hall.
- Joosten & Clarke (2002). *Wise use of mires and peatlands. Background and principles including a framework for decision making*. International Mire Conservation Group and International Peat Society. Finland.
- Hauser, A. (1996). Los depósitos de turba en Chile y sus perspectivas de utilización. Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile. Recuperado el 07 de septiembre, de <http://www.andeangeology.cl/index.php/revista1/article/viewFile/V23n2-a08/2343>
- Hervé, F., Aguirre, L., Godoy, E., Massone, H., Morata, D., Pankhurst, R.J., Ramirez, E., Sepúlveda, V., Willner, A. 1998. Nuevos antecedentes acerca de la edad y las condiciones P-T de los complejos metamórficos en Aysén, Chile. *Actas X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica* (Buenos Aires) 2, 134-137.
- Hauser, A. (1996). Los depósitos de turba en Chile y sus perspectivas de utilización. Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile. Recuperado el 07 de septiembre, de <http://www.andeangeology.cl/index.php/revista1/article/viewFile/V23n2-a08/2343>
- Hayward, P. & Clymo, R. (1983). The growth of Sphagnum: experiments on, and simulation of, some effects of light flux and water-table depth. *Journal of Ecology* 71: 845–863.
- HERNÁNDEZ, H.J. & MONTANER, D. 2009. Patrones de Respuesta Espectral (Cap. 3). En: *Tecnologías Geoespaciales: Experiencias Aplicadas al Estudio y Gestión del Territorio*. Carlos Mena (Ed.). Recuperado el 23 de abril del 2013, de <http://www.gep.uchile.cl/Publicaciones/Hern%C3%A1ndez%20&%20Montaner%202009%20SAF.pdf>
- Heusser, C.J., and Flint, R.F., 1977, Quaternary glaciations and environments of northern Isla Chiloé, Chile: *Geology* v. 5, p. 305-308.
- Heusser, C.J. 1960. Late Pleistocene Environments 01 North Pacific North America. *American Geographic Society, Special Publication*, No. 35, 306 p.

- Ingram, H.A.P. (1978). Soil layers in mires: function and terminology. J. of Soil Science 29: 224-227.
- Instituto Geográfico Militar (IGM) (2012). Carta Caleta Tortel. Recuperado el 27 de septiembre del 2012, de <http://www.igm.cl/compra2.php?escala=4&sec=10&numero=86>
- Iturraspe, R. (2010). “Las turberas de Tierra del Fuego y el Cambio Climático global” 1ª edición. Buenos Aires: Fundación para la conservación y el uso sustentable de los humedales. Wetlands Internacional.
- IUFRO, 1994. Directrices Internacionales de IUFRO para la Monitorización de los Recursos Forestales. Editado por Risto Päävinen, H. Gyde Lund. Simo Poso and Tomasz Zawila-Niedzwiecki. Versión española de Ramón Elena Rosselló y Bertram Husch.
- Ivanov, K.E. 1981. Water Moviment in Mirelands. Academic Press. Londres.
- Maltby, E. (1991). Wetland management goals: wise use and conservation. Landscape Urban Plan, 20, 9 – 18.
- Joosten & Clarke (2002). Wise use of mires and peatlands. Background and principles including a framework for decision making. International Mire Conservation Group and International Peat Society. Finland.
- Ryan, L. (1997). Creating a “Normalized Difference Vegetation Index” (NDVI) image Using MultiSpec. University of New Hampshire. Recuperado el 22 de abril del 2013, de <http://www.globe.unh.edu/MultiSpec/NDVI.pdf>
- Lavoie, C. & Rochiefort, L. (1996). “The natural revegetation of a harvested peatland in southern Québec: A spatial and dendrocronological analysis”. Écoscience 3:101-111. Recuperado el 03 de agosto del 2012, de http://www.gret-perg.ulaval.ca/uploads/tx_centrerecherche/Lavoie_Ecoscience_1996_01.pdf
- Lillesand, T. and R. Kiefer. 2004. Remote Sensing and Image Interpretaion. John Wiley & Sons, Inc. 5ª Edición. 748 pp.
- Martínez de Anguita, P. (2004). Economía ambiental y ordenación territorial. Revista ecosiencia nº13, pp. 87 – 93. Recuperado el 28 de septiembre del 2012, de http://www.mtnforum.org/sites/default/files/pub/martinez_de_anguita_2004.pdf

- Martínez, M.L & Ma Maun (1999). Responses of dune mosses to experimental burial by sand under natural and greenhouse conditions. *Plant Ecology* 145:209-219.
- Matteri, C. (1985) Catálogo de los musgos. En: O. Boelcke- D.M. Moore- F.A. Roig editores. *Transecta botánica de la Patagonia Austral*. Publicación Buenos Aires. 265-297 pp.
- McFeeters S.K. (1996) The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*. 17(7):1425-1432.
- Meaden, G & Kapetsky, J. (1992). Los sistemas de informacion geográfica y la telepercepcion en la pesca continental y la acuicultura. Deposito de documentos de la FAO. Recuperado el 23 de abril del 2013, de <http://www.fao.org/docrep/003/T0446S/T0446S00.htm>
- Medina Mena, J. (2001). "Evaluación de metodologías de detección de cambios del uso del suelo a través del análisis digital multitemporal de imágenes satelitales Landsat TM en la IX Región, Chile". Tesis de Ingeniería Forestal, Facultad de ciencias agropecuarias y forestales. Universidad Católica de Temuco. Recuperado de 26 de julio del 2012, de <http://es.scribd.com/doc/111677367/Cambio-Uso-Suelo-Landsat-TM>
- Mercer, J.H. 1970. Variations of some Patagonian Glaciers since the Late- Glacial: 11. *American Journal of Science*, Vol. 269, p. 1-25.
- MMA – CEA (Centro de Ecología Aplicada) (2011). Diseño del inventario nacional de humedales y el seguimiento ambiental. Ministerio de Medio Ambiente. Santiago. Chile. Recuperado el 26 de julio del 2012, de http://www.mma.gob.cl/1304/articles-50507_documento.pdf
- Osorio, M (2011). ¿Por qué este lugar se llama así? Apuntes sobre la exploración, reconocimiento y bautizo de cinco atractivos del polo turístico Lago General Carrera – Laguna San Rafael. Recuperado el 15 de noviembre, de <http://sohigeo.files.wordpress.com/2012/04/por-quc3a9-este-lugar-se-llama-asc3ad.pdf>
- Ovalle, F. (2006). "Manejo Sustentable de los Recursos Naturales en América Latina y el Caribe: Oportunidades y Desafíos de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Cooperación". Recuperado el 21 de junio del 2012, de http://www.iica.int/foragro/cd_prior/Docs/RRNN.pdf

- <http://164.77.209.178/gorenw/ESTUDIOS/Archivos/Mineria/20196401/Turbales%20XII-2005/INFORME%20FINAL.pdf>
- RYDIN, H. & JEGLUM, J. K. 2006. The Biology of Peatlands Oxford University Press.
- Sánchez, F. (2004): "El desarrollo productivo basado en la explotación de los recursos naturales". Serie recursos naturales e infraestructura, CEPAL. Recuperado 06 de agosto del 2012, de <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/7/20887/lcl2243e.pdf>
- Salinas, M. & Cartes, F. (2009). Fundación para la Innovación Agraria (FIA), Ministerio de Agricultura de Chile: "Resultados y lecciones en Uso y Manejo del Musgo Sphagnum. Proyecto de Innovación en XI Región de Aysén. Recuperado el 17 de octubre 2011, de http://bibliotecadigital.innovacionagraria.cl/gsdll/collect/publicac/index/assoc/HASH0126/a38e7816.dir/52_Libro_Sphagnum.pdf?ie=UTF-8&oe=UTF-8&q=prettyphoto&iframe=true&width=90%&height=90%
- San Martín, C., C. Ramírez & M. Álvarez (2004). Estudio de la vegetación de "Mallines" y "Campañas" en la Cordillera Pelada (Valdivia, Chile). Revista Geográfica de Valparaíso 35: 261-273.
- Schatler & Schatter (2004). Los turbales de Chile. Capítulo 5 : Turbales de la Patagonia. Recuperado el 12 de abril del 2012, de <http://www.benthos.cl/itdlp/cap-05.pdf>
- Schofield, W.D. (1985). Introduction to Bryology. Macmillian Publising Company. New York, USA. 417 p.
- Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2004). Glaciar Vinciguerra y Turberas asociadas (Tierra del Fuego). Recuperado el 18 de abril del 2013, de <http://www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=8191>
- Secretaría Regional de Planificación de Aysén (SERPLAC Aysén). (2005). "Atlas de la Región de Aysén". Recuperado el 29 de junio del 2012, de http://www.snit.cl/goreaysen/documentos/atlas_aysen.pdf
- Shanmugam, P., Yu-Hwan, A. & Shanmugam, S. (2006). A comparison of the classification of wetland characteristics by linear spectral mixture modelling and traditional hard classifiers on multispectral remotely sensed imagery in southern India. *Ecol. Model*, 194, pp. 379-394.

- Sistema de Información de Biodiversidad (SIB) (2005). Protocolo para el preprocesamiento de imágenes satelitales Landsat para aplicaciones de la Administración de Parque Nacionales. Buenos Aires. Recuperado el 17 de marzo del 2013, de http://www.sib.gov.ar/archivos/Protocolo_Landsat.pdf
- Silva Lira, I., Cuervo, L., Lira, L., Sandoval, C., Williner, A., & Rizzo Pérez, L. (2009): "Estrategia Regional de desarrollo de Aysén". Gobierno Regional de Aysén. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Recuperado el 31 de agosto de 2012, de http://www.goreaysen.cl/GoreAysenWebNeo/Controls/Neochannels/Neo_CH6039/deploy/EDR_AYSEN.pdf
- Sistema Integrado de Información Territorial (SIIT) (2008a). Reporte Estadístico Comunal: "Río Ibáñez". Biblioteca del Congreso Nacional. Recuperado el 10 de octubre del 2012, de <http://www.google.cl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCUQFjAB&url=http%3A%2F%2Fsiit2.bcn.cl%2Fobtienearchivo%3Fid%3Drepositorio%2F10221%2F7194%2F6%2FReporte.pdf&ei=EW6FUOXVNorq9ASDoYGQAw&usq=AFQjCNHdfCN6Y5OydarLSaX2CmHV7lnQKq>
- Sistema Integrado de Información Territorial (SIIT) (2008b). Reporte Estadístico Comunal: "Aysén". Biblioteca del Congreso Nacional. Recuperado el 16 de octubre del 2012, de <http://www.google.cl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCAQFjAA&url=http%3A%2F%2Fsiit2.bcn.cl%2Fobtienearchivo%3Fid%3Drepositorio%2F10221%2F6977%2F6%2FReporte.pdf&ei=qW2FUlnXBIWa9qSG9oCYDQ&usq=AFQjCNFUcr72qGBITsl3J2ISeeg8VnakDq>
- Sistema Integrado de Información Territorial (SIIT) (2012). Región de Aysén. Recuperado el 27 de septiembre del 2012, de <http://siit2.bcn.cl/nuestropais/region11/>
- Sistema Integrado de Información Territorial (SIIT) (2012a). Reporte Estadístico Comunal sociales: "Río Ibáñez". Biblioteca del Congreso Nacional. Recuperado el 16 de octubre del 2012, de http://reportescomunales.bcn.cl/index.php?title=Especial:PdfPrint&page=R%C3%A0Do_Iba%C3%B1ez/Sociales
- Sistema Integrado de Información Territorial (SIIT) (2012b). Reporte Estadístico Comunal Salud: "Río Ibáñez". Biblioteca del Congreso Nacional. Recuperado el 16 de octubre del 2012, de http://reportescomunales.bcn.cl/index.php?title=Especial:PdfPrint&page=R%C3%A0Do_Iba%C3%B1ez/Salud

- Sistema Integrado de Información Territorial (SIIT) (2012c). Reporte Estadístico Comunal sociales: "Aysén". Biblioteca del Congreso Nacional. Recuperado el 16 de octubre del 2012, de <http://reportescomunales.bcn.cl/index.php?title=Especial:PdfPrint&page=Ais%C3%A9n/Sociales>
- Sistema Integrado de Información Territorial (SITT) (2012d). Reporte Estadístico Comunal población: "Aysén". Biblioteca del Congreso Nacional. Recuperado el 16 de octubre del 2012, de <http://reportescomunales.bcn.cl/index.php?title=Especial:PdfPrint&page=Ais%C3%A9n/Poblaci%C3%B3n>
- Sistema Integrado de Información Territorial (SITT) (2012e). Reporte Estadístico Comunal salud: "Aysén". Biblioteca del Congreso Nacional. Recuperado el 16 de octubre del 2012, de <http://reportescomunales.bcn.cl/index.php?title=Especial:PdfPrint&page=Ais%C3%A9n/Salud>
- Sistema Integrado de Información Territorial (SITT) (2012f). Reporte Estadístico economía: "Aysén". Biblioteca del Congreso Nacional. Recuperado el 17 de octubre del 2012, de http://reportescomunales.bcn.cl/index.php/Ais%C3%A9n#N.C3.BAmero_de_trabajadores_por_rama_de_actividad_2006-2008-2010
- Simon, T. (1975). Mosses as indicator organisms for soil conditions in steppe forest ecosystems. XII Int. Bot. Cong. Abstr., Leningrad. 1: 87.
- Steffen, H. (1944). Patagonia Occidental. Las cordilleras patagónicas y sus regiones circundantes. Tomo II. E. Aspillaga y L. Catalán Editores.
- Suárez, M.; De la Cruz, R.; Bell, C.M. 1996. Estratigrafía de la Región de Coyhaique (Latitud 45°-46°S), Cordillera Patagónica, Chile. *In Congreso Geológico Argentino, No. 13 y Congreso de Exploración de Hidrocarburos, No. 3, Actas 1*: 575-590.
- Suárez, M.; De la Cruz, R.; Aguirre-Urreta, B.; Fanning, M. 2005. Diachronic Tithonian-Valanginian marine transgression of the Coyhaique Group, Aysén Basin (43°-47°S), Chile. *In Congreso Geológico Argentino, No. 16, Actas, 1*: 305-308. La Plata

- Sundberg, S. y Rydin, H. (2002). Habitat requirements for establishment of Sphagnum from spores. *Journal of Ecology* 90: 268-278.
- Svensson, G. (1988). Fossil plant communities and regeneration patterns on a raised bog in south Sweden. *Journal of Ecology* 76: 41-59.
- Tapia, C. (2008). "Tesis: Crecimiento y productividad del musgo sphagnum magallanicum Brid en turberas secundarias de la provincia de Llanquihue, Chile". Recuperado 5 de mayo del 2012, de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/fat172c/doc/fat172c.pdf>
- The Canadian Sphagnum Peat Moss Association. Tourbe de Sphaigne Canadienne (2012) <http://www.peatmoss.com/index.php>
- Turetsky, MR. (2003). The Role of Bryophytes in Carbon and Nitrogen Cycling. *The Bryologist* 106:395-409.
- Turismo Científico. (2012). "Guía de Campo: Valle Exploradores desde Lago General Carrera a Laguna San Rafael". Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP). Recuperado el 31 de agosto del 2012, de <http://www.turismocientifico.cl/recursos/Exploradores%20baja.pdf>
- Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (2012). Recuperado el 22 de julio del 2012, de <http://www.usgs.gov/>
- Universidad de Colorado Boulder. Aerial Photography and Remote Sensing. Recuperado el 22 de abril del 2013, de <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/remote/remote.html>
- Valdebenito, C. (2012). Caracterización florística y ecológica de turberas esfagnosas de la Isla grande de Chiloé – Chile: Una herramienta para la conservación y el desarrollo sostenible. Tesis Doctoral del departamento de Biología Vegetal. facultad de Ciencias Biológica. Universidad Complutense de Madrid. Recuperado el 11 de abril del 2013, de <http://eprints.ucm.es/16618/>
- Valenzuela-Rojas, J. & Schlatter, R. (2004) Las turberas de la Isla Chiloé (X Región, Chile): aspectos sobre usos y estado de conservación. En: Blanco DE & VM Balze (eds). Los Turbales de la Patagonia Bases para su inventario y la conservación de su biodiversidad, Publicación No. 19: pag. 87-92. Wetlands International - América del Sur, Buenos Aires, Argentina.

- Vega, L. (2005). "La Teledetección aplicada al Inventario de Humedales". Mapping interactivo. Revista Internacional de Ciencias de la Tierra. Recuperado el 10 de septiembre del 2012, de http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=1194
- Villagra, J. (2009). Estudio de la flora líquénica de las turberas de la comuna de Tortel (Región de Aisén), Patagonia Chilena. Anales Instituto Patagonia. Chile. Pp. 53 – 62.
- Villagrán, C. y Barrera, E. (2002) Musgos del Archipiélago de Chiloé, Chile. Gobierno de Chile, CONAF. 24 pp.
- Villeneuve, J. Delineating wetlands using geographic information system and remote sensing technologies. Thesis for the degree of Master ff Science. Texas A&M University. 2005.
- Weltzin, J., Harth, C., Bridgham, S., Pastor, J. y Vonderharr, M. 2001. Production and microtopography of bog bryophytes: response to warming and water-table manipulations. Oecología 128: 557-565.
- Wetlands international (2010): "Perdida de turberas alimenta el cambio climático". Recuperado el 14 de agosto de 2012, de <http://desarrollosustentable.tierradelfuego.gov.ar/webapps/presentaciones/Perdida%20de%20turberas%20y%20cambio%20climatico.pdf>
- WHEELER, B. D. & PROCTOR, M. C. F. 2000. Ecological gradients, subdivisions and terminology of north-west European mires. Journal of Ecology 88 (2): 187-203.
- Whinam, J. & Buxton, R. (1997). Phagnum Peatlands of Australasia: an assessment of harvesting sustainability. Biological Conservation 82 pag 21 – 29.
- Wilmanns, O. 1989. Ökologische Pflanzensoziologie. Quelle & Meyer, Heidelberg. 378 pp.
- Yu, J. (2006): "Economically Sustainable Sphagnum Moss Products". Report to the West Coast Development Trust and the MAF Sustainable. The Horticulture and food research Institute of New Zealand. Recuperado el 20 de abril 2012, de <http://maxa.maf.govt.nz/sff/about-projects/search/03-087/03-087-final-report.pdf>

ANEXOS

FICHA DE TERRENO

[illegible]

OBJETIVO_1

Altitud

ID	ALTITUD (m.s.n.m)
Turbera_1	37
Turbera_2	54
Turbera_3	54
Turbera_4	55
Turbera_5	55
Turbera_6	55
Turbera_7	50
Turbera_8	52
Turbera_9	52
Turbera_10	51
Turbera_11	50
Turbera_12	47
Turbera_13	54
Turbera_14	50
Turbera_15	57
Turbera_16	52
Promedio	51,6
Mediana	52
Moda	54
Mínimo	37
Máximo	57
Rango estadístico	20
Desviación estándar	4,6

Información levantada en campo con sus respectivos datos de NDVI, NDWI, DN y reflectividad

Turbera

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
1	637861	4853556	974	864	0.5	-0.58	27	16	20	60	78	27
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							5	5.3	5.8	28	22	10

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
2	638017	4853500	979	866	0.5	-0.6	27	16	21	64	79	30
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							4.6	5.3	6.1	30	23	11

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
3	638043	4853463	970	867	0.52	-0.59	29	18	22	70	74	28
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							4.9	6	6.5	33	21	11

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
4	638082	4853403	982	869	0.49	-0.6	27	16	22	65	81	31
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							4.6	5.3	6.5	30	24	12

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
5	638091	4853367	982	870	0.49	-0.59	26	17	23	67	81	29
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							4.3	5.7	6.8	31	23	11

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
6	638088	4853355	982	871	0.49	-0.6	29	17	24	70	74	28
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							4.9	5.7	7	33	21	10

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
7	638039	4853385	980	870	0.5	-0.57	28	18	22	67	78	28
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							4.8	6	6.4	31	23	10

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
8	637972	4853426	978	869	0.52	-0.57	27	18	21	66	79	30
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							4.6	6	6.1	30	23	11

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
9	637945	4853426	977	868	0.5	-0.6	28	16	22	66	76	28
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							4.8	5.3	6.5	31	22	11

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
10	637931	4853469	977	867	0.48	-0.575	29	17	22	63	83	31
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							4.9	5.7	6.5	29	24	12

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
11	637903	4853503	976	866	0.49	-0.57	28	17	21	62	78	32
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							4.8	5.7	6.1	29	22	13

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
12	637838	4853551	973	864	0.53	-0.62	28	15	20	65	74	26
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							4.8	4.9	5.8	30	21	9.9

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
13	637813	4853573	972	864	0.57	-0.63	26	15	18	66	68	24
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							4.3	4.9	5.2	31	20	9.1

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
14	637831	4853590	973	863	0.52	-0.62	26	15	20	63	68	24
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							4.4	4.8	5.8	29	19	9.1

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
15	637780	4853601	972	863	0.59	-0.61	25	15	18	63	65	24
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							4.2	4.9	5.2	29	19	9.1

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
16	637741	4853595	970	863	0.53	-0.61	26	14	18	58	70	26
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							4.4	4.5	5.2	27	20	9.9

MALLIN

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
1	623465	4867806	495	392	-0.58	0.5	23	13	16	49	48	17
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							3.8	4.1	4.6	23	14	6

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
2	623376	4867913	492	388	-0.6	0.51	28	16	21	65	57	21
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							4	5.3	6.1	30	16	7.9

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
3	623305	4868024	490	384	-0.45	0.33	29	19	25	50	55	23
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							4.9	6.4	7.4	23	16	9

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
4	623507	4867628	496	397	-0.53	0.4	25	13	18	42	48	21
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							4.2	4.1	5.2	20	14	7.9

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
3	623027	4867473	484	401	-0.63	0.57	21	14	17	62	56	21
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							3.4	4.5	4.9	29	16	8

BOSQUE

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
1	637559	4853414	964	868	0.7	-0.7	19	12	12	68	40	11
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							3	3.7	3.3	32	11	3.6

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
2	637618	4853539	966	865	0.62	-0.68	23	14	15	74	44	14
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							4	4.5	4.2	35	12	5

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
3	637605	4853557	966	864	0.68	-0.7	23	13	14	74	49	15
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							4	4	4	35	14	5.3

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
4	637582	4853584	965	863	0.6923077	-0.711	22	13	14	77	42	14
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							3.6	4	4	37	11	4.9

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
5	622039	4868607	449	364	0.66	-0.69	23	14	16	77	53	19
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							3.8	4.5	4.6	33.6	15	7

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
6	622500	4868203	464	376	0.67	-0.71	19	13	15	77	49	15
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							3	4.1	4.3	36	14	5.3

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
7	623027	4868400	480	370	0.73	-0.74	20	13	14	88	52	16
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							3.2	4	4	41	15	6

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
9	628973	4865789	679	457	0.74	-0.74	17	12	12	81	42	14
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							2.7	3.7	3.3	38	12	4.9

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
10	628902	4865818	676	456	0.69	-0.72	21	14	16	87	50	16
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							3.5	4.5	4.6	41	14	5.7

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
11	628825	4865806	674	457	0.64	-0.68	20	12	14	64	38	12
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							3.2	3.7	4	30	10	4

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
12	628725	4865791	671	457	0.67	-0.71	19	10	12	60	32	12
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							3	3	3.3	28	0.88	4

ID	Este	Norte	Columna	Fila	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
13	628591	4865767	666	458	0.7	-0.72	19	13	14	81	46	12
							REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
							3	4.1	3.9	38	13	4

16 DE DICIEMBRE 2001

TURBERA

	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
MINIMO	0.33	-0.64	21	11	16	40	40	19
MAXIMO	0.59	-0.48	32	19	25	81	85	33
MODA	0.5	-0.6	26	17	21	60	65	24
			REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
			3.5	3.3	4.6	18	1.4	7
			5.5	6.4	7.4	38	25	13
			4.4	5.7	6.1	28	19	9

MALLIN

	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
MINIMO	0.22	-0.67	18	11	15	25	37	16
MAXIMO	0.6	-0.39	24	15	19	68	64	25
MODA	0.4	-0.54	22	13	17	40	55	22
			REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
			2.9	3.3	4.2	11	10	5.7
			4	49	5.5	32	18	9.5
			3.6	41	4.9	18	16	8.3

BOSQUE

	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
MINIMO	0.72	-0.85	17	10	12	90	40	11
MAXIMO	0.82	-0.74	23	16	17	134	73	22
MODA	0.78	-0.78	19	13	14	111	54	14
			REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
			2.7	2.9	3.3	42	11	3.6
			3.8	5.3	4.9	64	21	8.2
			3	4.1	4	52	15	4.9

AGUA

	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
MINIMO	-0.46	0.33	31	19	15	7	3	1
MAXIMO	-0.2	0.58	43	26	20	10	10	7
MODA	-0.36	0.45	38	23	17	8	6	4
			REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
			5.3	6.4	4.3	2.5	0	0
			7.6	9.1	5.5	3.9	2	0.2
			6.4	7.2	4.9	3	0.8	0.6

SOMBRA

	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
MINIMO	0.07	-0.54	9	3	4	7	4	2
MAXIMO	0.47	-0.2	17	8	8	22	15	6
MODA	0.2	-0.33	13	4	6	10	6	4
			REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
			1.2	0.22	0.8	2.5	0.18	0
			2.7	2.2	2	9.7	3.5	1.4
			2	0.61	1.4	3.9	0.79	0.59

SEDIMENTOS

	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
MINIMO	-0.069	-0.5	38	21	28	43	77	43
MAXIMO	0.38	-0.08	76	49	66	64	98	58
MODA	-0.06	-0.09	47	46	62	55	91	51
			REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
			6.6	7.2	8.3	19	22	17
			14	18	20	30	29	24
			8.3	17	19	26	27	20

ROCA_VEGETACION

	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
MINIMO	0.28	-0.63	25	15	19	53	75	30
MAXIMO	0.55	-0.44	42	28	40	94	132	64
MODA	0.43	-0.51	33	22	30	75	112	47
			REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
			4.2	5	5.6	25	22	12
			7.4	10	12	44	40	26
			5.6	8	9	35	33	19

OTRA_VEGETACION

	NVDI	NWDI	BANDA_1	BANDA_2	BANDA_3	BANDA_4	BANDA_5	BANDA_7
MINIMO	-0.0061	-0.51	42	26	49	26	76	66
MAXIMO	0.41	-0.13	123	63	83	86	198	120
MODA	0.2	-0.33	69	35	48	70	140	84
			REFLECT_1	REFLECT_2	REFLECT_3	REFLECT_4	REFLECT_5	REFLECT_7
			7.3	9.1	10	28	36	22
			22	23	26	40	60	50
			12	13	15	33	42	35

AREAS DE RECLASIFICACION NO SUPERVISADA

ISOCLUST

Cluster	Km 2
1	3507.63
2	92.52
3	75.06
4	27.15
5	23.11
6	47.03
7	19.01
8	34.00
Area de estudio	317.87

AREAS DE RECLASIFICACION SUPERVISADA

MAXLIKE

Leyenda	Km 2
agua	3.655144
bosque	128.511458
mallin	35.2907956
otra_vegetacion	17.130997
Roca_vegetacion	33.1616471
Sediimentos	14.5372575
sombra	3516.6144
turbera	76.5968208

AREAS RECLASIFICACION PORMASCARA

RECLASIFICACION FINAL BANDA 7

Categoría	Hectáreas
0	3797.375828
1	28.1226924