



Universidad Nacional de Luján
República Argentina

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LUJÁN

TESIS PARA ACCEDER AL TÍTULO DE DOCTOR EN CIENCIAS APLICADAS

MALLINES DEL SUR DE LA PATAGONIA: INTERACCIONES ENTRE UNIDADES FISIAGRÁFICAS Y PRODUCTIVIDAD EN DIVERSOS AMBIENTES GEOMORFOLÓGICOS

2017

Doctorando: Paola Patricia Vargas

Director: Elizabeth Mazzoni

Codirector: Virginia E. Bonvecchi

JURADO DE TESIS

Dr. Hector Daniel Estelrich

Dra. Patricia Kandus

Dra. Nora Madanes

DEDICATORIA

*A mis viejos y hermanos,
que hacen que todo sea más fácil.*

AGRADECIMIENTOS

El tiempo y la energía puestos en este trabajo no fueron solo míos, muchos me acompañaron y ayudaron de diferentes formas, es por eso que quiero agradecerles a todos y cada uno de ellos.

En primer lugar, a mi familia, sin ellos ni siquiera podría pensar en estar hoy acá. Gracias por: entre mate y mate, sentarse a separar pastos conmigo, soldar clausuras, cargar alambres, por hacer todo y más sin pedir nada.

A mis amigos Cris M., Cris A., Caro, Tato, Lore, Julio, Ale, Papu, Fer, Giuli, Jesy, Colo y Mary, por ayudarme a pasar por todos esos buenos y malos momentos y por simplemente estar.

A Miga por empujarme para seguir, por no dejarme bajar los brazo, por la paciencia, por las horas eternas dedicadas a mi tesis, por aliviarme el trabajo, por aguantar mis peores momentos de psicosis, por todo eso y más, gracias.

A la Chicha, Euge, Dani, Carla y Lucía por acompañarme en las salidas de campo, por los buenos momentos, las risas, la eterna colaboración separando pastitos, identificando especies, tomando mates y sobre todo por las cenas de catarsis, Salud!!!!

A Chichin, Jose y Gonzalo, gracias por el aguante y la paciencia, por esos bifés para reponer energías y seguir paleando (que manera de palear) jajaja.

Al Gringo, Alejandro P., Katiza, Paula D., Paula P., Mirian, Juan, Loren, Vanesa, Fabián, Rene, Willy, Monona, Pablo P., Juanca, Gerva, Gabriel y Danielito, quienes me dieron una mano cada vez que la necesité, y a todos mis compañeros del INTA y de la UNPA por ayudarme de alguna u otra forma.

No me queda más que decir GRACIAS, GRACIAS, GRACIAS!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! Son lo más.

DECLARACIÓN

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original, producto de mi propio trabajo (salvo en la medida que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.

Paola P. Vargas

RESUMEN

Los mallines son un tipo de humedal típico de la Patagonia. Se desarrollan en diferentes ambientes geomorfológicos, en donde el agua se encuentra en o cerca de la superficie del suelo, particularmente ocupan planicies glaciales, aluviales y laderas de mesetas volcánicas. Estos ecosistemas azonales, de características hídricas, edáficas y florísticas diferentes a las de la estepa circundante, concentran del 20 al 50% de la producción de los pastizales patagónicos en un 2 a 3 % de la superficie, lo que los convierte en hábitats permanentes o transitorios de numerosas especies silvestres y en fuentes de alimento del ganado ovino y bovino. Dentro de los mallines se presenta un gradiente hídrico desde la fuente de agua hacia la periferia, dando lugar a sectores que difieren en su composición de especies y en la productividad primaria neta aérea (PPNA). A lo largo de la Patagonia se han realizado numerosos trabajos para caracterizar estos ambientes y evaluar su variabilidad espacial y temporal, sin embargo en la Provincia de Santa Cruz la información generada es mínima y principalmente se enfoca en el uso de los mallines en la producción ganadera. El objetivo de esta tesis es comprender el rol que ejercen las condiciones de emplazamiento de los mallines del S de la Patagonia (cuenca del río Gallegos) en la variabilidad espacial de sus condiciones hidro-eco-geomorfológicas, en la productividad y en el estado de deterioro que presentan estos ecosistemas. Para cumplir con este objetivo, por medio de la aplicación de técnicas de teledetección y SIG, se seleccionaron tres mallines de ambiente glacial y tres de ambiente fluvial en una transecta O-E en la cuenca del río Gallegos, al S de la Provincia de Santa Cruz. El trabajo de campo se realizó durante las temporadas de crecimiento 2010/11 y 2011/12. En primer lugar, los mallines se sectorizaron en función del contenido hídrico del suelo, en semihúmedos, húmedos y muy húmedos, a través de la clasificación de imágenes SPOT. En cada sector se realizaron transectas de puntos para evaluar la composición florística, determinar unidades de vegetación, cobertura vegetal, riqueza específica, índices de Shannon-Weaver (diversidad) y Pielou (equitatividad) y componer los mapas de unidades de vegetación de cada mallín. La descripción de los suelos de los mallines se realizó mediante calicatas de 1 m de profundidad, en las cuales se tomaron muestras de todos los horizontes identificados y se analizaron sus parámetros físicos y químicos. Por otro lado, se instalaron clausuras (6,25 m²) en los sectores húmedos de los mallines glaciales y en los sectores húmedos y semihúmedos de los mallines fluviales, con el fin de estimar la acumulación de la biomasa y la productividad primaria neta aérea. Esto se realizó mediante la cosecha de la vegetación, en tres fechas por estación de crecimiento. Los datos de producción de biomasa verde de esta tesis y los obtenidos por Utrilla et al. (2004; 2008) en un mallín del S de Santa Cruz, se correlacionaron, a través de

una regresión lineal, con 4 índices de vegetación seleccionados de entre los 8 calculados a partir de imágenes Landsat 5 y 7. Los resultados de los relevamientos y muestreos se evaluaron en función del ambiente geomorfológico (glacial y fluvial) y del sector (húmedo y semihúmedo) con Análisis de Componentes Principales (ACP), Análisis de la Varianza (ANAVA) y Medidas Repetidas. En los relevamientos de vegetación se identificaron numerosas especies indicadoras de degradación, por lo cual se generó un índice de degradación de mallines (IDM) que permite cuantificar el estado de deterioro de estos ecosistemas. Este índice se construyó a partir de los datos de cobertura vegetal total, cobertura de especies indicadoras, cobertura de subarbustos, riqueza específica, riqueza de especies indicadoras y el índice de Pielou y puede tomar valores de 0 a 5, correspondiendo a 6 estados de degradación que van desde muy bajo a extremo. Se aplicó el IDM a los mallines de estudio y se encontraron estados de degradación de muy bajo a muy alto en los distintos sectores de estos ecosistemas. Por otro lado, los resultados de los análisis de los datos de vegetación mostraron que la composición florística, la riqueza específica, la cobertura vegetal y los índices de Shannon-Weaver y Pielou se diferenciaban por el sector y no por el ambiente geomorfológico en el que se desarrollan. En los sectores húmedos la riqueza media fue de 11,6 ($\pm 1,30$) y la diversidad 1,51 ($\pm 0,11$), notablemente inferior a los valores registrados en los sectores semihúmedos, 20,9 ($\pm 1,40$) y 2,18 ($\pm 0,07$). Lo contrario se observó en la cobertura vegetal, el porcentaje medio de cobertura vegetal para los sectores húmedos fue de 99 % ($\pm 0,40$ %) y el de los semihúmedos 95 % ($\pm 0,10$). En lo que respecta a los parámetros del suelo, no se encontraron patrones asociados al ambiente geomorfológico ni al contenido hídrico del suelo. En el ACP los mallines se distribuían en función del pH, la CE y el contenido de nutrientes, pero estos parámetros no lograron diferenciarse por ambiente o sector. En cambio, en la producción de biomasa aérea si se observaron diferencias entre ambientes geomorfológicos y entre sectores. Los mallines fluviales se caracterizaron por presentar mayor producción de biomasa que los glaciales. La PPNA de los mallines fluviales en ambas temporadas de crecimiento se encontró entre los 3500 y 5000 kg MS/ha, mientras que en los glaciales el valor rondó los 2000 a 2500 kg MS/ha. En lo que respecta a las diferencias por sector, los valores más altos de producción de biomasa se registraron en los sectores húmedos con 3500 y 5000 kg MS/ha muy por encima a los calculados para los semihúmedos, 1500 a 2500 kg MS/ha. La matriz de coeficientes de correlación de Pearson de los índices de vegetación mostró una alta asociación entre índices. En función de los resultados obtenidos en dicha matriz y del ACP, se seleccionaron aquellos índices verdes que mostraban menor correlación entre ellos y que explicaban la mayor parte de la variación de los datos (SR, NDVI, NDWI7 y NDWI5) y se relacionaron con la biomasa verde acumulada, esta correlación fue baja ($R^2 < 0,1$) en todos los casos. En esta tesis se observó que la heterogeneidad de los mallines está

determinada principalmente por la disponibilidad hídrica del suelo en el que se desarrollan y su dinámica estacional, y en menor medida por el ambiente geomorfológico en el que se emplazan. Asimismo, se advirtió que la herbivoría es capaz de modificar las relaciones ecológicas en estos humedales.

ABSTRACT

The “*mallines*” are important wetland ecosystems in Patagonia region (Argentina) due to the great ecosystem services provision and to a high primary productivity in comparison to the xeric grasslands. In this thesis, “*mallines*” from glacial and fluvial environment of Southern Patagonia were studied to determine the effect of different location conditions on the degree of heterogeneity and the interactions between their abiotic components, vegetation and primary productivity. The work was done during two growing seasons. Floristic composition, vegetation cover, vegetation units, specific richness, soil, biomass accumulation and ANPP in the wet sector of glacial and fluvial “*mallines*” was evaluated. In the fluvial “*mallin*”, also the mesic sector was studied. Data was evaluated according to the geomorphological (glacial - fluvial) and sector (wet - mesic) environments by using a Principal Component Analysis, ANAVA and Repeated Measurements. It was observed that the variation of soil parameters was not related to the geomorphological environment and/or the “*mallin*” sector. In contrast, the sector influenced the floristic composition and the attributes of vegetation. Thus, the mean richness value in the mesic sector (20.9 ± 1.4) was higher than in the wet sector (11.6 ± 1.3). The biomass production varied according to the geomorphological environment and sector. The ANPP of glacial “*mallines*” (2000-2500 kg DM/ha) was lower than the fluvial “*mallines*” (3500-5000 kg DM/ha). Also, the ANPP of wet sectors showed higher values (3500-5000 kg DM/ha) than those found in the mesic sector (1500-2500 kg DM/ha). The correlation between green index and green biomass production was low ($R^2 < 0.1$) in all cases. In the present thesis, it was found that the heterogeneity of the *mallines* is determined mainly by soil water availability and its seasonal dynamics. External factors such as herbivory can modify the ecological relationships in these environments. Based on this, an degradation index of “*mallines*” has been proposed to quantify the state of deterioration and to propose management practices for wetland conservation.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	INTRODUCCIÓN	2
1.2.	MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES.....	4
1.3.	OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	18
1.3.1.	Objetivo General.....	18
1.3.2.	Objetivos Específicos.....	19
1.3.3.	Hipótesis.....	19
1.4.	ÁREA DE ESTUDIO.....	19
1.4.1.	Unidades de paisaje y suelos	21
1.4.2.	Unidades de vegetación	23
1.5.	ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	25
CAPÍTULO 2	IDENTIFICACIÓN DE MALLINES EN LA CUENCA DEL RÍO GALLEGOS	27
2.1.	INTRODUCCIÓN	28
2.2.	MATERIALES Y MÉTODOS	29
2.2.1.	Identificación de los humedales en el área de estudio	29
2.2.2.	Cuantificación de la superficie de humedales en los distintos ambientes geomorfológicos del área de estudio.....	30
2.2.3.	Selección de los mallines de estudio	30
2.2.4.	Variación de la temperatura superficial de los mallines de estudio.....	32
2.3.	RESULTADOS.....	32
2.3.1.	Identificación de los humedales del área de estudio	32
2.3.2.	Cuantificación de la superficie de humedales en los distintos ambientes geomorfológicos del área de estudio.....	35
2.3.3.	Selección y descripción de los mallines de estudio	37
2.3.4.	Curvas de temperatura superficial de los mallines de estudio (2010–2012)...	49
2.4.	DISCUSIÓN Y COMENTARIOS FINALES.....	51

CAPÍTULO 3	SISTEMA HIDRO-EDAFO-GEOMORFOLÓGICO	53
3.1.	INTRODUCCIÓN	54
3.2.	MATERIALES Y MÉTODOS	57
3.2.1.	Reconocimiento de geoformas	57
3.2.2	Dinámica hídrica	58
3.2.3	Suelos.....	59
3.2.4.	Análisis estadístico de los datos	61
3.3.	RESULTADOS	62
3.3.1.	Descripción geomorfológica.....	62
3.3.2.	Caracterización de la dinámica hídrica.....	80
3.2.3.	Caracterización de suelos.....	84
3.2.4.	Relación suelo-ambiente geomorfológico-humedad.....	100
3.2.5.	Relación suelo-ambiente geomorfológico y suelo-sector	103
3.4.	DISCUSIÓN	105
3.5.	CONCLUSIÓN	107
CAPÍTULO 4	COMPOSICIÓN FLORÍSTICA-SU RELACIÓN CON EL AMBIENTE GEOMORFOLÓGICO Y CON LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN EL SUELO	108
4.1.	INTRODUCCIÓN	109
4.2.	MATERIALES Y MÉTODOS	111
4.2.1.	Caracterización de la vegetación	111
4.2.2	Identificación de las unidades de vegetación	113
4.2.3.	Índice de degradación.....	113
4.1.2.	Análisis estadístico de los datos	115
4.3.	RESULTADOS	116
4.3.1.	Caracterización de la vegetación	116
4.3.2.	Descripción florística.....	126
4.3.3.	Relación de la vegetación con el ambiente geomorfológico y el sector.....	145
4.3.4.	Índice de degradación.....	149

4.4.	DISCUSIÓN	153
4.5.	CONCLUSIÓN	155
CAPÍTULO 5 PRODUCCIÓN DE BIOMASA AÉREA: SU RELACIÓN CON EL AMBIENTE GEOMEORFOLÓGICO Y CON EL CONTENIDO HÍDRICO DEL SUELO		156
5.1.	INTRODUCCIÓN	157
5.2.	MATERIALES Y MÉTODOS	158
5.2.1.	Biomasa acumulada y productividad primaria neta aérea	158
5.2.2.	Análisis estadístico de los datos de biomasa acumulada	160
5.2.3.	Índices de vegetación y su relación con la biomasa verde	161
5.2.4.	Mapa de los índices de vegetación	164
5.3.	RESULTADOS	164
5.3.1.	Producción de biomasa aérea de mallines fluviales y glaciales	164
5.3.2.	Relación de la producción de biomasa aérea con el ambiente geomorfológico y el sector	173
5.3.3.	Relación de la producción de biomasa aérea con la temperatura	175
5.3.4.	Relación entre la producción de biomasa aérea, las características edáficas y el estado de degradación de los mallines.....	177
5.3.5.	Índices de vegetación y su relación con la biomasa verde	179
5.4.	DISCUSIÓN	184
5.5.	CONCLUSIÓN	186
CAPÍTULO 6 DISCUSIÓN Y COMENTARIOS FINALES		187
6.1.	DISCUSIÓN FINAL	189
6.2.	COMENTARIOS FINALES	194
BIBLIOGRAFÍA		197
DIFUSIÓN DE RESULTADOS DERIVADOS DE LA TESIS.....		214
ANEXO		215

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Imágenes SPOT-5 utilizadas para la sectorización de los mallines según el gradiente hídrico.	31
Tabla 2.2. Valores de los píxeles en las bandas 1 2 3 4 5 y 7 de las imágenes Landsat para las coberturas humedales vegetados, estepa, áreas degradadas, manifestaciones basálticas, agua y lagunas someras del área de estudio.	35
Tabla 2.3. Superficie cubierta por humedales en las distintas unidades de paisaje (UP) del área de estudio.	35
Tabla 2.4. Valores de los píxeles en las bandas 1 2 3 4 de imágenes SPOT 5 para las coberturas mallines, estepa, y agua.....	38
Tabla 2.5. Superficie total y por sectores identificados en los mallines de ambiente glacial.	39
Tabla 2.6. Superficie total y por sectores identificados en los mallines de ambiente fluvial.	44
Tabla 3.1. Equivalencias de la denominación de los suelos entre los sistemas de clasificación de la FAO (2006) y Soil Survey Staff (2006).	56
Tabla 3.2. Equidistancia de las curvas de nivel de los mallines glaciales y fluviales.	57
Tabla 3.3. Ubicación de los frentímetros en los mallines glaciales y fluviales.....	59
Tabla 3.4. Ubicación de las calicatas en los mallines glaciales y fluviales.....	60
Tabla 3.5. Profundidad de la napa freática (cm) de los mallines glaciales para los períodos 2010/11 y 2011/12.	80
Tabla 3.6. Humedad volumétrica del suelo (0-30 cm) en mallines glaciales.....	81
Tabla 3.7. Profundidad de la napa freática (cm) de los mallines fluviales para los períodos 2010/11 y 2011/12.	82
Tabla 3.8. Humedad volumétrica del suelo (0-30 cm) en el sector húmedo de los mallines fluviales.....	83
Tabla 3.9. Humedad volumétrica del suelo (HuV) de 0-30 cm en el sector semihúmedo de los mallines fluviales.	83
Tabla 3.10. Características físicas y químicas de los perfiles de suelo de los mallines glaciales.....	91
Tabla 3.11. Características físicas y químicas de los perfiles de suelo de los mallines fluviales.....	99

Tabla 3.12. Características físico químicas de las muestras compuestas de los suelos (0-30 cm) de los mallines glaciales y fluviales.	101
Tabla 3.13. Análisis de medidas repetidas (p valores) de los parámetros del suelo por ambiente geomorfológico (Amb. Geo.).....	103
Tabla 3.14. Análisis de medidas repetidas (p valores) de los parámetros del suelo por sector.....	103
Tabla 3.15. Características físico químicas de las muestras compuestas de los suelos (0-30 cm) de mallines fluviales húmedos y subhúmedos.....	104
Tabla 4.1. Sectores identificados en los mallines glaciales y fluviales.....	111
Tabla 4.2. Rangos de valores del IDM	114
Tabla 4.3. Lista de especies identificadas en los sectores muy húmedos, húmedos y semihúmedos de los mallines glaciales y fluviales.	117
Tabla 4.4. Cantidad de géneros y especies pertenecientes a cada familia identificada en las transectas de vegetación.	124
Tabla 4.5. Valores de los indicadores utilizados para caracterizar la vegetación de los mallines glaciales según el sector.....	136
Tabla 4.6. Valores de los indicadores utilizados para caracterizar la vegetación de los mallines fluviales según el sector.....	145
Tabla 4.7. Análisis de la varianza (p valores) de los indicadores de la vegetación por el ambiente geomorfológico (Amb. Geo.) y el sector.....	148
Tabla 4.8. Índice de degradación de mallines (<i>IDM</i>) calculado para los distintos sectores de los mallines glaciales y fluviales.....	150
Tabla 5.1. Índices de vegetación utilizados para el análisis de la productividad primaria neta aérea.	161
Tabla 5.2. Imágenes Landsat TM 5 y 7 utilizadas para el cálculo de los índices verdes....	162
Tabla 5.3. Ubicación de los puntos de muestreo del mallín Glencross (Utrilla et al. 2004, 2008)	163
Tabla 5.4. Productividad primaria neta aérea (kg MS/ha) del sector húmedo de los mallines glaciales calculada a partir del pico máximo de biomasa total.....	167
Tabla 5.5. Productividad primaria neta aérea (kg MS/ha) de los sectores húmedos y semihúmedos de los mallines fluviales calculada a partir del pico máximo de biomasa total.	172

Tabla 5.6. Análisis de regresión lineal entre la temperatura superficial media mensual con el pico máximo de biomasa total (PMBT) y verde (PMBV) acumulada.....	175
Tabla 5.7. Coeficientes de correlación de Pearson de los índices IPVI, RDVI, NLI, DVI, SR, NDVI, NDWI7 y NDWI5.....	181
Tabla 5.8. Análisis de regresión lineal entre la biomasa verde y el SR, NDVI, NDWI7 y NDWI5.	181
Apéndice 1. Descripción de la calicata N° 2 realizada en el sector húmedo del mallín fluvial <i>Pali Aike</i>	216

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Configuraciones geomórficas de los humedales, con diferentes fuentes de agua e hidroperíodos (extraído de Brinson y Malvárez, 2002).	6
Figura 1.2. a) Orden de los cursos en función de su posición dentro de la cuenca; b) relación entre la fuente de agua y el orden de los curso; nótese que “ <i>los cursos de mayor orden reciben transporte por desborde lateral, que contribuye a su capacidad de acumular sedimentos</i> ” (extraído de Brinson, 2004).....	7
Figura 1.3. Variación del nivel de agua en los ecosistemas terrestres, humedales y acuáticos (extraído de Kandus et al. 2011).	10
Figura 1.4. Zonificación de un mallín típico según el contenido hídrico (Extraído de Luque y Amari, 1997).	11
Figura 1.5. Ubicación del área de estudio. Mosaico satelital a partir de imágenes Landsat 228 y 229/086, Bandas 5 4 2.	20
Figura 1.6. a) Mapas de precipitación media anual y b) temperatura media anual del área de estudio, y ubicación de los mallines estudiados. Fuente: base de datos WorldClim (Hijmans et al. 2006).....	21
Figura 1.7. Unidades de paisaje del S de la Provincia de Santa Cruz. Fuente: bases cartográficas Lab. Teledetección y SIG, UNPA-UARG, mapa de Unidades de paisaje (Mazzoni, 2001).	23
Figura 1.8. Unidades fisonómico florísticas de la Patagonia Austral (León et al. 1998).	24
Figura 2.1. Identificación de ambientes de estepa y humedales en el área de estudio (a). La estepa se visualiza en tonos marrones mientras que los humedales vegetados (mallines y marismas) aparece en tonos rojos. Los cuerpos de agua se observan en tonos celestes, azules o negros según su profundidad. Los detalles muestran: b) Paisaje glacial donde se intercalan suaves lomadas con variedad de humedales; c) Paisaje de mesetas sedimentarias y volcánicas con presencia de lagunas permanentes y transitorias y mallines en fondo de valle; d) Paisaje de meseta volcánica y ambiente fluvial y e) Paisaje costero correspondiente al estuario del río Gallegos. Nótese la presencia de áreas degradadas en tonos blanquecinos (principalmente “plumas eólicas”). Fuente: Imágenes satelitales Landsat Bandas 4 3 2.....	33

Figura 2.2. Perfil espectral de los ambientes de humedales vegetados, estepa, lagunas someras, agua, áreas degradadas y manifestaciones basálticas en el área de estudio. Fuente: Imágenes satelitales Landsat Bandas 4 3 2.	34
Figura 2.3. a) Clasificación no supervisada, tonos claros corresponden a áreas de humedales; b) Extracción de humedales y c) unidades de paisaje y humedales del área del área de estudio. Fuente: bases cartográficas Lab. Teledetección y SIG, UNPA-UARG, mapa de Unidades de paisaje (Mazzoni, 2001) y clasificación digital de imágenes satelitales Landsat.	36
Figura 2.4. Localización de los mallines seleccionados para llevar a cabo esta investigación. Los mallines desarrollados en el ambiente fluvial están indicados con puntos rojos en tanto que los del ambiente glacial se identifican con puntos violetas. Fuente: bases cartográficas Lab. Teledetección y SIG, UNPA-UARG, mapa de Unidades de paisaje (Mazzoni, 2001) y clasificación digital de imágenes satelitales Landsat.	37
Figura 2.5. Perfil espectral de mallines muy húmedos, húmedos y semihúmedos, estepa y agua, en ambientes glaciales. Fuente: Imágenes satelitales SPOT 5 (Tabla 2.1).	38
Figura 2.6. Ubicación de los mallines emplazados en el ambiente glacial. Los mallines se presentan en tonos rojo oscuro dentro de la imagen. Fuente: Imagen SPOT-5.	40
Figura 2.7. Sectores según el grado de humedad en el mallín <i>La Laguna</i> . En la imagen superior, los tonos oscuros indican los sectores con mayor humedad (húmedos y anegados), mientras que los más claros muestran la distribución de los sectores semihúmedos. Fuente: Clasificación digital de la Imagen SPOT-5.	41
Figura 2.8. Sectores según el grado de humedad en el mallín <i>El Morro</i> . Los tonos claros indican sectores húmedos, mientras que los tonos oscuros muestran la distribución de los sectores muy húmedos y anegados. Fuente: Clasificación digital de la Imagen SPOT-5.	42
Figura 2.9. Sectores según el grado de humedad en el mallín <i>El Chorrillo</i> . Los tonos claros indican sectores semihúmedos, mientras que los tonos oscuros muestran la distribución de los sectores húmedos. Fuente: Clasificación digital de la Imagen SPOT-5.	43
Figura 2.10. Detalle de la ubicación de los mallines emplazados en el ambiente fluvial. Los mallines se presentan en tonos rojos. Fuente: Clasificación digital de la Imagen SPOT-5. .	45
Figura 2.11. Sectores según el grado de humedad en el mallín <i>El Zurdo</i> . Los tonos claros indican sectores semihúmedos, mientras que los tonos oscuros muestran la distribución de los sectores más húmedos. Fuente: Clasificación digital de la Imagen SPOT-5.	46

Figura 2.12. Sectores según el grado de humedad en el mallín <i>Bella Vista</i> . Los tonos oscuros indican sectores anegados y a medida que los tonos aclaran se identifican los sectores semihúmedos. Fuente: Clasificación digital de la Imagen SPOT-5.	47
Figura 2.12. Sectores según el grado de humedad en el mallín <i>Pali Aike</i> . Los tonos oscuros indican los sectores húmedos y anegados, mientras que los más claros muestran la distribución de los sectores semihúmedos. Fuente: Clasificación digital de la Imagen SPOT-5.....	48
Figura 2.14. Temperatura superficial media mensual desde junio/2010 a mayo/2012. a) Mallines glaciales y b) mallines fluviales. Fuente: base de datos ORNL DAAC (http://daacmodis.ornl.gov/cgi-bin/MODIS/GLBVIZ_1_Glb/modis_subset_order_global_col5.pl).	50
Figura 3.1. Instalación de freatímetros.	58
Figura 3.2. Perforación de calicatas.	59
Figura 3.3. Modelo digital de elevación del mallín glacial <i>La Laguna</i> y diseño de la red de drenaje. Fuente MDE-Ar 45 X 45 m IGN.	63
Figura 3.4. Topografía del mallín glacial <i>La Laguna</i> . Fuente MDE-Ar 45 X 45 m IGN.	64
Figura 3.5 Modelo digital de elevación del mallín glacial <i>El Morro</i> y diseño de la red de drenaje. Fuente MDE-Ar 45 X 45 m IGN.	66
Figura 3.6. Topografía del mallín glacial <i>El Morro</i> . Fuente MDE-Ar 45 X 45 m IGN.	67
Figura 3.7. Modelo digital de elevación del mallín <i>El Chorrillo</i> y diseño de la red de drenaje. Fuente MDE-Ar 45 X 45 m IGN.....	69
Figura 3.8. Topografía del mallín glacial <i>El Chorrillo</i> . Fuente MDE-Ar 45 X 45 m IGN.....	70
Figura 3.9. Modelo digital de elevación del mallín fluvial <i>El Zurdo</i> y diseño de la red de drenaje. Fuente MDE-Ar 45 X 45 m IGN.	72
Figura 3.10. Topografía del mallín fluvial <i>El Zurdo</i> . Fuente MDE-Ar 45 X 45 m IGN.	73
Figura 3.11. Modelo digital de elevación del mallín fluvial <i>Bella Vista</i> y diseño de la red de drenaje. Fuente MDE-Ar 45 X 45 m IGN.	75
Figura 3.12. Topografía del mallín fluvial <i>Bella Vista</i> . Fuente MDE-Ar 45 X 45 m IGN.	76
Figura 3.13. Modelo digital de elevación del mallín fluvial <i>Pali Aike</i> y diseño de la red de drenaje. Fuente MDE-Ar 45 X 45 m, IGN.	78
Figura 3.14. Topografía del mallín fluvial <i>Pali Aike</i> . Fuente MDE-Ar 45 X 45 m IGN.	79

Figura 3.15. Humedad volumétrica del suelo media de mallines glaciales y fluviales. Letras distintas indican diferencias significativas y las barras negras el error estándar.....	84
Figura 3.16. pH y CE del perfil de suelo del mallín glacial <i>La Laguna</i>	85
Figura 3.17. Perfil de suelo del mallín glacial <i>La Laguna</i>	86
Figura 3.18. pH y CE del perfil de suelo del mallín glacial <i>El Morro</i>	87
Figura 3.19. Perfil de suelo del mallín glacial <i>El Morro</i>	88
Figura 3.20. pH y CE del perfil de suelo del mallín glacial <i>El Chorrillo</i>	89
Figura 3.21. Perfil de suelo del mallín glacial <i>El Chorrillo</i>	90
Figura 3.22. pH y CE del perfil de suelo del sector húmedo del mallín fluvial <i>El Zurdo</i>	92
Figura 3.23. pH y CE del perfil de suelo del sector semihúmedo del mallín fluvial <i>El Zurdo</i> .	94
Figura 3.24. pH y CE del perfil de suelo del sector semihúmedo del mallín fluvial <i>Bella Vista</i>	95
Figura 3.25. Perfil de suelo del mallín fluvial <i>Bella Vista</i>	96
Figura 3.26. pH y CE del perfil de suelo del sector semihúmedo del mallín fluvial <i>Pali Aike</i> .	97
Figura 3.27. Perfil de suelo del sector semihúmedo del mallín fluvial <i>Pali Aike</i>	98
Figura 3.28. Distribución de los parámetros del suelo N _t , P _d , Ca, Mg, K, Na, CE, pH y del porcentaje de HuV de los mallines <i>La Laguna</i> (Lag), <i>El Chorrillo</i> (Echo), <i>El Zurdo</i> (EZ), <i>Bella Vista</i> (BV) y <i>Pali Aike</i> (PA). ACP: columna a) diagrama de variables y columna b) diagrama de casos.	102
Figura 4.1. Frecuencia absoluta de familias identificadas en las transectas de vegetación de los mallines glaciales y fluviales.	125
Figura 4.2. Frecuencia relativa de las especies identificadas en los relevamientos de vegetación de los mallines glaciales y fluviales clasificadas según su estatus biogeográfico. S/I: sin clasificar.	125
Figura 4.3. Frecuencia absoluta de las especies indicadoras identificadas en los relevamientos de vegetación de los mallines glaciales y fluviales.	126
Figura 4.4. Vista panorámica del mallín glacial <i>La Laguna</i>	127
Figura 4.5. Mapa de unidades de vegetación del mallín glacial <i>La Laguna</i> . Fuente: Imagen SPOT 5 bandas 4 2 1, transectas de vegetación.	128

Figura 4.6. Frecuencia absoluta de las especies presentes en los tres sectores del mallín glacial <i>La Laguna</i> . a) Muy húmedo; b) Húmedo y c) Semihúmedo. La categoría otras incluye las especies con frecuencia ≤ 1	129
Figura 4.7. En primer plano vista parcial del mallín glacial <i>El Morro</i>	130
Figura 4.8. Mapa de unidades de vegetación del mallín glacial <i>El Morro</i> . Fuente: Imagen SPOT 5 bandas 4 2 1, transectas de vegetación.	131
Figura 4.9. Frecuencia absoluta de las especies presentes en los dos sectores del mallín glacial <i>El Morro</i> . a) Muy húmedo y b) Húmedo.....	132
Figura 4.10. Vista panorámica del mallín glacial <i>El Chorrillo</i>	133
Figura 4.11. Mapa de unidades de vegetación del mallín glacial <i>El Chorrillo</i> . Fuente: Imagen SPOT 5 bandas 4 2 1, transectas de vegetación.	134
Figura 4.12. Frecuencia absoluta de las especies presentes en los dos sectores del mallín glacial <i>El Chorrillo</i> . a) Húmedo y b) Semihúmedo. La categoría otras incluye las especies con frecuencia ≤ 1	135
Figura 4.13. Vista panorámica del mallín fluvial <i>El Zurdo</i>	136
Figura 4.14. Mapa de unidades de vegetación del mallín fluvial <i>El Zurdo</i> . Fuente: Imagen SPOT 5 bandas 4 2 1, transectas de vegetación.	137
Figura 4.15. Frecuencia absoluta de las especies presentes en los dos sectores del mallín fluvial <i>El Zurdo</i> . a) Húmedo y b) Semihúmedo. La categoría otras incluye las especies con frecuencia ≤ 1	138
Figura 4.16. Vista panorámica del mallín fluvial <i>Bella Vista</i>	139
Figura 4.17. Mapa de unidades de vegetación del mallín fluvial <i>Bella Vista</i> . Fuente: Imagen SPOT 5 bandas 4 2 1, transectas de vegetación	140
Figura 4.18. Frecuencia absoluta de las especies presentes en los dos sectores del mallín fluvial <i>Bella Vista</i> . a) Húmedo y b) Semihúmedo.....	141
Figura 4.19. Vista panorámica del mallín fluvial <i>Pali Aike</i>	142
Figura 4.20. Mapa de unidades de vegetación del mallín fluvial <i>Pali Aike</i> . Fuente: Imagen SPOT 5 bandas 4 2 1, transectas de vegetación.	143
Figura 4.21. Frecuencia absoluta de las especies presentes en los dos sectores del mallín fluvial <i>Pali Aike</i> . a) Húmedo y b) Semihúmedo. La categoría otras incluye las especies con frecuencia ≤ 1	144

Figura 4.22. Distribución de las especies <i>Acaena magellanica</i> (Acm), <i>Azorella trifurcata</i> (Azt), <i>Caltha sagittata</i> (Cath), <i>Carex aematorhyncha</i> (Cxaem), <i>Carex gayana</i> (Cxgy), <i>Carex andina</i> (Cxan), <i>Carex macloviana</i> (Cxmvl), <i>Carex sp.</i> (Cxsp), <i>Eleocharis pseudoalbibracteta</i> (Eleo), <i>Empetrum rubrum</i> (Emrb), <i>Eriochaenium magellanicum</i> (Ecmg), <i>Festuca pallescens</i> (Fep), <i>Hordeum sp.</i> (Hord), <i>Hypochaeris radicata</i> (Hyp), <i>Juncus balticus</i> (Jnb), <i>Juncus stipulatus</i> Nees & Meyen (Jns), <i>Plantago sp.</i> (Plan), <i>Poa pratensis</i> (Poapr), <i>Potentilla sp.</i> (Pot), <i>Taraxacum officinale</i> (Txof) y <i>Agrostis sp.</i> (Agros) y transectas de vegetación de los sectores muy húmedos, húmedos y semihúmedos de los mallines <i>La Laguna</i> , <i>El Morro</i> , <i>El Chorrillo</i> , <i>El Zurdo</i> , <i>Bella Vista</i> y <i>Pali Aike</i> . ACP: columna a) diagrama de variables y columna b) diagrama de casos.	146
Figura 4.23. Dendrograma del análisis de conglomerados (Método de Ward, Distancia City-Block) de las transectas de vegetación de los mallines glaciales y fluviales. La línea roja indica la distancia de corte para definir los grupos y corchetes rojos indican los grupos A, B, C y D.....	147
Figura 4.24. Índice de Shannon–Weaver medio y Pielou (equitatividad) media de los mallines húmedos y semihúmedos. Letras distintas indican diferencias significativas de los índices entre los sectores y las barras negras el error estándar.....	148
Figura 4.25. Cobertura relativa media de la vegetación por forma de vida en los mallines húmedos y semihúmedos. Letras distintas indican diferencias significativas de las formas de vida entre los sectores y las barras negras el error estándar.	149
Figura 4.26. Mapas de estados de degradación de los mallines glaciales. a) <i>La Laguna</i> , b) <i>El Morro</i> y c) <i>El Chorrillo</i> . Fuente: Imagen SPOT 5 bandas 4 2 1, transectas de vegetación.	151
Figura 4.27. Mapas de estados de degradación de los mallines fluviales. a) <i>El Zurdo</i> , b) <i>Bella vista</i> y c) <i>Pali Aike</i> . Fuente: Imagen SPOT 5 bandas 4 2 1, transectas de vegetación.	152
Figura 5.1. Jaulas de exclusión al pastoreo. a) Mallín <i>Pali Aike</i> sector semihúmedo y b) mallín <i>El Zurdo</i> sector húmedo.	159
Figura 5.2. a) Curvas de biomasa aérea acumulada total y verde de las temporadas de crecimiento 2010-2011, 2011-2012 y b) proporción de la biomasa verde por forma de vida del mallín glacial <i>La Laguna</i> . Las barras negras indican el error estándar.	165
Figura 5.3. a) Curvas de biomasa aérea acumulada total y verde de la temporada de crecimiento 2011-2012 y b) proporción de la biomasa verde por forma de vida del mallín glacial <i>El Morro</i> . Las barras negras indican el error estándar.....	166

Figura 5.4. a) Curvas de biomasa aérea acumulada total y verde de las temporadas de crecimiento 2010-2011, 2011-2012 y b) proporción de la biomasa verde por forma de vida del mallín glacial <i>El Chorrillo</i> . Las barras negras indican el error estándar.....	167
Figura 5.5. Curvas de biomasa aérea acumulada total y verde de las temporadas de crecimiento 2010-2011, 2011-2012 de los sectores a) húmedo y c) semihúmedo; y proporción de la biomasa verde por forma de vida del sector b) húmedo y del d) semihúmedo del mallín fluvial <i>El Zurdo</i> . Las barras negras indican el error estándar.....	169
Figura 5.6. Curvas de biomasa aérea acumulada total y verde de las temporadas de crecimiento 2010-2011, 2011-2012 de los sectores a) húmedo y c) semihúmedo; y proporción de la biomasa verde por forma de vida del sector b) húmedo y del d) semihúmedo del mallín fluvial <i>Bella Vista</i> . Las barras negras indican el error estándar.	170
Figura 5.7. Curvas de biomasa aérea acumulada total y verde de las temporadas de crecimiento 2010-2011, 2011-2012 de los sectores a) húmedo y c) semihúmedo; y proporción de la biomasa verde por forma de vida del sector b) húmedo y del d) semihúmedo del mallín fluvial <i>Pali Aike</i> . Las barras negras indican el error estándar.	172
Figura 5.8. Curvas de biomasa acumulada a) total y b) verde de mallines de ambiente glacial y fluvial. Las barras negras indican el error estándar y letras distintas diferencias significativas.	173
Figura 5.9. Proporción de la biomasa verde de mallines a) glaciales y b) fluviales por forma de vida.	174
Figura 5.10. Curvas de biomasa acumulada a) total y b) verde de los sectores húmedo y semihúmedo de mallines fluviales. Las barras negras indican el error estándar y letras distintas diferencias significativas.....	174
Figura 5.11. Relación entre el pico máximo de biomasa total (PMBT) y verde (PMBV) acumulada con la temperatura superficial media mensual. a) PMBT y b) PMBV de mallines glaciales; c) PMBT y d) PMBV del sector húmedo de mallines fluviales; e) PMBT y f) PMBV del sector semihúmedo de mallines fluviales. La línea entera corresponde al ajuste lineal.	176
Figura 5.12. Distribución de la biomasa aérea acumulada total (BAT), de los parámetros del suelo nitrógeno total (Nt), fósforo disponible (Pd) Ca, Mg, K, Na, conductividad eléctrica (CE), pH, del porcentaje de humedad volumétrica del suelo (HuV) y del índice de degradación de mallines (IDM), de los mallines glaciales y fluviales. ACP: columna a) diagrama de variables y columna b) diagrama de casos.....	178

Figura 5.13. Distribución en los índices verdes DVI, IPVI, RDVI, NLI, NDWI5, NDWI7, NDVI y SR de los sectores húmedo y semihúmedo de los mallines *La Laguna, El Chorrillo, El Morro, El Zurdo, Bella Vista, Pali Aike* y *Glencross*. ACP: columna a) diagrama de variables y columna b) diagrama de casos..... 180

Figura 5.14. Mapas de los valores de los índices verdes a) SR, b) NDVI, c) NDWI7 y d) NDWI5 asociados a la biomasa de los mallines del área de estudio. Fuente: Imágenes Landsat 7 bandas 3 4 5 y 7, valores de los IV calculados para la temporada 2011/12..... 183

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

En la Patagonia se encuentra un tipo de humedal característico denominado “mallín” (Malvárez, 1999). Este término hace referencia a pastizales húmedos y densos cuya génesis está asociada a la presencia de agua en o cerca de la superficie del suelo (Movia et al. 1987). Montaldo (1976) los define como comunidades de plantas que se desarrollan sobre suelos planos y húmedos ubicados en situaciones intermontanas con vegetación y suelo de características propias, mientras que Movia et al. (1982) los describen como praderas y matorrales de hidrófitas. Su denominación deriva de una voz mapuche que refiere a lugares anegadizos o pantanosos (Erize, 1960; Ruiz Leal, 1972). También se los identifica como “vegas”, expresión relativa a terrenos muy húmedos, bajos y fértiles (Real Academia Española, 2014). Globalmente, ambientes similares se conocen con el nombre de *riparian meadows* o *wet meadows* (Dwire et al. 2004; Utrilla et al. 2006; Baker et al. 2007; Collantes et al. 2013; Fu y Shen, 2016).

Estos ecosistemas azonales cubren del 2 al 3 % de su superficie total patagónica (Bran et al. 2004). Su vegetación está compuesta principalmente por gramíneas, juncos y ciperáceas (Soriano, 1956; Boelcke, 1957; Nakamatsu, 1998; Bueno, 2005; Utrilla et al. 2006; Collantes et al. 2009) y se forman en distintas unidades de paisaje propicias para el afloramiento de aguas subsuperficiales o con cursos fluviales en su proximidad, tales como planicies glaciarias, llanuras aluviales, depresiones y laderas de mesetas basálticas (Mazzoni y Vazquez, 2004; Mazzoni y Rabassa, 2013). En el ambiente extra-andino, la mayor disponibilidad de agua y cobertura vegetal que presentan, con respecto a la estepa circundante, como así también su alta producción de biomasa (Siffredi et al. 1995; Somlo et al. 1995; Bonvissuto y Somlo, 1998; Nakamatsu, 1998; Siffredi, 2005; Bueno, 2005, 2007), los convierte a en hábitats permanentes o transitorios de numerosas especies silvestres y en fuente de alimento para el ganado ovino y bovino (Bran et al. 2004).

Los mallines, al igual que el resto de los humedales, son sistemas complejos. Según Brinson (2004) “*en una región climática relativamente homogénea, los humedales varían más que los ecosistemas terrestres*”. En los mallines, se observa una gran variabilidad interna en las características del suelo, la vegetación y la producción de biomasa, que se asocian a la topografía y fuente de agua (Boelcke; 1958; Iriondo et al. 1974; Lamoureux y Migliora, 1995; Somlo et al. 1995; Siffredi et al. 1995; Hupp y Osterkamp, 1996; Bonvissuto y Somlo, 1998; Nakamatsu, 1998; Dwire et al. 2004; Siffredi, 2005; Utrilla et al. 2006; Bueno, 2005, 2007; Utrilla et al. 2008; Bueno et al. 2010; Utrilla et al. 2014; Enriquez et al. 2015). Estas variaciones también se presentan a escala regional entre distintos mallines y

dependen, principalmente, de la posición geográfica (Luque y Amari, 1997; Gaitán et al. 2011; Collantes et al. 2009; Filipová et al. 2010; Filipová et al. 2013). Las diferencias naturales que presentan este tipo de humedales se acentúan por la acción antrópica. Durante años, en los sistemas productivos ganaderos, estos ambientes se manejaron de forma conjunta con la estepa. El sobrepastoreo modificó las características edáficas, hídricas y de la vegetación, llevándolos a diferentes estados de deterioro, en algunos casos irreversibles (Bonvissuto y Somlo, 1998; Ormaechea et al. 2010; Suárez et al. 2010; Utrilla et al. 2014), afectando las funciones ecosistémicas que cumplen estos ambientes.

En general, el estudio de los mallines se ha realizado de forma parcial, analizando cada componente de estos ecosistemas por separado. Los principales antecedentes en la temática se generaron en los mallines de la Patagonia Norte y Centro y tratan de la realización de inventarios, caracterización de sus condiciones hidrogeomorfológicas, suelos y vegetación; evaluación de la productividad primaria y realización de ensayos de fertilización y riego. No se han llevado a cabo trabajos que abordan el estudio de estos ambientes de forma integral, sobre todo en el S de la Patagonia.

En consecuencia surge esta investigación, con el propósito comprender el rol que ejercen las condiciones de emplazamiento en los mallines del S de la Patagonia, así como de analizar sus características *hidro-eco-geomorfológicas*, su interacción con la productividad y con su estado de deterioro, en un ambiente caracterizado por su clima frío.

El área de estudio se ubica entre los paralelos 51° 30' S y 52° S y los meridianos 71° 40' O y los 69° O en el Sur de la Provincia de Santa Cruz, con una superficie de 8000 km². Dentro de esta área se seleccionaron mallines emplazados en planicies aluviales y en planicies glaciales (Mazzoni 2017) y se relevaron en campo sus características topográficas, geomorfológicas, hidrológicas, edáficas, la composición de la vegetación y las evidencias de degradación. También se midió la productividad primaria neta aérea y se analizó la interrelación entre estos componentes del sistema fisiográfico y con el ambiente geomorfológico en el que se sitúan. Asimismo, se evaluó el grado de deterioro que presentan los mallines del S de Santa Cruz a partir de la información obtenida de la vegetación y la factibilidad de usar herramientas de teledetección para estimar la producción de biomasa de estos ambientes.

Los resultados obtenidos contribuirán al desarrollo de estrategias de manejo sustentables y pueden utilizarse como base para futuros estudios.

1.2. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

Según la Convención de Ramsar (Ramsar, Irán, 1971) *“Los humedales son zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio y de la vida vegetal y animal asociada a él. Los humedales se dan donde la capa freática se halla en la superficie terrestre o cerca de ella o donde la tierra está cubierta por aguas poco profundas”*.

Bajo esta definición se incluye una amplia variedad de hábitats, tales como: marismas, pantanos, turberas y superficies cubiertas de agua natural o artificial, permanente o temporal, estancada o corriente, dulce, salobre o salada (Ramsar, Irán, 1971). Se pueden encontrar desde la tundra hasta el trópico y ocupan entre el 4% y 6% de la superficie del planeta (Ramsar, Irán, 1971).

La permanencia del agua en o cerca de la superficie del suelo por períodos significativos de tiempo, sobre todo en la estación de crecimiento (Kandus et al. 2010), da lugar a las características particulares de los suelos, vegetación y fauna que integran a los humedales, diferenciándolos de los sistemas acuáticos y terrestres (SAyDS, 2014). El anegamiento determina la formación de suelos hídricos, que presentan condiciones de reducción en la mayor parte de la zona de las raíces (Mansbach y Parker, 2001; Kandus et al. 2011). Soil Survey Staff (1996) define a los suelos hídricos como *“Suelos que se formaron bajo condiciones de saturación, inundaciones, o encharcamiento durante el tiempo suficiente en la temporada de crecimiento como para permitir que se produzcan condiciones anaeróbicas en la parte superior del perfil del suelo”*. Dentro de los suelos hídricos se encuentran (Mansbach y Parker, 2001):

1. Todos los Histosols excepto Folists, o
2. Suelos que pertenecen al suborden, gran grupo o subgrupo Aquic, suborden Albolls y subgrupos Aquisalids, Pachic o Cumulic que se caracterizan por estar:
 - a. Algo mal drenados con un nivel freático igual a 0 cm de la superficie durante la temporada de crecimiento, o
 - b. Suelo pobremente drenado o muy pobremente drenado que tiene:
 - l) nivel freático a los 0 cm de la superficie durante la temporada de crecimiento si las texturas son arena gruesa, arena o arena fina en todas las capas dentro de los 50,8 cm, o para otros suelos

- ii) nivel freático menor o igual a 15,24 cm de la superficie durante la temporada de crecimiento si la permeabilidad es mayor o igual a 15,24 cm/hr en todas las capas dentro de los 50,8 cm, o
 - iii) nivel freático menor o igual a 30,48 cm de la superficie durante la temporada de crecimiento si la permeabilidad es menor a 15,24 cm/hr en todas las capas dentro de los 50,8 cm, o
3. Suelos que frecuentemente se estancan por largos o muy largos períodos de tiempo durante la temporada de crecimiento, o
 4. Suelos que frecuentemente se inundan por largos o muy largos períodos de tiempo durante la temporada de crecimiento.

Este tipo de suelo favorece el desarrollo de la vegetación hidrofítica (Cowardin, 1979; Mitsch y Gosselink, 2000; Wilcox y Nichols, 2008; Hammersmark et al. 2009) y es responsable de parte de las funciones ecosistémicas que cumplen los humedales. Entre las funciones más importantes de estos ambientes se encuentran la regulación de inundaciones, el almacenaje de agua a corto y largo plazo, la retención y estabilización de sedimentos, la regulación de la evapotranspiración, el ciclado, almacenaje y retención de nutrientes, la regulación de la salinidad, la producción de biomasa, el secuestro de carbono, la provisión de hábitat y el mantenimiento de la diversidad (Ramsar, Irán, 1971; Naiman et al. 1993; Canevari et al. 1998; Kandus et al. 2011).

La presencia de los humedales y sus funciones son determinadas por tres factores: el emplazamiento geomorfológico, es decir, la posición topográfica del humedal en el paisaje que lo rodea, la fuente de agua y su hidrodinámica (dirección y velocidad). Este punto de vista constituye el enfoque hidrogeomórfico (HGM) definido por Brinson en 1993 y es en el cual se enmarca esta investigación.

La clasificación hidrogeomórfica (HGM) de los humedales pone énfasis en las características hidrológicas y geomorfológicas, aparentemente responsables de mantener muchos de los aspectos funcionales de los humedales. Este enfoque realza el efecto que tienen las condiciones abióticas del emplazamiento geomorfológico en las funciones ecosistémicas tales como el mantenimiento del hábitat y el almacenamiento y transporte del agua. *“El objetivo del HGM es identificar un subconjunto de humedales que funcionen de forma similar y presenten un rango de variabilidad relativamente estrecho”* (Brinson et al. 1998). Así, el enfoque HGM reconoce siete clases de humedales (Brinson, 1993; Smith et al. 1995; Brinson et al. 1998; Brinson y Malvárez, 2002): de ribera (*Riverine*), de depresión (*Depressional*), de pendiente (*Slope*), de suelos minerales (*Mineral soil flats*), de suelos

orgánicos (*Organic soil flats*), de franja estuarina (*Estuarine fringe*) y de franja lacustre (*Lacustrine fringe*) (Fig. 1.1).

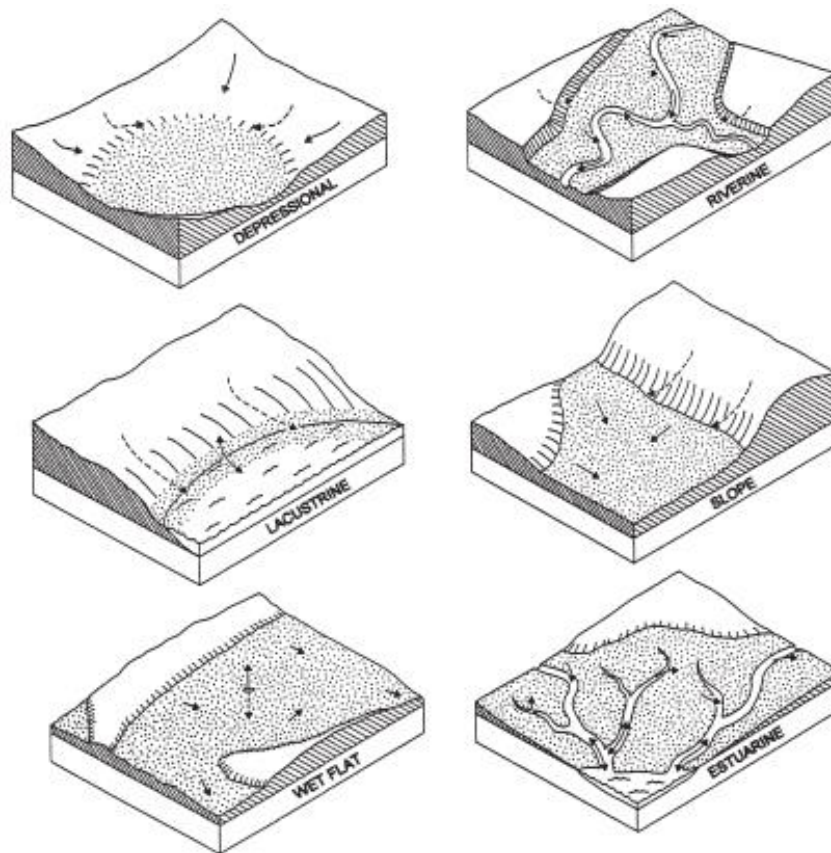


Figura 1.1. Configuraciones geomórficas de los humedales, con diferentes fuentes de agua e hidroperíodos (extraído de Brinson y Malvárez, 2002).

“Cada clase está asociada a un entorno geomorfológico específico, fuente de agua dominante e hidrodinámica dominante, así como representa un tipo de humedal comúnmente reconocido en función de la vegetación y el suelo” (Brinson et al. 1998). Sin embargo, para una misma región no es raro que los humedales presenten un amplio rango de variabilidad funcional. Brinson et al. (1998) y Brinson (2004) explican esto a través de un ejemplo con dos llanuras de inundación de corrientes de orden 1 y 5, que se sitúan en la misma región geográfica y son clasificadas como humedales de ribera, pero presentan diferentes hidroperíodos, suelos y vegetación, y por lo tanto diferencias en sus funciones ecosistémicas (Fig. 1.2). El hidroperíodo hace referencia a la profundidad, duración, frecuencia y estacionalidad de la inundación.

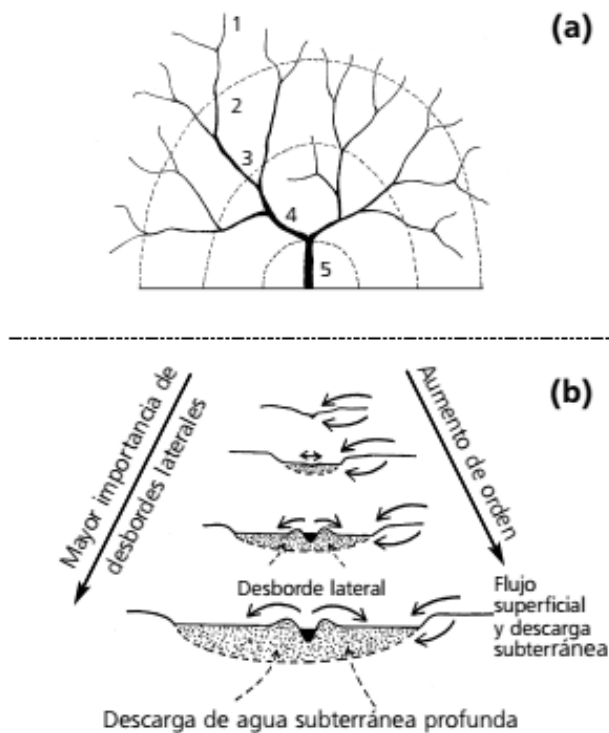


Figura 1.2. a) Orden de los cursos en función de su posición dentro de la cuenca; b) relación entre la fuente de agua y el orden de los curso; nótese que “los cursos de mayor orden reciben transporte por desborde lateral, que contribuye a su capacidad de acumular sedimentos” (extraído de Brinson, 2004).

Bajo este enfoque, el régimen climático y la posición topográfica regulan la cantidad de agua que entra al sistema, mientras que el emplazamiento geomorfológico es el factor que rige cuáles serán las fuentes de agua que alimenten al humedal y su hidrodinámica (Brinson, 1993, 2004; Kandus et al. 2011). En función de lo anterior, en una misma región climático–geográfica se observa una gran diversidad de humedales (Margalef, 1983; Brinson, 1993; Malvárez, 1999) con un rango de variación mayor que el de los ambientes terrestres (Brinson y Malvárez, 2002; Brinson, 2004).

Los humedales se encuentran entre los ecosistemas más importantes del planeta por su relevancia ecológica (Malvárez, 1999; Junk et al. 2014; Hou et al. 2014; Zhao et al. 2016). Sin embargo, las políticas gubernamentales, el crecimiento de las sociedades y el desarrollo económico amenazan el funcionamiento y preservación de estos ambientes (Mensing et al. 1998; Brinson y Malvárez, 2002; Hou et al. 2014; Hettiarachchi et al. 2015). Las desviaciones y el embalse de caudales de los ríos (Bauni et al. 2015), las prácticas de llenado y drenaje (Rolls et al. 2012; Nguyen et al. 2016), el pastoreo con herbívoros domésticos (Sica et al. 2016), la agricultura (Yao et al. 2014; Sica et al. 2016), la actividad forestal (Gell y Reid, 2014) y la urbanización (He et al. 2014; Nguyen et al. 2016) son las

principales actividades antropogénicas que traen como consecuencias la reducción de la superficie y la alteración de las condiciones de los humedales (Zhang et al. 2009), que finalmente resultan en la pérdida de la biodiversidad (Brinson y Malvárez, 2002; Watkins et al. 2010; Nguyen et al. 2016). A nivel mundial, se han realizado numerosos estudios con los objetivos de caracterizar estos ecosistemas (Rodríguez-Rodríguez, 2007; Dick y Gilliam, 2007; Xu et al. 2009), evaluar los cambios en la abundancia y diversidad de especies que presentan, determinar las variaciones de su dinámica hídrica (Baker et al. 2007; Thompson et al. 2007; Hammersmark et al. 2009; Wilcox y Nichols, 2008; Rolls et al. 2012) e identificar las alteraciones en las características físicas y químicas de sus suelos por el uso de la tierra (Brinson y Malvárez, 2002; Watkins et al. 2010).

La disponibilidad de fotografías aéreas, imágenes satelitales de mediana y alta resolución espacial y bases de datos cartográficos, permitieron clasificar, caracterizar y evaluar los cambios en la forma, tamaño, disposición y composición de los humedales en el tiempo (Baker et al. 2006; Timoney, 2006; Baker et al. 2007; Dadaser-Celik et al. 2008; Ghioca-Robrecht et al. 2008; Xu et al. 2009; Frohn et al. 2009; Bortolus et al. 2009). A través de los índices de vegetación obtenidos con los datos de los sensores remotos de series temporales, se estudiaron los patrones de inundación de humedales (El-Asmar et al. 2013; Chen et al. 2013; Chen et al. 2014) y su relación con la dinámica de la cobertura vegetal (Barati et al. 2011; Sims y Colloff, 2012; Chen et al. 2014; Cecilia et al. 2016); se clasificaron hábitats y comunidades vegetales dentro de humedales (Dechka et al. 2002; Dabrowska-Zielinska et al. 2009) y se estimó la producción de biomasa aérea (Buono, 2007; Xie et al. 2011; Baldassini et al. 2012; Gao et al. 2012; Mutanga et al. 2012; Adam et al. 2014; Byrd et al. 2014; Fuller y Wang, 2014; Rodríguez et al. 2014; Fu y Shen, 2016). Asimismo, se generaron modelos que cuantifican los factores de degradación y de pérdidas de hábitats, que monitorean y predicen su comportamiento ante los cambios ocasionados por la actividad antrópica (Mita et al. 2007; Hou et al. 2014; Gell y Reid, 2014; Cui et al. 2015; Bauni et al. 2015; Sica et al. 2016) como también modelos que relacionan el cambio climático con la degradación de estos ecosistemas (Records et al. 2014; Fu et al. 2015).

En Argentina, los humedales cubren el 21,5% de la superficie del territorio (aprox. 600.000 km²) (Kandus et al. 2008). Dispersos a lo largo y ancho del país son afectados por los mismos factores de degradación descritos en el párrafo anterior (Bauni et al. 2015; Sica et al. 2016). Los humedales de mayor extensión se encuentran en la llanura chaco-pampeana, en las cuencas del Plata y del Salado, en la desembocadura del río Colorado y en los ambientes costeros. El resto, se asocian a los valles de los ríos, a las depresiones y a las bases de colinas o montañas (Kandus et al. 2008).

En la Patagonia, los mallines son el tipo de humedal más representativo (Lanciotti et al. 1993; Bran et al. 2004). Se definen como pastizales húmedos que presentan una gran variabilidad de formas y tamaños, y que muchas veces forman parte de un sistema de humedales más o menos continuos o encadenados, ocupando las líneas de drenaje de las sierras y mesetas (Bran et al. 2004). Se desarrollan en superficies planas o cóncavas que contienen una capa de arcilla en su perfil edáfico que dificulta el flujo de agua y en las planicies de inundación de los ríos (Lamoureux y Migliora, 1999; Filipová et al. 2010; Mazzoni y Rabassa 2013).

Estos ecosistemas se caracterizan por presentar napas freáticas altas o colgadas, suelos de texturas finas (arcillosas) con alta porosidad efectiva y alta conductividad hidráulica, horizontes gleyzados (Lamoureux y Migliora, 1999; Irisarri y Schmid, 2004; Horne, 2010) e importantes contenidos de materia orgánica (Iriando et al. 1974; Lamoureux y Migliora, 1995, 1999; Nakamatsu, 1998; Irisarri y Schmid, 2004; Collantes et al. 2009; Filipová et al. 2010, Filipová et al. 2013). Otro parámetro que se destaca en estos ambientes es la cantidad y calidad de carbono que se acumula en el suelo, siendo superior a la de los suelos bien drenados que los rodean (Irisarri y Schmid, 2004; Enriquez et al. 2015).

Las características de los suelos y de la vegetación de los mallines dependen, indefectiblemente, de la dinámica hidrológica del lugar en el que se sitúan. El agua que entra en estos sistemas puede provenir de las precipitaciones (nieve y lluvia), del escurrimiento superficial y subsuperficial, de la recarga subterránea y/o del deshielo (Marcolín et al. 1978; Morales, 1994; Burgos et al. 1996; Nakamatsu, 1998; Raffaele, 2004; Horne, 2010). Se almacena en el acuífero libre, cuyo nivel freático fluctúa estacionalmente en función de las entradas y salidas de agua del mallín (Horne, 2010). Según Horne (2010) en un mallín *“el cauce central funciona como condición de borde del acuífero, fijando el nivel freático a lo largo de su recorrido”*. De esta forma, el cauce se comporta como vía de desagüe del mallín cuando es recargado lateralmente por los bordes externos o por la precipitación directa, y como fuente de recarga del acuífero (al menos en tramos) en los períodos en que desciende el nivel freático (Horne, 2010).

Dentro de la dinámica hídrica de los mallines, el aspecto más relevante es el movimiento en la zona no saturada (capilar). En estos ambientes, dicha zona coincide con la rizosfera, a diferencia de lo observado en los ecosistemas terrestres, en donde ni la capa de agua ni la saturación persistente se encuentran en la rizosfera (Fig. 1.3) (Brinson, 1993, 2004; Horne, 2010; Kandus et al. 2011).

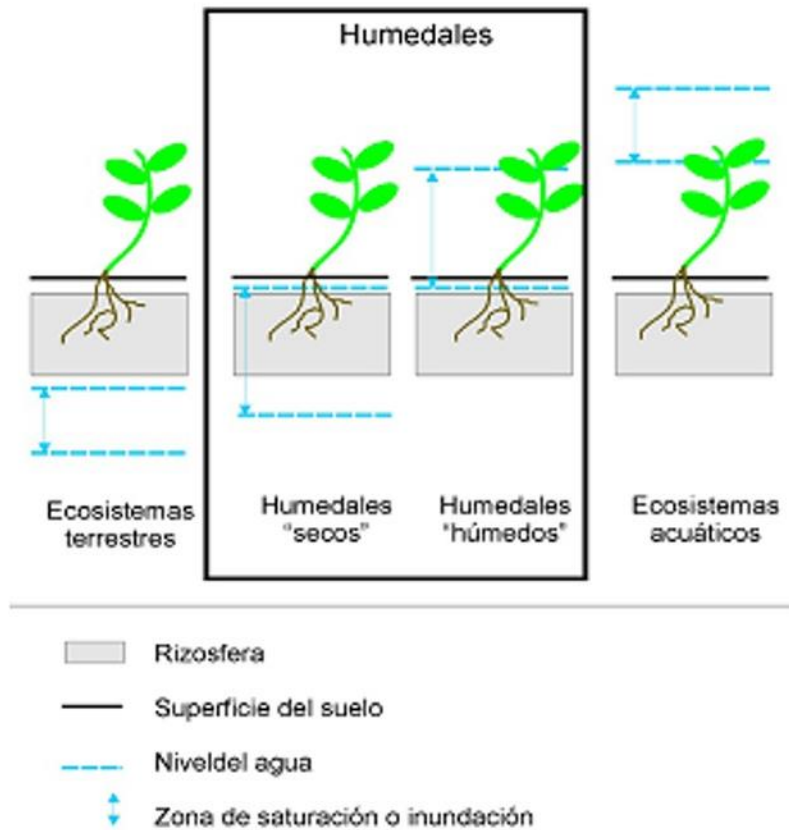


Figura 1.3. Variación del nivel de agua en los ecosistemas terrestres, humedales y acuáticos (extraído de Kandus et al. 2011).

El movimiento en la zona saturada se produce por la demanda de agua generada por la evapotranspiración, que da lugar a diferencias de tensión matricial provocando un flujo vertical ascendente desde la napa hacia los horizontes superficiales explorados por las raíces (rizosfera). Este flujo ascendente puede, o no, alcanzar para compensar la demanda evapotranspiratoria, que es mayor durante la época estival. El caudal que ascienda desde la freática dependerá principalmente de la conductividad hidráulica, la porosidad, la retención hídrica y la distancia suelo–napa (Horne, 2010). Estos parámetros no son iguales dentro de la superficie de un mallín, sino que varían según la posición topográfica que este ocupa en el paisaje (Iriondo et al. 1974; Lamoureux y Migliora, 1995; Dwire et al. 2004; Enriquez et al. 2015).

Las variaciones topográficas, e inclusive microtopográficas (del orden del centímetro), dan lugar a un gradiente hídrico dentro de los mallines. El grado de humedad variará desde las zonas bajas, con la superficie del suelo en contacto con la fuente de agua, hacia las zonas altas que se relacionan con los ambientes más xéricos de la estepa (Fig. 1.4) (Marcolín et al. 1978; Burgos et al. 1996; Cremona et al. 1996; Luque y Amari, 1997; Grevilliot et al.

1998; Lanciotti et al. 1998; Dwire et al. 2004; Mazzoni y Vazquez, 2004; Mazzoni, 2007, 2008; Mazzoni y Rabassa, 2013). Numerosos autores han descrito esta característica, distinguiendo entre 2 y 4 zonas (Fig. 1.4): a) seco, en la periferia del mallín en contacto con la estepa; b) semihúmedo, en la zona intermedia, c) húmedo y d) anegado, en contacto con la fuente de agua (Boelcke, 1957; Iriondo et al. 1974; Marcolín et al. 1978; Burgos et al. 1994; Luque y Amari, 1997; Mazzoni y Rabassa, 2013).

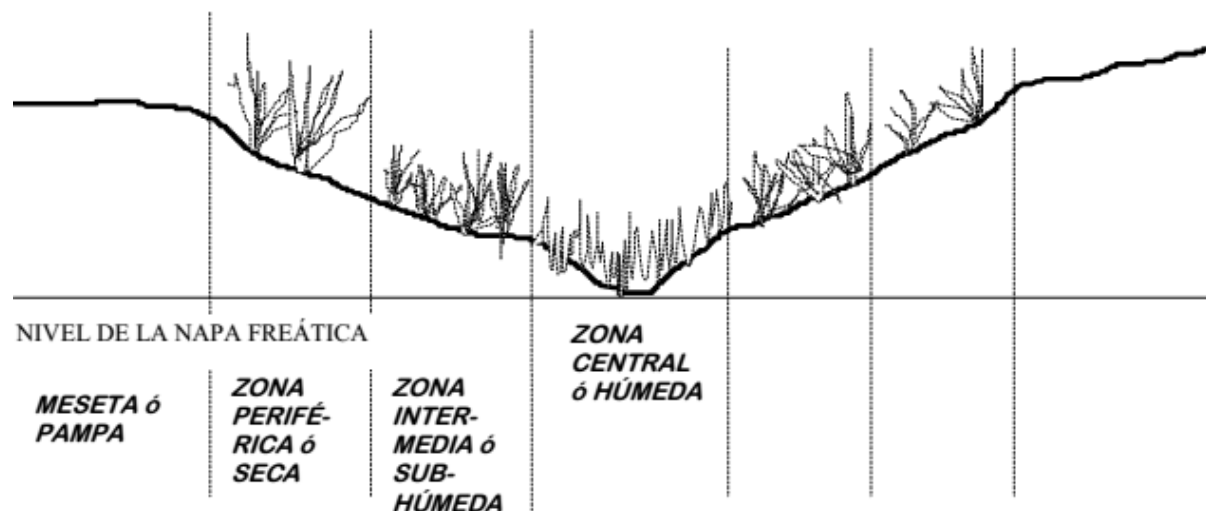


Figura 1.4. Zonificación de un mallín típico según el contenido hídrico (Extraído de Luque y Amari, 1997).

Burgos et al. (1996) explicaron en un mallín precordillerano de Patagonia N los patrones de recarga y descarga en función de la distancia al cauce principal, manifestando claramente tres situaciones: a) la zona de contacto, entre la estepa y el mallín, en donde existe un patrón estacional con dominancia de percolación profunda entre septiembre y octubre, alta tasa de evapotranspiración desde noviembre a enero, déficit hídrico entre enero y abril e inicio de la recarga con las lluvias otoñales; b) el sector intermedio, que no presenta déficit hídrico a lo largo del año, ya que las pérdidas por evapotranspiración son compensadas por el escurrimiento subsuperficial de las zonas más altas, y c) la zona contigua al cauce, en donde el drenaje está impedido por la freática cercana a la superficie; con el suelo saturado casi todo el año las pérdidas se producen por escurrimiento a zonas más bajas de la cuenca y por evapotranspiración. Por su parte, Utrilla et al. (2008) describieron que, en mallines del S de Santa Cruz, las recargas primaverales de los cauces principales y secundarios junto con aumentos en las precipitaciones ocasionan un acercamiento de la napa freática a la superficie, la cual disminuye en la época estival y aumenta en el otoño. Asimismo,

explicaron que en el sector seco de los mallines no observaron un efecto marcado de la “*dinámica hídrica de los cauces*” en el nivel freático, manteniéndose por debajo del metro de profundidad durante toda la temporada.

Estas diferencias internas en el contenido hídrico del suelo de los mallines generan gradientes de pH, contenido de nitrógeno total, contenido de materia orgánica y potencial redox, entre otros, desde las zonas húmedas a las secas (Iriondo et al. 1974; Lamoureux y Migliora, 1995; Dwire et al. 2004; Enriquez et al. 2015). Pero estos gradientes no solo se observan a escala de mallín; varios autores encontraron diferencias en los suelos a escala regional. Luque y Amari (1997), en función del gradiente climático O–E, describieron para la Patagonia Norte, suelos orgánicos en los mallines de cordillera y precordillera y suelos minerales en los mallines localizados en los ambientes de sierras y mesetas y de costa. En los mallines de cordillera y precordillera la materia orgánica de los suelos se encuentra en diferentes estados de descomposición con contenidos del 10 y el 20%. En los mallines extracordilleranos, el contenido de materia orgánica es menor y los suelos presentan texturas arenoso – franco limosa y arcillo franco, con altos niveles de sodio intercambiable, tendencia a la salinización y sodificación y pH alcalino. Por otro lado, Gaitán et al. (2011) advirtieron que, en el mismo gradiente longitudinal, se incrementaba la profundidad de la napa freática, el pH y la conductividad eléctrica del suelo (Enriquez et al. 2014; Enriquez et al, 2015).

Collantes et al. (2009), describieron en N de Tierra del Fuego (Argentina) un gradiente latitudinal influenciado principalmente por la temperatura, registrando valores más altos de la relación C/N en los mallines ubicados en las zonas de menor temperatura. Estas diferencias son una consecuencia de la disminución de la actividad biológica a bajas temperaturas, que retarda la descomposición de la materia orgánica. Asimismo, detectaron que el incremento de la precipitación provocó una disminución del pH en el mismo sentido N–S.

Los suelos encontrados en mallines del S de la Patagonia, específicamente en el N de la Provincia de Tierra del Fuego (Argentina) y en la Región de Magallanes (Chile), corresponden a los grupos Histosol, Fluvisol y Gleysol (Collantes et al. 2009; Filipová et al. 2010; Filipová et al. 2013). Mientras que en mallines de la zona del río Coyle, en la Provincia de Santa Cruz, se han descrito complejos de Xerofluventes y Haploxeroles y complejos de Xerofluventes, Haplacuoles y Humacueptes (Lamoureux y Migliora, 1995).

Como se mencionó anteriormente, el tipo de suelo, la dinámica hidrológica, la topografía y el hidroperíodo, determinan la composición florística de las comunidades vegetales de los mallines (Grevilliot et al. 1998; Bran et al. 2004; Dwire et al. 2004; Mazzoni 2007, Gaitán et

al. 2011, Mazzone y Rabassa 2013). La mayor parte de las especies de estos ambientes son gramíneas, gramíneas, leguminosas herbáceas y otras hierbas latifoliadas, perennes e hidrófilas, que se caracterizan por desarrollarse y multiplicarse de forma agámica. (Bolecke, 1957; Nakamatsu, 1998). Estas especies cuentan con un aerénquima en sus rizomas y estolones. El aerénquima es un tejido parenquimático que contiene grandes espacios intercelulares que permiten la conducción de gases, aumentando la difusión de éstos desde las hojas hasta las raíces, permitiéndoles, de esta manera, mantener un nivel de oxígeno suficiente para la respiración durante los momentos de inundación. Según Brinson (2004), las adaptaciones de las plantas no están dadas para las inundaciones superficiales del suelo, sino para las condiciones de anoxia que se desarrollan cuando el suelo se satura. Burgos (1993) señaló que durante la primavera la humedad disponible en los primeros 40 cm del suelo es la variable que mejor explica la composición de las comunidades vegetales que integran los mallines precordilleranos.

Por otro lado, el contenido de sales y el pH de los suelos son factores que también afectan la composición de la vegetación, dando lugar a comunidades compuestas por especies halofitas, asociadas a una distribución particular de agua y sales sobre microtopografías del terreno (Nakamatsu, 1998). En resumen, la composición de la comunidad vegetal variará en función de la humedad, acidez y salinidad del suelo, ya que estos factores condicionan el crecimiento, desarrollo y supervivencia de las distintas especies (Hupp y Osterkamp, 1996; Dwire et al. 2004; Collantes et al. 2009; Filipová et al. 2013).

Soriano (1956) describió dos áreas dentro de los distritos florísticos de la Provincia Patagónica que poseen vegetación asociada a altos contenidos hídricos:

- 1) Valles y cañadones Generalmente la vegetación de esos lugares está dominada por *Juncus lesueuri* y acompañan *Carex gayana*; *C. nebulorum*, *Agrostis glabra*, *Polypogon australis*, *Deschampsia patula*, *Koeleria* sp.; *Colobanthus quitensis* y *Azorella trifurcata* entre otros. En los lugares anegados aparecen especies hidrofíticas como *Eleocharis melanostachys*, *E. pseudoalbibracteata*, *Arjona pusillia*, *Ranunculus* sp., *Samolus spathulatus*, *Mimulus glabratus* Kunth, *Lobellia oligophylla*. En estas geoformas suelen observarse “menucos” (pantanos) de variado tamaño y profundidad rodeados de *Schoenoplectus californicus*, dentro de los cuales se encuentran *Hippuris vulgaris* y *Myriophyllum quitensis* Kunth. Por otro lado, en los cañadones secos domina *Festuca pallens* y en los sectores salitrosos es común encontrar *Distichlis scoparia*, *D. spicata*, *Puccinellia* sp. *Nicoraepoa pungionifolia*, *Nitrophila australis*, *Suaeda patagonica* y *Lycium repens*.

- 2) Fondos de valles del distrito fueguino. En estas geformas predominan *Hordeum comosun*, acompañado por *Alopecurus magellanicus*, *Phleum alpinum*, *Poa pratensis*, *P. artropidiformis*, *Koeleria sp.*, *Deyeuxia sp.*, *Agrostis sp.*, *Bromus coloratus*, *Deschampsia patula*, *Puccinellia sp.*, *Festuca pyrogea*, *Juncus scheuchzerioides*, *Colobanthus quitensis*, *Acaena magellanica*, *Geum quellyon Sweet*, *Azorella trifurcata*, *Armeria maritima*, *Gentianella magellanica*, entre otras.

Boelcke (1957) coincidió con Soriano (1956) en que los mallines son praderas húmedas que se sitúan en los fondos de valles y extendió la definición a estepas húmedas de *Pappostipa speciosa* y *Festuca pallescens*. De esta forma, describió el gradiente de humedad existente dentro del mallín, concentrando a las áreas anegadas con vegetación hidrófita en el centro y a las secas con especies mesofíticas en la periferia (Marcolín et al. 1978; Burgos, 1994; Cremona et al. 1996; Grevilliot et al. 1998; Lanciotti et al. 1998; Dwire et al. 2004; Iriondo et al. 1974; Mazzoni y Rabassa, 2013).

Estos aportes sirvieron de base para trabajos realizados posteriormente, incluida esta investigación, en los cuales se ha caracterizado la vegetación de estos ambientes (Marcolín et al. 1978; Movia et al. 1982; Nakamatsu, 1998; Collantes y Faggi, 1999; Grevilliot et al. 1998; Bran et al. 2004; Dwire et al. 2004), se definieron comunidades vegetales (Collantes et al. 2004; Collantes et al. 2009; Gandullo et al. 2011; Gaitán et al. 2011; Filipová et al. 2013; Gandullo et al. 2013) y se establecieron patrones y gradientes de riqueza, diversidad y cobertura de la vegetación, dentro de los mallines y a nivel regional. A escala de mallín, estos patrones y gradientes se asociaron a las diferencias intrínsecas en la disponibilidad hídrica del suelo (Hupp y Osterkamp, 1996; Bonvissuto y Somlo, 1998; Grevilliot et al. 1998; Wassen et al. 2003; Dwire et al. 2004; Bonvissuto et al. 2008; Utrilla et al. 2008), mientras que a escala regional se relacionaron con las variaciones de temperatura y precipitación (Collantes et al. 2009; Gaitán et al. 2011; Gandullo et al. 2011).

Dentro de los atributos de las comunidades vegetales que reflejan respuestas a los gradientes ambientales se pueden mencionar la riqueza y abundancia de especies, los tipos funcionales predominantes y la estructura vertical, entre otros (Dwire et al. 2004; Filipová et al. 2013). En la Provincia de Tierra del Fuego, argentina y chilena, Collantes et al. (2009) y Filipová et al. (2013), respectivamente, identificaron comunidades vegetales de mallines, en donde destacaron la presencia de especies como *Festuca pallescens*, *Poa spiciformis*, *Armeria maritima* en las zonas de contacto con la estepa (sector seco), y *Carex macloviana*, *Carex gayana*, *Eleocharis pseudoalbibracteata* en los sectores que permanecen mayor tiempo anegados. Asimismo, Filipová et al. (2013) informaron que en los sectores húmedos de los mallines que se asociaban a cursos de agua dulce, con suelos ácidos y altos porcentajes de MO se encontraban especies tales como *C. macloviana* y *Agrostis*

stolonifera. A medida que aumenta la salinidad de las fuentes de agua aparecen especies como *Suaeda sp.* y *Salicornia sp.* (Filipová et al. 2013). Por otro lado, Collantes et al. (2009) encontraron diferencias en la riqueza específica de mallines húmedos y secos de Tierra del Fuego, en donde registraron valores de 13,09 y 19,45, respectivamente. Esto coincide con lo reportado por Huston (1993); Hupp y Osterkamp (1996); Ayesa et al. (1999); Collantes et al. (2009); Filipová et al. (2013). En lo que respecta a la cobertura vegetal, Utrilla et al. (1998) presentaron valores del 80% para los sectores secos y cercanos al 100 % para los sectores húmedos de mallines del S de la Provincia de Santa Cruz.

La composición de especies de las comunidades vegetales de los mallines determina una distribución de biomasa aérea y subterránea particular. La cantidad y calidad de biomasa producida por estos ecosistemas los define como importantes fuentes de alimento de grandes herbívoros (silvestres y domésticos) dentro de la estepa árida y semiárida. En los mallines de la Patagonia extra andina la productividad primaria neta aérea (PPNA) es 10 a 20 veces superior a la de la estepa xérica circundante y aporta entre el 10 y el 50 % de la producción forrajera de los campos (Somlo et al. 1995; Siffredi et al. 1995; Bonvissuto y Somlo, 1998; Nakamatsu, 1998; Siffredi, 2005; Buono, 2005, 2007). Las PPNA registradas se encuentran entre los 1000 a 10000 kg MS ha⁻¹ año⁻¹, mientras que los contenidos de proteína bruta (PB) y la digestibilidad de la materia seca (DMS) informados varían del 10 al 25 % y del 20 al 60 %, respectivamente. Todos estos valores están condicionados principalmente por la disponibilidad hídrica del suelo (Paz y Buffoni, 1982; Giraudo et al. 1995; Somlo et al. 1995; Siffredi et al. 1995; Bonvissuto y Somlo, 1998; San Martino, 1997; Sturzenbaum et al. 1997; Nakamatsu, 1998; San Martino, 2000; San Martino, 2003; Siffredi, 2005; Utrilla et al. 2006; Buono, 2007; Utrilla et al. 2008; Utrilla y Jaurena, 2009; Sturzenbaum et al. 2010; Buono et al. 2010; Utrilla et al. 2014).

Bonvissuto y Somlo (1998) reportaron producciones de 1300 a 2500 y 6000 a 8000 kg MS ha⁻¹, para mallines secos y húmedos, respectivamente, en el distrito Sierras y Mesetas de Río Negro. En la Provincia de Chubut, Nakamatsu (1998) y Buono et al. (2010), registraron valores de 1000 a 3000 kg MS ha⁻¹ en mallines secos y 4000 a 6000 kg MS ha⁻¹ en mallines húmedos del mismo distrito. En Santa Cruz, Utrilla et al. (2008) observaron producciones de biomasa de 7000 y 12000 kg MS ha⁻¹ para mallines húmedos de la Estepa Magallánica Seca y Húmeda, respectivamente. La relación de la producción de biomasa con la altura de la napa freática, como así también con la riqueza específica, fue explicada por Dwire et al. (2004) en una pradera ribereña del NO de Oregón (EE.UU.). Estos autores encontraron correlaciones positivas entre la biomasa total y la altura de la napa freática y negativas entre la biomasa total y la riqueza específica. Por otro lado, la calidad de la biomasa área de mallines de Tierra del Fuego y Santa Cruz, fue evaluada por San Martino (1997) y Utrilla y

Jaurena (2009), y Utrilla et al. (2008), respectivamente. Estos autores registraron contenidos de PB del 10,3 al 12,9 % en Tierra del Fuego y del 15 al 25 % y del 10 al 20 % PB en mallines húmedos y secos del S de Santa Cruz.

Los largos períodos de pastoreo de animales silvestres y domésticos han provocado la degradación progresiva de numerosos mallines alcanzando, en algunos casos, situaciones irreversibles. El pastoreo excesivo y continuo genera pérdida de cobertura vegetal (Bonvisutto y Lanciotti, 2002) y cambios en la composición florística y estructura de la vegetación, fomentando la expansión de especies heliófilas del estrato inferior y la naturalización de especies exóticas (Nakamatsu, 1998; Bonvisutto y Lanciotti, 2002; Raffaele, 2004; Collantes et al. 2009; Ormaechea et al. 2010; Suárez et al. 2010; Collantes et al. 2013; Gandullo et al. 2013; Utrilla et al. 2014). En el mismo sentido, el pisoteo animal puede provocar la compactación del suelo y en los casos más severos desencadenar la erosión hídrica (surcos y cárcavas), que modifican las propiedades físico-químicas del suelo y finalmente determinan el desecamiento y salinización del mallín (Bonvisutto et al. 1992; Del Valle, 1993; Cremona et al. 1996; Lanciotti et al. 1998; Nakamatsu, 1998; Bran et al. 2004; Mazzoni, 2007; Bonvisutto et al. 2008; Collantes et al. 2013).

Los mallines han sido clasificados por diversos autores considerando características geoambientales como la pendiente, la topografía, la hidrología, el tipo de suelo, la vegetación y el ambiente geomorfológico. Algunos de ellos son:

- ✓ Iriondo et al. (1974) propusieron dos clases en función de la pendiente:
 - Mallines de pendiente: en los cuales el agua se encuentra en permanente movimiento, con suelo carente de humus.
 - Mallines de depresiones: con drenaje impedido y material humificado subyacente que alterna con capas sedimentarias minerales.
- ✓ Marcolín et al. (1978), a partir de la ubicación, la forma, la superficie, la orientación y la pendiente principal, distinguieron tres tipos:
 - Mallines compactos.
 - Mallines alargados.
 - Mallines dendríticos.
- ✓ Movia (1984) los clasificó según la geoforma que ocupan en cinco tipos:
 - Mallines de llanuras aluviales.
 - Mallines de cubeta.

- Mallines de valles pequeños.
 - Mallines de ladera.
 - Vegas de altura.
- ✓ Luque y Amari (1997) distinguieron dos categorías de mallines según sus características edáficas:
- Mallines de suelos minerales, que presentan textura areno franco limosa y arcilloso franco con alto niveles de sodio intercambiable, tendencias hacia la salinización y sodificación, pH alcalino y bajo contenido de materia orgánica.
 - Mallines de suelos orgánicos, que se caracterizan por su importante contenido de materia orgánica (10-20 %) en diferentes estadios de descomposición y pH inferior a 7,2, ubicados preferentemente en ambientes ácuicos de la región cordillerana (Irisarri y Schmid, 2004).
- ✓ Roig (1998) diferenció a los mallines en función de la composición florística y la disponibilidad de agua, en cuatro clases:
- Junquillales altos de *Schoenoplectus californicus*, en pantanos de escasa profundidad, márgenes de lagos y lagunas, meandros de aguas tranquilas, con agua en superficie durante todo el año.
 - Praderas muy densas de hidrófilas en lugares anegados durante parte del año con *Juncus balticus*, *Lobelia oligophylla*, *Carex* sp. y *Caltha sagittata*.
 - Praderas con *Festuca pallescens* y *Juncus balticus*, como dominantes, con cobertura próxima al 70 % en suelos con buena disponibilidad de agua, no anegados.
 - Coironales en las áreas de ecotono humedal–estepa. La proporción entre las distintas especies de gramíneas en mata (*Festucas*, *Pappostipas*) varía según características edáficas y condiciones de uso.
- ✓ Bran et al. (1998) definieron mallines “dulces” y “salinos” en función del pH y la concentración de sales.
- ✓ Nakamatsu (1998) también los relacionó con su posición en la cuenca hidrográfica, planteando que los mallines dulces se localizan en la cuenca superior en tanto que los intermedios y salinos aparecen en los tramos medio e inferior, donde existe mayor concentración de sales.

Los mallines representan entre el 2 y 3 % de la superficie total de la Patagonia (Bran 2004). En general, aparecen con distinta frecuencia en los diversos ambientes geomorfológicos y tienen una escasa extensión, ya que se circunscriben a las fuentes de agua. En la Provincia de Santa Cruz, Mazzoni y Vazquez (2004) jerarquizaron los paisajes según su aptitud para el desarrollo de mallines y concluyeron que: a) en el ambiente cordillerano el relieve suave a ondulado, integrado principalmente por planicies glacialacustres, planicies glaciifluviales y depresiones intermorénicas, es el más apto; b) en el ambiente extracordillerano, los valles fluvio-glaciales son los de mayor aptitud y c) que las mesetas volcánicas y las mesetas sedimentarias son ambientes geomorfológicos de aptitud media y baja, respectivamente.

Los datos obtenidos para las cuencas más importantes de la Provincia de Santa Cruz (Mazzoni y Vazquez, 2004) muestran que el 60 % de las planicies de inundación están cubiertas por mallines, lo que suma un total de 8.800 km² de mallines de valle (3,5 % de la superficie provincial). Sin embargo, el 55 % de ellos se encuentran con evidencias notorias de degradación: escasa cobertura vegetal con predominancia de especies mesofíticas o adaptadas a condiciones de aridez, concentraciones salinas en superficie y/o rasgos de erosión. En la mayoría de los casos, estas características se corresponden con los lugares más alejados de los cursos de agua o sometidos a altas presiones de pastoreo.

Todos los trabajos mencionados han permitido avanzar en el conocimiento de la localización y de las características que poseen estos biomas azonales patagónicos, de gran importancia por las funciones que desempeñan y bienes y servicios ambientales que ofrecen (Kandus et al. 2011). La mayoría de las investigaciones están referidas a mallines localizados en el N y centro de la Patagonia. La presente tesis constituye un avance en el conocimiento de los mallines del S de la Patagonia, que se desarrollan bajo condiciones de clima frío y que han sido objeto de muy pocos estudios hasta la actualidad.

1.3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

1.3.1. Objetivo General

Comprender el rol que ejercen las condiciones de emplazamiento de los mallines del S de la Patagonia (cuena del río Gallegos) en la variabilidad espacial de sus condiciones hidro-eco-geomorfológicas, en su productividad y en el estado de deterioro que presentan estos ecosistemas.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Identificar los ambientes geomorfológicos del área de estudio y los mallines asociados.
2. Analizar el comportamiento de los componentes del sistema fisiográfico en mallines representativos y analizar el grado de heterogeneidad que estos humedales presentan.
3. Cuantificar el estado de degradación de los mallines.
4. Estimar la productividad primaria neta aérea (PPNA) de estos ecosistemas en las distintas unidades ambientales.
5. Comprender las relaciones hidro-eco-geomorfológicas que se establecen en los mallines y la asociación con la productividad.
6. Evaluar la factibilidad de estimar la producción de biomasa verde de estos humedales a través del uso de datos provenientes de sensores remotos.

1.3.3. Hipótesis

La heterogeneidad de los mallines depende principalmente del ambiente geomorfológico en el que se desarrollan y del aporte hídrico y su dinámica estacional. Estos aspectos hidrogeomorfológicos influyen en las propiedades de los suelos, en los atributos de la vegetación y en su productividad. Por lo tanto, conocer las características y funcionamiento de los mallines localizados en diferentes emplazamientos, posibilitará inferir condiciones similares en ambientes geomorfológicos análogos.

1.4. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en la franja austral de la Provincia de Santa Cruz. Esta Provincia se extiende al S del continente americano desde los 46° LS hasta los 52° LS, con una superficie de 245.000 km². En esta amplia extensión pueden diferenciarse diversas unidades de paisaje resultado de la acción conjunta de factores morfoclimáticos, edáficos y biológicos (Mazzoni y Vázquez, 2004, Coronato et al. 2008). En cada una de estas unidades se encuentran, en mayor o menor medida, diferentes tipos de humedales.

En el extremo S de Santa Cruz se desarrolla la cuenca del río Gallegos, que comprende una superficie de 9.554 km². Este curso hídrico, con una longitud de 300 km aproximadamente, recorre de O a E la Provincia hasta desaguar en el océano Atlántico. Dentro de esta cuenca se encuentra el área de estudio, delimitada entre las coordenadas 51° 30' S - 52° S y 71° 40' O - 69° O, con una superficie aproximada de 8000 km² (Figura 1.5).

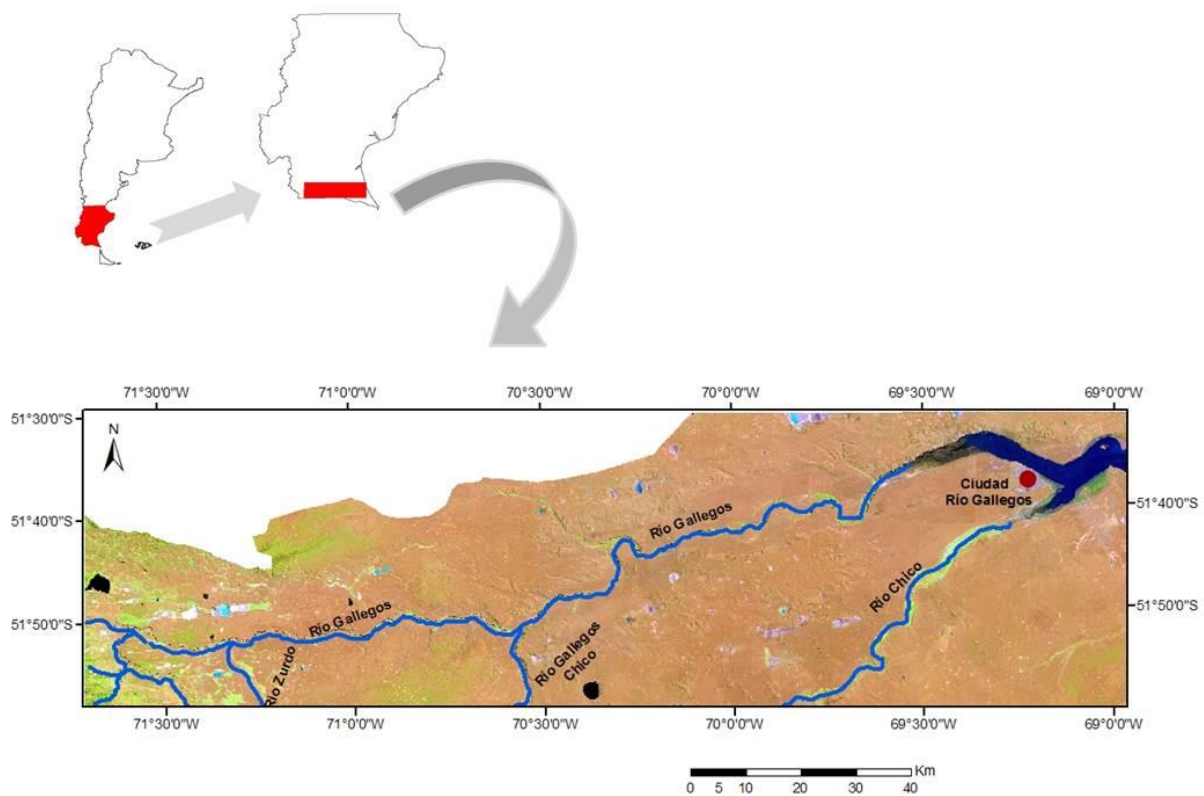


Figura 1.5. Ubicación del área de estudio. Mosaico satelital a partir de imágenes Landsat 228 y 229/086, Bandas 5 4 2.

El clima es frío semiárido de transición (Coronato et al. 2008). La precipitación media anual fluctúa entre los 240 y 341 mm anuales en sentido E–O y se distribuyen homogéneamente a lo largo del año (Borrelli y Oliva, 2001). En el centro del área de estudio se registra la precipitación media anual más baja, con valores que rondan los 180 a 220 mm (Figura 1.6 a). En general, los eventos no superan los 5 mm, lo cual condiciona fuertemente la estructura de la vegetación (Paruelo et al. 1998). La temperatura media anual oscila entre los 4,7° C y 7,2° C en sentido O–E (Figura 1.6 b). Estos valores están afectados por la topografía y los vientos predominantes del SO, con velocidades medias anuales de 15 a 22 km/h. Las velocidades máximas se presentan entre septiembre y enero y las mínimas en invierno (Paruelo et al.1998).

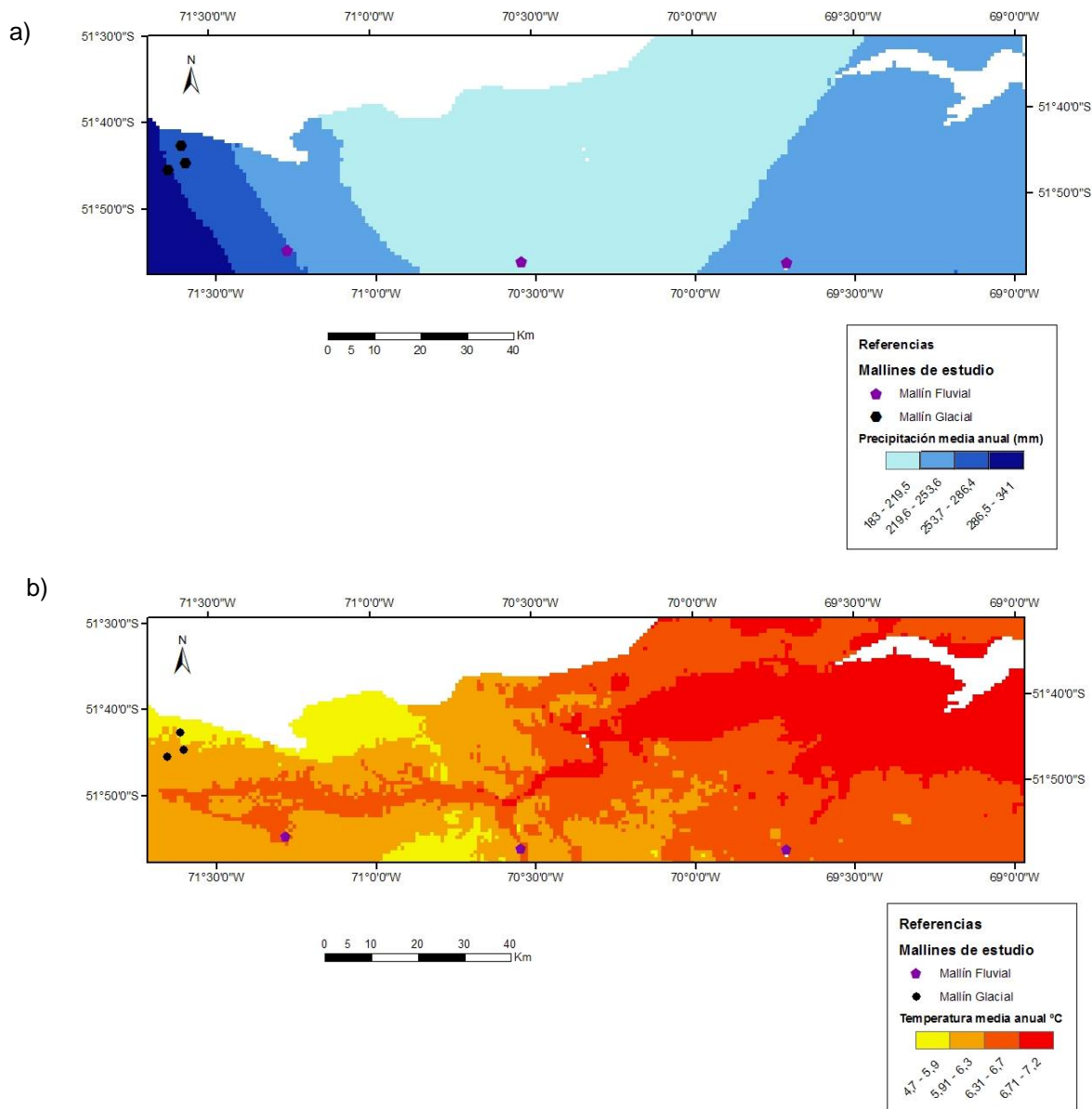


Figura 1.6. a) Mapas de precipitación media anual y b) temperatura media anual del área de estudio, y ubicación de los mallines estudiados. Fuente: base de datos WorldClim (Hijmans et al. 2006).

1.4.1. Unidades de paisaje y suelos

El área de estudio se localiza en la Provincia Geológica Meseta Patagónica Austral (Ramos, 1999), constituida por los depósitos mesozoicos y cenozoicos de la cuenca de Magallanes o Austral. Esta amplia unidad limita con el Macizo del Deseado al N y con la Cordillera Patagónica Austral al O, extendiéndose hasta el S continental. Forma grandes altiplanicies cubiertas de rodados, coronadas parcialmente por coladas basálticas.

En ella se distinguen cinco unidades de paisaje (Figura 1.7) (Mazzoni, 2001):

- a) **Meseta aterrazada de rodados proglaciales**, representativa del ambiente extracordillerano. Está compuesta por estratos continentales pertenecientes a la Formación Santa Cruz (Russo et al. 1980). El relieve es horizontal a subhorizontal con cotas que descienden gradualmente hacia la costa atlántica. La superficie se encuentra disectada por cañadones que drenan hacia los valles principales o hacia depresiones, llamadas comúnmente “bajos sin salida”.
- b) **Meseta volcánica**. Formada por coladas de lava basáltica derramadas en diferentes ciclos efusivos desde el Pleistoceno. Presenta una superficie irregular con conos volcánicos de pequeñas dimensiones y depresiones. El intenso diaclasamiento de las rocas máficas le otorga alta permeabilidad secundaria que permite la existencia de acuíferos en sus laderas.
- c) **Valle fluvial y fluvioglacial**. Corresponde al valle del río Gallegos profundizado y ampliado por el agua de fusión de los períodos interglaciales Plio – Pleistocenos. Se caracteriza por su gran amplitud, con complejos sistemas de terrazas. Posee una dirección predominante O–E y desemboca en forma de estuario en el océano Atlántico.
- d) **Campos de morrenas y otros depósitos glaciales**. Formada por depósitos glaciales y glacifluviales de los distintos eventos fríos ocurridos durante el Pleistoceno. Alternan sistemas de morrenas terminales y basales, formas drumlinoides y depósitos de gravas glacifluviales. La topografía varía en función del grado de profundización del río Gallegos y de la forma y potencia de los depósitos.
- e) **Paisaje marino litoral**, compuesto por cordones litorales alternados con paleoalbéferas. Se extiende desde el estuario del río Gallegos hacia el S sobre el litoral atlántico (10 km). Se trata de una costa de acreción, con régimen macromareal.

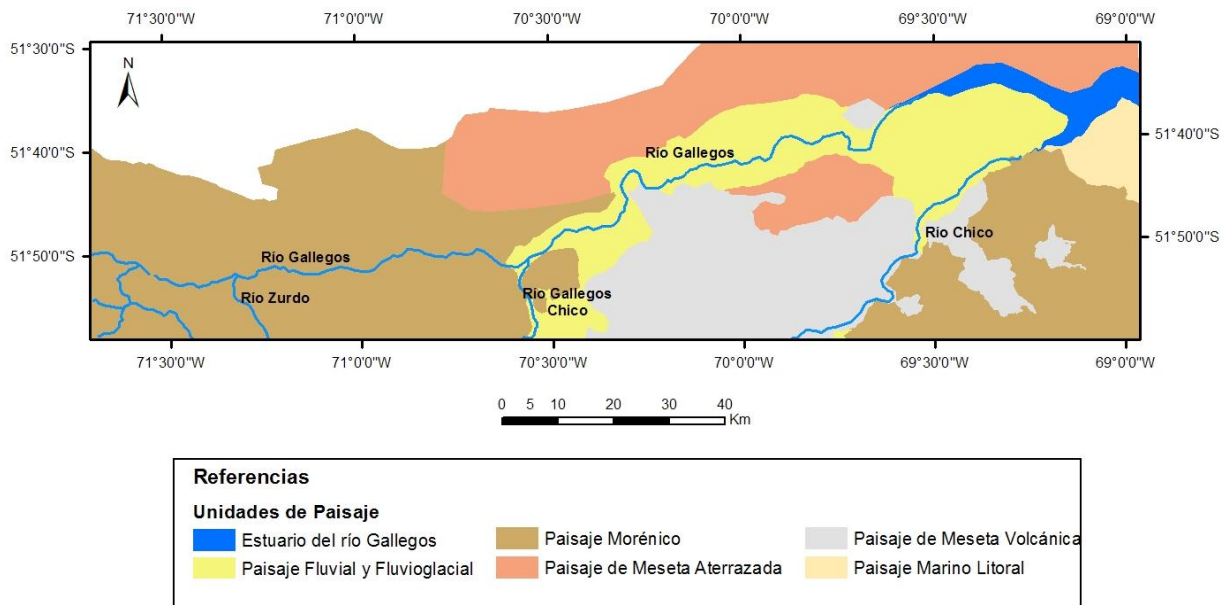


Figura 1.7. Unidades de paisaje del S de la Provincia de Santa Cruz. Fuente: bases cartográficas Lab. Teledetección y SIG, UNPA-UARG, mapa de Unidades de paisaje (Mazzoni, 2001).

La mayor parte del área de estudio presenta suelos del orden Aridisol, que evolucionaron bajo condiciones de clima árido y semiárido. En las terrazas fluvioglaciales y mesetas, los suelos pertenecen al Gran Grupo de los Pelargids. Se caracterizan por su bajo contenido de materia orgánica y la presencia de un horizonte rico en carbonato de calcio cementado (horizonte petrocálcico) a menos de 100 cm de la superficie, o bien por un horizonte con más 35% de arcillas (argílico). En las planicies aluviales de arroyos y ríos, zonas con mayor grado de humedad, los suelos son del orden Molisol, representados por el Gran Grupo de los Haploxerolls. Estos han evolucionado a través de materiales fluviales depositados en distintas épocas, excesivamente drenados, salinos y alcalinos (Salazar Lea Plaza y Godagnone, 1990; Panigatti, 2010).

1.4.2. Unidades de vegetación

El área de estudio se sitúa dentro de la Provincia Fitogeográfica Patagónica. La mayor proporción de la superficie corresponde al Distrito Magallánico y solo una pequeña parte pertenece al Distrito Subandino (Figura 1.8) (Cabrera, 1976; León et al. 1998). La fisonomía dominante de ambos distritos es la estepa gramínea.

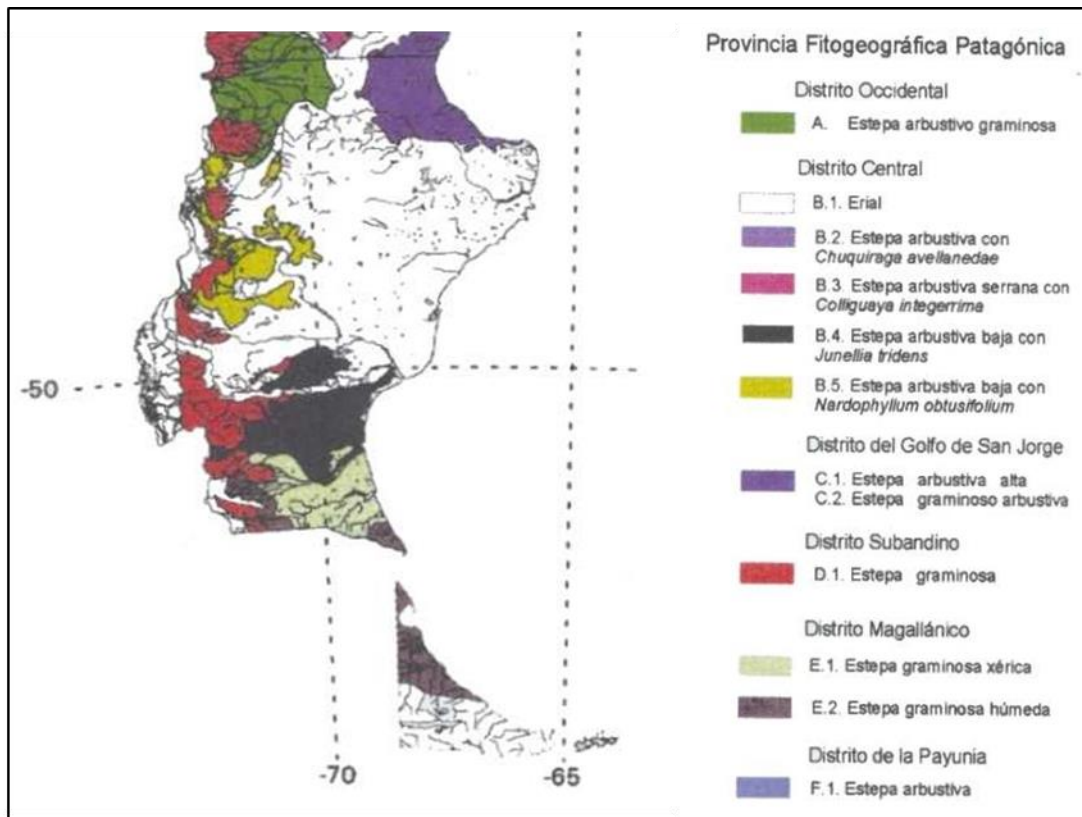


Figura 1.8. Unidades fisonómico florísticas de la Patagonia Austral (León et al. 1998).

El Distrito Magallánico presenta dos unidades de vegetación asociadas al gradiente de precipitaciones: la estepa gramínoza seca y la estepa gramínoza húmeda (León et al. 1998). La primera comprende la porción SE de la región y se desarrolla entre las isohietas de 200 y 300 mm, con una cobertura vegetal que oscila entre el 50 y 80 %, dominada por *Festuca gracillima*. Entre sus matas se encuentra un estrato de gramíneas cortas, gramínoideas y hierbas, en el cual la especie predominante es *Poa spiciformis*, acompañada por *Rytidosperma virescens*, *Carex andina*, *Viola maculata*, *Calceolaria uniflora* y *Azorella fuegiana* (León et al. 1998).

Hacia el SO, en donde las precipitaciones varían entre los 300 y 450 mm, se encuentra la estepa gramínoza húmeda. Esta comunidad presenta tres tipos fisonómicos diferentes en función de la especie dominante:

- Coironales acidófilos dominados por *F. gracillima* y *Empetrum rubrum*. En el estrato inferior también se encuentran las gramíneas cortas *Avenella flexuosa*, *Anthoxanthum pusillum*, *Poa alopecurus* y las dicotiledóneas *Gentianella magellanica*, *Senecio magellanicus*, *Primula magellanica*, *Ranunculus peduncularis*, *Geum magellanicum* y *Perezia pilifera*.

- b) Murtillares de *E. rubrum*. Se caracterizan por la predominancia de subarbustos postrados y en cojín, con escasa presencia de gramíneas. Las especies acompañantes más abundantes son *Bolax gummifera*, *Azorella lycopodioides*, *A. monantha*, *Baccharis magellanica*, *Berberis empetrifolia* y *Gaultheria pumila*. A pesar de la escasez de gramíneas, las más frecuentes son *Avenella flexuosa* y *Trisetum spicatum*.
- c) Matorrales neutrófilos, dominados por *Chilotrichium diffusum*. Las especies acompañantes son *E. rubrum* y *Berberis microphylla*. *F. gracillima* aparece con valores bajos de cobertura, mientras que se incrementa la frecuencia de dicotiledóneas herbáceas, tales como *Galium aparine*, *G. fuegianum*, *Osmorhiza chilensis* y de gramíneas como *Elymus angulatus*, *Alopecurus magellanicus* y *Elymus magellanicus*. Otras especies que aparecen entre los parches de arbustos son *Poa pratensis*, *Rumex acetosella* y *Taraxacum officinalis* (León et al. 1998).

La estepa graminosa del distrito Subandino se encuentra a partir de los 300 mm de precipitación. Estos pastizales de *Festuca pallescens* se caracterizan por su homogeneidad y alta cobertura. Aquí, aparecen las manifestaciones más orientales de los bosques caducifolios de *Nothofagus*.

Insertos en ambos Distritos Fitogeográficos se encuentran los mallines. Este tipo de humedales se desarrollan sobre suelos Haploacuoles (orden Molisol), con coberturas vegetales superiores al 90%. Presentan distintas comunidades vegetales, definidas por el contenido hídrico del suelo. Según Collantes y Faggi (1999), en los sectores más xéricos de estos ambientes la especie predominante es *Festuca pallescens*. En las partes bajas o centrales, donde el anegamiento es frecuente, describieron una comunidad vegetal compuesta por especies adaptadas a esta situación, tales como *Juncus scheuchzerioides*, *Carex vallis-pulchrae*, *Caltha sagittata*, *Deschampsia antarctica*, *Hordeum pubiflorum*, *Festuca magellanica*. Para las márgenes de ríos, lagunas y bordes de depresiones, donde el suelo es húmedo aunque no anegado, reportaron praderas de *H. pubiflorum* acompañada de *Deschampsia caespitosa*, *Carex gayana*, *Acaena magellanica*, *P. pratensis* y *Carex macrosolen*.

1.5. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

La presente tesis está compuesta por 6 capítulos. En el presente capítulo se expone el problema de estudio, el marco teórico y los antecedentes en los que se basa la investigación. Asimismo, se presenta el área de estudio, se describen las características

climáticas, geológicas, geomorfológicas y de la vegetación. Los capítulos 2 al 5 están compuestos por: una introducción, en la cual se describe el marco teórico en el que se basa cada capítulo; las metodologías utilizadas; los resultados obtenidos; la discusión de los resultados y las conclusiones.

El capítulo 2 aborda los objetivos específicos 1 y 2, que son la base para el desarrollo de los capítulos siguientes, aquí se realiza una breve descripción de los mallines de estudio. En el capítulo 3 se caracteriza la geomorfología, la topografía, el suelo y la dinámica hídrica de los mallines de estudio y se analiza la relación entre estas variables. En este apartado se desarrollan los objetivos 2 y 5. El capítulo 4 presenta la descripción florística de cada mallín y como se relaciona con su ambiente geomorfológico y con la disponibilidad hídrica del suelo (objetivos 2 y 5). Asimismo, se desarrolla el objetivo 3, a través de un índice de degradación generado para tal fin. En el capítulo 5, se muestran los resultados obtenidos sobre la producción de biomasa área de los mallines, se presenta el análisis realizado sobre esta variable en función del ambiente geomorfológico y del sector, como así también se trabaja en la evaluación de la relación entre diferentes índices de vegetación con la producción de biomasa verde. Con ello se completan los objetivos 2, 4, 5 y 6. Finalmente, en el capítulo 6 (Discusión y Conclusiones) se sintetizan e integran los resultados obtenidos en los capítulos previos.

CAPÍTULO 2

IDENTIFICACIÓN DE MALLINES EN LA CUENCA DEL RÍO GALLEGOS

2.1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, las técnicas de teledetección han sido comúnmente utilizadas para la identificación y cartografía de humedales, tanto a escala regional como local. Esto se basa en las características particulares que cada componente del paisaje tiene de reflejar la energía electromagnética, en diferentes longitudes de onda, permitiendo distinguir en una imagen colores y tonos. Este comportamiento recibe el nombre de “firma espectral” (Jensen, 1986; Chuvieco, 2010; Richards, 2013) y constituye la base para la identificación de cada tipo de cobertura en el sensado remoto (Mazzoni y Rabassa, 2018).

La clasificación digital, es uno de los procedimientos que posibilita diferenciar los distintos elementos presentes en una imagen satelital en base a sus niveles digitales. Básicamente, es un proceso que, a través del muestreo de píxeles de una imagen dada, agrupa en categorías o clases al resto de los píxeles que presenten valores de reflectancia similares, con el objetivo de generar una nueva imagen (Chuvieco, 2010; Salvia, 2010).

Los mallines que se encuentran en los ambiente áridos de la estepa patagónica, se distinguen claramente de su entorno por la alta disponibilidad de agua y vegetación que poseen (Mazzoni y Rabassa, 2018). El uso de imágenes satelitales de mediana y alta resolución espacial, con un tamaño de 30 m o inferior, posibilitan identificar con facilidad la presencia de estos ecosistemas dentro de los ambientes áridos y semiáridos de la Patagonia (Bran, 2004; Mazzoni, 2010; Mazzoni y Rabassa, 2018). Asimismo, sobre todo en imágenes de alta resolución, es posible distinguir el gradiente de humedad interno que presentan los mallines (Mazzoni, 2007; 2008; 2010; Mazzoni y Rabassa 2013; 2018).

Bran (2004) determinó que los mallines representan del 3 al 4 % de la superficie del E de la Patagonia Norte. Ferrer y Mazzoni (2014) definieron que estos ecosistemas ocupan el 3,7 % de la superficie del O neuquino. Por otro lado, Mazzoni y Vazquez (2004), identificaron que el 23 % de la superficie de Santa Cruz, presenta una aptitud de media a alta para la génesis y conservación de los ecosistemas de mallines. Asimismo, dichas autoras, especificaron que los ambientes geomorfológicos valles fluvio-glaciales y planicies glaciarias, presentan la mayor aptitud para la génesis y conservación, mientras que la aptitud de las laderas de mesetas volcánicas es media.

El presente capítulo tiene como objetivo identificar los ambientes geomorfológicos del área de estudio y los mallines asociados a ellos. Aquí se describe el proceso de selección de los mallines que se evaluarán en esta tesis, su ubicación y principales características. Los procedimientos utilizados se basan en la aplicación de geotecnologías.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1. Identificación de los humedales en el área de estudio

La identificación de los humedales presentes en el área de estudio se realizó con imágenes provenientes del sensor remoto Landsat 7. Este sensor cuenta con una resolución espacial de 30 m, lo que permite la clara identificación de mallines con superficie mayor a 1 ha aproximadamente (Mazzoni y Rabassa, 2018).

Las imágenes se obtuvieron de la página web del servicio geológico de los Estados Unidos (<https://earthexplorer.usgs.gov>) y para la selección se estableció como criterio que fuesen imágenes de verano y no presentaran cobertura de nubes en el área de estudio. De esta forma, se optó por las capturas identificadas con el path y row 228/096 y 229/096 de las fechas 15/12/2002 y 05/02/2002, compuestas por las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7, a pesar de no corresponder al período de estudio.

En el software ERDAS IMAGINE 9.1 (Leica Geosystemes, 2006) se reproyectaron las imágenes al sistema de coordenadas Transverse Mercator, datum WGS 84, faja 2 y se elaboró un mosaico del área de estudio. Para identificar los humedales allí presentes, se realizó una clasificación no supervisada con 15 clases, utilizando el algoritmo ISODATA. Esta cantidad de clases, definidas a priori en base al análisis visual de la imagen y al conocimiento del terreno, permitió identificar las diferentes coberturas, incluyendo cinco clases correspondientes a humedales, particularmente mallines, marisma y lagunas de régimen permanente y estacional.

A partir de los resultados obtenidos, se analizaron las firmas espectrales de las cubiertas de interés. Para ello, se extrajeron 580 píxeles de cada cobertura y se calcularon los valores medios y el error estándar, por banda, con el programa InfoStat (Di Rienzo et al. 2011). En base a estos datos, se realizó una reclasificación del mosaico a fin de diferenciar finalmente, humedales de no-humedales y obtener la superficie cubierta por estos ecosistemas.

2.2.2. Cuantificación de la superficie de humedales en los distintos ambientes geomorfológicos del área de estudio

En un Sistema de Información Geográfica (SIG) se integró la clasificación digital del mosaico, con el mapa de unidades de paisaje (Mazzoni, 2001; 2017) y con datos hidrológicos y topográficos del área de estudio, digitalizados de las cartas topográficas 1:100.000 disponibles en el laboratorio de teledetección de la UNPA–UARG. Se generaron las capas: red hidrográfica superficial; lagunas; topografía con equidistancia de 25 m; unidades de paisajes y humedales.

La superposición de la red hidrográfica, la topografía y el conocimiento previo del área, permitió verificar los resultados de la clasificación. Posteriormente, con el programa ArcGis 9.2 (ESRI, 2006), se eliminaron las clases que no correspondían a humedales y se generó el mapa de humedales del área de estudio, contrastado en campo. Con las capas unidades de paisaje y humedales, se calculó la superficie que representan estos ecosistemas en cada ambiente geomorfológico.

En función de los resultados obtenidos con este análisis, se definió que la selección de mallines de estudio se realizaría en los ambientes geomorfológicos fluviales y glaciales. Esta decisión se basó en la superficie ocupada por mallines en cada uno de estos ambientes.

2.2.3. Selección de los mallines de estudio

Para la preselección de los mallines de estudio se superpuso sobre el mapa de humedales la red hidrográfica y la red caminos y asentamientos poblaciones en el software ArcGis 9.2 (ESRI, 2006). En primera instancia se seleccionaron doce mallines, ubicados en una transecta O–E en ambientes glaciales y fluviales. Con un posterior control de campo se seleccionaron seis mallines para llevar a cabo la investigación, tomando en cuenta sus rasgos geomorfológicos, la cobertura de la vegetación, la presencia de cárcavas, la distancia a las fuentes de agua (lagunas, chorrillos y ríos) y la condición de los caminos, ya que sobre estos se realizarían los muestreos de vegetación, suelo y producción de biomasa, con el propósito de determinar la interacción entre las características biológicas de estos ecosistemas y el ambiente geomorfológico en el cual se emplazan. Así, se eligieron tres mallines localizados en el ambiente glacial y tres en el fluvial, que en el momento en que se llevó a cabo el trabajo de investigación, se encontraban bajo pastoreo de herbívoros domésticos y silvestres y no eran manejados de forma diferenciada de la estepa

circundante. Cabe señalar que ésta es la condición general de todos los mallines de la zona.

Cada mallín seleccionado se sectorizó en función de su gradiente de humedad. Para ello se utilizaron imágenes SPOT 5, con un tamaño de pixel de 10 m (Tabla 2.1) y cuatro bandas que corresponden a las longitudes de onda del verde (banda 1), rojo (banda 2), infrarrojo cercano (banda 3) e infrarrojo medio (banda 4), del espectro visible. Estas imágenes fueron cedidas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales.

Tabla 2.1. Imágenes SPOT-5 utilizadas para la sectorización de los mallines según el gradiente hídrico.

Escena	Fecha de toma	Bandas	Resolución espacial (m)
5 685-455 12/12/31 13:52:46 2 B	31/12/2012	4	10
5 686-455 13/01/21 13:48:04 1 J	21/01/2013	4	10
5 686-455 13/01/21 13:48:04 1 J	21/01/2013	4	10
5 689-455 13/01/26 13:51:36 1 J	26/01/2013	4	10
5 689-455 13/02/06 13:39:36 1 J	06/02/2013	4	10
5 689-456 13/01/19 14:26:48 1 J	19/01/2013	4	10

Sobre los recortes de imagen de cada mallín se realizaron clasificaciones supervisadas para las que, previamente, se obtuvieron y evaluaron las firmas espectrales de las diferentes coberturas (estepa, agua, mallines muy húmedos, húmedos y semihúmedos) con la utilización de la herramienta *Signature Analysis* del programa ERDAS IMAGINE 9.1 (Leica Geosystemes, 2006).

La mayor resolución espacial de estas imágenes, respecto de las Landsat utilizadas para la generación del mosaico, permitió diferenciar claramente sectores en los mallines según su grado de humedad. Estos resultados fueron controlados en campo y, al sumarle información obtenida de los relevamientos de vegetación (ver Cap. 4), constituyeron la base para definir unidades homogéneas (ambientales o fisiográficas) dentro de los mallines.

Siguiendo el criterio adoptado por Mazzoni y Vazquez (2004), se nombraron a estas unidades como: sectores muy húmedo, húmedo y semihúmedo, entendiendo que esta denominación resume no solo los aspectos hidrológicos de los mallines sino también su relación con la vegetación. Esta terminología es la que se utilizará en el resto de la tesis para hacer referencia a las distintas unidades diferenciadas en los mallines en estudio:

- Sector muy húmedo (MH): el agua se encuentra en la superficie la mayor parte del año, con extensos periodos de anegamiento. Se localizan junto a las fuentes de agua y están compuestos por especies hidrófitas.
- Sector húmedo (H): el agua está próxima a la superficie durante todo el año, sujetos a las fluctuaciones del curso de agua y/o a los cambios en la posición del nivel freático. Presentan periodos de anegamiento temporarios y su vegetación está compuesta por especies hidrófitas con presencia de hierbas.
- Sector semihúmedo (SH): la superficie está seca durante todo el año, se encuentran alejados del curso de agua y de la freática; su contenido hídrico depende del agua acumulada durante el invierno y de las precipitaciones, la vegetación está compuesta por especies mesofíticas.

2.2.4. Variación de la temperatura superficial de los mallines de estudio

Además de los procesos arriba descritos, se llevó a cabo un análisis de la variación de la temperatura superficial de los mallines en el periodo de estudio (junio 2010 a mayo 2012). Para ello se utilizaron los registros obtenidos de la base de datos de ORNL DAAC (http://daacmodis.ornl.gov/cgi-bin/MODIS/GLBVIZ_1_Glb/modis_subset_order_global_col5.pl), que extrae los valores de los pixeles de las bandas térmicas de las imágenes MODIS con una resolución espacial de 1 km. Se trabajó con el valor medio de tres pixeles para cada mallín, tomando como punto central la ubicación de la clausura de pastoreo. Se consideró que los pixeles cubrieran solo el mallín y no el área de estepa circundante.

2.3. RESULTADOS

2.3.1. Identificación de los humedales del área de estudio

El área de estudio está caracterizada por una diversidad de paisajes (Mazzoni 2001, 2017) que se distribuyen, de manera general, de O a E: Hacia el O se presenta una morfología de suaves lomadas producto de la acción predominantemente glacial; en la zona central, domina el paisaje de mesetas disectadas por la acción fluvial, con sistemas de terrazas e intercalaciones de coladas basálticas y en el borde oriental, el paisaje costero, que incluye al estuario del río Gallegos. En estos paisajes puede observarse la presencia de diferentes

humedales, principalmente mallines, insertos en el bioma de la estepa, los que se distinguen claramente por sus tonos rojos en la combinación de bandas utilizada en la figura 2.1, mientras que la estepa se visualiza en tonos marrones y grisáceos.

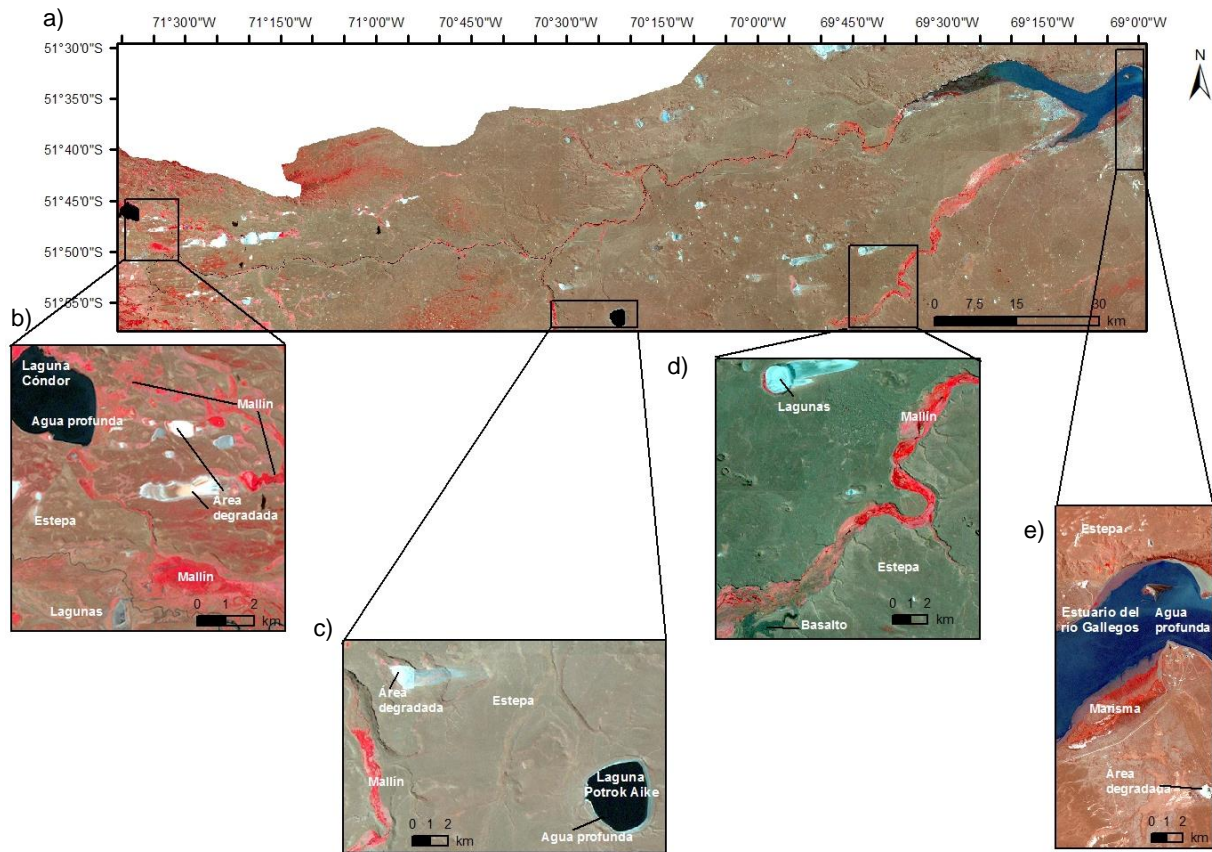


Figura 2.1. Identificación de ambientes de estepa y humedales en el área de estudio (a). La estepa se visualiza en tonos marrones mientras que los humedales vegetados (mallines y marismas) aparece en tonos rojos. Los cuerpos de agua se observan en tonos celestes, azules o negros según su profundidad. Los detalles muestran: b) Paisaje glacial donde se intercalan suaves lomadas con variedad de humedales; c) Paisaje de mesetas sedimentarias y volcánicas con presencia de lagunas permanentes y transitorias y mallines en fondo de valle; d) Paisaje de meseta volcánica y ambiente fluvial y e) Paisaje costero correspondiente al estuario del río Gallegos. Nótese la presencia de áreas degradadas en tonos blanquecinos (principalmente “plumas eólicas”). Fuente: Imágenes satelitales Landsat Bandas 4 3 2.

Las distintas cubiertas presentes en el área de estudio tienen un comportamiento espectral particular en las bandas del espectro visible e infrarrojo cercano y medio. En la figura 2.2, se puede observar como la curva espectral de los humedales vegetados presenta un pico en la banda 4, mientras que los valores de las estepas se concentran en la banda 5. Por otro lado, los valores de reflectancia del agua y las lagunas someras se agrupan en la banda 1, aunque la curva de las lagunas presenta datos más elevados a la del agua y alcanza valores importantes en las bandas 3 y 5. Las manifestaciones basálticas presentan su máximo en la banda 5, al igual que los ambientes de estepa, pero con valores menores a

esta. La reflectancia de las áreas degradadas, sin vegetación o con coberturas inferiores al 20 %, es mayor a todas las clases presentadas, en cada una de las bandas.

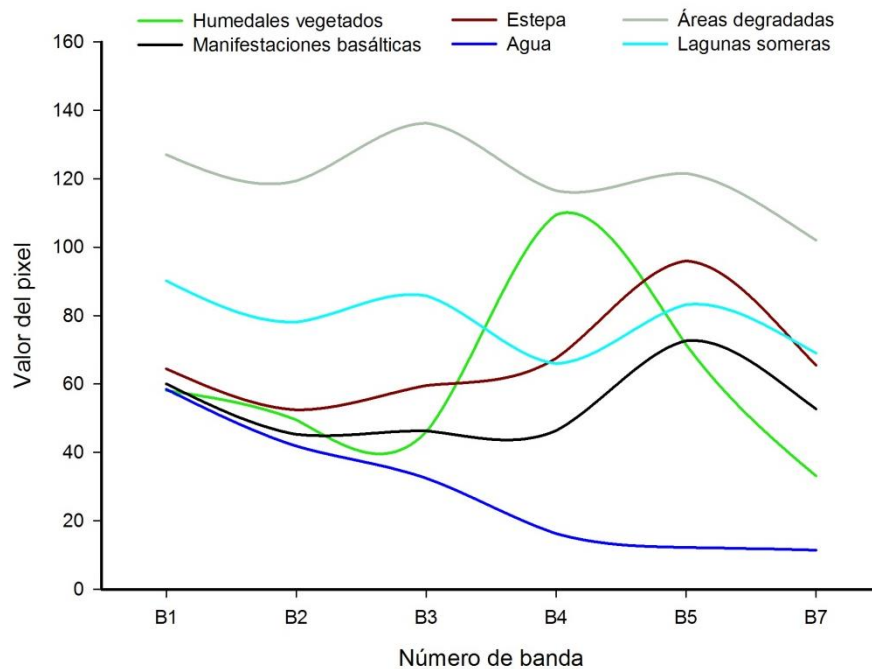


Figura 2.2. Perfil espectral de los ambientes de humedales vegetados, estepa, lagunas someras, agua, áreas degradadas y manifestaciones basálticas en el área de estudio. Fuente: Imágenes satelitales Landsat Bandas 4 3 2.

El valor medio de los píxeles de los humedales en la banda 4 es $109,5 (\pm 0,7)$ superando ampliamente a el resto de las coberturas, a excepción de las áreas degradadas que presentan valores superiores a 100 en todas las bandas (Tabla 2.2). En lo que respecta a la estepa y las manifestaciones basálticas, su máximo se encuentra en la banda 5. El valor medio de los píxeles para la estepa, en esta banda, es de $96 (\pm 0,4)$ superior al calculado para las manifestaciones basálticas, cuyo valor es $72,6 (\pm 0,2)$ (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Valores de los píxeles en las bandas 1 2 3 4 5 y 7 de las imágenes Landsat para las coberturas humedales vegetados, estepa, áreas degradadas, manifestaciones basálticas, agua y lagunas someras del área de estudio.

Cobertura	B1	EE	B2	EE	B3	EE	B4	EE	B5	EE	B7	EE
Humedales vegetados	58,1	0,2	49,5	0,3	46,0	0,4	109,5	0,7	71,5	0,6	33,1	0,4
Estepa	64,4	0,1	52,4	0,1	59,6	0,2	67,5	0,3	96,0	0,4	65,5	0,2
Áreas degradadas	127,0	0,8	119,4	0,6	136,3	0,6	116,5	0,4	121,6	1,3	102,1	1,3
Manifestaciones basálticas	60,1	0,1	45,3	0,1	46,3	0,1	46,4	0,2	72,6	0,2	52,7	0,2
Agua	58,5	0,3	41,9	0,4	32,5	0,3	16,3	0,2	12,2	0,3	11,5	0,3
Lagunas someras	90,1	0,4	78,1	0,5	85,8	0,6	66,0	0,5	83,2	0,7	69,1	0,6

B: banda

EE: error estándar

2.3.2. Cuantificación de la superficie de humedales en los distintos ambientes geomorfológicos del área de estudio

En la figura 2.3 a, se presentan los resultados de la clasificación no supervisada del área de estudio. Los tonos claros en la clasificación indican áreas con mayor contenido de agua y vegetación. La superposición de esta clasificación con las redes hídricas y la topografía, junto con el conocimiento de campo, permitió extraer el área correspondiente a humedales, que incluye mallines, lagunas y marismas (Figura 2.3 b).

Con el análisis de los datos se obtuvo que los humedales representan el 6,6 % (530,4 km²) de la superficie del área de estudio (Tabla 2.3) y la mayor proporción se desarrolla junto a los principales ríos que recorren la cuenca (Figura 2.3 b y c). Por otro lado, se observó que el 86 % de la superficie cubierta por humedales se concentra en las unidades de paisaje glacial y fluvial y fluvioglacial (Tabla 2.3; Figura 2.3 c).

Tabla 2.3. Superficie cubierta por humedales en las distintas unidades de paisaje (UP) del área de estudio.

Unidad de Paisaje	Superficie UP (km²)	Superficie de humedales		Porcentaje del total de humedales por UP
		km²	%	
Glacial (morénico)	3528,0	351,2	10,0	66,2
Fluvial y Fluvioglacial	1270,4	106,1	8,3	20,0
Meseta Aterrazada	1606,9	30,5	1,9	5,7
Meseta Volcánica	1440,2	28,0	1,9	5,3
Marino Litoral	166,7	14,6	8,8	2,8
Total	8012,1	530,4		

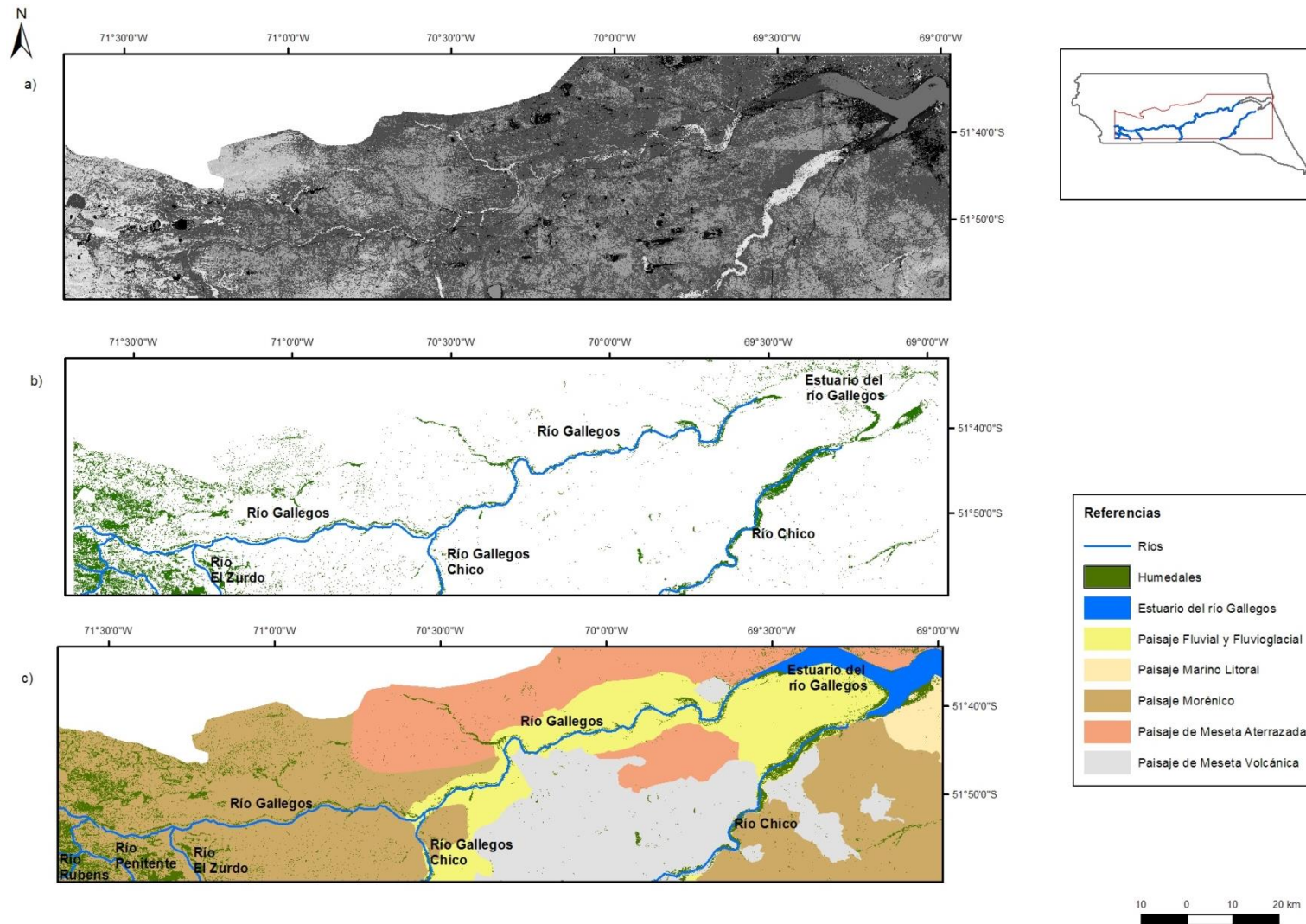


Figura 2.3. a) Clasificación no supervisada, tonos claros corresponden a áreas de humedales; b) Extracción de humedales y c) unidades de paisaje y humedales del área del área de estudio. Fuente: bases cartográficas Lab. Teledetección y SIG, UNPA-UARG, mapa de Unidades de paisaje (Mazzoni, 2001) y clasificación digital de imágenes satelitales Landsat.

2.3.3. Selección y descripción de los mallines de estudio

Las unidades de paisajes con mayor superficie de humedales en el área de estudio son el paisaje glacial y el fluvial y fluvio-glacial, con una superficie de 351,2 km² y 106,1 km², respectivamente (Tabla 2.3). Por tal razón, se decidió realizar la investigación dentro de estas dos unidades de paisaje. Para ello se seleccionaron tres mallines en cada unidad, ubicados en una transecta O-E en el área de estudio, cuya localización puede observarse en la Figura 2.4.

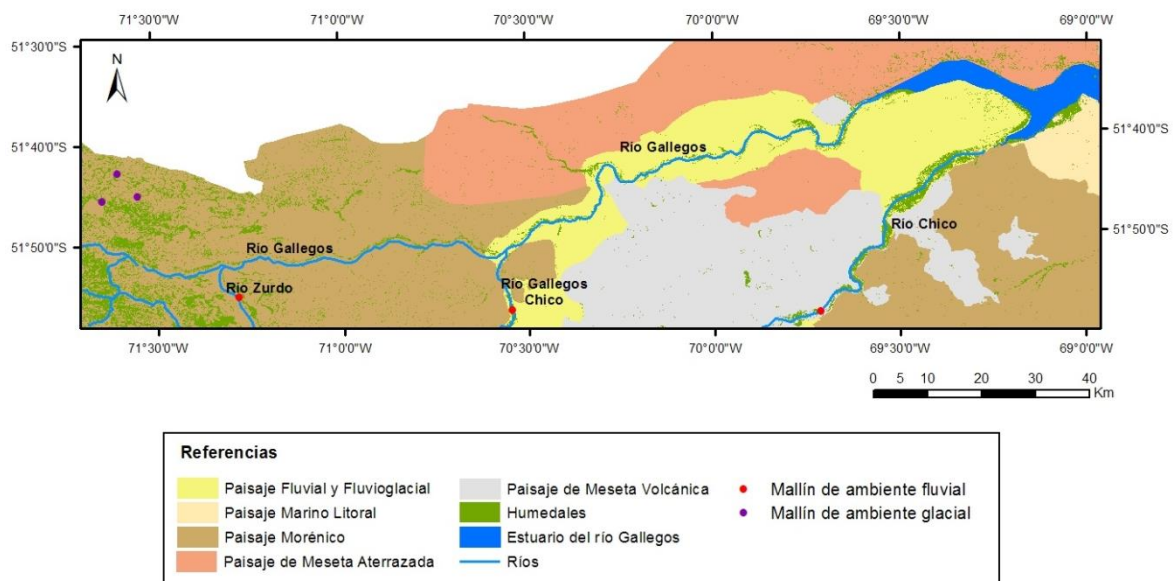


Figura 2.4. Localización de los mallines seleccionados para llevar a cabo esta investigación. Los mallines desarrollados en el ambiente fluvial están indicados con puntos rojos en tanto que los del ambiente glacial se identifican con puntos violetas. Fuente: bases cartográficas Lab. Teledetección y SIG, UNPA-UARG, mapa de Unidades de paisaje (Mazzoni, 2001) y clasificación digital de imágenes satelitales Landsat

El análisis de las firmas espectrales permitió sectorizar los mallines seleccionados, identificando el gradiente de humedad interno que presentan estos ecosistemas. Este diagnóstico se realizó con imágenes satelitales SPOT 5. Los resultados exhibieron que los valores medios de los píxeles de la estepa, prácticamente no se diferencian entre bandas y se encuentran entre 82,5 y 91,5 (Tabla 2.4), mientras que en los mallines se concentran en la banda 1 y el agua en la banda 3 (Figura 2.5).

Por otro lado, en la diferenciación de los mallines por su contenido hídrico en muy húmedos, húmedos y semihúmedos, se identificó una curva espectral distinta para cada categoría. En la figura 2.5, se puede observar que la reflectancia disminuye con los incrementos de humedad en estos ecosistemas, con valores medios de los píxeles de mallines muy húmedos inferiores a los calculados para los semihúmedos en todas las bandas (Tabla 2.4).

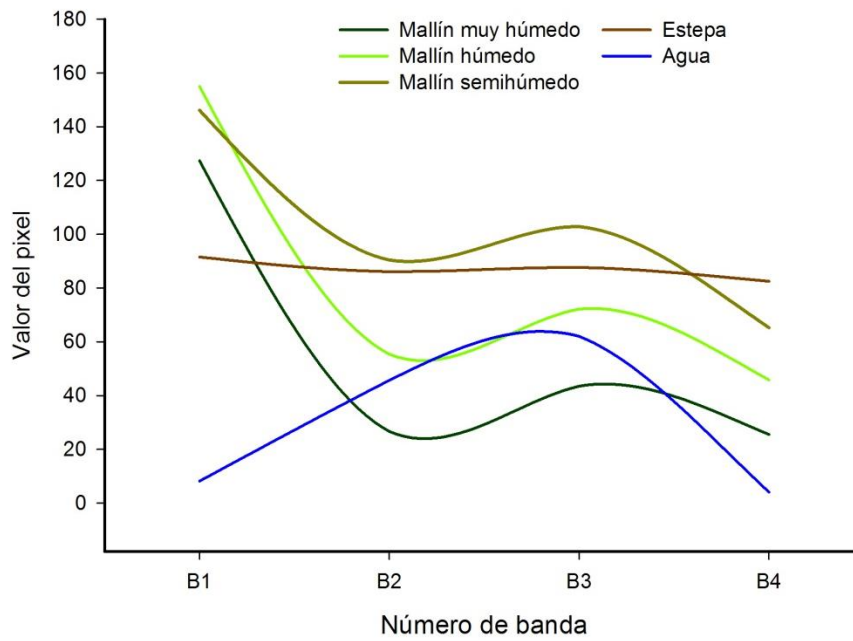


Figura 2.5. Perfil espectral de mallines muy húmedos, húmedos y semihúmedos, estepa y agua, en ambientes glaciales. Fuente: Imágenes satelitales SPOT 5 (Tabla 2.1).

Tabla 2.4. Valores de los pixeles en las bandas 1 2 3 4 de imágenes SPOT 5 para las coberturas mallines, estepa, y agua.

Cobertura	B1	EE	B2	EE	B3	EE	B4	EE
Mallín Muy húmedo	127,3	0,6	26,6	0,3	43,5	0,3	25,5	0,3
Húmedo	154,9	0,3	55,4	0,3	72,2	0,4	45,8	0,2
Semihúmedo	146,1	0,4	90,4	0,3	102,8	0,2	65,3	0,3
Estepa	91,5	0,2	86,1	0,2	87,7	0,1	82,5	0,2
Agua	8,2	0,2	45,7	0,2	62	0,1	4,1	0,1

B: banda

EE: error estándar

2.3.3.1. Mallines de ambiente glacial

Los tres mallines seleccionados, *La Laguna*, *El Morro* y *El Chorrillo* (Tabla 2.5), se ubican en el sector occidental del área de trabajo (Figura 2.4 y 2.6), sobre un paisaje modelado por la actividad de los glaciares.

Tabla 2.5. Superficie total y por sectores identificados en los mallines de ambiente glacial.

Ambiente	Mallín	Coordenadas	Superficie (ha)	Superficie Sectores (ha)		
				MH	HU	SH
	<i>La Laguna</i>	51° 45' 32,9"S 71° 38' 29,6"O	137,4	19,53	27	90,82
Glacial	<i>El Morro</i>	51° 45' 08,4"S 71° 32' 43,6"O	49,2	15,71	33,5	0
	<i>El Chorrillo</i>	51° 42' 48,0"S 71° 35' 52,6"O	103,2	0	21,2	82,04

Esta unidad de paisaje expone en superficie numerosos rasgos de acumulación, como campos de morenas, planicies glacialacustres y glacialfluviales y secuencias de montículos y depresiones (*ketles*), estos últimos originados como resultado del deshielo (Mazzoni, 2001, 2017). La red hidrográfica se encuentra totalmente alterada por la acción glacial. Las líneas de drenaje son someras y muestran un diseño errante (Figura 2.6). Todo el paisaje muestra, además, abundantes bloques erráticos, testimonio del englasamiento Pleistoceno. Asimismo, remanentes de procesos volcánicos son los morros Philippi y Domeyko, necks intensamente erosionados por la acción de los glaciares.

En el mapa de ubicación de los mallines de ambiente glacial (Figura 2.6), generado a partir de una imagen SPOT 5 (resolución espacial 10 m), se puede identificar como se distribuyen estos humedales, desarrollándose sobre la red de drenaje y depresiones. En esta imagen, los mallines se presentan en tonos rojo oscuro, mientras que la estepa lo hace en marrón-rojizo, lo que evidencia las diferencias en el comportamiento espectral de estos dos ecosistemas.

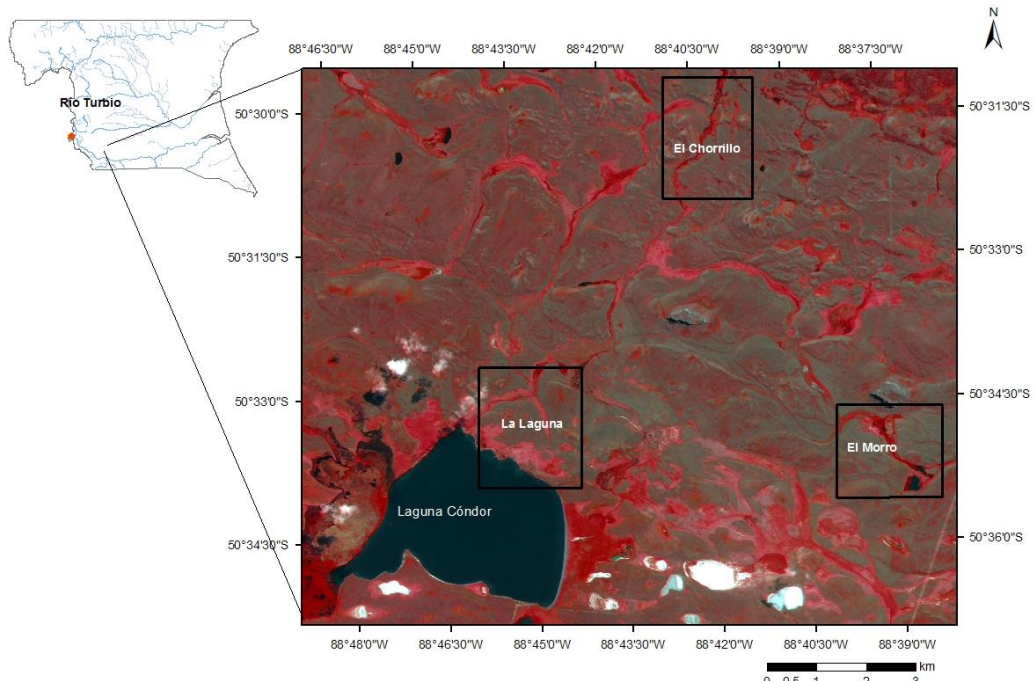


Figura 2.6. Ubicación de los mallines emplazados en el ambiente glacial. Los mallines se presentan en tonos rojo oscuro dentro de la imagen. Fuente: Imagen SPOT-5.

Mallín La Laguna: se ubica en el sector nororiental de la Laguna Cónдор, cuerpo de agua originado durante los avances y retrocesos del lóbulo glacial del río Gallegos durante el Plio-Pleistoceno (D'orazio et al. 2001; Charlin, 2012). El mallín se emplaza en una planicie glacialacustre irrigada por pequeñas líneas de drenaje temporales y por el chorrillo Cuadrado (permanente). El relieve presenta suaves lomadas que delimitan mini cubetas próximas al nivel freático, por lo que permanecen más húmedas que el resto de la superficie. Esto da lugar a la diferenciación del mallín en sectores muy húmedos, húmedos y semihúmedos, que cubren el 20 %, 14 % y 66 % del área, respectivamente (Tabla 2.5; Figura 2.7).

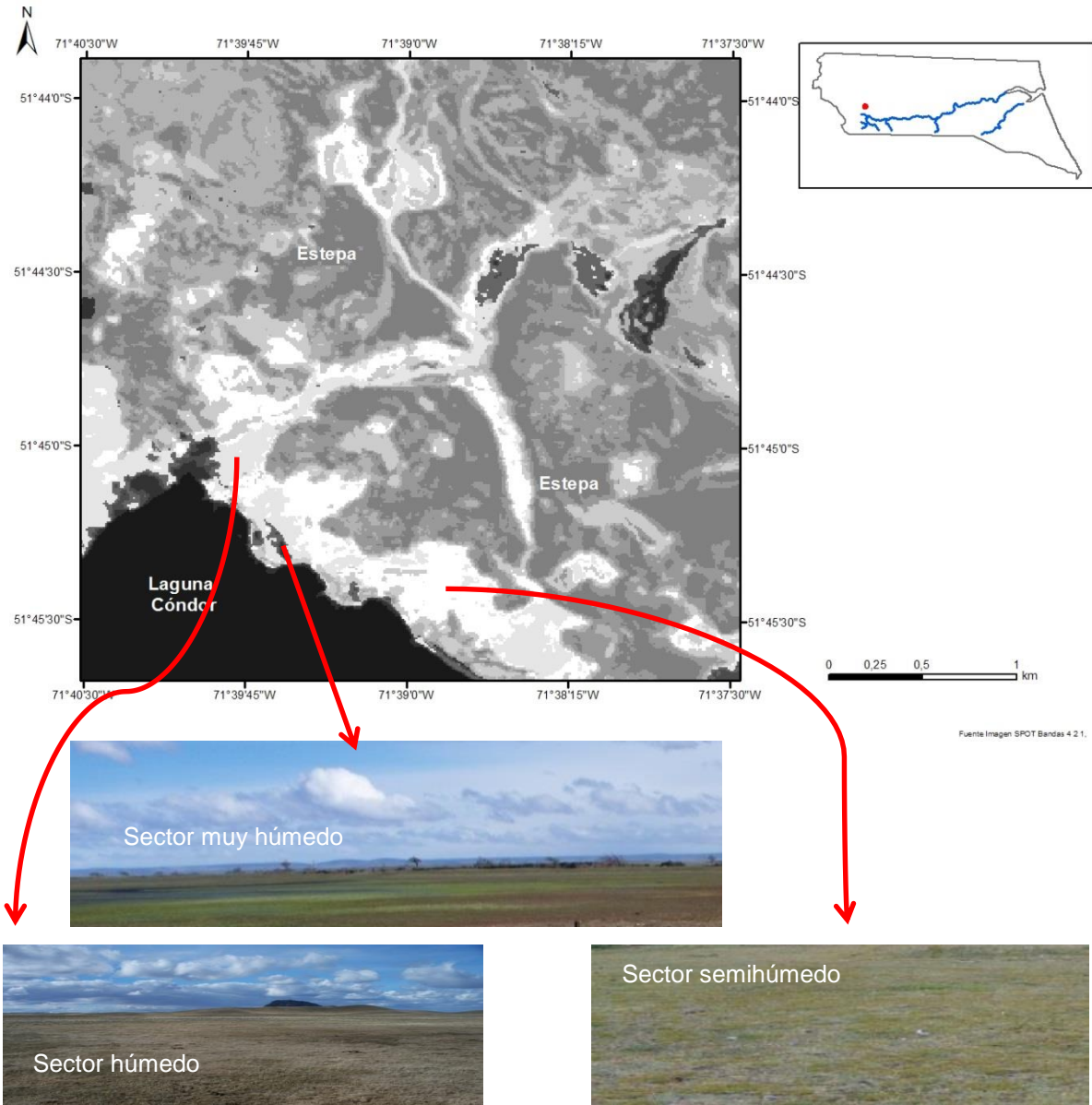


Figura 2.7. Sectores según el grado de humedad en el mallín *La Laguna*. En la imagen superior, los tonos oscuros indican los sectores con mayor humedad (húmedos y anegados), mientras que los más claros muestran la distribución de los sectores semihúmedos. Fuente: Clasificación digital de la Imagen SPOT-5.

Mallín El Morro: situado al pie del Morro Domeyko al E de la Laguna Cóndor. Tiene forma de cubeta y está atravesado por un chorrillo que alimenta dos pequeñas lagunas. Este mallín presenta un alto grado de humedad, asociado a la presencia constante de la capa freática en la superficie o muy cercana a ella. Esto se evidencia en la diferenciación de sólo dos sectores: muy húmedo y húmedo (Figura 2.8) que ocupan el 32 y 68 % de la superficie, respectivamente (Tabla 2.5).

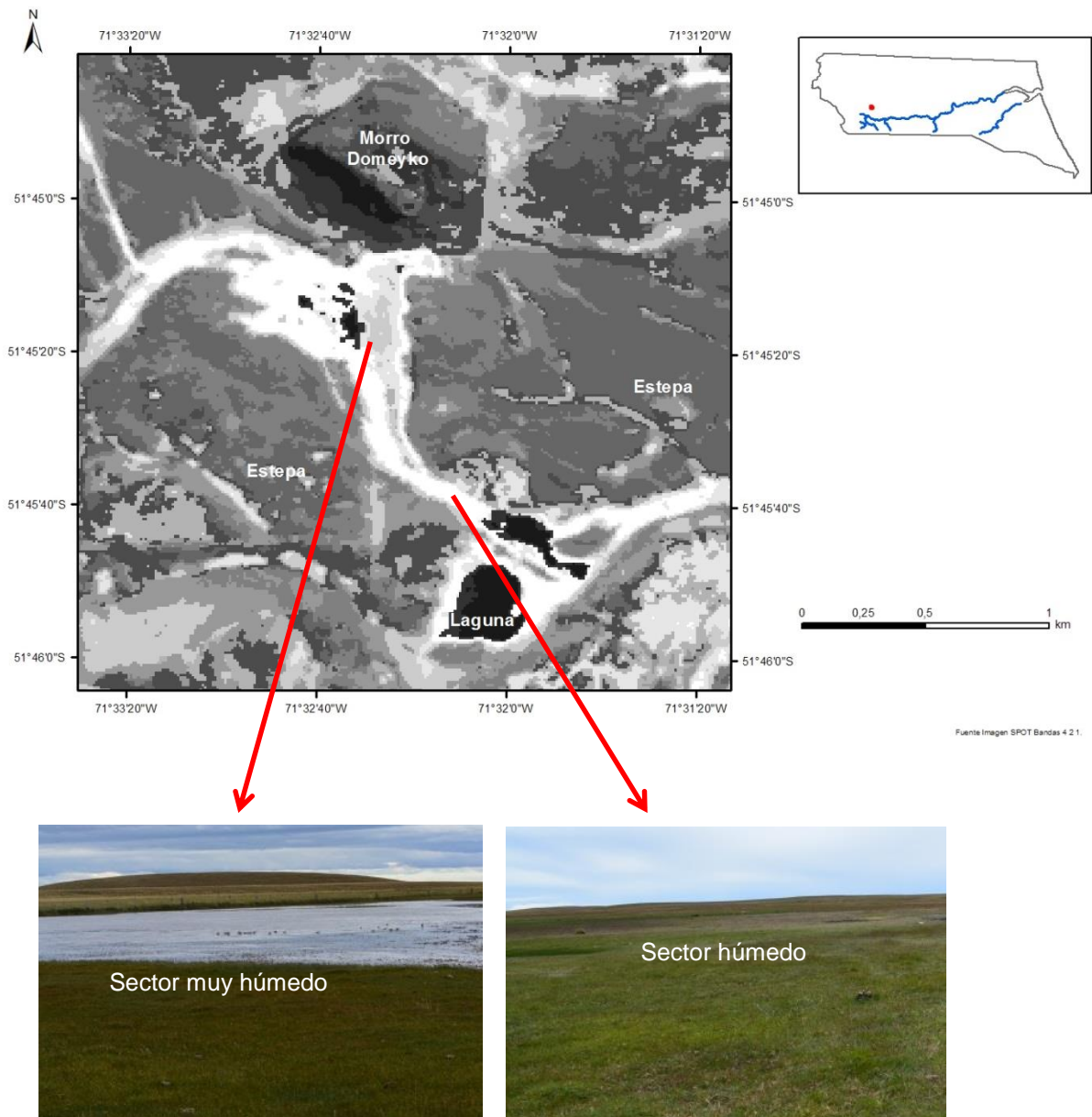


Figura 2.8. Sectores según el grado de humedad en el mallín *El Morro*. Los tonos claros indican sectores húmedos, mientras que los tonos oscuros muestran la distribución de los sectores muy húmedos y anegados. Fuente: Clasificación digital de la Imagen SPOT-5.

Mallín El Chorrillo: ubicado junto al chorrillo Cuadrado que alimenta a la Laguna Cóndor. Su extensión está estrictamente asociada a los márgenes del curso de agua. Se distinguen dos sectores: húmedo y semihúmedo (Figura 2.9), siendo este último el que ocupa la mayor proporción de la superficie (79 %) (Tabla 2.5).

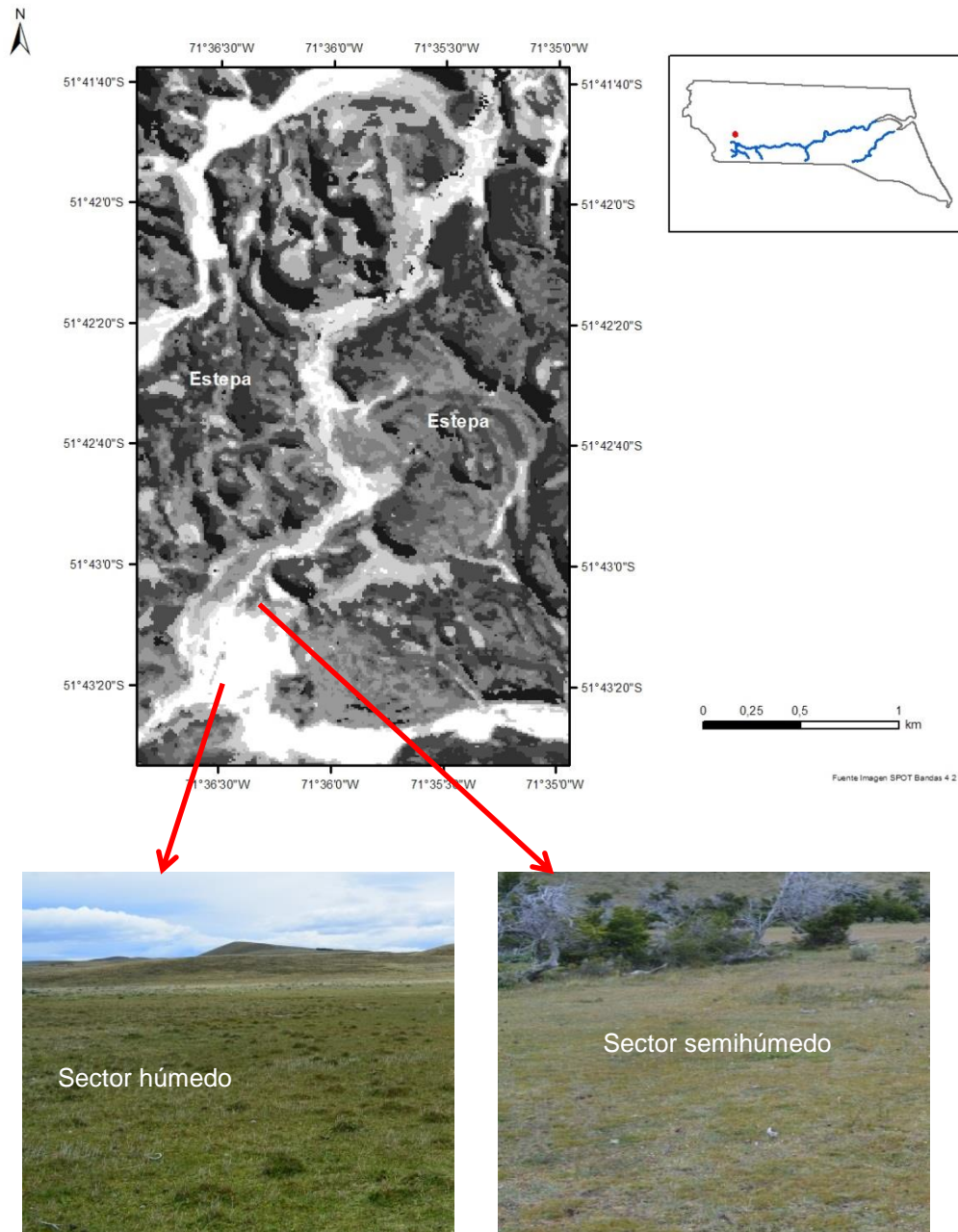


Figura 2.9. Sectores según el grado de humedad en el mallín *El Chorrillo*. Los tonos claros indican sectores semihúmedos, mientras que los tonos oscuros muestran la distribución de los sectores húmedos. Fuente: Clasificación digital de la Imagen SPOT-5.

Nótese, que a pesar de la extrema cercanía de los mallines, éstos presentan diferentes condiciones morfológicas e hidrológicas, de acuerdo a su posición en el paisaje.

2.3.3.2. Mallines de ambiente fluvial

Los mallines emplazados en el ambiente fluvial se sitúan sobre los ríos Zurdo, Gallegos Chico y Chico (Tabla 2.6; Figura 2.10).

Tabla 2.6. Superficie total y por sectores identificados en los mallines de ambiente fluvial.

<i>Ambiente</i>	<i>Mallín</i>	<i>Coordenadas</i>	<i>Superficie (ha)</i>	<i>Superficie Sectores (ha)</i>	
				<i>HU</i>	<i>SH</i>
	<i>El Zurdo</i>	51° 55' 31,7"S 71° 16' 46,6"O	311,4	82,5	229
<i>Fluvial</i>	<i>Bella Vista</i>	51° 57' 05,0"S 70° 32' 38,4"O	27,4	12,7	14,7
	<i>Pali Aike</i>	51° 57' 55,1"S 69° 42' 48,6"O	622,9	356,6	266,3

Los tres mallines ocupan parcialmente las planicies aluviales de esos ríos. El primer curso fluvial atraviesa una planicie dominada por depósitos morénicos de bajo relieve. Los ríos Gallegos Chico y Chico recorren el campo volcánico Pali Aike, con valles desproporcionadamente amplios para sus caudales actuales (Corbella, 2002). Las tres líneas de drenaje presentan diseño general meandroso, aunque en ciertos tramos se ramifican en varios cursos por donde el agua fluye lentamente (Figura 2.10).

El escurrimiento pausado y disperso de estos tramos permite la saturación del suelo y la consecuente formación de mallines (Mazzoni y Vazquez, 2004), esto se puede observar en la figura 2.10, generada con imágenes satelitales SPOT 5. Aquí los mallines se encuentran en tonos rojos insertos en la estepa magallánica de color marrón grisáceo (Figura 2.10). Estas tonalidades denotan las diferencias en sus firmas espectrales.

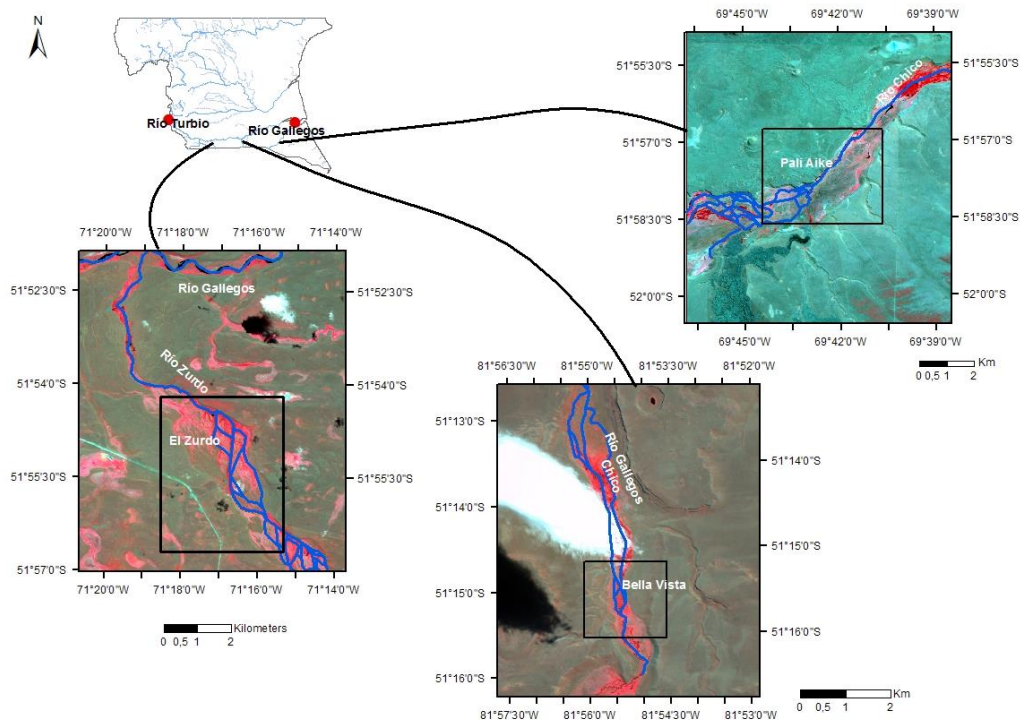


Figura 2.10. Detalle de la ubicación de los mallines emplazados en el ambiente fluvial. Los mallines se presentan en tonos rojos. Fuente: Clasificación digital de la Imagen SPOT-5.

Mallín El Zurdo: se sitúa sobre la margen izquierda del río que le da su nombre. Como se puede observar en la Figura 2.11, el río, presenta en este sector, diseño trenzado a anastomosado, con varios brazos que fluyen entre barras transversales y longitudinales que originan una topografía de suaves lomadas. En las riberas se encuentran los sectores húmedos del mallín, que ocupan el 26% de la superficie (Tabla 2.6). El resto del área está cubierta por praderas semihúmedas.

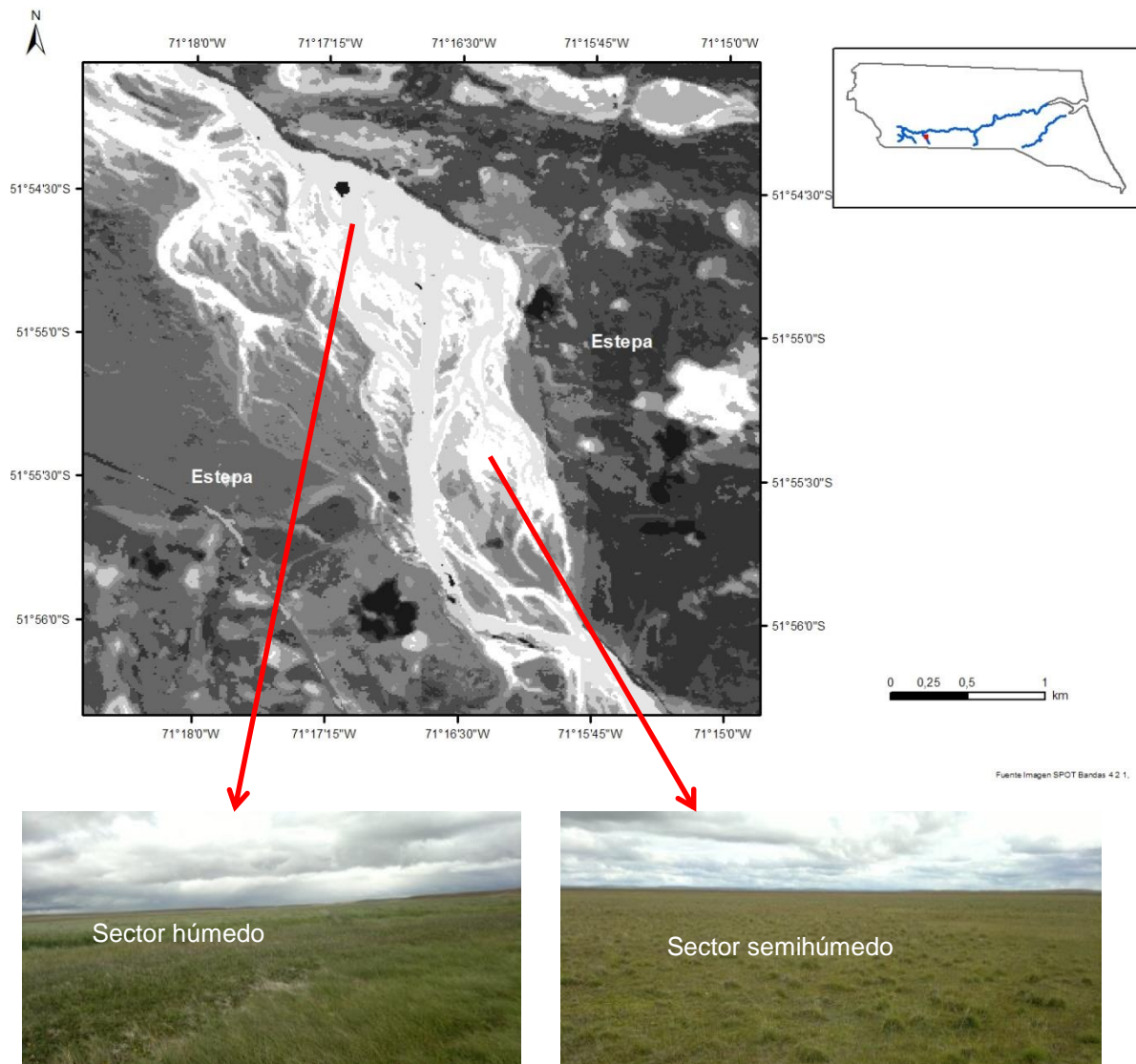


Figura 2.11. Sectores según el grado de humedad en el mallín El Zurdo. Los tonos claros indican sectores semihúmedos, mientras que los tonos oscuros muestran la distribución de los sectores más húmedos. Fuente: Clasificación digital de la Imagen SPOT-5.

Mallín Bella Vista: se sitúa en la ribera derecha del río Gallegos Chico. El cauce se ramifica en varios cursos menores que reciben aportes de las vertientes ubicadas en las mesetas basálticas que rodean al valle. El 46 % de la superficie corresponde al sector húmedo (Tabla 2.6), mientras que el 54 % restante a sectores semihúmedos (Figura 2.12).

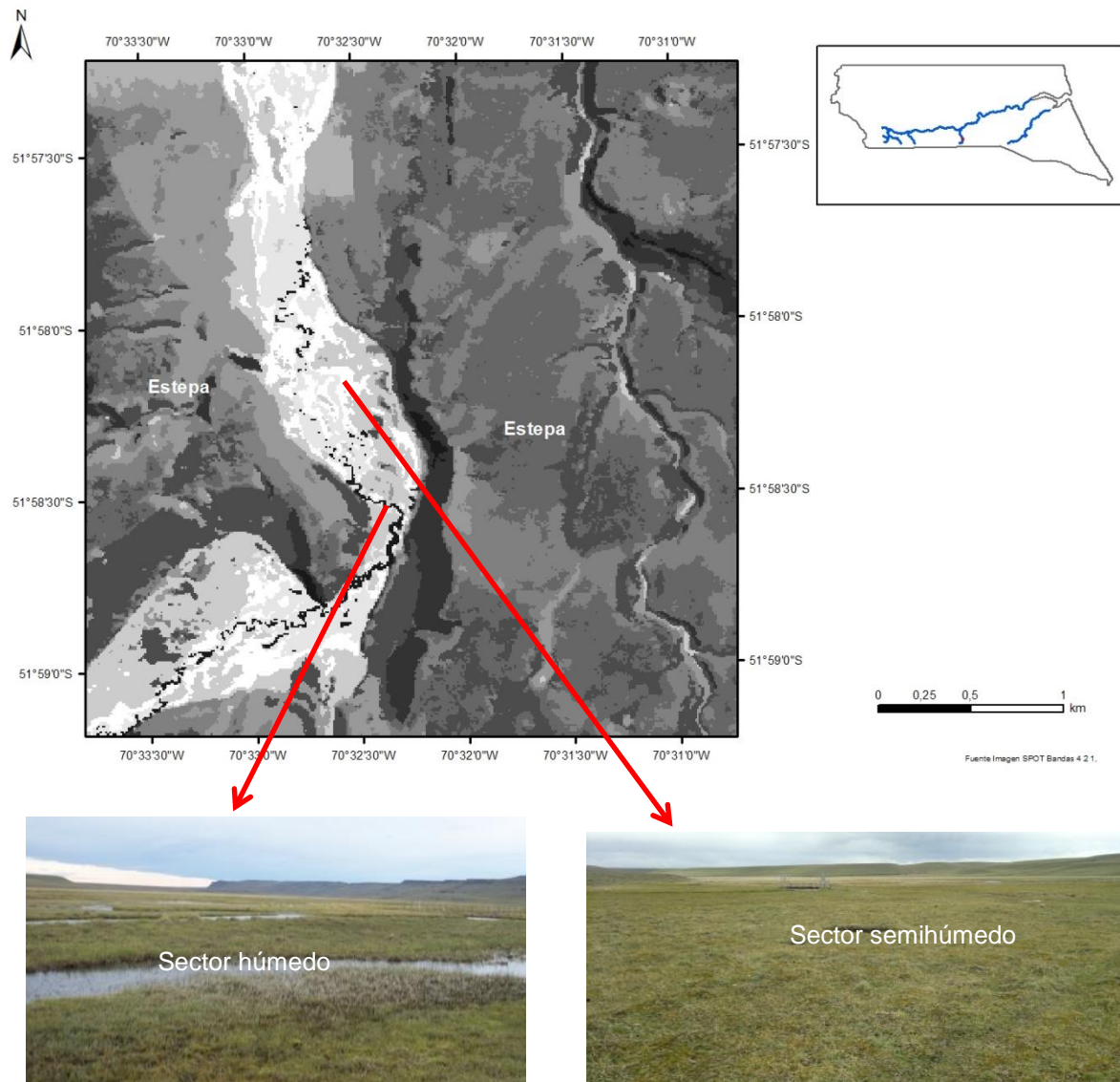


Figura 2.12. Sectores según el grado de humedad en el mallín *Bella Vista*. Los tonos oscuros indican sectores anegados y a medida que los tonos aclaran se identifican los sectores semihúmedos. Fuente: Clasificación digital de la Imagen SPOT-5.

Mallín Pali Aike: se encuentra a la vera derecha del río Chico. Al igual que los ríos Gallegos Chico y Zurdo, su cauce se divide en varios cursos pequeños que irrigan a los mallines. Los sectores húmedos se encuentran junto a los cursos de agua y ocupan el 57 % de la superficie (Figura 2.13). Los sectores semihúmedos se extienden sobre el 43 % de la superficie del mallín (Tabla 2.6). *Pali Aike* está enmarcado por mesetas volcánicas escalonadas con laderas abruptas (del orden de 20 m), desde las cuales escurre el agua que lo alimenta parcialmente.

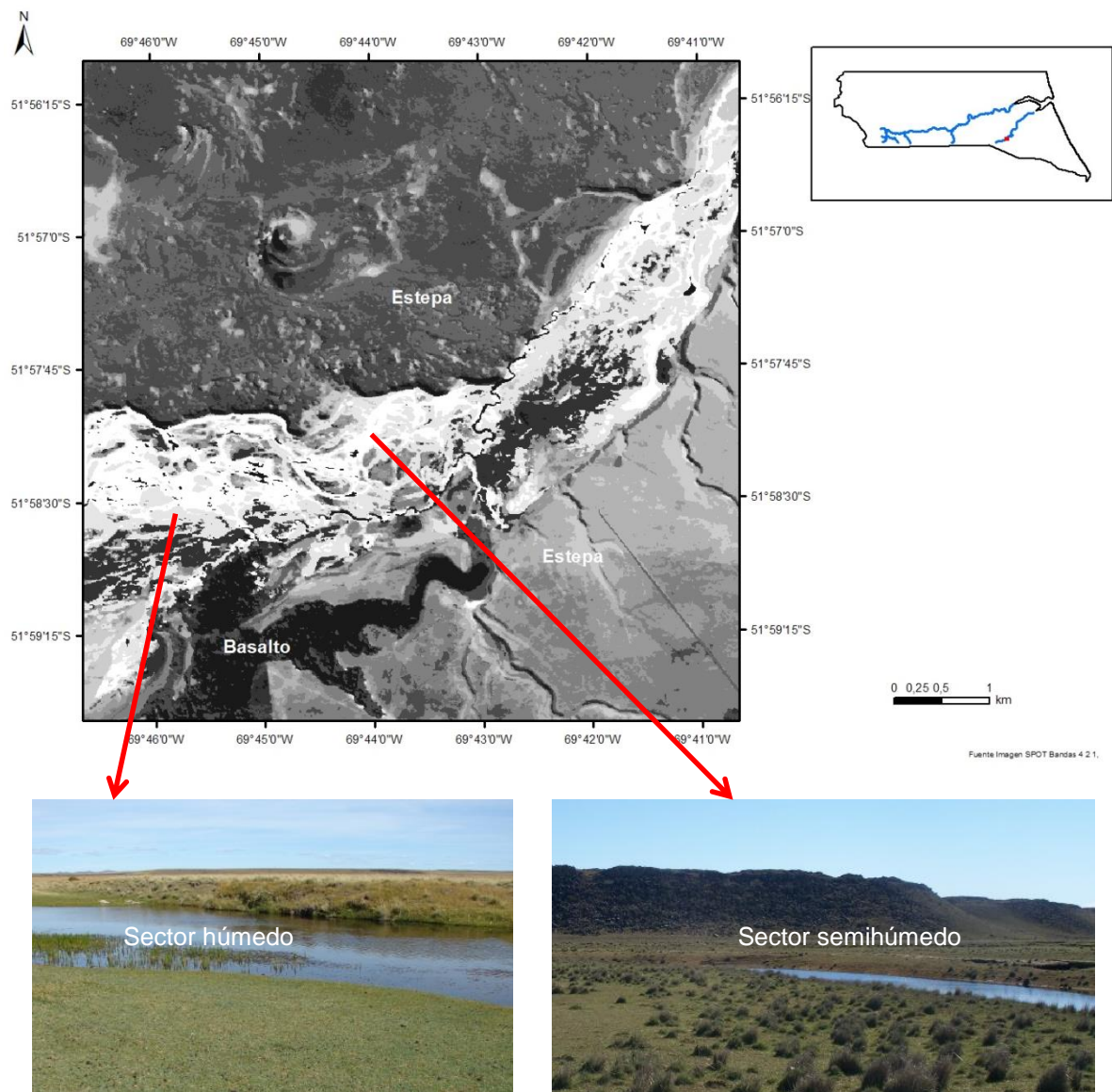


Figura 2.12. Sectores según el grado de humedad en el mallín *Pali Aike*. Los tonos oscuros indican los sectores húmedos y anegados, mientras que los más claros muestran la distribución de los sectores semihúmedos. Fuente: Clasificación digital de la Imagen SPOT-5.

A los efectos de simplificar la lectura, a partir de aquí se denominará a los mallines localizados en el ambiente glacial como “mallines glaciales” y a los ubicados en el ambiente fluvial como “mallines fluviales”.

2.3.4. Curvas de temperatura superficial de los mallines de estudio (2010–2012)

La distribución espacial de los mallines seleccionados sigue el gradiente O–E de temperatura del área de estudio, lo que se refleja en las curvas específicas presentadas en la figura 2.13. En la Figura 2.14 (a), se puede observar que en los mallines glaciales *La Laguna*, *El Morro* y *El Chorrillo*, la temperatura superficial es aproximadamente 1° C menor a la de los mallines fluviales para el periodo de estudio. Las diferencias de temperatura entre mallines de un mismo ambiente son más notorias en los fluviales, por su disposición espacial.

En lo que respecta a las temperaturas máximas, en los mallines fluviales *Pali Aike*, *Bella Vista* y *EL Zurdo* se registraron en el mes de diciembre, prácticamente un mes antes que en los mallines de ambiente glacial (Figura 2.14 a y b).

Estas diferencias se asocian con la posición geográfica de los humedales en estudio: los mallines glaciales se sitúan en la franja occidental, en donde las temperaturas medias son más bajas. Los mallines fluviales se distribuyen desde el centro del área de estudio hacia el E, siguiendo el incremento de la temperatura ambiental. Esto explicaría el comportamiento de las curvas de temperatura superficial arriba explicado.

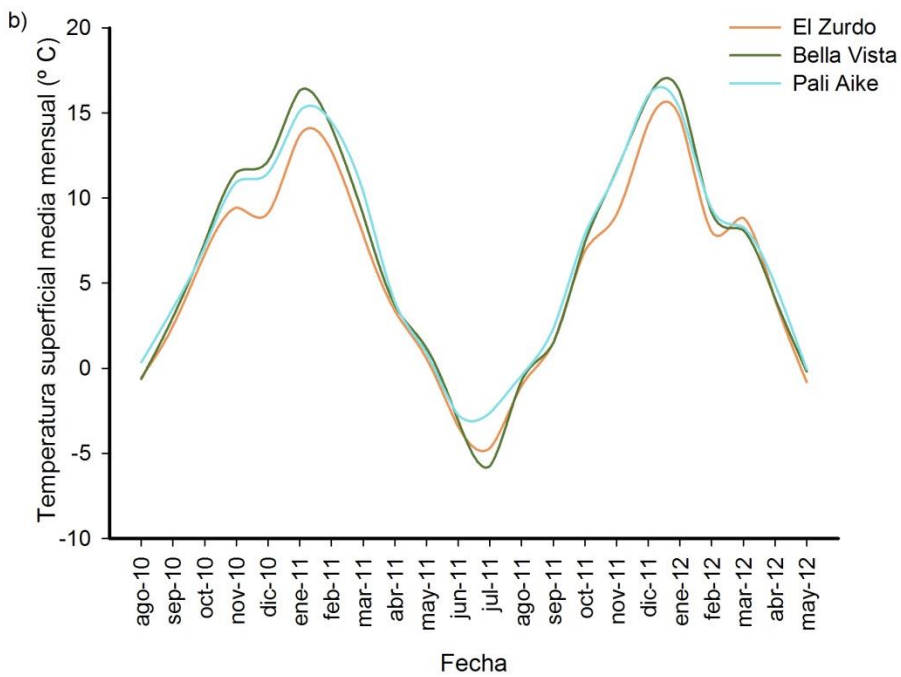
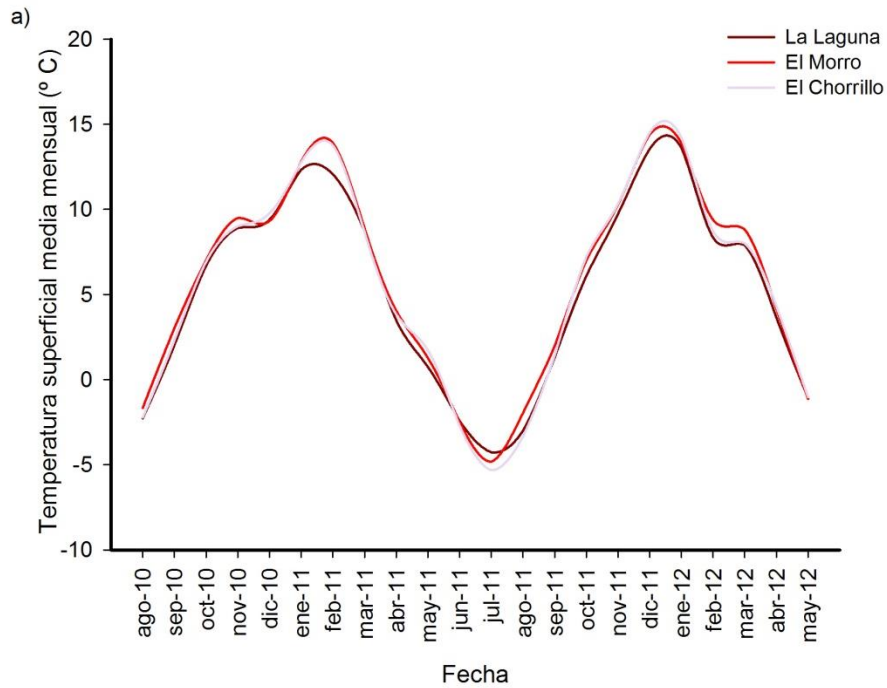


Figura 2.14. Temperatura superficial media mensual desde junio/2010 a mayo/2012. a) Mallines glaciales y b) mallines fluviales. Fuente: base de datos ORNL DAAC (http://daacmodis.ornl.gov/cgibin/MODIS/GLBVIZ_1_Glb/modis_subset_order_global_col5.pl).

2.4. DISCUSIÓN Y COMENTARIOS FINALES

El 6,6 % de la superficie del área de estudio está cubierta por humedales. Este valor es superior a los encontrados por Bran (2004) y Ferrer y Mazzoni (2014) para diferentes áreas de la Patagonia Norte, quienes reportaron que los mallines representan del 3 al 4 % de la superficie del área de Jacobacci, E de la Patagonia Norte, y el 3,68 % del O de Neuquén, respectivamente. Mientras que, el resultado obtenido en esta investigación fue menor a los hallados por Mazzoni y Vazquez (2004), quienes identificaron que el 7,6 % de la superficie del valle de los ríos Gallegos y Chico, que se encuentran dentro del área de estudio, corresponden a ambientes de mallín. Las diferencias con los datos expuestos por Bran (2004) y Ferrer y Mazzoni (2014) se explican por las disímiles condiciones climáticas. Si bien el área de estudio se inserta dentro del ambiente de meseta patagónica, el S de Santa Cruz presenta condiciones de mayor humedad y menor evapotranspiración, dadas las temperaturas reinantes. La discrepancia con el resultado de Mazzoni y Vazquez (2004), estaría dada por la superficie analizada. Las autoras se focalizaron solo en los mallines del valle de los ríos, mientras que en esta investigación se evaluaron los humedales de todos los ambientes geomorfológicos comprendidos en el área de estudio.

Las unidades de paisaje fluvial y fluvio-glacial, y glacial contienen el 86 % de los humedales identificados en el área de estudio, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Mazzoni y Vazquez (2004) para la Provincia de Santa Cruz, quienes expusieron que valles fluvio-glaciares y planicies glaciarias, presentan la mayor aptitud para la génesis y conservación de mallines. Esto se debería a las características de los ambientes: en las planicies de inundación en las que el agua escurre lentamente, se favorecen las condiciones de irrigación y la consecuente formación de los mallines. Por otro lado, las planicies glaciarias, poseen, en general, sedimentos finos que favorecen la retención del agua en el suelo (Mazzoni y Vazquez, 2004).

Las clasificaciones digitales de las imágenes Landsat permite cuantificar adecuadamente la superficie ocupada por humedales. Esta técnica fue usada por Bran (2004) en el área de Jacobacci, Provincia de Río Negro, por Mazzoni y Vazquez (2004) en la Provincia de Santa Cruz y por Mazzoni en la Provincia de Neuquén (Mazzoni 2007). En estos lugares se logró identificar y cuantificar la superficie que ocupa este tipo de humedales, lo cual es posible por las características espectrales de los mallines. El contenido y la distribución de agua en el suelo de estos ecosistemas condiciona la composición y cobertura de las comunidades vegetales que presentan, dando a lugar diferencias tonales en una textura lisa, definida por la predominancia de pastos bajos (Mazzoni y Rabassa, 2018). En las imágenes Landsat, la

curva espectral de los humedales concentra los valores de pixel en la banda 4 (infrarrojo cercano), mientras que los valores de las estepas se concentran en la banda 5, lo cual coincide con lo reportado por los autores mencionados. Mazzoni y Rabassa (2018) utilizaron también el sensor OLI (Landsat 8) para estos estudios, con resultados similares, explicando que el incremento en los valores de la banda correspondiente al infrarrojo cercano obedece a la mayor concentración de biomasa vegetal respecto de la estepa circundante.

La utilización de imágenes con mayor resolución espacial, como las SPOT 5, permite identificar el gradiente de humedad interno de los mallines de estudio, distinguiéndose entre sectores muy húmedos, húmedos y semihúmedos, ya que los valores medios de los pixeles disminuyen con los incrementos de humedad en estos ecosistemas.

El análisis de la distribución de los mallines por unidad de paisaje enriquece la información obtenida a partir de las clasificaciones de las imágenes, en tanto permite comprender el rol de los aspectos geomorfológicos en la génesis y distribución de los mallines. Este enfoque, aplicado en el área de estudio, permitió identificar los ambientes más favorables al desarrollo de estos humedales y seleccionar los mallines en los cuales llevar a cabo las tareas de campo, los que son presentados en los capítulos siguientes.

CAPÍTULO 3

SISTEMA HIDRO-EDAFO- GEOMORFOLÓGICO

3.1. INTRODUCCIÓN

El suelo es el resultado de la interacción de 5 factores estrechamente relacionados con la dinámica hídrica: los organismos, la topografía, el clima, el material parental y el tiempo. La permanencia del agua en o cerca de la superficie por un período significativo de tiempo, durante la estación de crecimiento, da lugar a la formación de suelos hídricos. Este tipo de suelos se desarrollan en los humedales y se caracterizan por presentarse saturados en los primeros 25 cm y por exhibir condiciones de reducción en la mayor parte de la zona de las raíces (Richardson y Vepraskas, 2001).

En la Patagonia, estos suelos pueden encontrarse en los mallines, desarrollándose en superficies planas o cóncavas con una capa de arcilla y en las planicies de inundación de los ríos (Lamoureux y Migliora, 1999; Filipová et al. 2010). Se caracterizan por la presencia de las napas freáticas altas o colgadas, las texturas finas (arcillosas) con alta porosidad efectiva y conductividad hidráulica, los horizontes gleyzados (Lamoureux y Migliora, 1999; Irisarri y Schmid, 2004; Horne, 2010) y por los importantes contenidos de materia orgánica (Iriando et al. 1974; Lamoureux y Migliora, 1995; Nakamatsu, 1998; Lamoureux y Migliora, 1999; Irisarri y Schmid, 2004, Collantes et al. 2009; Filipová et al. 2010; Filipová et al. 2013).

La heterogeneidad de los suelos de los mallines se puede analizar tanto a escala regional, en función de los gradientes climáticos; como a escala local, por las variaciones internas ocasionadas por las diferencias en la disponibilidad hídrica, consecuentes del perfil topográfico. Luque y Amari (1997), en un gradiente climático O–E en la Patagonia Norte, describieron suelos orgánicos para los mallines de cordillera y precordillera y suelos minerales para los de sierras y mesetas, y de costa.

Los mallines de cordillera y precordillera presentan entre el 10 y el 25 % de materia orgánica en diferentes estados de descomposición y valores de fósforo disponible superiores a 38 ppm. En cambio, en los de mallines de costa y de sierras y mesetas, la proporción de materia orgánica es menor al 15 % y la concentración de fósforo disponible se encuentra por debajo de 15 ppm. La textura de los suelos minerales es arenoso – franco limosa y arcillo franco, con pH alcalino y altos niveles de sodio intercambiable, con tendencia a la salinización y sodificación. Gaitán et al. (2011) observaron que la profundidad de la napa freática, el pH y conductividad eléctrica del suelo aumentaban en el mismo gradiente O-E (Enriquez et al. 2014; Enriquez et al. 2015).

En la Patagonia Sur, específicamente en mallines del N de Tierra del Fuego, Collantes et al. (2009), encontraron un gradiente latitudinal influenciado principalmente por la temperatura.

Aquí las bajas temperaturas disminuyen la actividad biológica, retardando la descomposición de la materia orgánica con el consecuente aumento de la relación C/N. Asimismo, observaron que el incremento de la precipitación provoca la disminución del pH.

A escala local, las diferencias intrínsecas en las características de los suelos de los mallines están dadas por variaciones topográficas del terreno, que generan un gradiente hídrico desde las zonas bajas, en donde la superficie del suelo se encuentra en contacto con la fuente de agua, hacia las zonas altas en contacto con los ambientes más xéricos de estepa (Marcolín, 1978; Burgos et al. 1996; Cremona et al. 1996; Grevilliot et al. 1998; Lanciotti et al., 1998; Dwire et al. 2004). Como consecuencia del gradiente hídrico se observan gradientes de pH, que disminuyen de moderadamente alcalinos a moderadamente ácidos a medida que aumenta el contenido de humedad en el suelo (Lamoureux y Migliora, 1995; 1999), mientras que el potencial redox lo hace en sentido inverso (Dwire et al. 2004), al igual que la concentración de nitrógeno total y la proporción de materia orgánica que tienden a aumentar con el incremento de la humedad (Buono, 2007). En mallines de la Provincia de Chubut, Buono (2007) reportó valores de 0,11 % de nitrógeno total y 2 % de MO para sectores secos y de 0,99 % y 22 % de nitrógeno total y materia orgánica, respectivamente, para sectores húmedos.

Asimismo, dentro de este gradiente hídrico se observan variaciones estacionales en el contenido de agua en el suelos, ocasionadas por la fluctuación de la altura de la napa y del caudal de los ríos, arroyos, lagunas, entre otros (Burgos, 1994; Nakamatsu, 1998; Raffaele, 2004). Burgos et al. (1996) explicaron los patrones de recarga y descarga en función de la distancia al cauce principal en un mallín precordillerano, manifestando claramente tres situaciones: a) la zona de contacto, que se encuentra entre la estepa y el mallín y en donde existe un patrón estacional con dominancia de percolación profunda entre septiembre y octubre, alta tasa de evapotranspiración desde noviembre a enero, déficit hídrico entre enero y abril e inicio de la recarga con las lluvias otoñales; b) el sector intermedio que no presenta déficit hídrico a lo largo del año, en donde las pérdidas por evapotranspiración son compensadas por el escurrimiento subsuperficial de las zonas más altas, y c) la zona contigua al cauce, en la cual el drenaje está impedido por la freática cercana a la superficie, el suelo está saturado casi todo el año y las pérdidas se producen por escurrimiento a zonas más bajas de la cuenca y por evapotranspiración.

En mallines del N de Tierra del Fuego (Argentina) y de la Región de Magallanes (Chile) se identificaron suelos correspondientes a los grupos Histisol, Fluvisol y Gleysol (Tabla, 3.1); Collantes et al. 2009; Filipová et al. 2009; Filipová et al. 2013). Mientras que, en la zona del río Coyle, en la Provincia de Santa Cruz, Lamoureux y Migliora (1995) describieron

complejos de Xerofluventes y Haploxerolos, y complejos Hapluacuoles y Humacueptes (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Equivalencias de la denominación de los suelos entre los sistemas de clasificación de la FAO (2006) y Soil Survey Staff (2006).

FAO (2006)	Soil Survey Staff (2006)		
<i>Grupo</i>	<i>Orden</i>	<i>Suborden</i>	<i>Gran grupo</i>
FLUVISOL	ENTISOL	Fluents	Xerofluvents
		Aquents	Fluvaquents
GLEYSOL	INCEPTISOL	Aquepts	Humaquepts
	MOLLISOL	Aquolls	
KASTANOZEMS	MOLLISOL	Xerolls	Haploxerolls
HISTOSOL	HISTOSOL		

En base a lo expuesto hasta aquí, se evidencia que el conocimiento del sistema *hidro-edafo-geomorfológico* es fundamental para la diferenciación de los mallines, como así también de los sectores que los integran, compuestos por distintas comunidades vegetales y productivamente desiguales. La relación entre el suelo y el agua, son el eje del funcionamiento de estos ecosistemas. Entender la dinámica de estos factores en los mallines de la Patagonia Sur y su vinculación con la geomorfología, es el eje de este capítulo. Aquí se presenta la descripción y el análisis de los rasgos geomorfológicos de los mallines de estudio, se caracteriza la dinámica hídrica, la topografía, los suelos y las diferencias entre ambientes geomorfológicos.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1. Reconocimiento de geoformas

El reconocimiento de las geoformas presentes en los mallines de estudio y su entorno se realizó a partir de la interpretación de modelos digitales de elevación (MDE), del trazado de las curvas de nivel y de los relevamientos de campo. Los mapas topográficos y la red de drenaje de los mallines se elaboraron con los MDE de las hojas 5172-34, 5172-35, 5172-36 y 5169-32, con una resolución espacial de 45 m y una precisión vertical submétrica, proporcionados por el Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2014).

En primer lugar, en el programa ERDAS IMAGINE 9.1 (Leica Geosystems, 2006), se realizaron los recortes de los MDE para cada uno de los mallines de estudio: *La Laguna*, *El Morro*, *El Chorrillo*, *El Zurdo*, *Bella Vista* y *Pali Aike*. Los seis recortes se reproyectaron al sistema Transverse Mercator, elipsoide de referencia y datum WGS84, en el mismo software. Posteriormente, se procesaron en el programa GLOBAL MAPPER 11 (B.M. Geographics, 2010). Aquí, con la herramienta *Generate Contours*, se generaron las curvas de nivel de cada mallín, que se exportaron como archivos shape para luego levantarlos con el software ArcGis 9.2 (ESRI, 2006). La equidistancia definida para cada mallín dependió de la topografía de cada uno de ellos (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Equidistancia de las curvas de nivel de los mallines glaciales y fluviales.

Ambiente	Mallín	Equidistancia (m)
Glacial	La Laguna	3
	El Morro	3
	El Chorrillo	3
Fluvial	El Zurdo	2
	Bella Vista	5
	Pali Aike	3

Utilizando las herramientas *Flow Direction* y *Flow Accumulation* del módulo *Spatial Analysis - Hydrology* del programa ArcGis 9.2 (ESRI, 2006), se trazó la red de drenaje de los mallines de estudio. Finalmente, con los datos obtenidos se elaboró la cartografía topográfica e hidrográfica de cada mallín con el mismo programa.

3.2.2 Dinámica hídrica

La dinámica de la altura de la napa freática se midió en el sector húmedo de los mallines glaciales y fluviales y, en estos últimos, también en el sector semihúmedo. La decisión de registrar la variabilidad de la napa freática del sector semihúmedo de los mallines fluviales, se basó en la extensa superficie que representa este sector dentro de los mallines de este ambiente geomorfológico (Tabla 2.6).

Para ello, se instaló un freatómetro por sector evaluado (Tabla 3.3), construidos con caños de PVC perforados en los laterales de 1 metro de largo y 40 mm de diámetro (Figura 3.1), a excepción del sector semihúmedo de *El Zurdo* en el cual no se logró superar los 50 cm de profundidad por la presencia de cantos rodados en el suelo. La altura de la napa se tomó con cinta métrica, una vez por mes, en los meses de diciembre, marzo y mayo de la temporada de crecimiento 2010-2011 y en octubre, diciembre, marzo y mayo de 2011–2012. Al mismo tiempo, se registró la humedad volumétrica (HuV) de los primeros 30 cm del suelo con una sonda (Time Domain Reflectometry de precisión comprobada, marca EIJKELKAMP, Modelo FM-3-14.62, Santa Bárbara, USA). Debido a problemas en el muestreo no se cuentan con datos de la primera temporada de crecimiento (2010–2011) para el mallín glacial *El Morro*.



Figura 3.1. Instalación de freatómetros.

Tabla 3.3. Ubicación de los freaímetros en los mallines glaciales y fluviales.

Ambiente	Mallín	Sector	Coordenadas
Glacial	La Laguna	<i>H</i>	51° 45' 32,9" S 71° 38' 29,6" O
	El Morro	<i>H</i>	51° 45' 08,4" S 71° 32' 43,6" O
	El chorrillo	<i>H</i>	51° 42' 48" S 71° 35' 52,6" O
Fluvial	El Zurdo	<i>H</i>	51° 55' 31,7" S 71° 16' 46,6" O
		<i>SH</i>	51° 55' 16,6" S 71° 16' 46,6" O
	Bella Vista	<i>H</i>	51° 57' 23,8" S 70° 32' 45,0" O
		<i>SH</i>	51° 57' 26,6" S 70° 32' 44,9" O
	Pali Aike	<i>H</i>	51° 57' 55,1" S 69° 42' 48,6" O
		<i>SH</i>	51° 58' 02,3" S 69° 42' 52,2" O

3.2.3 Suelos

La descripción de los perfiles de suelo se realizó a través de calicatas (Figura 3.2). En los mallines glaciales se caracterizó el sector húmedo, mientras que en los fluviales solo en un caso se evaluó este sector, ya que en los dos restantes el agua se encontraba muy cerca de la superficie impidiendo la realización de las observaciones, por lo cual se describió el sector semihúmedo. En cada calicata (Tabla 3.4) se observó el perfil de suelo y describió cada uno de los horizontes hasta el metro de profundidad o hasta alcanzar la limitante (gravas o napa freática). Una vez delimitados los horizontes se extrajeron muestras de cada uno. La clasificación taxonómica se realizó según las Claves para la taxonomía de suelos de Servicio de Suelos de EE. UU. (Soil Survey Staff, 2006).



Figura 3.2. Perforación de calicatas.

Tabla 3.4. Ubicación de las calicatas en los mallines glaciales y fluviales.

Ambiente	Mallín	Sector	Coordenadas
Glacial	La Laguna	<i>H</i>	51° 45' 33,3" S 71° 38' 29,8" O
	El Morro	<i>H</i>	51° 45' 08,3" S 71° 32' 44,3" O
	El Chorrillo	<i>H</i>	51° 42' 47,6" S 71° 35' 53,1" O
Fluvial	El Zurdo	<i>H</i>	51° 55' 32,0" S 71° 16' 46,9" O
		<i>SH</i>	51° 55' 16,6" S 71° 16' 48,5" O
	Bella Vista	<i>SH</i>	51° 57' 26,6" S 70° 32' 45,3" O
	Pali Aike	<i>SH</i>	51° 58' 05,2" S 69° 42' 32,1" O
		<i>SH</i>	51° 58' 01,8" S 69° 42' 43,8" O

Por otro lado, con el objetivo de evaluar si existían diferencias en los parámetros físico-químicos del suelo entre ambientes geomorfológicos y detectar variaciones en sus valores a través del tiempo, se tomaron muestras compuestas de los primeros 30 cm de suelo del sector húmedo de los mallines glaciales y fluviales en mayo/11, marzo/12 y mayo/12. En las mismas fechas se tomaron muestras del sector semihúmedo de los mallines fluviales para identificar diferencias en los parámetros del suelo entre sectores de mallines de igual ambiente geomorfológico.

Las muestras de suelo de las calicatas y las compuestas se secaron, molieron y tamizaron con malla de 2 mm de diámetro, para determinar:

- ✓ pH: método potenciométrico
- ✓ Conductividad eléctrica (CE) en extracto de saturación con conductímetro
- ✓ Materia orgánica total (MO): método de Walkley y Black (Nelson & Sommers, 1982)
- ✓ Ca y Mg: complejometría con EDTA
- ✓ Na y K: fotometría de llama
- ✓ N total (N_t): método Kjeldahl (Bremner, 1982)
- ✓ P disponible (P_d): método Olsen (Olsen et al. 1954)
- ✓ Textura (TEX): método hidrométrico (Bouyoucos, 1962)

Para el cálculo de N y CO las muestras se tamizaron con malla de 0,5 mm. El análisis de textura solo se realizó en las muestras de las calicatas (horizontes).

3.2.4. Análisis estadístico de los datos

Los datos obtenidos para el mallín *El Morro* no se incluyeron en el análisis estadístico, ya que por problemas de muestro no se cuentan con los valores para la primer temporada.

La variabilidad existente entre los sectores húmedos de los mallines glaciales y fluviales se exploró a través del análisis de componentes principales (ACP) para un grupo de variables, a través de una matriz de datos. La matriz estuvo integrada por 10 casos, que corresponden a muestras compuestas extraídas en mayo/11 y marzo/2012 de los mallines *La Laguna* (Lag), *EL Chorrillo* (Echo), *El Zurdo* (EZ), *Bella Vista* (BV) y *Pali Aike* (PA) con 9 variables (HuV, N_t , P_d , Ca, K, Na, Mg, CE y pH). La distribución de los mallines se analizó en los planos definidos por los componentes principales CP1 y CP2, CP1 y CP3 y por el CP2 y CP3.

Por otro lado, se realizó un análisis de medidas repetidas (AdMR) ($\alpha = 0,05$) sobre las variables profundidad de la napa freática, humedad volumétrica, contenidos N_t , P_d , Ca, K, Na, Mg y MO y registros de CE y pH de las muestras de suelo compuestas de los sectores húmedos de los mallines glaciales y fluviales, como así también de las extraídas de los sectores semihúmedos de los mallines fluviales. Se tomó como factor de variación el ambiente geomorfológico (glacial y fluvial) y el sector (húmedo y semihúmedo), respectivamente.

El análisis de medidas repetidas plantea las siguientes hipótesis:

- 1) $H_0 = \text{no hay interacción tiempo} \times \text{tratamiento}$
- 2) $H_0 = \text{no hay efecto del tiempo}$
- 3) $H_0 = \text{no hay efecto del tratamiento}$

La evaluación de la profundidad de napa se realizó con las mediciones de diciembre, marzo y mayo de ambos períodos de muestreo. Para la humedad volumétrica se cotejaron los registros de marzo/2011, mayo/2011 y marzo/2012, y en los parámetros del suelo se analizaron los datos obtenidos de las muestras compuestas de mayo/11, marzo/12 y mayo/12.

La normalidad y la homocedasticidad de los datos se probaron con el test de Shapiro–Wilk modificado y Levene, respectivamente. La HuV, la profundidad de la napa, la CE, el pH y los contenidos de Na, MO y P_d no cumplieron con los supuestos. Los datos se transformaron con los métodos de escores normales (pH y MO), logaritmo natural (HuV), recíproco (CE) y raíz cuadrada (Na y P_d).

Todos los análisis se realizaron con el programa InfoStat (Di Rienzo et al. 2011). En los resultados se presentan los valores sin transformar con sus respectivos errores estándar (EE).

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Descripción geomorfológica

3.3.1.1. Mallines glaciales

La topografía de los sitios de muestreo alterna lomadas y depresiones (“kettles hole”), en su mayoría originadas en los momentos de deglaciación, en donde los trozos de hielo desprendidos permanecieron en la superficie dando lugar a hoyos y cavidades. Hoy los “kettles hole”, albergan el sistema lagunar integrado por las lagunas Cóndor, Morro Gay y Flamenco (Mazzoni, 2017).

La primera de estas lagunas, posee un régimen permanente y es la de mayor extensión (960 ha). Hacia esta desagua un sistema de drenaje endorreico, compuesto por cursos cortos, someros e interdigitados entre sí, cuyo diseño responde a la topografía lobular arriba descrita, que alcanza un desnivel de unos 40 m. En este entorno se localizan los tres mallines glaciales en estudio.

El mallín *La Laguna* se ubica en el borde oriental de dicho cuerpo de agua, su ancho medio es de 545,2 m ($\pm 293,5$ m) y ocupa las zonas bajas interlobulares (Figura 3.3). Las cotas del mallín varían entre 135 y 147 msnm (Figura 3.4), con una pendiente media de 1,7 % ($\pm 0,7$ %).

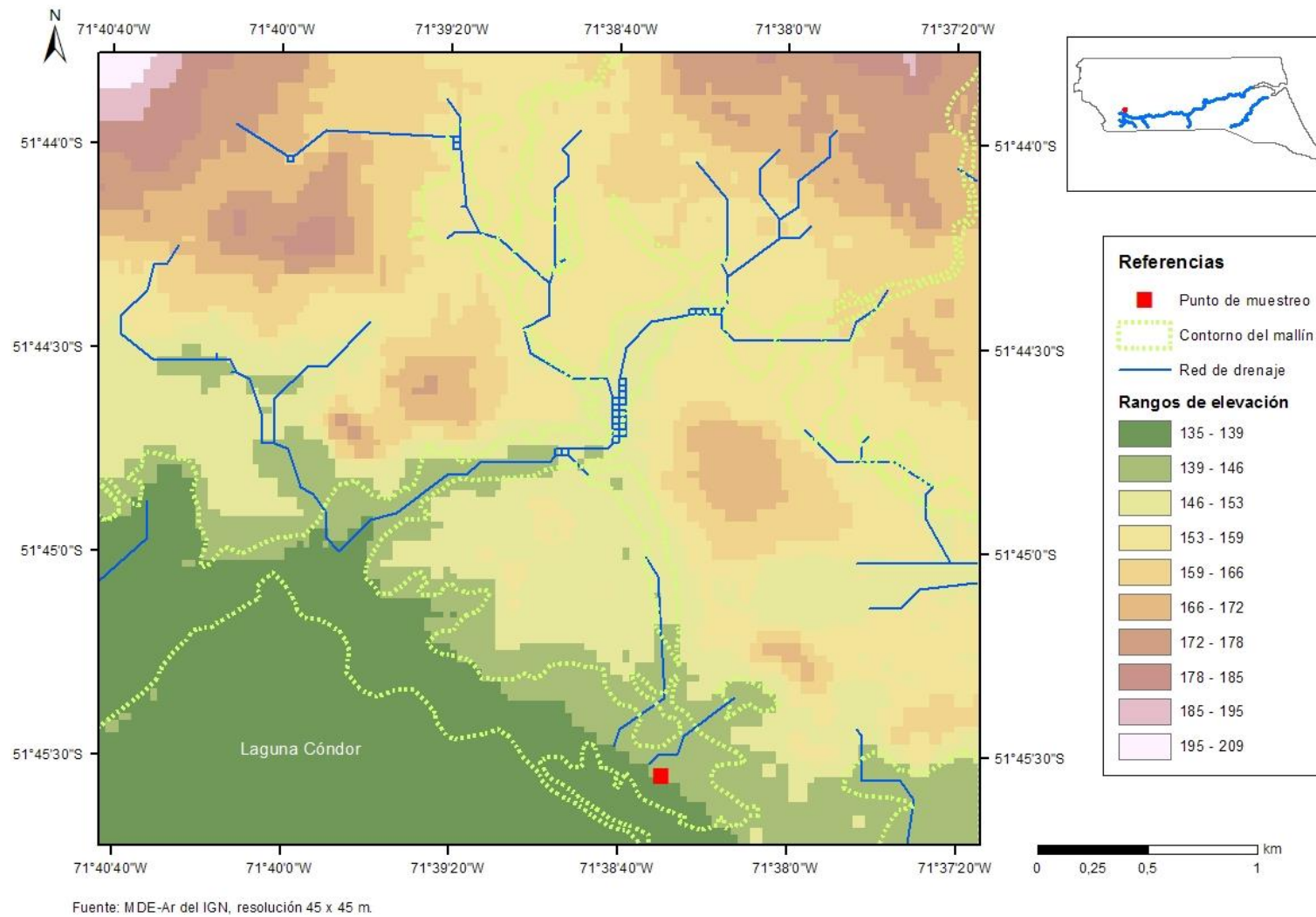


Figura 3.3. Modelo digital de elevación del mallín glacial *La Laguna* y diseño de la red de drenaje. Fuente MDE-Ar 45 X 45 m IGN.

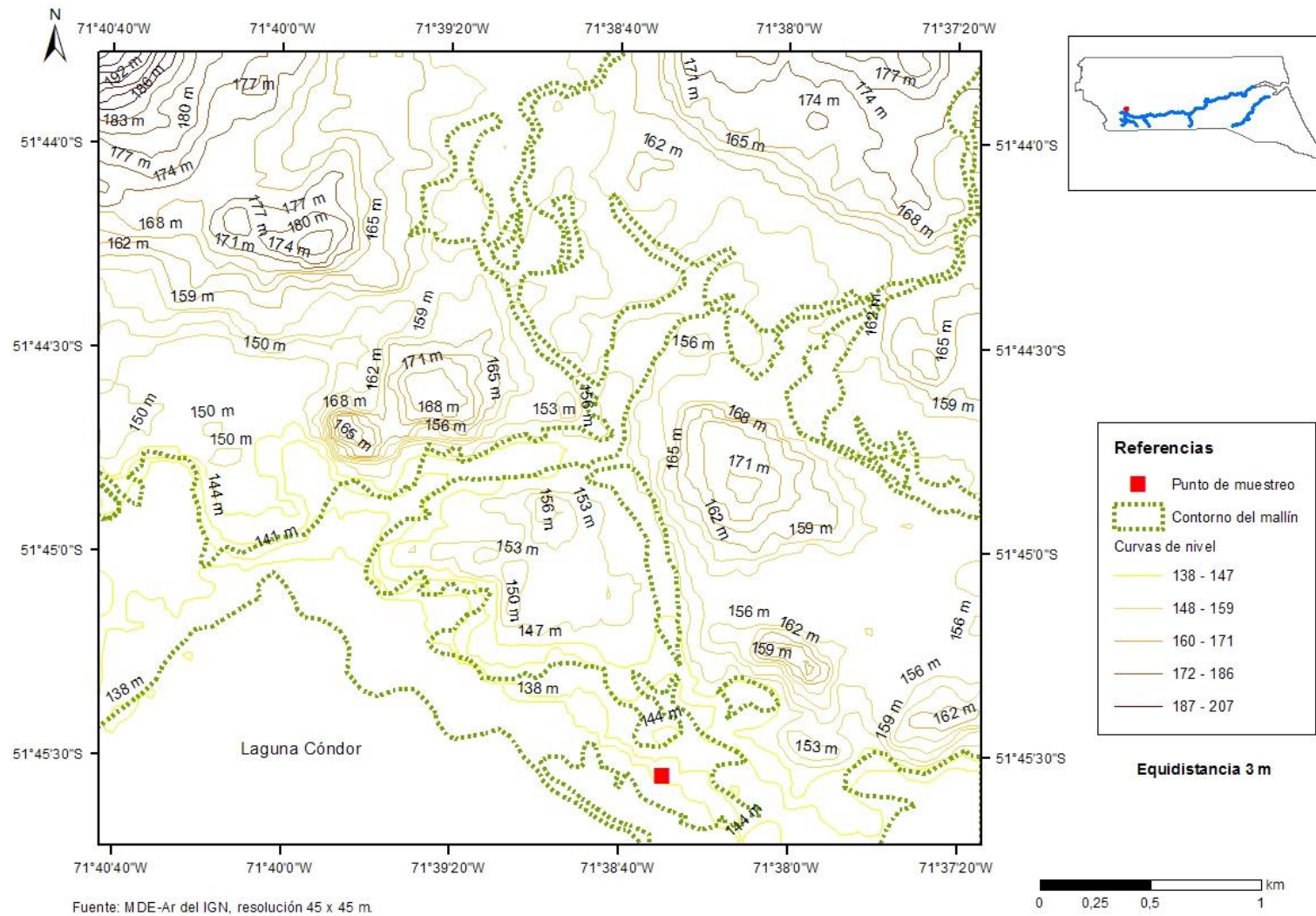


Figura 3.4. Topografía del mallín glacial *La Laguna*. Fuente MDE-Ar 45 X 45 m IGN.

Hacia el NE de la Laguna Cónдор, entre los lóbulos y colinas glaciarias se encuentran dos prominentes cuellos volcánicos de basalto subalcalino y andesita basáltica, los Morros Philippi y Domeyko. El agua escurre lentamente por las líneas de flujo superficiales y sinuosas que atraviesan las geoformas glaciales y volcánicas, dando lugar a una red de mallines de perfil topográfico ligeramente cóncavo con manantiales en sus sectores más deprimidos (Mazzoni, 2017)

El mallín *El Morro*, que se sitúa al pie del Morro Domeyko, es un claro ejemplo de lo descrito anteriormente. Con un ancho medio de 415,4 m ($\pm 336,2$ m), este mallín presenta una diferencia de altura máxima de 6 m entre el punto más bajo de 153 msnm y el más alto de 159 msnm (Figura 3.6). El valor medio de las pendientes calculadas es 0,8 % ($\pm 0,2$ %) lo que indica un relieve muy suave. La principal fuente de agua de este mallín es el chorrillo permanente que fluye por el centro del área hacia el cual escurre el agua superficial (Figura 3.5).

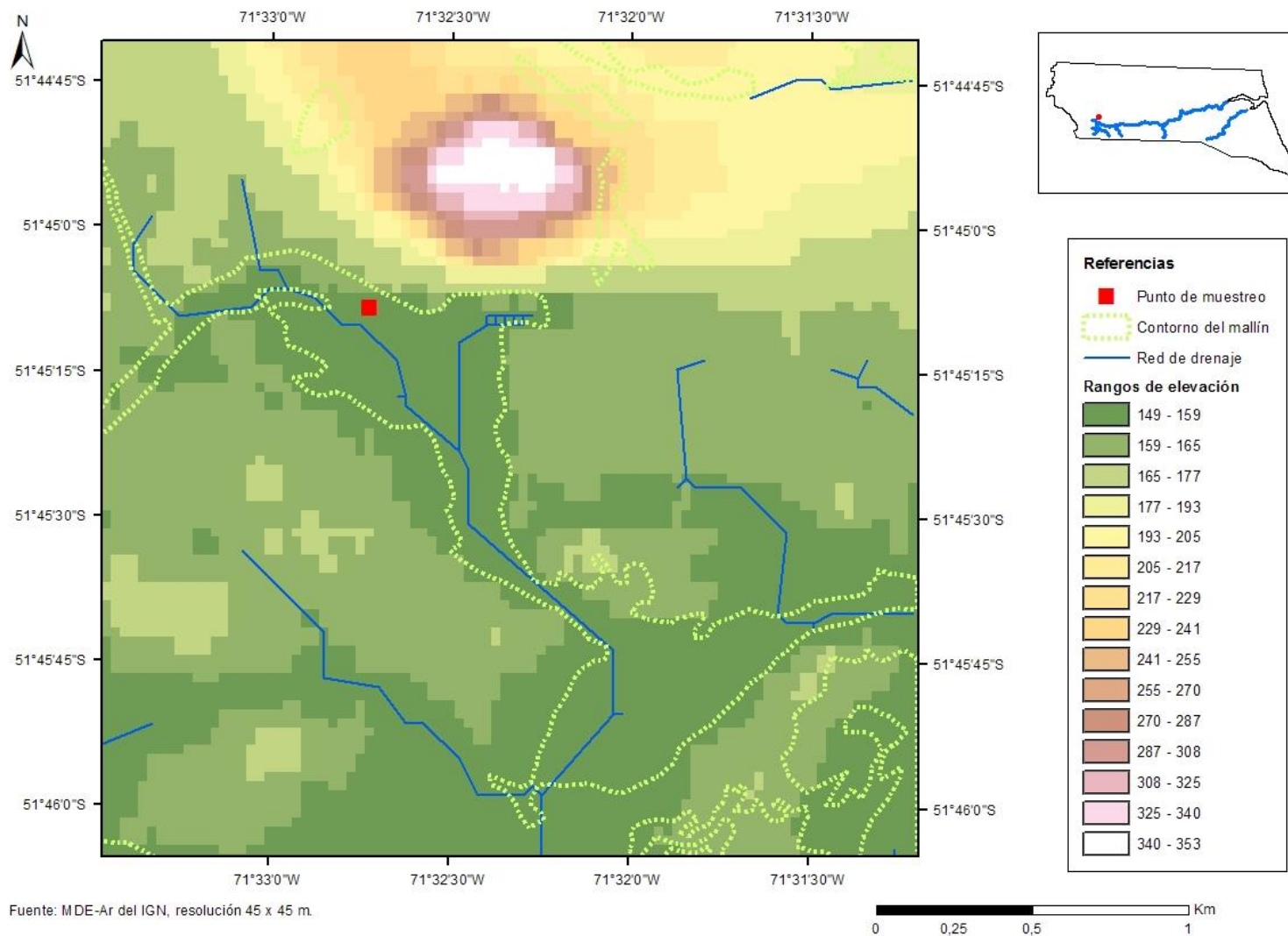


Figura 3.5 Modelo digital de elevación del mallín glacial *El Morro* y diseño de la red de drenaje. Fuente MDE-Ar 45 X 45 m IGN.

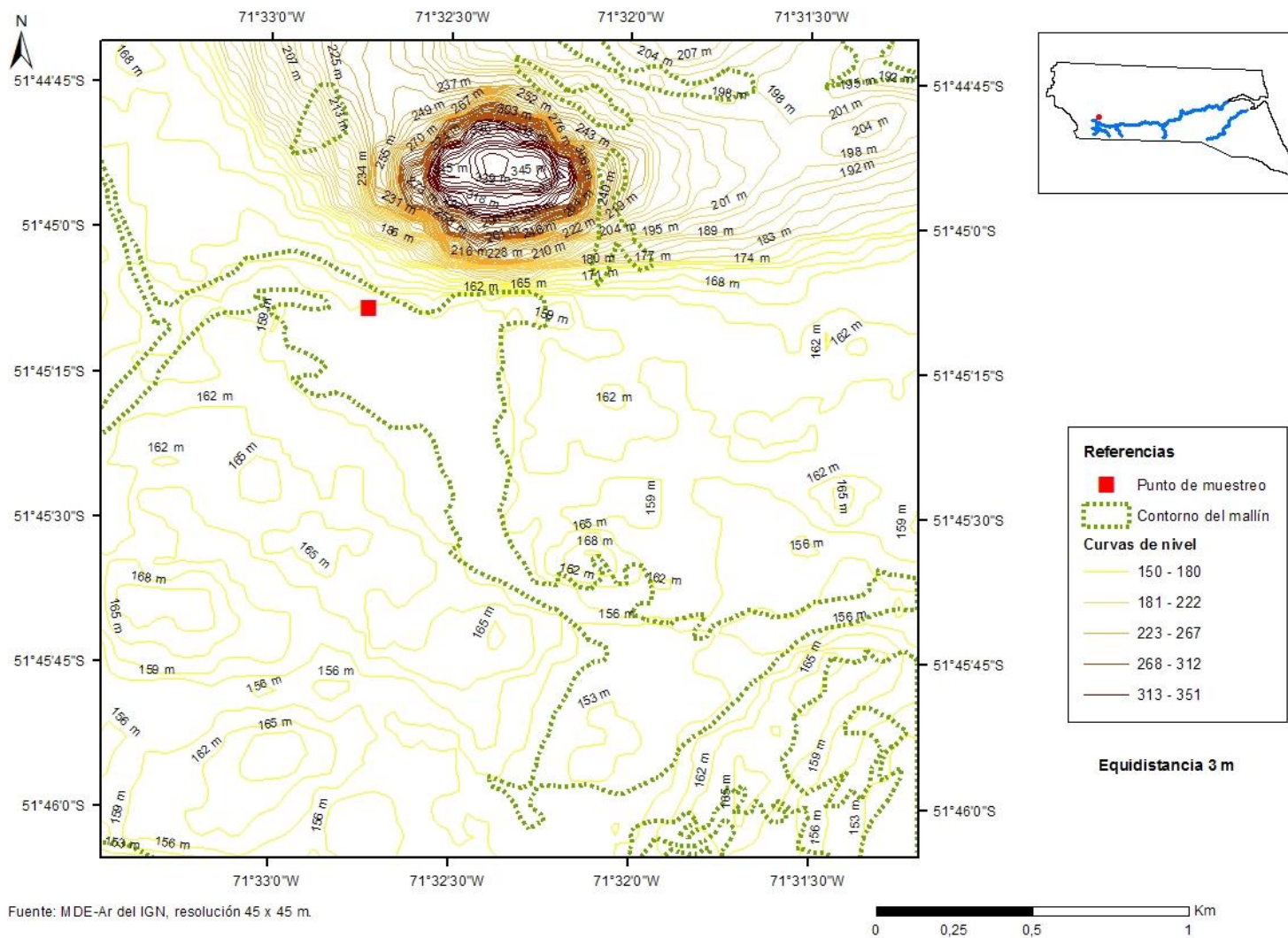


Figura 3.6. Topografía del mallín glacial *El Morro*. Fuente MDE-Ar 45 X 45 m IGN.

El mallín *El Chorrillo* se localiza al NO de la Laguna Cóndor. Su presencia está asociada al chorrillo Cuadrado, el cual, por su posición más occidental se encuentra rodeado por las primeras manifestaciones del bosque de Ñire (*Nothofagus antartica*). Se trata de una línea de drenaje que fluye desde el ambiente de meseta ubicado hacia el N hasta la laguna, delimitando una cuenca con pendientes más fuertes que las anteriores (Figura 3.7), con un valor medio de 3,2 % ($\pm 0,5$ %). El ancho del mallín ronda los 241,8 m ($\pm 144,3$ m) y las cotas varían entre los 255 y 188 msnm (Figura 3.8).

En ninguno de estos mallines se observaron rasgos manifiestos de erosión, cómo líneas de drenaje profundizadas ni escarpas.

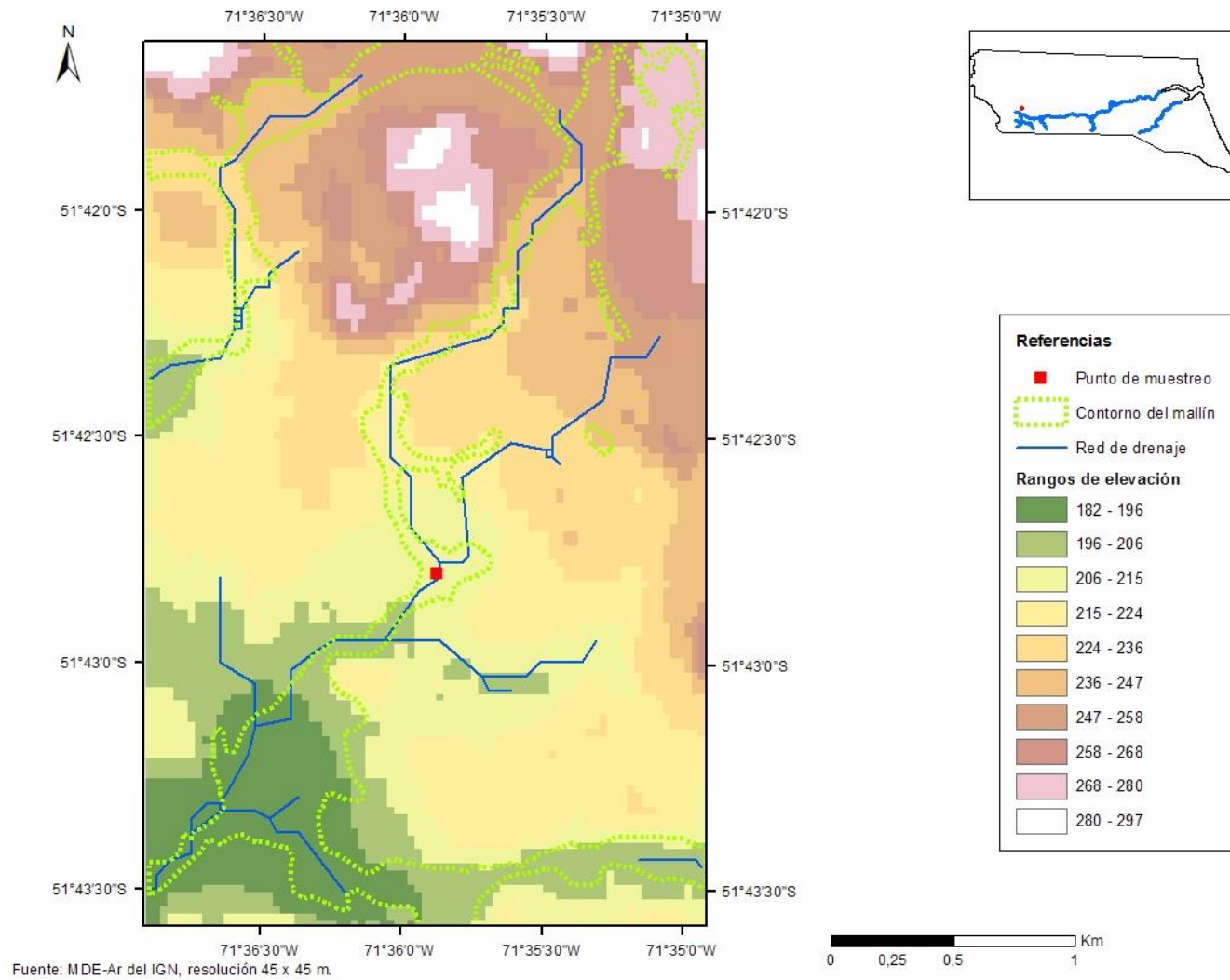


Figura 3.7. Modelo digital de elevación del mallín *El Chorrillo* y diseño de la red de drenaje. Fuente MDE-Ar 45 X 45 m IGN.

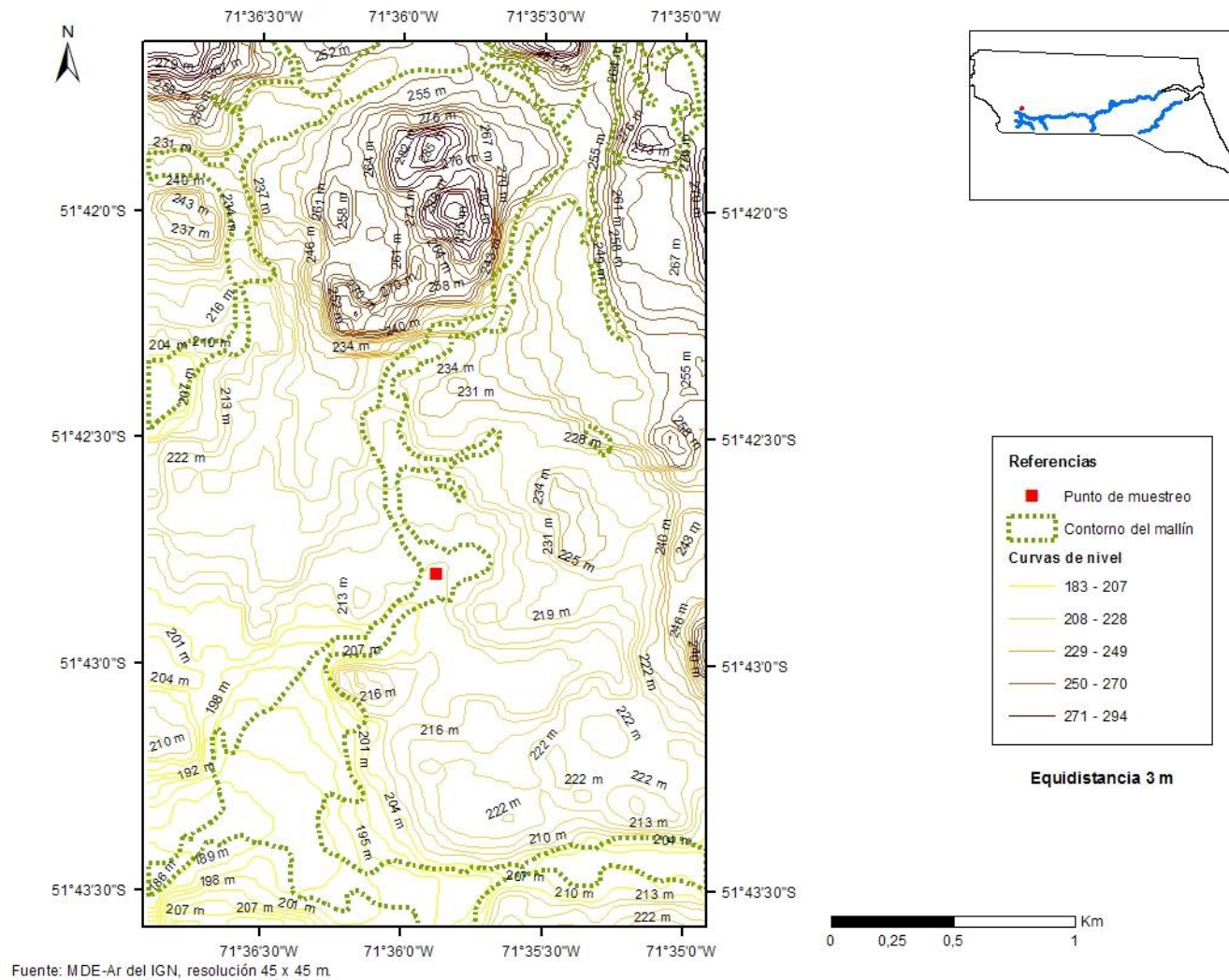
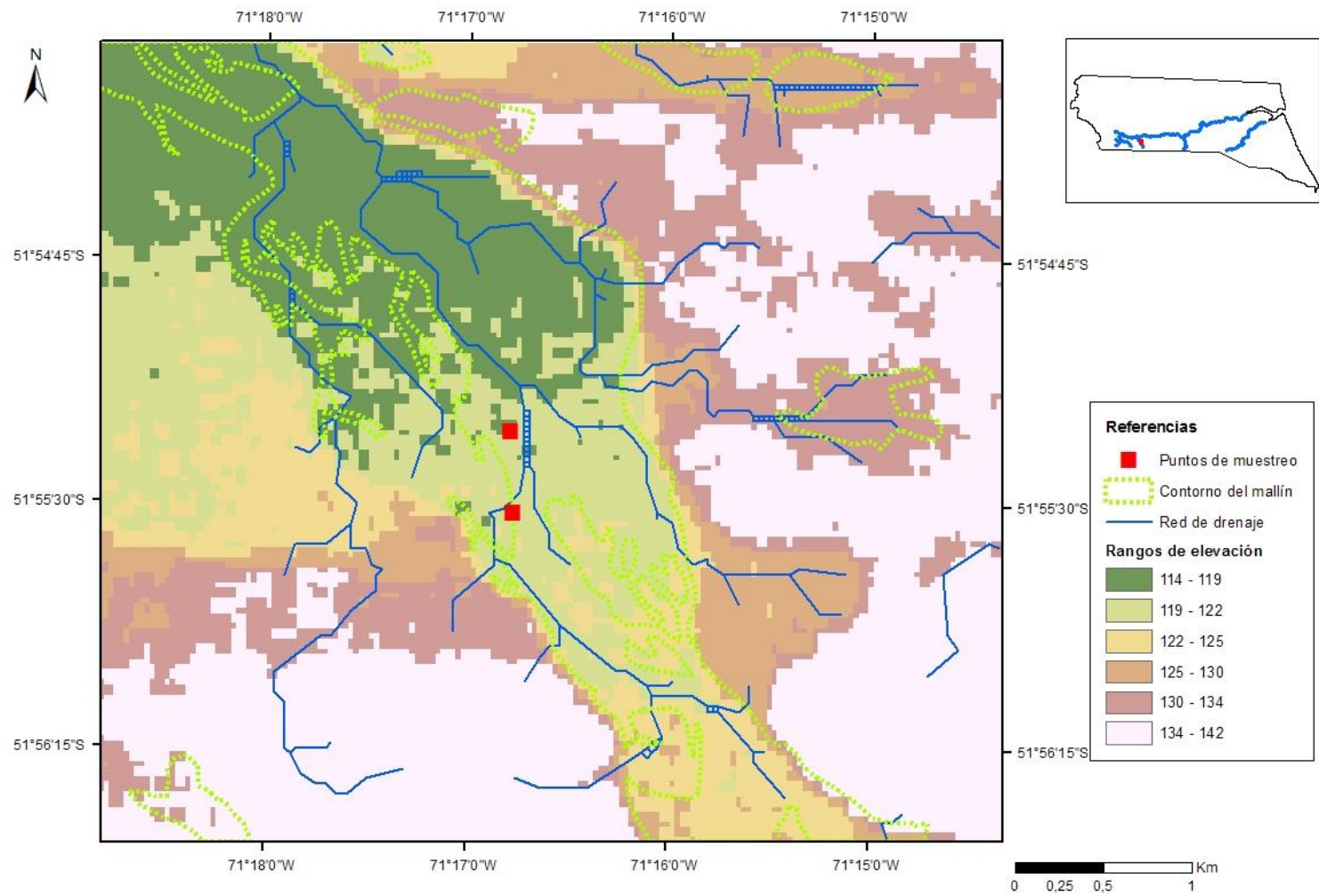


Figura 3.8. Topografía del mallín glacial El Chorrillo. Fuente MDE-Ar 45 X 45 m IGN.

3.3.1.2. Mallines fluviales

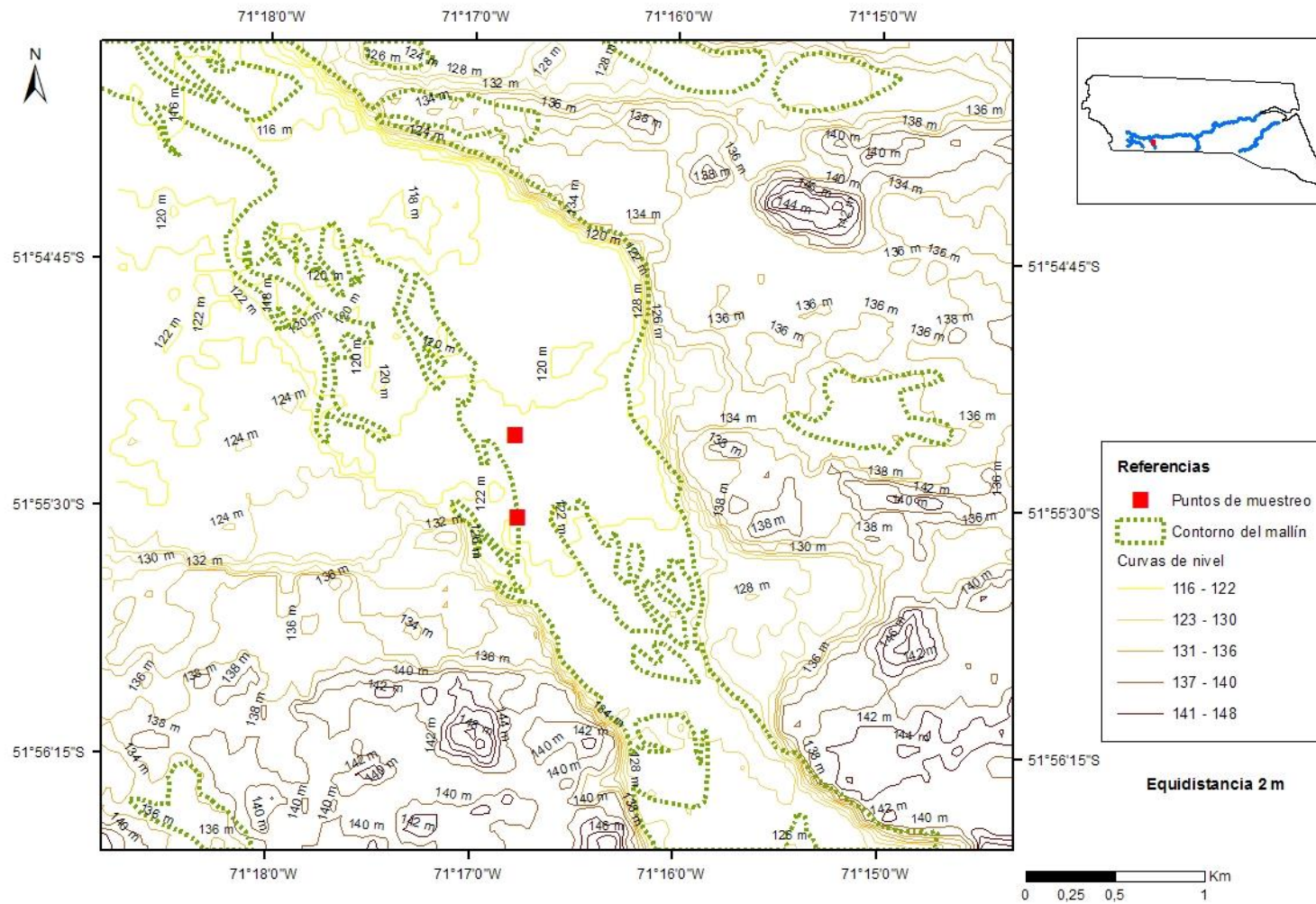
El mallín *El Zurdo* se localiza en la cuenca del río homónimo, el cual nace en Chile, en una zona pantanosa conformada por un grupo de pequeñas lagunas y recorre 80 km hasta desaguar en el río Gallegos (Niemeyer y Cereceda, 1984). Recorre sus últimos 20 km dentro del territorio argentino, en su mayor parte por una red de pequeños canales, en donde se sitúa el mallín de estudio. El paisaje está conformado por un conjunto de geoformas subglaciales de escaso relieve, en algunos casos alineados (Mazzoni, 2017).

El mallín tiene un ancho medio de 736 m ($\pm 445,1$ m). Las cotas están entre los 115 y 128 msnm (Figura 3.10) y la pendiente media es 1,2 % ($\pm 0,9$ %). La red de drenaje está conformada por pequeños tributarios que fluyen con diseño dendrítico hacia el cauce principal (Figura 3.9).



Fuente: MDE-Ar del IGN, resolución 45 x 45 m.

Figura 3.9. Modelo digital de elevación del mallín fluvial *El Zurdo* y diseño de la red de drenaje. Fuente MDE-Ar 45 X 45 m IGN.



Fuente: MDE-Ar del IGN, resolución 45 x 45 m.

Figura 3.10. Topografía del mallín fluvial *El Zurdo*. Fuente MDE-Ar 45 X 45 m IGN.

El mallín *Bella Vista* se encuentra dentro del establecimiento del mismo nombre. Se forma en la orilla del río Gallegos Chico que tiene sus nacientes en el cerrito La Pelecha, Chile. Este río recorre 70 km para desembocar en el río Gallegos (Niemeyer y Cereceda, 1984). Es un curso meandroso que circula lentamente por un gran valle entre mesetas basálticas. A medida que avanza en su recorrido se vuelve más abierto y en ciertos sectores llega a fluir como un río anastomosado (Figura 3.11).

En el sector delimitado para el estudio de este mallín, se observa una pronunciada pendiente que alcanza valores del 23,9 % entre el piso del valle y la estepa, con diferencias de altura del orden de los 40 metros. Con 660,7 m ($\pm 195,4$ m) de ancho este sector del mallín presenta alturas que van desde 108 a los 123 msnm con suaves pendientes, cuyo valor medio es de 1,8 % ($\pm 0,3$ %; Figura 3.12).

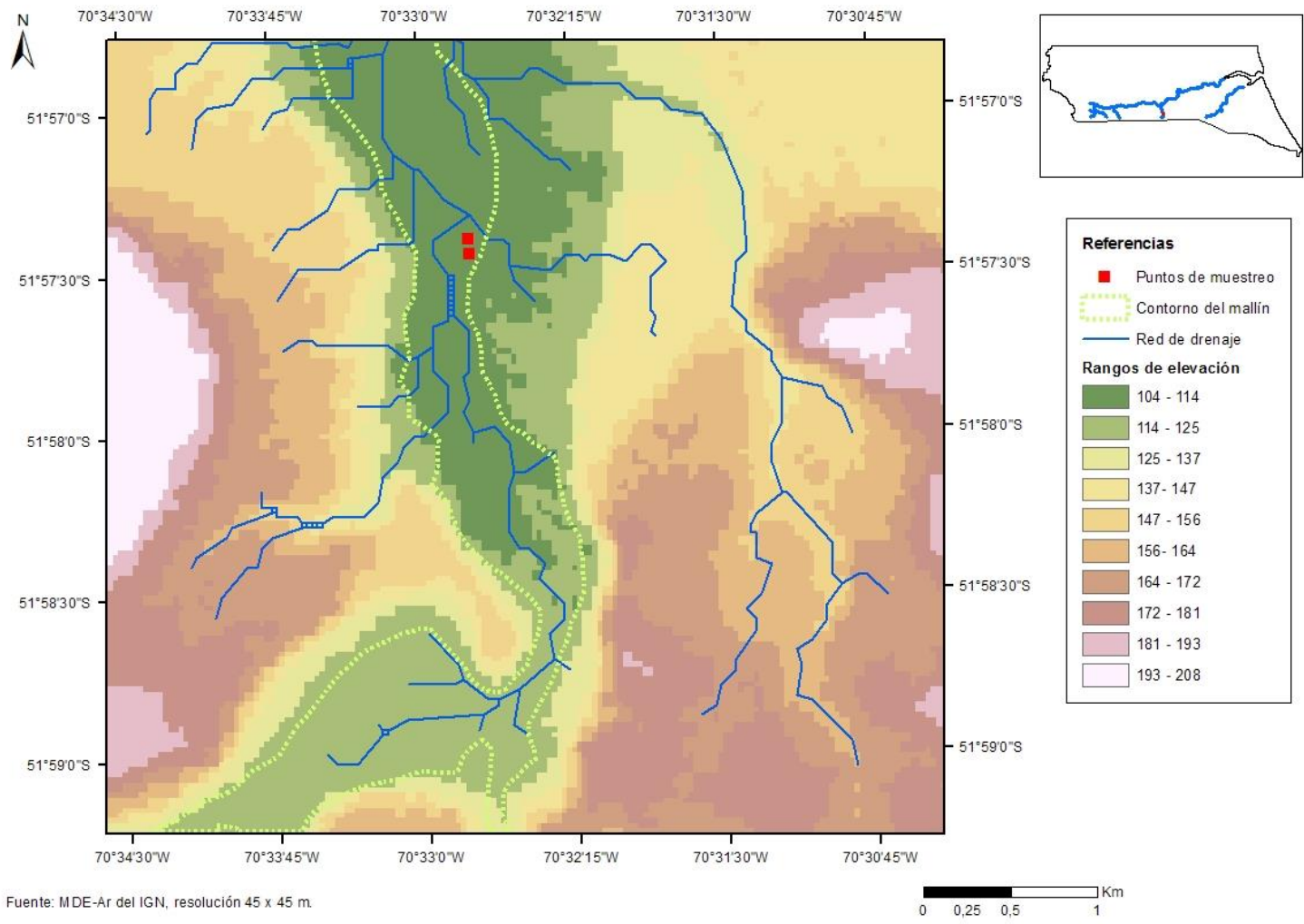


Figura 3.11. Modelo digital de elevación del mallín fluvial *Bella Vista* y diseño de la red de drenaje. Fuente MDE-Ar 45 X 45 m IGN.

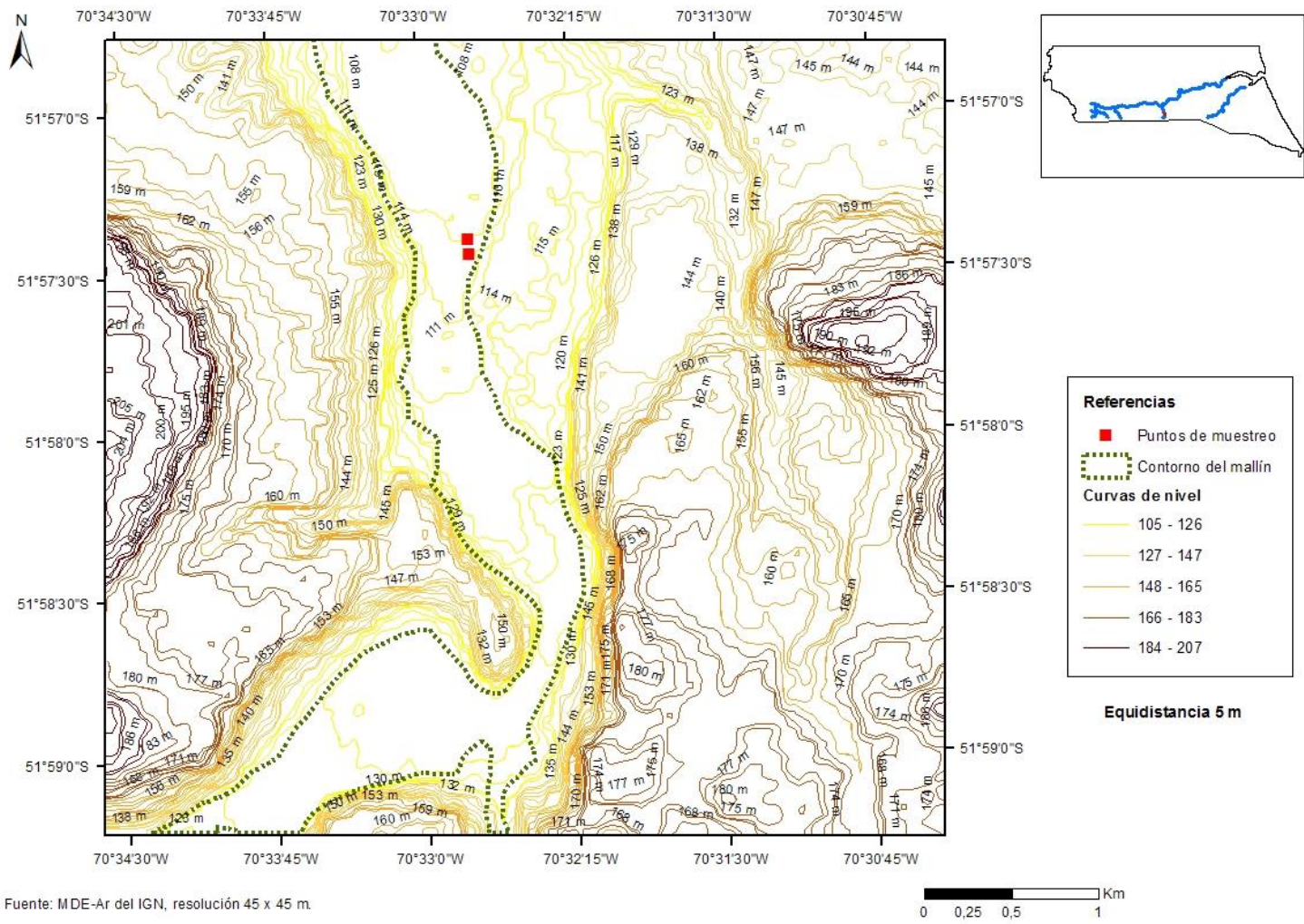


Figura 3.12. Topografía del mallín fluvial *Bella Vista*. Fuente MDE-Ar 45 X 45 m IGN.

El mallín *Pali Aike* se sitúa hacia el SE de *Bella Vista*, sobre el río Chico. Este curso de agua nace de un sistema de pequeñas lagunas en un terreno pantanoso y llano en el S de Chile. Tiene una longitud de 140 km, de los cuales 60 km fluyen por tierras argentinas. Es un curso meandroso de escaso caudal que atraviesa las mesetas basálticas. El valle se destaca por la amplitud de su planicie aluvial, que en algunos sectores supera los 3,5 km de ancho. Las mesetas que lo rodean alcanzan alturas superiores a los 30 m desde piso del valle, con pendientes muy marcadas (23,9 %) por la que escurre el agua superficial que desagua en los cursos pequeños, de flujo lento y disperso que irrigan una extensa superficie de mallines (Mazzoni y Vazquez, 2004) (Figura 3.13).

En el sector de estudio este mallín tiene un ancho de 1,3 km ($\pm 932,4$), en el cual se observan los efectos de la fuerza de arrastre del agua de deshielo, con la formación de barras transversales, canales y pequeñas cárcavas. Las alturas varían entre 85 y 66 msnm con pendientes de 0,9 % ($\pm 0,7$ %) (Figura 3.14).

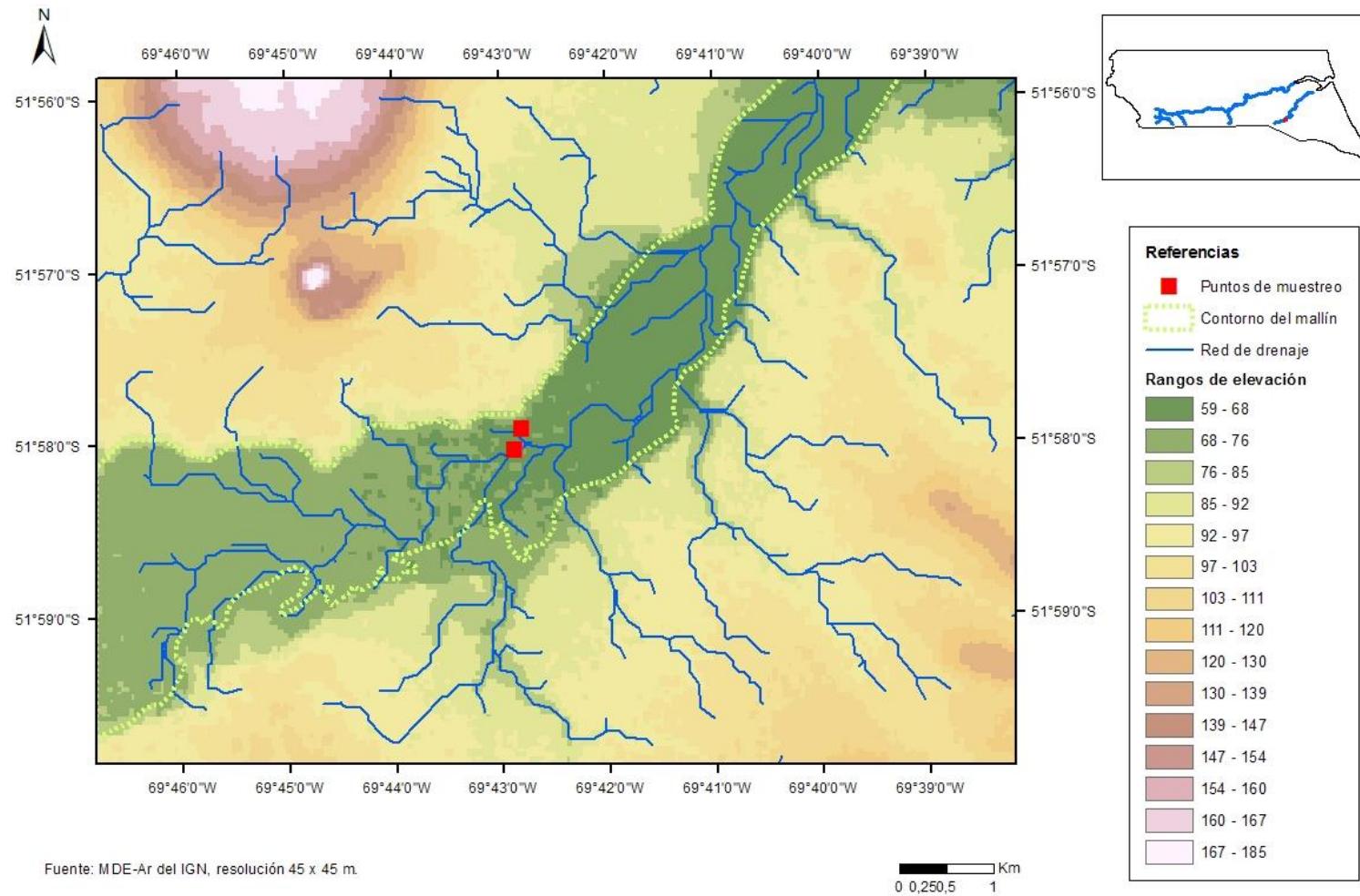


Figura 3.13. Modelo digital de elevación del mallín fluvial *Pali Aike* y diseño de la red de drenaje. Fuente MDE-Ar 45 X 45 m, IGN.

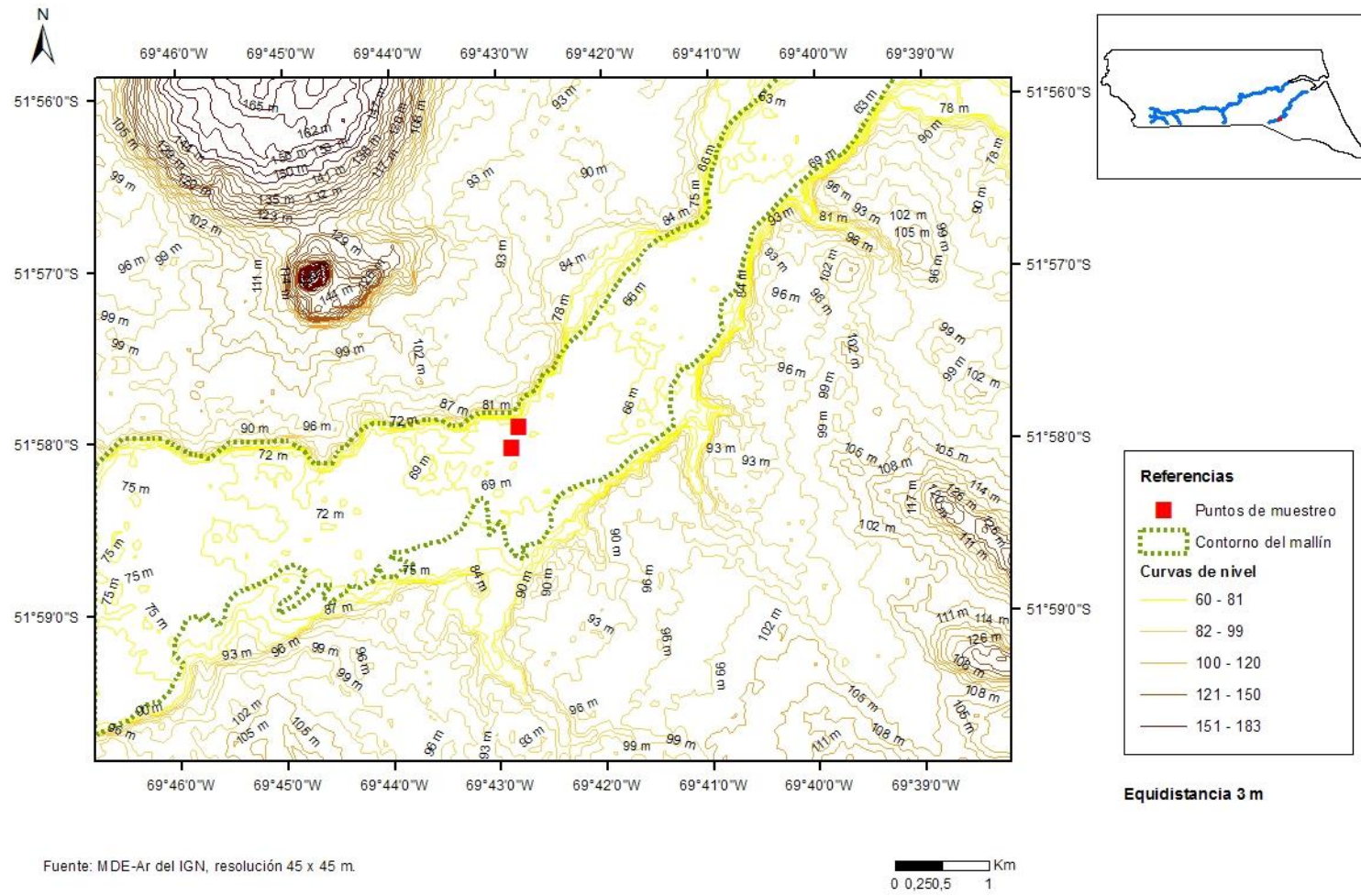


Figura 3.14. Topografía del mallín fluvial *Pali Aike*. Fuente MDE-Ar 45 X 45 m IGN.

3.3.2. Caracterización de la dinámica hídrica

3.3.2.1. Mallines glaciales

❖ Fluctuación de la napa freática

En el mes de diciembre del período 2010–2011, la napa del mallín *La Laguna* se encontraba a los 69 cm de profundidad, en las fechas posteriores del mismo período no se registró una gran fluctuación de la capa de agua. Esto no ocurrió durante la segunda temporada, en donde al inicio de las mediciones se registró la profundidad de la freática a los 26 cm y para el mes de diciembre del 2011 descendió hasta los 60 cm (Tabla 3.5).

Al inicio de la temporada 2011–2012 el agua de la freática se encontraba en la superficie del suelo en el mallín *El Morro*, descendiendo hasta el metro de profundidad en el mes de diciembre. A partir de marzo se observó el ascenso de la napa (Tabla 3.5).

En el mallín *El Chorrillo* la freática alcanzó su mayor profundidad durante el mes de marzo en ambos períodos. El inicio de la recarga se registró a partir del mes de mayo. La fluctuación de la napa freática fue menor en la segunda temporada, en donde varió entre los 0 cm y 6 cm de profundidad entre los meses de octubre y marzo (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Profundidad de la napa freática (cm) de los mallines glaciales para los períodos 2010/11 y 2011/12.

Temporada de crecimiento	Fecha de medición	La Laguna	EL Morro	El Chorrillo
2010-2011	<i>Dic-10</i>	69	-	13
	<i>Mar-11</i>	59	-	15
	<i>May-11</i>	60	-	3
2011-2012	<i>Oct-11</i>	26	0	0
	<i>Dic-11</i>	60	100	2
	<i>Mar-12</i>	59	10	6
	<i>May-12</i>	60	5	4

❖ Cambios en la humedad volumétrica (HuV) del suelo

En el mallín *La Laguna*, se registró el mayor porcentaje de humedad volumétrica del suelo (40,2%) cuando la napa freática se encontraba a los 60 cm, en el mes de diciembre de 2011. En el mallín *El Morro* no se observó una gran variación del porcentaje de humedad entre las medición de diciembre de 2011 y marzo de 2012 con profundidades de napa de 100 cm y 10 cm, respectivamente. En *El Chorrillo* se destaca el valor registrado durante el

mes de marzo de 2012, 74 % ($\pm 14,4\%$), que duplicó al valor observado en el mismo mes del año anterior (Tabla 3.6).

Tabla 3.6. Humedad volumétrica del suelo (0-30 cm) en mallines glaciales.

<i>Fecha de medición</i>	<i>La Laguna</i>		<i>EL Morro</i>		<i>El Chorrillo</i>	
	HuV (%)	EE	HuV (%)	EE	HuV (%)	EE
<i>Mar-11</i>	23,3	5,7	-	-	34,6	10,3
<i>May-11</i>	25,7	2,3	-	-	69,9	13,4
<i>Dic-11</i>	40,2	1,7	44,2	5,2	69,6	12,2
<i>Mar-12</i>	21,3	4,9	48,6	6,2	74,0	14,4

EE: error estándar.

3.3.2.2. Mallines fluviales

❖ Fluctuación de la napa freática

En el sector húmedo del mallín *El Zurdo*, la altura de la napa freática no tuvo mayores fluctuaciones durante el periodo 2010 – 2011, cuando permaneció en los primeros 30 cm del suelo. Esto no ocurrió en la segunda temporada, donde la napa alcanzó los 71,5 cm de profundidad en el mes de diciembre. Mientras que en el sector semihúmedo se encontró por debajo de los 50 cm en todas las fechas de medición (Tabla 3.7).

En el sector húmedo de *Bella Vista* la freática se encontró dentro de los 20 cm en ambas temporadas, principalmente en la superficie. En cambio, en el sector semihúmedo la napa no se encontró en la superficie en ninguna de las fechas de medición. Alcanzó la mayor profundidad en el mes de diciembre de los 2 periodos de estudio, siendo superior en la primera temporada (85 cm; Tabla 3.7).

En el periodo 2010 – 2011 la napa freática en el sector húmedo del mallín *Pali Aike* varió entre los 55 y 70 cm de profundidad (diciembre 2010 y mayo 2011, respectivamente); mientras que en la segunda temporada el agua se encontró en la superficie en el mes de octubre de 2011 y descendió hasta los 85 cm de profundidad en marzo del año siguiente. En el sector semihúmedo la freática se encontró a los 100 cm de profundidad la mayor parte del tiempo en ambos períodos (Tabla 3.7).

Tabla 3.7. Profundidad de la napa freática (cm) de los mallines fluviales para los períodos 2010/11 y 2011/12.

<i>Temporada de crecimiento</i>	<i>Fecha de medición</i>	<i>El Zurdo</i>		<i>Bella Vista</i>		<i>Pali Aike</i>	
		H	SH	H	SH	H	SH
2010–2011	<i>Dic-10</i>	31	50	0	85	55	100
	<i>Mar-11</i>	29	50	8	68	60	100
	<i>May-11</i>	19,5	50	0	50	70	100
2011–2012	<i>Oct-11</i>	10	50	0	38	0	46
	<i>Dic-11</i>	71,5	50	0	58	0,5	100
	<i>Mar-12</i>	36	50	0	51	85	100
	<i>May-12</i>	28	50	17	35	45	100

❖ **Cambios en la humedad volumétrica (HuV) del suelo**

En lo que respecta a la humedad volumétrica, el sector húmedo del mallín *El Zurdo* presentó mayores valores en marzo y mayo de 2011 con respecto a los registrados en los mismos meses del año siguiente (Tabla 3.8). Lo contrario ocurrió en el sector semihúmedo del mismo mallín, en donde los mayores porcentajes de humedad volumétrica ocurrieron en el segundo año (Tabla 3.9).

En el sector húmedo de *Bella Vista* se registraron valores de 56,1 % (± 7 %) y 65,6 % ($\pm 12,9$ %) para los meses de marzo y mayo de 2012, respectivamente, los cuales fueron superiores a los tomados en el periodo anterior (Tabla 3.8). Este mismo comportamiento se observó en el sector semihúmedo (Tabla 3.9).

Los registros del sector húmedo del mallín *Pali Aike* mostraron una tendencia semejante a la descrita para *Bella Vista* (Tabla 3.8). En el sector semihúmedo los valores del mes de marzo de ambos períodos fueron similares. En cambio la HuV sí mostró diferencias en el mes de mayo de ambos periodos para este sector, con un 28,6 % para mayo de 2011 y 12,9 % para el año 2012 (Tabla 3.9).

De los tres mallines fluviales en estudio, *Bella Vista* exhibió los mayores porcentajes de humedad volumétrica, lo cual se condice con las profundidades de napa registradas en este lugar.

Tabla 3.8. Humedad volumétrica del suelo (0-30 cm) en el sector húmedo de los mallines fluviales.

<i>Fecha de medición</i>	<i>EL Zurdo</i>		<i>Bella Vista</i>		<i>Pali Aike</i>	
	HuV (%)	EE	HuV (%)	EE	HuV (%)	EE
<i>mar-11</i>	36,5	6,3	43,6	5,2	18,6	8,4
<i>may-11</i>	54,6	4,9	61,9	10,9	32,4	5
<i>mar-12</i>	30	2,4	56,1	7	26	3
<i>may-12</i>	34,6	3,8	65,6	12,9	40	1,9

EE: error estándar.

Tabla 3.9. Humedad volumétrica del suelo (HuV) de 0-30 cm en el sector semihúmedo de los mallines fluviales.

<i>Fecha de medición</i>	<i>EL Zurdo</i>		<i>Bella Vista</i>		<i>Pali Aike</i>	
	HuV (%)	EE	HuV (%)	EE	HuV (%)	EE
<i>mar-11</i>	5,6	0,06	16,1	4,64	8	0,5
<i>may-11</i>	18,4	3,57	22,3	2,32	28,6	1,2
<i>mar-12</i>	10,7	1,76	38,2	0,48	8,9	0,6
<i>may-12</i>	31,8	2,18	40,4	1,16	12,9	0,5

EE: error estándar.

3.2.2.3. Relaciones: dinámica hídrica-ambiente geomorfológico y dinámica hídrica-sector

Tanto en los mallines glaciales como en los fluviales se observa que, a mayores valores de humedad volumétrica del suelo, mayor es la variación entre los registros (Tablas 3.6, 3.8 y 3.9). En el análisis de medidas repetidas de la HuV del suelo, se detectaron diferencias significativas entre las fechas de medición ($p = 0,0424$) pero no según el ambiente geomorfológico ($p = 0,9196$) (Figura 3.15). Asimismo, no se halló interacción entre el tiempo y el ambiente geomorfológico ($p = 0,1164$).

Los resultados obtenidos de la evaluación de la profundidad de la napa freática no permiten rechazar ninguna de las hipótesis nulas. No se detectó interacción entre el ambiente geomorfológico y el tiempo sobre la profundidad de la napa ($p = 0,3976$), como tampoco efecto del tiempo ($p = 0,8158$) y el ambiente geomorfológico ($p = 0,6822$).

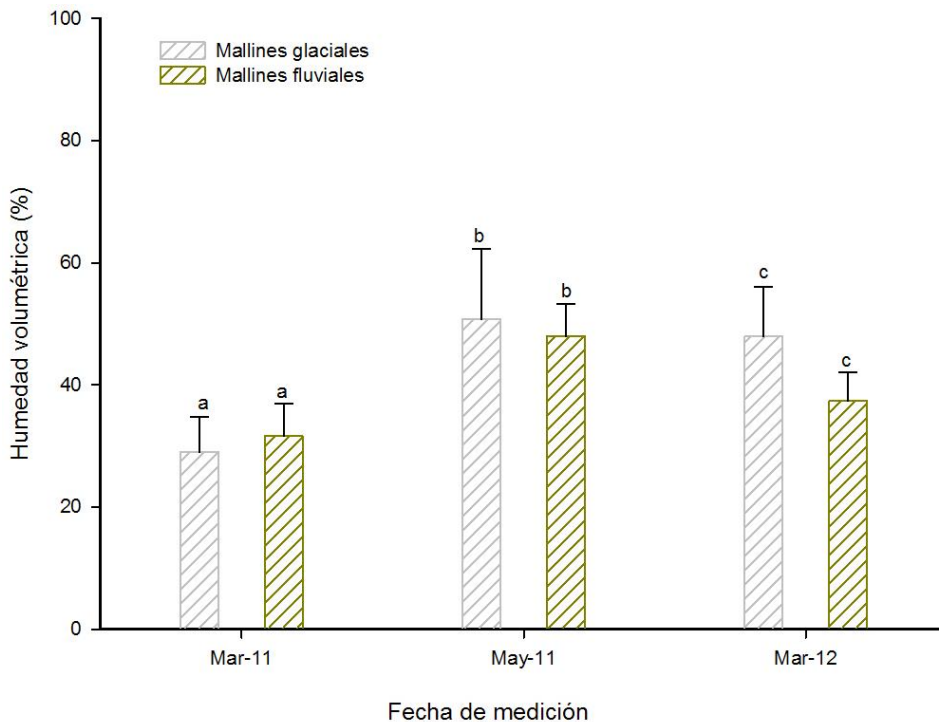


Figura 3.15. Humedad volumétrica del suelo media de mallines glaciales y fluviales. Letras distintas indican diferencias significativas y las barras negras el error estándar.

El análisis de los datos de los mallines fluviales arrojó diferencias significativas en la HuV del suelo entre fechas de medición ($p = 0,0017$) y entre sectores húmedos y semihúmedos ($p = 0,0036$). Mientras que, en la profundidad de napa freática solo se observaron diferencias significativas entre sectores ($p = 0,0101$). En ninguno de los dos casos se detectó interacción entre el tiempo y el sector ($p > 0,05$).

3.2.3. Caracterización de suelos

3.2.3.1. Mallines glaciales

La Laguna presenta un suelo con una secuencia O-A-C. Los horizontes superiores son de textura fina, tornándose gruesas en profundidad. El perfil del suelo es ligeramente salino (CE entre 0,5 y 3,5 m S/cm) y el pH cambia en los horizontes entre moderado a ligeramente ácido, llegando a muy ácido a los 51 cm de profundidad (Figura 3.16).

El contenido de MO de este mallín es muy alto en superficie, en los primeros 5 cm de suelo se registró el 18,1 % MO. Este porcentaje disminuye con la profundidad y alcanza el 1,4 % a los 35 cm. El mismo comportamiento se observa en el contenido de fósforo disponible y

nitrógeno total, que presentan una concentración de 43,22 ppm y 1,02 % m/m en los primeros 5 cm, y a partir de allí disminuyen bruscamente (Tabla 3.10).

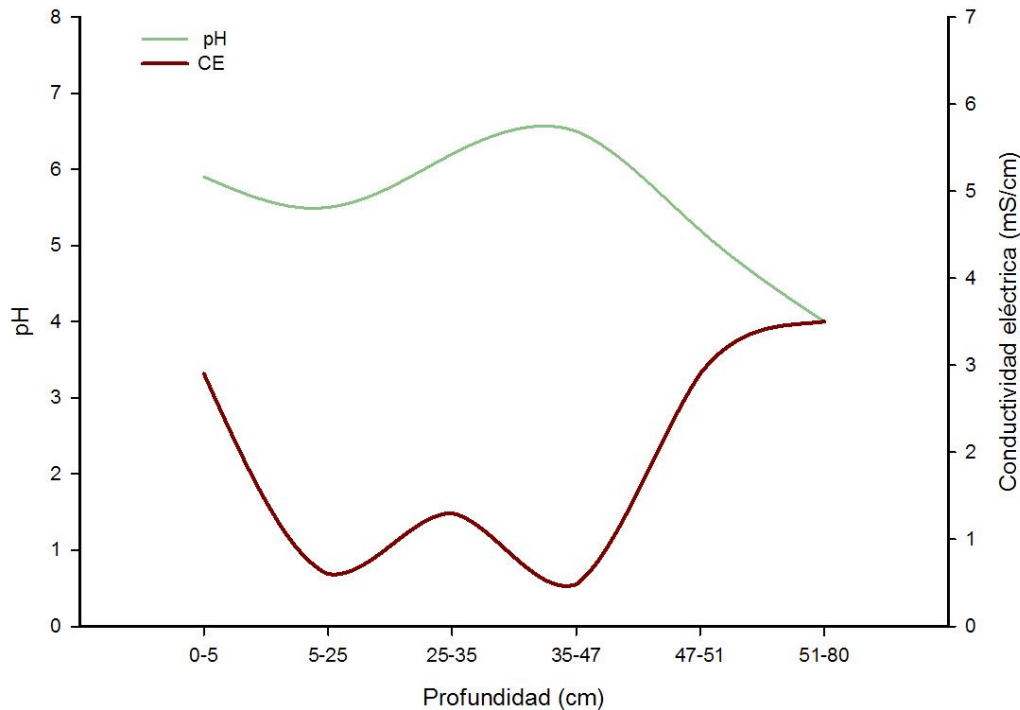


Figura 3.16. pH y CE del perfil de suelo del mallín glacial *La Laguna*.

El suelo de *La Laguna* se describió como Cryaquents hístico (Figura 3.17):

- O 0 – 5 cm; negro (10 YR 2/1) en húmedo; gris muy oscuro (10 YR 3/1) en seco; migajosa muy fina débil; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; ligeramente duro en seco; raíces finas y muy finas abundantes.
- A₁ 5 – 25 cm; negro (10 YR 2/1) en húmedo; gris (10 YR 5/1) en seco; franco limoso; bloques angulares muy finos moderados; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; ligeramente duro en seco; raíces finas comunes y raíces muy finas escasas.
- 2C₁ 25 – 35 cm; negro (2,5 Y 2,5/1) en húmedo; blanco (2,5 Y 8/1) en seco; franco limoso; bloques angulares muy finos moderados; muy plástico y muy adhesivo; duro en seco; moteados abundantes; raíces finas y muy finas escasas.
- 3C₂ 35 – 47 cm; pardo amarillento claro (10 YR 6/4) en húmedo; pardo muy pálido (10 YR 8/2) en seco; franco limoso; bloques muy finos

moderados; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; extremadamente duro en seco; moteados abundantes; raíces finas y muy finas escasas.

4C₃ 47 – 51 cm; pardo grisáceo (2,5 Y 5/2) en húmedo; gris (2,5 Y 6/1) en seco; franco arenoso; bloques fino fuerte; muy plástico y muy adhesivo; extremadamente duro en seco; moteados abundantes; raíces finas y muy finas escasas.

5C₄ 51 – 80 cm; gris verdoso oscuro (4/10 Y) en húmedo; gris verdoso (5/10 Y) en seco; arenoso franco; migajosa fina moderada; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; extremadamente duro en seco.

W 80+ cm; napa freática.



Figura 3.17. Perfil de suelo del mallín glacial *La Laguna*.

La secuencia encontrada en el suelo del mallín *El Morro* es O-A, con texturas finas. El perfil del suelo es moderadamente ácido y muy ligeramente salino. A diferencia de lo observado en el mallín *La Laguna*, el pH y la CE varían muy poco con la profundidad (Figura 3.18).

Los contenidos de MO (4,8 %) y P_d (2,58 ppm) en superficie son mucho más bajos a los obtenidos en *La Laguna*. La concentración de N_t calculada para el estrato superficial de este mallín fue de 3,75 %m/m, triplicando a la encontrada en el mallín antes descrito. Tanto el fósforo disponible como el nitrógeno total disminuyen con la profundidad (Tabla 3.10).

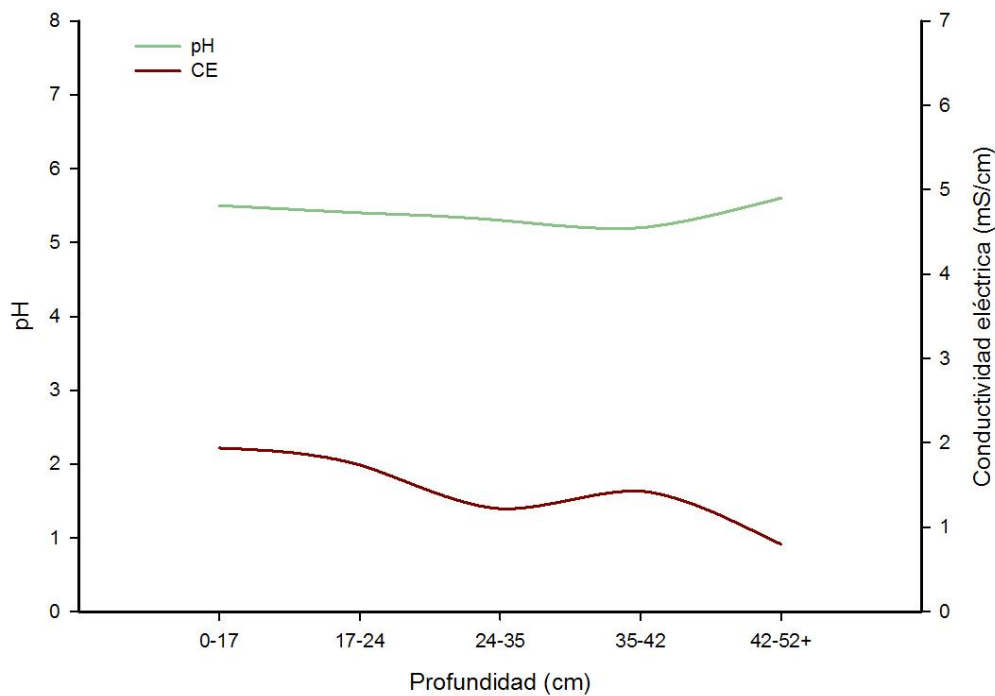


Figura 3.18. pH y CE del perfil de suelo del mallín glacial *El Morro*.

El Morro presenta un suelo Cryaquents típico (Figura 3.19) compuesto por:

- O 0 – 17 cm; negro (10 YR 2/1) en húmedo; gris muy oscuro (10 YR 3/1) en seco; granular fino débil; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; ligeramente duro en seco; raíces finas y muy finas abundantes; límite plano y brusco.
- A 17 – 24 cm; gris muy oscuro (10 YR 3/1) en húmedo; pardo (10 YR 3/2) en seco; franco limo arcilloso; bloques angulares muy finos débiles; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; duro en seco; raíces finas y muy finas comunes; límite plano y brusco.
- A₁ 24 – 35 cm; pardo muy oscuro (10 YR 2/2) en húmedo; gris oscuro (10 YR 4/1) en seco; franco limoso; bloques angulares finos débiles; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; extremadamente duro en seco; raíces finas y muy finas comunes; límite plano y brusco.
- A₂ 35 – 42 cm; negro (10 YR 2/1) en húmedo; pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) en seco; franco; granos finos débiles; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; extremadamente duro en seco; raíces finas y muy finas comunes; límite plano y brusco.

- A₃ 42 – 52 cm; negro (10YR 2/1) en húmedo; gris oscuro (10 YR 4/1) en seco; franco; bloques fino débil; plástico y ligeramente adhesivo; duro en seco; raíces finas y muy finas comunes; límite plano y brusco.
- W 52+ cm; napa freática.



Figura 3.19. Perfil de suelo del mallín glacial *El Morro*.

La textura del suelo del mallín *El Chorrillo* aumenta su finura con la profundidad. Presenta una secuencia O-A-C, con un perfil neutro de salinidad media (Tabla 3.10). Al igual que en el mallín *El Morro*, el pH cambia levemente con la profundidad (Figura 3.20).

El contenido de MO en superficie es de 17,5 %, similar al encontrado en *La Laguna*, mientras que las concentraciones de nitrógeno total y fósforo disponible se asemejan a los del mallín *El Morro*, con valores de 3,86 % m/m y 2,79 ppm, respectivamente. Todos estos valores disminuyen con la profundidad (Tabla 3.10).

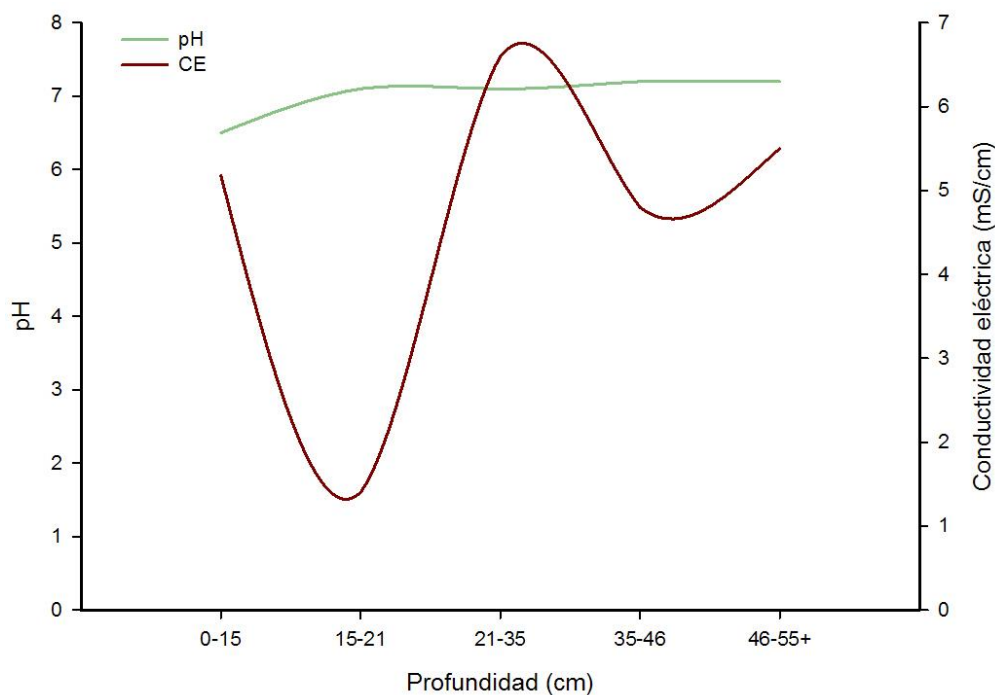


Figura 3.20. pH y CE del perfil de suelo del mallín glacial *El Chorrillo*.

El suelo en el que se emplaza *El Chorrillo* se describió como Cryaquents hístico (Figura 3.21):

- O 0 – 15 cm; negro (10 YR 2/1) en húmedo; pardo (10 YR 3/2) en seco; migajosa muy fina débil; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; blando en seco; raíces finas y muy finas abundantes; límite ondulado y neto.
- AC 15 – 21 cm; negro (10 YR 2/1) en húmedo; gris oscuro (10 YR 4/1) en seco; franco limoso; migajosa mediana débil; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; duro en seco; raíces finas y muy finas abundantes; límite plano y brusco.
- 2C₁ 21 – 35 cm; gris oscuro (10 YR 4/1) en húmedo; gris (10 YR 5/1) en seco; franco arcilloso; bloques finos moderados; muy plástico y ligeramente adhesivo; extremadamente duro en seco; raíces finas y muy finas abundantes; límite plano y brusco.
- 3C₂ 35 – 46 cm; pardo amarillento claro (2,5 Y 6/4) en húmedo; amarillo pálido (2,5 Y 7/3) en seco; franco arcilloso; bloques finos moderados; muy plástico y ligeramente adhesivo; extremadamente duro en seco; moteados abundantes; raíces finas y muy finas comunes; límite plano y brusco.

- 4C₃ 46 – 55 cm; gris pardusco claro (2,5 Y 6/2) en húmedo; amarillo pálido (2,5 Y 7/3) en seco; franco arcilloso; bloques fino moderado; muy plástico y muy adhesivo; extremadamente duro en seco; raíces finas y muy finas escasas; presencia de gravas y gravillas; límite plano y brusco.
- W 55+ cm; napa freática.



Figura 3.21. Perfil de suelo del mallín glacial *El Chorrillo*.

En los tres mallines glaciales las concentraciones de Ca y Mg son muy altas a lo largo de todo el perfil, superando en la mayoría de los horizontes los 11 meq/100g. En el caso del Na, el mayor contenido se encontró en el perfil de *El Chorrillo*, con valores que varían entre 2,3 y 1,3 meq/100g (Tabla 3.10).

Tabla 3.10. Características físicas y químicas de los perfiles de suelo de los mallines glaciales.

Mallín	Sector	Clasificación	Horizonte	Profundidad (cm)	Granulometría (%)			Clase Textural	pH	CE (mS/cm)	Cationes intercambiables (meq/100g)				%CO	%MO	N _t (% m/m)	P _d (ppm)
					Arena	Limo	Arcilla				Ca	Mg	K	Na				
La Laguna	H	Cryaquents hístico	O	0-5					5,9	2,9	24,2	9,3	1,8	3,0	10,5	18,1	1,02	43,22
			A ₁	5-25	32	62	6	Franco limoso	5,9	0,6	19,0	7,6	0,2	0,2	4,8	8,2	0,05	3,93
			2C ₁	25-35	25	53	22	Franco limoso	6,2	1,3	16,4	7,1	0,2	0,2	0,8	1,4	0,08	1,61
			3C ₂	35-47	38	56	6	Franco limoso	6,5	0,5	4,0	1,5	0,2	0,1	ND	ND	0,05	1,02
			4C ₃	47-51	51	32	17	Franco arenoso	5,2	2,9	5,1	2,0	0,2	0,2	ND	ND	0,10	2,07
			5C ₄	51-80	81	17	3	Arenoso franco	4,0	3,5	26,7	7,2	0,3	1,0	ND	ND	0,87	1,80
El Morro	H	Cryaquents típico	O	0-17					5,5	1,9	19,0	7,9	0,4	0,2	2,8	4,8	3,75	2,58
			A	17-24	19	41	39	Franco limo arcilloso	5,4	1,7	19,7	7,6	0,4	0,4	ND	ND	2,69	4,01
			A ₁	24-35	14	57	28	Franco limoso	5,3	1,2	18,6	6,6	0,4	0,3	ND	ND	2,41	1,67
			A ₂	35-42	41	48	11	Franco	5,2	1,4	11,5	3,2	0,2	0,4	ND	ND	1,99	1,16
			A ₃	42-52+	37	45	16	Franco	5,6	0,8	17,5	6,6	0,2	0,3	ND	ND	0,41	1,77
EL Chorrillo	H	Cryaquents hístico	O	0-15					6,5	5,2	22,7	10,1	0,2	2,3	10,2	17,5	3,86	2,79
			AC	15-21	37	57	6	Franco limoso	7,1	1,4	22,3	6,1	0,1	1,7	6,1	10,6	0,84	0,44
			2C ₁	21-35	37	31	32	Franco arcilloso	7,1	6,6	15,3	5,1	0,1	2,1	0,5	0,8	0,06	0,95
			3C ₂	35-46	43	28	29	Franco arcilloso	7,2	4,8	15,0	4,7	0,1	1,3	ND	ND	0,04	1,67
			4C ₃	46-55+	27	36	37	Franco arcilloso	7,2	5,5	15,3	5,6	0,1	1,5	ND	ND	0,05	2,18

ND: no determinado; CE: conductividad eléctrica; %CO: porcentaje de carbono orgánico; %MO: porcentaje de materia orgánica; N_t: nitrógeno total; P_d: fósforo disponible.

3.2.3.2. Mallines fluviales

En el sector húmedo del mallín *El Zurdo* el suelo presentó una secuencia A-C, con textura fina (Tabla 3.11). En los primeros centímetros el perfil del suelo es neutro y se torna moderadamente ácido con la profundidad. En el horizonte superior del perfil se registró un valor de CE de 5 mS/cm, lo cual indica salinidad media; estos valores disminuyen con la profundidad (Figura 3.22).

En el horizonte A se registró el 21,1 % de MO y altas concentraciones de nitrógeno total y fósforo disponible. El contenido de N_t fluctúa entre 2,92 y 0,64 % m/m a medida que aumenta la profundidad del perfil; lo mismo ocurre con la concentración de P_d que varía entre 7,95 y 1,77 ppm (Tabla 3.11).

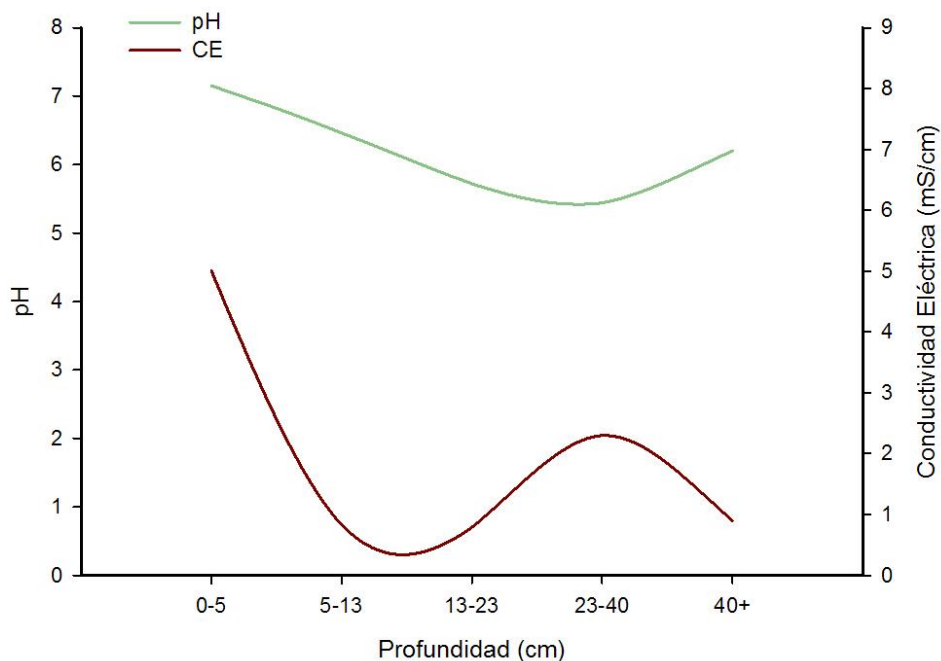


Figura 3.22. pH y CE del perfil de suelo del sector húmedo del mallín fluvial *El Zurdo*.

El suelo en este sector del mallín se clasifica como Fluvaquents típico:

- A 0 – 5 cm; pardo muy oscuro (7,5 YR 2,5/2) en húmedo; pardo oscuro (7,5 YR 3/3) en seco; franco; sin estructura; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; suelto en seco; raíces finas y muy finas abundantes; límite plano y brusco.
- AC 5 – 13 cm; pardo muy oscuro (7,5 YR 2,5/2) en húmedo; pardo (7,5 YR 4/2) en seco; franco; sin estructura; ligeramente plástico y

	ligeramente adhesivo; blando en seco; raíces finas y muy finas abundantes; límite ondulado y brusco.
2C ₁	13 – 23 cm; pardo muy oscuro (7,5 YR 2,5/2) en húmedo; pardo (7,5 YR 4/2) en seco; franco arenoso; sin estructura; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; blando en seco; moteados escasos; raíces finas y muy finas comunes; límite ondulado y brusco.
3C ₂	23 – 40 cm; pardo muy oscuro (7,5 YR 2,5/2) en húmedo; gris muy oscuro (7,5 YR 3/1) en seco; franco; sin estructura; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; blando en seco; raíces finas y muy finas comunes; límite plano y neto.
4C ₃	40 cm; gris muy oscuro (10 YR 3/1) en húmedo; gris (10 YR 6/1) en seco; franco limo arcilloso; bloques angulares moderados; muy plástico y adhesivo; extremadamente duro en seco; raíces finas y muy finas comunes.
W	40+ cm; napa freática.

En el sector semihúmedo de *El Zurdo* se encontró una secuencia A-C en el perfil de suelo (Tabla 3.11). El pH varió entre 5,8 y 7,1, disminuyendo la acidez con el incremento de la profundidad (Figura 3.23), contrario a lo que ocurre en el sector húmedo. En este perfil de muy ligera salinidad se registraron valores de CE de 1,3 a 0,3 mS/cm, desde la superficie a los 47 cm de profundidad (Figura 3.23; Tabla 3.9).

En el horizonte superior de este sector se registró el 8,4 % de MO y el 0,68 % m/m de nitrógeno total, 2,5 y 4 veces inferior al registrado en el húmedo, respectivamente. Mientras que la concentración de fósforo disponible se duplicó en el sector semihúmedo (14,96 ppm de P_d). Tanto el N_t como el P_d merman con la profundidad (Tabla 3.11).

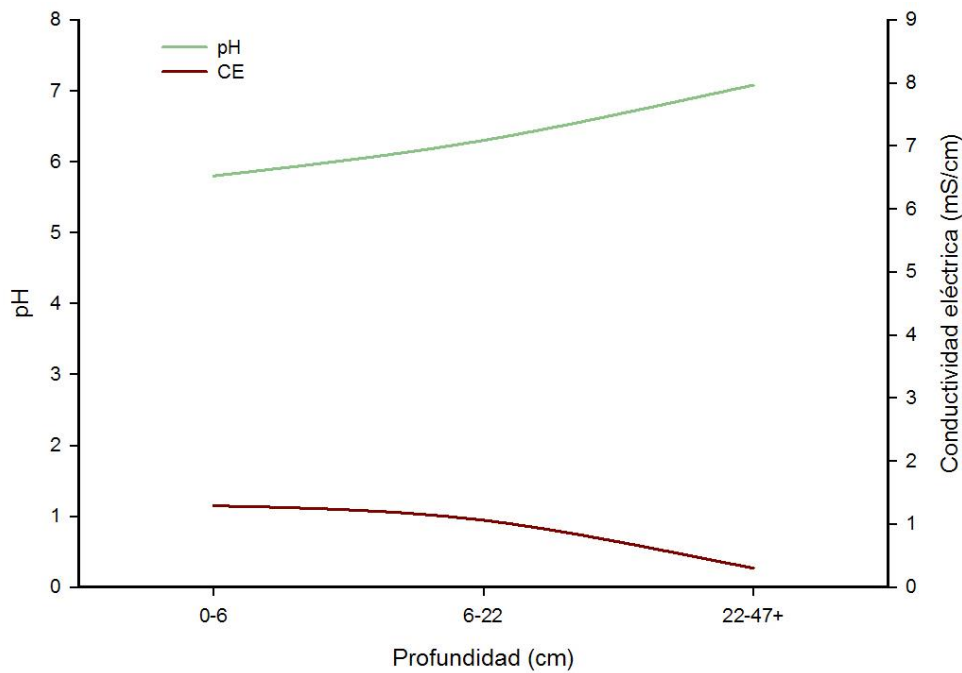


Figura 3.23. pH y CE del perfil de suelo del sector semihúmedo del mallín fluvial *El Zurdo*.

El suelo del sector semihúmedo del mallín *El Zurdo*, al igual que el húmedo, se clasificó como Fluvaquents típico

- A 0 – 6 cm; pardo muy oscuro (7,5 YR 2,5/2) en húmedo; gris oscuro (10 YR 4/1) en seco; franco arenoso; sin estructura; suelto en seco; raíces finas y muy finas abundantes; límite plano y brusco.
- 2C₁ 6 – 22 cm; pardo oscuro (7,5 YR 3/2) en húmedo; gris oscuro (7,5 YR 4/1) en seco; franco arenoso; granular débil; suelto en seco; raíces finas y muy finas abundantes; abundantes gravas y gravillas; límite ondulado y gradual.
- 3C₂ 22 – 47+ cm; pardo oscuro (7,5 YR 3/3) en húmedo; gris oscuro (10 YR 4/1) en seco; franco arenoso; granular débil; suelto en seco; raíces finas y muy finas escasas; al igual que en la capa anterior abundantes gravas y gravillas que aumentan de tamaño con la profundidad.

Bella Vsita, en el sector semihúmedo, presenta una secuencia A-C de textura fina en las capas superficiales, tornándose más gruesa con la profundidad (Tabla 3.11). Este mallín tiene un perfil de suelo neutro con valores de pH que varían entre 6,6 a 7,5 y a medida que se profundiza, la alcalinidad se incrementa. La CE permanece prácticamente igual a lo largo de todo el perfil, manteniéndose entre 0,2 y 0,4 mS/cm (Figura 3.24).

El contenido de MO en los primeros 5 cm de suelos fue de 15,5 %, similar al registrado en el sector húmedo de *El Zurdo*. La concentración de N_t baja de 1,89 a 1,39 % m/m entre la superficie y los 13 cm de profundidad del perfil de suelo, a partir de este punto se observa una caída brusca en el contenido de nitrógeno total hasta los 59 cm del perfil, donde la concentración es de 0,03 % m/m. Lo mismo ocurre con el fósforo disponible, el cual fluctúa entre 36,9 y 15,68 ppm en los 13 cm superficiales de suelo y luego disminuye a 1,47 ppm a los 59 cm de profundidad (Tabla 3.11).

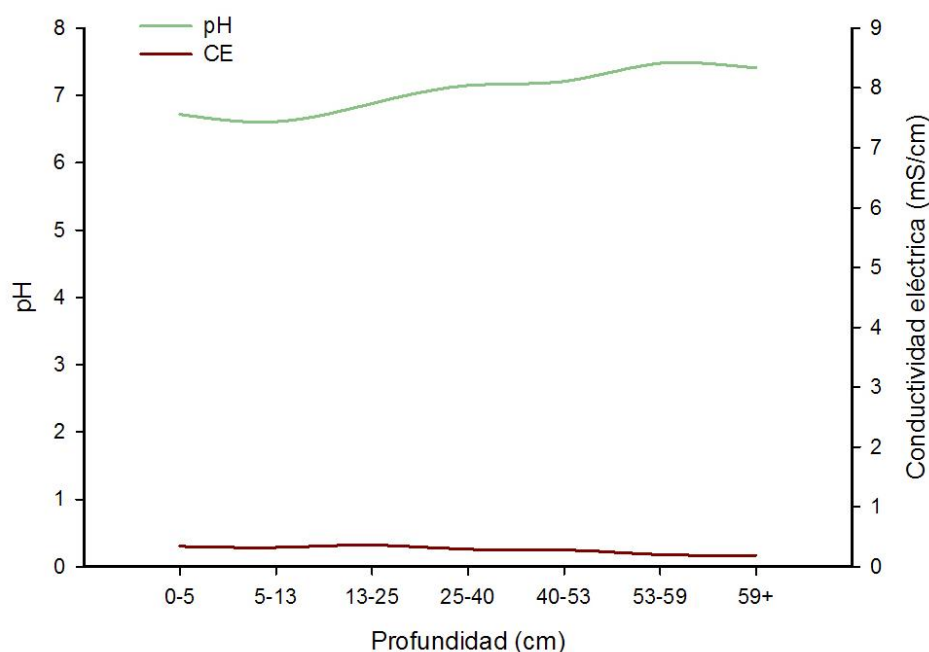


Figura 3.24. pH y CE del perfil de suelo del sector semihúmedo del mallín fluvial *Bella Vista*.

El perfil descrito para este mallín corresponde a un suelo Cryaquents hístico (Figura 3.25), que se caracteriza por:

- A 0 – 5 cm; pardo (10 YR 3/2) en húmedo; pardo (10 YR 3/2) en seco; migajosa franco arcilloso; raíces finas y muy finas abundantes; límite claro y abrupto.
- A₁ 5 – 13 cm; pardo (10 YR 3/2) en húmedo; gris muy oscuro (10 YR 3/1) en seco; franco arcilloso; granular; raíces finas y muy finas comunes; límite claro y abrupto.
- 2C₁ 13 – 25 cm; negro (10 YR 2/1) en húmedo; pardo muy oscuro (10 YR 2/2) en seco; franco arcilloso; migajosa; raíces finas y muy finas escasas

3C ₂	25 – 40; negro (10 YR 2/1) en húmedo; gris muy oscuro (7,5 YR 3/1) en seco; franco arcillo arenoso; límite claro y abrupto.
4C ₃	40 – 53 cm; negro (10 YR 2/1) en húmedo; gris oscuro (7,5 YR 4/1) en seco; franco limoso; límite claro y abrupto.
5C ₄	53 – 59 cm; gris (2,5 Y 4/1) en húmedo; gris verdoso (6/10 Y Gley) en seco; franco arenoso; moteado escaso que aumenta con la profundidad.
W	59+ cm; napa freática.



Figura 3.25. Perfil de suelo del mallín fluvial *Bella Vista*.

Finalmente, en el sector semihúmedo del mallín *Pali Aike*, se observó una secuencia A-C de textura fina que se vuelve gruesa en los últimos cm del perfil del suelo (Tabla 3.11). Se trata de un suelo ligera a moderadamente salino, con conductividades eléctricas entre 1,2 y 4,9; los valores más altos se encuentran en los últimos horizontes del perfil. El pH aumentó de 6,4 en la capa superficial a 6,8 en los 87 cm de profundidad del perfil, a partir de este punto comenzó a disminuir nuevamente (Figura 3.26).

El contenido de materia orgánica, nitrógeno total y fósforo disponible fue más alto en el horizonte A, con concentraciones de 10,6 %, 0,60 % m/m y 9,82 ppm, respectivamente.

Desde los 41 cm de profundidad (horizonte C) estos valores descienden bruscamente (Tabla 3.11).

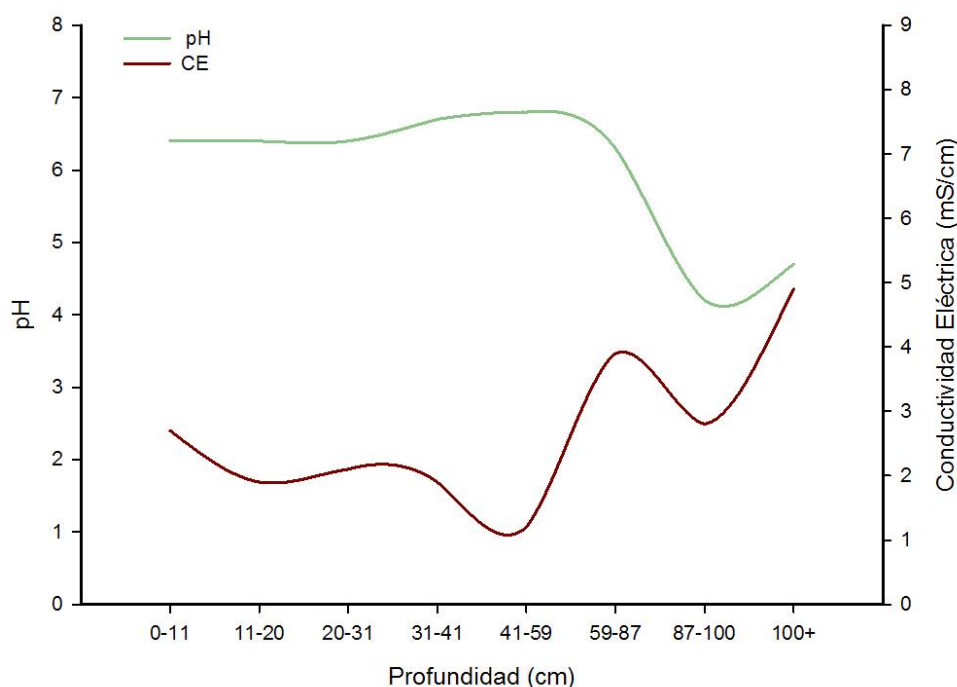


Figura 3.26. pH y CE del perfil de suelo del sector semihúmedo del mallín fluvial *Pali Aike*.

El suelo de este mallín se denominó Cryofluvents ácuico en función de las características del perfil descrito (Figura 3.27):

- A 0 – 11 cm; negro (10 YR 2/1) en húmedo; gris muy oscuro (10 YR 3/1) en seco; franco limoso; ligeramente plástico y no adhesivo; suelto en seco; raíces finas y muy finas abundantes; límite claro y suave.
- A₁ 11 – 20 cm; negro (10 YR 2/1) en húmedo; gris muy oscuro (10 YR 3/1) en seco; limoso; bloques finos y medios moderada; ligeramente plástico y no adhesivo; raíces finas comunes y raíces muy finas abundantes; límite claro y suave.
- A₂ 20 – 31 cm; negro (10 YR 2/1) en húmedo; pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en seco; limoso; bloques finos y muy finos débil; ligeramente plástico y no adhesivo; raíces finas comunes y raíces muy finas abundantes; límite claro y suave.
- 2C₁ 31 – 41 cm; negro (10 YR 2/1) en húmedo; gris oscuro (10 YR 4/1) en seco; limoso; prismática fina media y gruesa; ligeramente plástico y

ligeramente adhesivo; extremadamente duro en seco; raíces finas abundantes y raíces muy finas comunes; límite claro y suave.

- 3C₂ 41 – 59 cm; pardo pálido (10 YR 6/3) en húmedo; gris claro (10 YR 7/2) en seco; franco limoso con presencia de gravillas; bloques finos y medios; duro en seco; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; moteados abundantes; raíces finas y muy finas muertas; límite abrupto y suave.
- 4C₃ 59 – 87 cm; negro (10 YR 2/1) en húmedo; gris oscuro (10 YR 4/1) en seco; arcilloso a arcillo limoso; prismática fina, media y gruesa; extremadamente duro en seco; plástico y muy adhesivo; moteados escasos; raíces finas y muy finas muertas; límite claro y ligeramente ondulado.
- 5C₄ 87 – 100 cm; pardo grisáceo (10 YR 5/2) en húmedo; gris (10 YR 6/1) en seco; arcilloso; prismática media y gruesa; extremadamente duro en seco; plástico y muy adhesivo; moteados abundantes; raíces finas y muy finas muertas; límite claro y suave.
- 6C₅ 100 +; pardo grisáceo (10 YR 5/2) en húmedo; gris (10 YR 6/1) en seco; arcilloso a arcillo arenoso con presencia de grabas y gravillas; prismática fina y media; extremadamente duro en seco; plástico y muy adhesivo; moteados abundantes; raíces muertas.



Figura 3.27. Perfil de suelo del sector semihúmedo del mallín fluvial *Pali Aike*.

Tabla 3.11. Características físicas y químicas de los perfiles de suelo de los mallines fluviales.

Mallín	Sector	Clasificación	Horizonte	Profundidad (cm)	Granulometría (%)			Clase Textural	pH	CE (mS/cm)	Cationes intercambiables (meq/100g)				%CO	%MO	N _t (%m/m)	P _d (ppm)
					Arena	Limo	Arcilla				Ca	Mg	K	Na				
El Zurdo	H	Fluvaquents típico	A	0-5	45	34	15	Franco	7,1	5,0	26,5	6,1	0,8	2,6	12,2	21,1	2,92	7,95
			AC	5-13	32	41	26	Franco	6,5	0,8	21,2	5,6	0,2	2,0	ND	ND	2,11	2,90
			2C ₁	13-23	46	44	9	Franco arenoso	5,7	0,8	25,4	6,1	0,1	3,3	ND	ND	1,84	1,98
			3C ₂	23-40	40	40	19	Franco	5,5	2,3	14,9	3,3	0,1	2,7	ND	ND	1,83	1,77
			4C ₃	40+	18	45	35	Franco limo arcilloso	5,8	0,9	17,0	4,7	0,1	1,2	ND	ND	0,64	2,49
	SH	Fluvaquents típico	A	0-6	67	20	12	Franco arenoso	5,8	1,3	15,5	2,8	0,5	0,6	4,9	8,4	0,68	14,96
			2C ₁	6-22	67	20	13	Franco arenoso	6,3	1,1	10,2	1,7	0,3	0,6	1,7	3,0	0,30	7,23
			3C ₂	22-47+	68	18	11	Franco arenoso	7,1	0,3	9,7	1,7	0,2	1,0	ND	ND	0,20	4,45
	Bella Vista	SH	Cryaquents hístico	A	0-5	23	42	35	Franco arcilloso	6,7	0,3	28,3	6,2	0,3	4,2	9,0	15,5	1,83
A ₁				5-13	24	42	34	Franco arcilloso	6,6	0,3	17,8	6,0	0,2	2,0	ND	ND	1,39	15,68
2C ₁				13-25	32	34	34	Franco arcilloso	6,9	0,4	12,8	5,0	0,2	1,0	ND	ND	0,45	5,44
3C ₂				25-40	51	24	25	Franco arcillo arenoso	7,2	0,3	12,8	4,5	0,1	0,8	ND	ND	0,14	1,67
4C ₃				40-53	59	20	21	Franco arcillo arenoso	7,2	0,3	10,8	3,3	0,1	0,6	ND	ND	0,08	1,36
5C ₄				53-59	76	15	10	Franco arenoso	7,5	0,2	7,6	1,5	0,1	0,6	ND	ND	0,04	1,47
W				59+	78	13	10	Franco arenoso	7,4	0,2	7,1	1,7	0,1	0,2	ND	ND	0,03	2,08
Pali Aike	SH	Cryofluvents ácuico	A	0-11	18	78	4	Franco limoso	6,4	2,7	47,9	16,9	0,9	1,9	6,2	10,6	0,60	9,82
			A ₁	11-20	11	85	4	Limoso	6,4	1,9	49,2	17,8	0,3	2,9	5,9	10,2	0,54	4,99
			A ₂	20-31	3	89	8	Limoso	6,4	2,1	47,9	19,6	0,2	1,6	5,2	8,9	0,46	5,25
			2C ₁	31-41	5	88	8	Limoso	6,7	1,9	38,9	18,3	0,1	1,9	2,6	4,5	0,22	1,88
			3C ₂	41-59	9	79	12	Franco limoso	6,8	1,2	27,1	13,8	0,3	1,9	0,2	0,4	0,03	2,81
			4C ₃	59-87	28	42	30	Franco arcilloso	6,3	3,9	22,3	11,7	0,4	0,8	1,0	1,7	0,09	ND
			5C ₄	87-100	62	14	24	Franco arcillo arenoso	4,2	2,8	12,0	7,0	0,3	0,5	0,3	0,5	0,02	ND
			6C ₅	100+	69	19	12	Franco arenoso	4,7	4,9	11,8	6,1	0,3	0,3	0,4	0,7	0,03	3,42

ND: no determinado; CE: conductividad eléctrica; %CO: porcentaje de carbono orgánico; %MO: porcentaje de materia orgánica; N_t: nitrógeno total; P_d: fósforo disponible.

3.2.4. Relación suelo-ambiente geomorfológico-humedad

El ACP de los parámetros del suelo de los mallines permitió explorar la variabilidad entre ambientes geomorfológicos y entre mallines. La componente principal 1 explicó el 37,5 % de la variación y separó a los mallines en dos grupos, por un lado *El Chorrillo* (Echo), *Bella vista* (BV) y *El Zurdo* (EZ) que presentaron los valores más bajos de CE y pH y por el otro *La Laguna* (Lag) y *Pali Aike* (PA) con valores más altos en estos parámetros (Tabla 3.12 y Figura 3.28).

La CP2 explicó el 27,4 % de la varianza y separó a los mallines por el contenido de P_d y Ca y en menor medida por la concentración de K. En este caso, se ubicaron en los extremos opuestos *La Laguna*, con contenidos de Ca de 26,5 y 24,9 meq/100g y de P_d de 3 y 4,7 ppm y *Pali Aike* con 13,4 meq/100g de Ca y 31,2 y 45,8 ppm de P_d . El resto de los mallines se posicionaron en el centro (Figura 3.28).

La CP3 explicó solo el 13,7 % de la dispersión, relacionada con el contenido de N_t y el porcentaje de HuV (Figura 3.28 y Tabla 3.12).

Tabla 3.12. Características físico químicas de las muestras compuestas de los suelos (0-30 cm) de los mallines glaciales y fluviales.

Ambiente geomorfológico	Glacial							Fluvial								
	La Laguna			El Morro	El Chorrillo			El Zurdo			Bella Vista			Pali Aike		
Mallín	May-11	Mar-12	May-12	Mar-12	May-11	Mar-12	May-12	May-11	Mar-12	May-12	May-11	Mar-12	May-12	May-11	Mar-12	May-12
pH	6,7	6,5	6	5,7	5,3	5,4	5,4	5,5	5,3	5,4	5,7	5,2	6,7	6,6	6,3	5,9
CE (mS/cm)	8,3	1,4	7,6	2	1,7	1,6	2,5	2,4	2,2	4,9	1,8	2,6	3,8	4,5	2,3	6
CIC	61,2	54,9	62	30	52,6	34,1	33,6	44,7	59,5	61,9	45,5	53,2	39,8	32,1	30,1	27,4
Ca (meq/100g)	26,5	24,9	30,2	16,5	21,2	17	15,5	21,2	18,1	18,1	21,2	21,8	21,8	13,4	13,4	11,8
Mg (meq/100g)	7,2	7	9,2	6,3	6,9	3,1	3,3	7,4	4	5	7,6	6,6	5,7	6,6	5,9	5
K (meq/100g)	5,1	2,7	2,5	0,8	0,7	1,2	0,9	3,4	2	1,7	3,4	1,7	2	3,9	4,1	2
Na (meq/100g)	0,3	0,2	0,3	0,1	0,4	0,6	0,6	0,3	0,1	0,2	0,3	0,6	0,5	0,2	0,7	0,1
Suma Cl	39,1	34,7	42,1	23,6	29,2	21,9	20,2	32,3	24,2	25	32,6	30,6	30	24,1	24,1	18,9
% Sat.	63,9	63,3	68	78,7	55,5	64,3	60,1	72,3	40,6	40,4	71,6	57,6	75,3	75	80	68,8
PSI (%)	8,3	4,9	4	2,5	1,4	3,6	2,7	7,7	3,3	2,8	7,5	3,2	5,1	12,1	13,7	7,1
%CO	10,5	10,4	10,3	2,8	9,8	s/d	10,2	9,8	10,4	9,4	9	ND	6,8	2,8	5,2	2,5
%MO	18,1	17,9	17,7	4,8	16,8	s/d	17,5	16,9	17,9	16,3	15,5	ND	11,7	4,7	9	4,4
N_t (% m/m)	1,7	2,2	2,3	0,3	1,2	2,9	2,4	1,6	2,2	1,7	1,3	1,8	1	0,2	0,5	0,5
P_d (ppm)	3	4,7	21,3	0,5	8,3	8,7	17	11,8	18,9	30,3	9,2	13,8	7,6	31,2	45,8	17,3

ND: no determinado; CE: conductividad eléctrica; CIC: capacidad de intercambio catiónico; PSI: porcentaje de sodio intercambiable; %CO: porcentaje de carbono orgánico; %MO: porcentaje de materia orgánica; N_t: nitrógeno total; P_d: fósforo disponible.

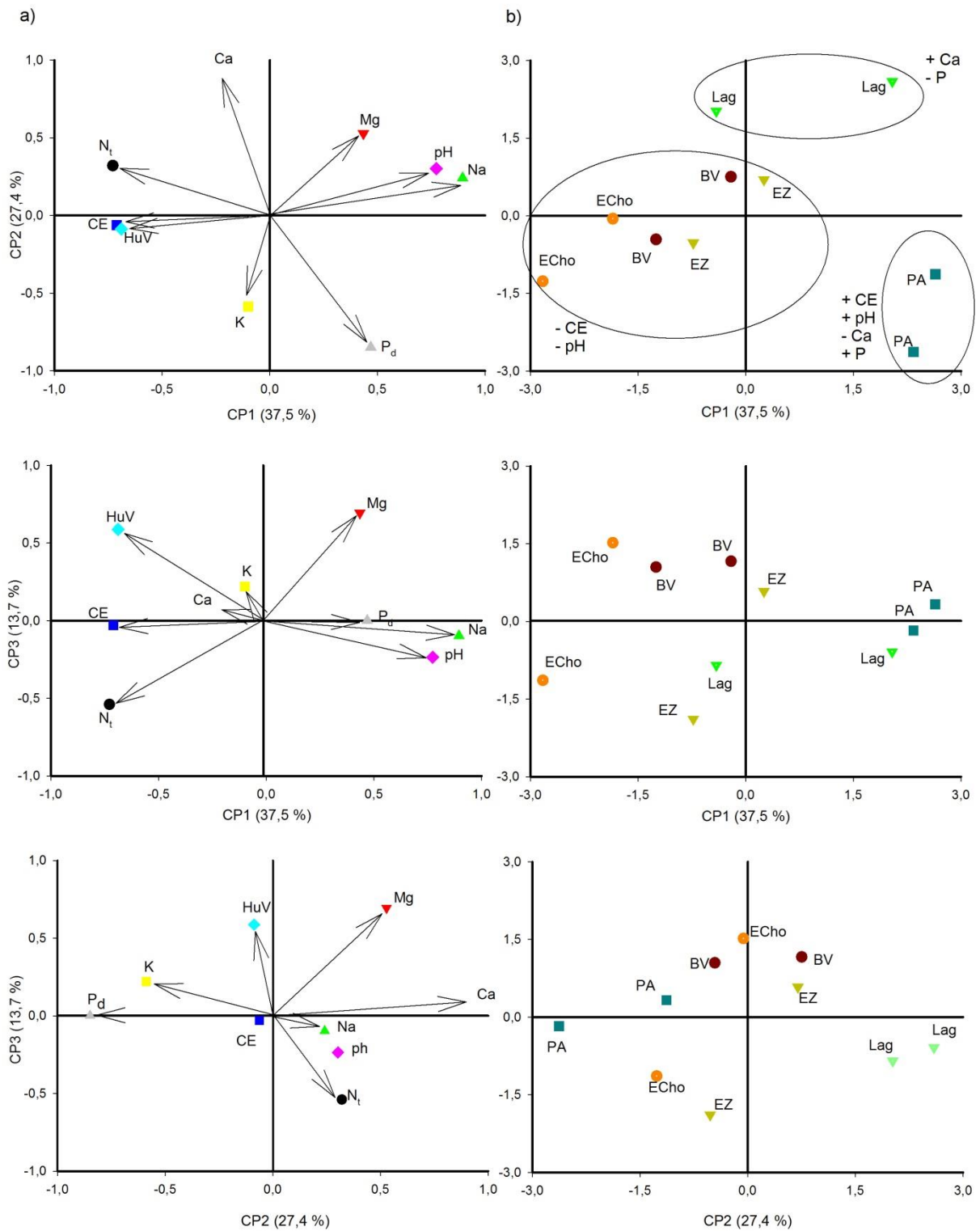


Figura 3.28. Distribución de los parámetros del suelo N_t , P_d , Ca, Mg, K, Na, CE, pH y del porcentaje de HuV de los mallines *La Laguna* (Lag), *El Chorrillo* (Echo), *El Zurdo* (EZ), *Bella Vista* (BV) y *Pali Aike* (PA). ACP: columna a) diagrama de variables y columna b) diagrama de casos.

3.2.5. Relación suelo-ambiente geomorfológico y suelo-sector

En los análisis de medidas repetidas de los parámetros del suelo N_t , P_d , Ca, Mg, K, Na, MO y pH, no se encontraron evidencias de diferencias temporales ($p > 0,05$), como tampoco por el ambiente geomorfológico o interacción de ellos (Tabla 3.13). Si se detectó efecto del tiempo en la CE con diferencias ($p = 0,0244$) entre fechas de mediciones. En general, la CE de los mallines fue menor en el mes de marzo de 2012 (Tabla 3.15).

Tabla 3.13. Análisis de medidas repetidas (p valores) de los parámetros del suelo por ambiente geomorfológico (Amb. Geo.).

Variable	Tiempo x Amb. Geo.	Tiempo	Amb. Geo.
<i>pH</i>	0,5988	0,5172	0,9080
<i>CE</i>	0,5872	0,0244	0,4282
<i>Ca</i>	0,4423	0,2942	0,4020
<i>Mg</i>	0,6362	0,3375	0,9342
<i>Na</i>	0,8094	0,2600	0,5684
<i>K</i>	0,7774	0,7972	0,7730
<i>MO</i>	0,2394	0,7888	0,1559
<i>N_t</i>	0,2842	0,2084	0,2015
<i>P_d</i>	0,4350	0,1615	0,2912

CE: conductividad eléctrica; MO: materia orgánica; N_t : nitrógeno total; P_d : fósforo disponible.

Los resultados obtenidos en la evaluación de los mallines fluviales evidenciaron interacción entre el tiempo y el sector en la concentración de Mg, con un $p = 0,056$. El pH, la CE y el contenido de Mg (Tabla 3.15) mostraron diferencias significativas entre fechas de medición con p valores iguales a 0,0281, 0,0446 y 0,0101, respectivamente. En los restantes parámetros no se detectaron efectos del tiempo y sector (Tabla 3.14).

Tabla 3.14. Análisis de medidas repetidas (p valores) de los parámetros del suelo por sector.

Variable	Tiempo x Sector	Tiempo	Sector
<i>pH</i>	0,9378	0,0281	0,2760
<i>CE</i>	0,7101	0,0446	0,6635
<i>Ca</i>	0,8031	0,8600	0,5954
<i>Mg</i>	0,0056	0,0101	0,9756
<i>Na</i>	0,9208	0,5470	0,2803
<i>K</i>	0,4891	0,1619	0,8608
<i>MO</i>	0,3864	0,3327	0,9082
<i>N_t</i>	0,2425	0,4642	0,3958
<i>P_d</i>	0,6717	0,4604	0,5525

CE: conductividad eléctrica; MO: materia orgánica; N_t : nitrógeno total; P_d : fósforo disponible.

Tabla 3.15. Características físico químicas de las muestras compuestas de los suelos (0-30 cm) de mallines fluviales húmedos y subhúmedos.

Mallín	El Zurdo						Bella Vista						Pali Aike					
Sector	<i>H</i>			<i>SH</i>			<i>H</i>			<i>SH</i>			<i>H</i>			<i>SH</i>		
Fecha	May-11	Mar-12	May-12	May-11	Mar-12	May-12	May-11	Mar-12	May-12	May-11	Mar-12	May-12	May-11	Mar-12	May-12	May-11	Mar-12	May-12
pH	5,5	5,3	5,4	6,6	5,9	7,8	5,7	5,2	6,7	6,1	6	5,7	6,6	6,3	5,9	6,7	6,6	5,2
CE (mS/cm)	2,4	2,2	4,9	1,3	1,1	2,7	1,8	2,6	3,8	1,4	2,6	6,5	4,5	2,3	6	6,6	6,8	8,9
CIC	44,7	59,5	61,9	30,9	30,1	21,5	45,5	53,2	39,8	44,5	34,6	45,7	32,1	30,1	27,4	42,1	48,5	46,2
Ca (meq/100g)	21,2	18,1	18,1	16,4	15,5	10,2	21,2	21,8	21,8	20,1	19,7	24,9	13,4	13,4	11,8	22,7	24,4	28,7
Mg (meq/100g)	7,4	4	5	3,2	2,6	3,3	7,6	6,6	5,7	6	5,4	6,3	6,6	5,9	5	8,2	9,9	8,4
K (meq/100g)	3,4	2	1,7	1,6	0,5	1,9	3,4	1,7	2	2,3	3,3	2	3,9	4,1	2	5,7	2,2	3,4
Na (meq/100g)	0,3	0,1	0,2	0,6	0,3	0,2	0,3	0,6	0,5	0,3	0,5	0,5	0,2	0,7	0,1	0,7	1,2	1
Suma Cl	32,3	24,2	25	21,7	18,8	15,6	32,6	30,6	30	28,8	28,8	33,7	24,1	24,1	18,9	37,4	37,7	41,4
% Sat.	72,3	40,6	40,4	70,2	62,6	72,4	71,6	57,6	75,3	64,7	83,1	73,7	75	80	68,8	88,7	77,8	89,6
PSI (%)	7,7	3,3	2,8	5,2	1,8	8,7	7,5	3,2	5,1	5,3	9,4	4,4	12,1	13,7	7,1	13,5	4,6	7,3
%CO	9,8	10,4	9,4	6,8	4,6	2,6	9	ND	6,8	8,9	6,1	7,3	2,8	5,2	2,5	7,2	7,9	5,9
%MO	16,9	17,9	16,3	11,7	7,9	4,5	15,5	ND	11,7	15,4	10,4	12,6	4,7	9	4,4	12,4	13,6	10,2
N_t (% m/m)	1,6	2,2	1,7	0,8	0,6	0,4	1,3	1,8	1	1	0,6	1,1	0,2	0,5	0,5	0,7	1	0,9
P_d (ppm)	11,8	18,9	30,3	21,4	20,7	5,1	9,2	13,8	7,6	19,6	12,2	34,7	31,2	45,8	17,3	36,8	49,4	49

ND: no determinado; CE: conductividad eléctrica; CIC: capacidad de intercambio catiónico; PSI: porcentaje de sodio intercambiable; %CO: porcentaje de carbono orgánico; %MO: porcentaje de materia orgánica; N_t: nitrógeno total; P_d: fósforo disponible.

3.4. DISCUSIÓN

La profundidad de la napa freática de los sectores húmedos de los mallines glaciales y fluviales muestra tendencias de fluctuaciones estacionales, con incrementos otoñales y descensos estivales (Tabla 3.5 y 3.7). En cambio, en los sectores semihúmedos de los mallines fluviales la fluctuación de la napa a lo largo del período es leve. Los resultados concuerdan con lo expuesto por Utrilla et al. (2008), quienes encontraron un comportamiento estacional en sectores húmedos, con ascensos de la freática en primavera y otoño y descensos en verano y variaciones leves a lo largo del año, en los sectores semihúmedos de mallines del S de la Provincia de Santa Cruz. Los autores explicaron que el aumento de la profundidad de la napa en verano es consecuencia de la disminución del caudal de las fuentes de agua y el incremento de la evapotranspiración, mientras que el ascenso primaveral y otoñal está ocasionado por los deshielos y la precipitación. Asimismo, expusieron que las variaciones del caudal tienen poca influencia sobre los sectores semihúmedos, dependiendo principalmente de las precipitaciones. Estas premisas serían válidas para los mallines de estudio, a pesar de no contar con datos primaverales, ya que durante los períodos de muestreo los mallines glaciales se encontraban inundados hasta mediados de noviembre y los sectores húmedos de los fluviales hasta mediados de octubre.

Tanto los mallines glaciales como los fluviales presentan suelos minerales pertenecientes a los subórdenes Fluvents (gran grupo Cryofluvents) y Aquents (gran grupo Cryoaquents y Fluvaquents) (Soil Survey Staff, 2006). Estos resultados coinciden parcialmente con lo informado por Lamoureux y Migliora (1995) que describieron complejos de Xerofluvents y Haploxerols en los sectores semihúmedos y complejos Haplacuoles y Humacueptes en los sectores húmedos, del mallín del río Coyle al S de Santa Cruz; como así también con los reportes de Collantes et al. (2009) y Filipová et al. (2010) para mallines de la región fueguina, quienes identificaron suelos de los grupos Fluvisol e Histosol (FAO, 2006). Lamoureux y Migliora (1995), realizaron un estudio muy detallado de los distintos sectores del mallín y encontraron la presencia de suelos minerales correspondientes a los órdenes Entisol, Molisol e Inceptisol (Tabla 3.1), formando distintos complejos asociados al contenido hídrico, mientras que en esta tesis solo se encontraron suelos del orden Entisol. Estas diferencias pueden estar dadas por la intensidad de muestreo, ya que en esta investigación se realizó solo una calicata por mallín. Por otro lado, Collantes et al. (2009) y Filipová et al. (2010) registraron suelos orgánicos (Histosol) en mallines de la región fueguina, que se caracterizan por desarrollarse sobre restos vegetales, con un alto contenido de materia orgánica (MO) (> 25 %) en diferentes estados de degradación a lo

largo de su perfil (Soil Survey Staff, 2006). Sin embargo, la ausencia de esta clase de suelos en los mallines glaciales y fluviales, se debería principalmente a los períodos de anegamiento discontinuos en el tiempo que presentan estos mallines, lo que permite una marcada descomposición de la MO y una menor acumulación de restos orgánicos en profundidad. Este contexto es distinto al observado en la región fueguina, con períodos de anegamiento continuos y temperaturas más bajas (Filipová et al. 2010), que favorecen la formación de turberas.

Los parámetros del suelo nitrógeno total (N_t), fósforo disponible (P_d), Ca, Mg, K, Na, MO, porcentaje de humedad volumétrica (HuV) y pH no mostraron patrones regulares asociados al ambiente geomorfológico, su variabilidad está dada por características propias de cada mallín (Tabla 3.10; Figura 3.28). Estos resultados coinciden con lo informado en un trabajo previo por Filipová et al. (2010) quienes describen los tipos de suelos de mallines del S de Chile. Dichos autores reportaron una alta heterogeneidad en las propiedades de los suelos pertenecientes a un mismo grupo, como así también en suelos de distintos grupos. La falta de asociación entre el ambiente geomorfológico y las propiedades del suelo de estos humedales, estaría relacionado con la alta variabilidad intrínseca que exhiben. En esta tesis, el análisis de componentes principales (ACP) permitió discriminar parcialmente a los mallines evaluados por pH, conductividad eléctrica (CE) y contenido de nutrientes, principalmente P_d y Ca, que varían según los gradientes de temperatura y precipitación que se observan en la región. Se sabe que a medida que disminuye la temperatura, la actividad biológica en el suelo decrece retardando la descomposición de la MO, lo que trae aparejado una disminución en el contenido de N_t y P_d en el suelo (Collantes et al. 2009). Por otro lado, cambios en la precipitación afectan el régimen hídrico lo cual provoca variaciones en los valores de pH: con el aumento de la precipitación se produce una caída en el pH y la lixiviación de bases (Collantes et al. 2009; Filipová et al. 2013). La mayor concentración de P_d observada en los mallines fluviales, respecto de los glaciales, estaría relacionada con el ciclo hídrico anual y la temperatura al que están sujetos los humedales de este ambiente. Luego de las crecidas primaverales de los ríos, la reducción de hierro causa la liberación de grandes cantidades de fósforo, una vez que disminuye el contenido hídrico y aumenta la temperatura éste se encuentra disponible para las plantas (Loeb et al. 2008).

3.5. CONCLUSIÓN

El estudio de las condiciones hidro-edafo-geomorfológicas de los mallines permitió visualizar alta variabilidad espacial y temporal en la hidrología de estos humedales así como en sus características edáficas, independientemente del ambiente geomorfológico en el que se emplazan o del sector de que se trate. Sin embargo, es posible distinguir patrones. A escala regional, la duración de los períodos de anegamiento, el pH y la concentración de fósforo disponible y calcio de los sectores húmedos de los mallines glaciales y fluviales, están determinados por la posición geográfica, estrechamente relacionada con los gradientes de temperatura y precipitación de la región, mientras que las variaciones en el gradiente interno de los mallines dependen de la posición topográfica y de las condiciones hidrológicas locales.

CAPÍTULO 4
COMPOSICIÓN FLORÍSTICA-
SU RELACIÓN CON EL
AMBIENTE
GEOMORFOLÓGICO Y CON
LA DISTRIBUCIÓN DEL
AGUA EN EL SUELO

4.1. INTRODUCCIÓN

Los mallines cuentan con un recurso primordial para la vida vegetal y animal, el agua. La presencia de este elemento genera las condiciones ideales para albergar un gran número de especies acuáticas y terrestres, tanto vegetales como animales (Nakamatsu, 1998). La composición florística de las comunidades vegetales que conforman estos ecosistemas es el resultado de las amplias fluctuaciones hídricas a lo largo del año, las variaciones topográficas del terreno y las características del sustrato (Grevilliot et al. 1998; Bran et al. 2004; Dwire et al. 2004; Gaitán et al. 2011). La mayoría de las especies que presentan este tipo de humedales son perennes e higrófilas, con reproducción agámica. En condiciones ambientales óptimas, estos órganos permiten una rápida propagación vegetativa con ventajas competitivas para ocupar sitios y consumir agua y nutrientes (Nakamatsu, 1998). Como se distribuyan las especies en el espacio dependerá de su tolerancia a la anoxia, salinidad y acidez.

En las zonas de contacto con la estepa (sector seco) se pueden encontrar especies como *Festuca pallezensis*, *Poa spiciformis* y *Armeria marítima*, entre otras, mientras que en los sectores que permanecen mayor tiempo anegados se presentan especies tales como *Carex macloviana*, *Carex gayana* y *Eleocharis pseudoalbibracteata* (Soriano, 1956; Boelcke, 1957; Bran et al. Collantes et al. 2009; Filipová et al. 2013). Burgos (1993) encontró que, en los mallines precordilleranos, la variable que mejor explica la composición florística de las comunidades vegetales es la humedad disponible en los primeros 40 cm del suelo en la época primaveral. Por otro lado, Filipová et al. (2013) informaron que en los sectores húmedos de los mallines de Tierra del Fuego, asociados a fuentes de agua dulce, con suelos ácidos y altos porcentajes de MO, se encuentran especies tales como *C. macloviana* y *Agrostis stolonifera*. Mientras que, en aquellos asociados a fuentes de agua con mayores valores de CE y pH alcalino, las especies dominantes son *Suaeda sp.* y *Salicornia sp.*

Es así que, en función del contenido de humedad y las propiedades del suelo, la proporción de los formas de vida, gramíneas, graminoides, hierbas y subarbustos, que integran la comunidad vegetal de los mallines varía (Hupp y Osterkamp, 1996; Wassen et al. 2003; Dwire et al. 2004). En consecuencia, se observan gradientes internos en la composición y riqueza específica de estos ecosistemas, con los valores más bajos en los sectores húmedos, que presentan el mayor contenido de MO y/o suelos ácidos (Huston, 1993; Hupp y Osterkamp, 1996; Ayesa et al. 1999; Collantes et al. 2009; Filipová et al. 2013). Lo mismo ocurre con la cobertura vegetal, que se incrementa con el contenido de humedad, variando entre el 70 y 100 % (Bonvissuto y Somlo, 1998; Bonvissuto et al. 2008; Utrilla et al. 2008).

Alteraciones en estos gradientes son ocasionados, entre otros, por los herbívoros domésticos y silvestres, quienes modelan la estructura y funcionamiento de los ecosistemas (Mc Naughton, 1983; Milchunas et al. 1988). En los mallines, los largos períodos de pastoreo, principalmente con ovinos, han afectado los patrones de distribución, provocando importantes modificaciones en la composición y en la estructura florística (Raffaele, 1999; Collantes et al. 2013). Nakamatsu (1998) mencionó la presencia de tres estratos vegetales dentro de estos ecosistemas, siendo el estrato medio el de mayor riqueza florística y cobertura vegetal y, también, el de mayor presión de pastoreo. La continua utilización de los mallines provoca la disminución de la cobertura, productividad y riqueza florística del estrato medio, con la consecuente apertura del canopeo que favorece la invasión de especies exóticas y la expansión de especies heliófitas del estrato inferior, tales como *Caltha saggitata*, *Lobelia oligophylla*, *Acaena spp*, entre otras (Nakamatsu, 1998; Bonvisutto y Lanciotti, 2002; Raffaele, 2004; Collantes et al. 2009; Ormaechea et al. 2010; Suárez et al. 2010; Collantes et al. 2013; Utrilla et al. 2014). A mayor presión de pastoreo comienza la disminución de la cobertura vegetal del mallín, la degradación física del suelo, la disminución de la productividad primaria neta y el cambio de composición por especies xerófitas y subarborescentes (Nakamatsu, 1998).

Boelcke et al. (1985) señalaron que, desde un punto de vista ganadero, en muchas situaciones la invasión de los mallines por especies exóticas significó una mejora productiva, ya que varias de estas especies, como por ejemplo *Poa pratensis* y *Trifolium repens*, son de alto valor forrajero. En el S de Santa Cruz, Ormaechea et al. (2010), Suárez et al. (2010) y Utrilla et al. (2014) evaluaron el estado de degradación de los mallines. En estos trabajos las especies invasoras de valor forrajero no son tomadas como indicadoras de degradación.

A partir de lo expuesto se plantean como objetivos de este capítulo a) caracterizar la vegetación de los mallines glaciales y fluviales del extremo S de Patagonia; b) identificar gradientes de riqueza y cobertura vegetal en los mallines glaciales y fluviales; c) analizar la relación entre la composición florística y los atributos de la comunidad vegetal con el ambiente geomorfológico en el que se emplazan; y d) generar un índice que permita evaluar el estado de degradación de estos ecosistemas.

4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1. Caracterización de la vegetación

La caracterización de la vegetación de los mallines se realizó considerando el gradiente hídrico que presenta cada uno de ellos. Se distinguieron sectores muy húmedos, húmedos y semihúmedos a partir de la clasificación digital de imágenes SPOT 5 (ver capítulo 2).

La composición florística de los sectores se realizó a través del método de puntos en línea (Levy y Maden, 1933), que consiste en registrar con una aguja, cada 10 cm, el tipo de cobertura que se presenta en una transecta de 30 m de largo, identificando especie vegetal (*sp*), mantillo (*m*), material muerto en pie (*mp*), suelo desnudo (*sd*) y/o criptógamas (*cr*). En cada mallín se establecieron 2 transectas de 30 m por sector (Tabla 4.1), $n = 26$, con un total de 300 observaciones (toques de la aguja, *T*), por transecta.

Tabla 4.1. Sectores identificados en los mallines glaciales y fluviales.

Ambiente	Mallín	Sectores		
		<i>MH</i>	<i>H</i>	<i>SH</i>
Fluvial	<i>Pali Aike</i>		X	X
	<i>Bella Vista</i>		X	X
	<i>El Zurdo</i>		X	X
Glacial	<i>La Laguna</i>	X	X	X
	<i>El Morro</i>	X	X	
	<i>El Chorrillo</i>		X	X

MH: muy húmedo; *H*: húmedo; *SH*: semihúmedo.

A partir de los relevamientos de campo se determinó la composición botánica de cada sector muestreado. Se elaboró un listado de especies ordenadas por familia (*F*), definidas según la clasificación de la Flora Patagónica de INTA (Correa 1969, 1971, 1978, 1984, 1985, 1988 y 1999) y la actualización de nombres publicadas por la Flora del Cono Sur del Instituto de Botánica Darwinion (Zuloaga et al. 2009). Cada especie se clasificó por la forma de vida (*Fv*) a la que pertenecen (hierbas, *Hr*; gramíneas, *Gr*; graminoides, *Gra*, y subarbustos, *Sub*) y por su estatus biogeográfico (*Eb*) (nativa, *Nva*, endémica, *End*, introducida, *Int*, adventicia, *Adv*, naturalizada, *Nda*) (Zuloaga et al. 2009). Asimismo, se determinó la presencia de especies indicadoras de degradación (*spId*), tomando como

referencia su estatus biogeográfico y la información de los trabajos de Raffaele (2004), Ormaechea et al. (2010), Suárez et al. (2010) y Utrilla et al. (2014).

Con los datos de campo se obtuvo para cada sector de los mallines de estudio:

* **Frecuencia absoluta de todas las especies presentes** (FrV) = $\sum Frsp_i + Tcr$

* **Frecuencia absoluta por familia** ($FrFi$) = $\sum TF_i$

* **Frecuencia absoluta por especie** ($Frsp_i$) = $\sum Tsp_i$

* **Frecuencia absoluta de las especies indicadoras** ($FrspId$) = $\sum TspId$

* **Frecuencia absoluta por especies indicadoras de degradación** ($FrspId_i$) = $\sum TspId_i$

* **Frecuencia absoluta por forma de vida** ($FrFv_i$) = $\sum TFv_i$

* **Frecuencia absoluta por estatus biogeográfico** ($FrEb_i$) = $\sum TEb_i$

A partir de lo cual se calculó:

* **Cobertura relativa vegetal** (Cv) = FrV/T

* **Cobertura relativa por especie** (Csp_i) = $(\sum Tsp_i)/FrV$

* **Cobertura relativa de especies indicadoras de degradación** ($CspId$) = $FrspId/FrV$

* **Cobertura relativa por especies indicadoras de degradación** ($CspId_i$) = $(\sum TspId_i)/FrV$

* **Cobertura relativa por forma de vida** (CFv_i) = $(\sum TFv_i)/FrV$

El análisis de la diversidad se realizó con los siguientes índices:

* **Riqueza de especies** (SP) = $\sum sp_i$

* **Riqueza de especies indicadoras de degradación** ($SPId$) = $\sum spId_i$

* **Índice de diversidad de Shannon-Weaver** (H') = $-\sum Csp_i \cdot \ln(Csp_i)$

* **Índice de equitatividad de Pielou** (J') = $H'/\ln SP$

En las formulas:

T: número de toques en la transecta

F_i: familia i

sp_i: especie i

spId_i: especie indicadora

4.2.2 Identificación de las unidades de vegetación

Las unidades de vegetación presentes en cada mallín se definieron a través de una clasificación supervisada de las imágenes SPOT 5 (resolución espacial 10x10 m; Tabla 2.1), con el software ERDAS IMAGINE 9.1 (Leica Geosystem, 2006). Se utilizó el algoritmo de *máxima verosimilitud* que asume que los datos siguen una función de distribución normal para asignar la probabilidad de que un pixel cualquiera pertenezca a cada una de las clases. Se tomaron como firmas espectrales conocidas los relevamientos de vegetación correspondientes para cada mallín. Posteriormente en el programa ArcGis 9.2 (ESRI, 2006) se digitalizó cada unidad identificada con la clasificación y se generaron los mapas de unidades de vegetación de los mallines de estudio.

4.2.3. Índice de degradación

En base a la información generada a partir de los relevamientos de vegetación se construyó un índice de degradación de mallines (*IDM*), con el objetivo de establecer el estado de deterioro en el que se encuentra cada sector. Este se puede calcular por sector o para el mallín, dependiendo de los datos con los que se cuente y está compuesto por tres indicadores que representan distintos aspectos en el estado de degradación. El primer término hace referencia al grado de afectación, el segundo considera aspectos relacionados a la cobertura espacial, ambos términos varían entre 0 y 2, correspondiendo el valor 0 a un sector o mallín sin degradar y 2 a uno altamente degradado. El tercer término se enfoca en la equitatividad de las especies y varía entre 0 y 1, en el mismo sentido que los anteriores. La siguiente ecuación describe el cálculo del *IDM*:

$$IDM = (GA + 2 * CI + U)$$

en donde:

GA: representa el grado de afectación. Este término cuantifica simultáneamente la presencia de especies indicadoras, su importancia relativa respecto al total de riqueza del sector o mallín que se está cuantificando y la disminución de la superficie de suelo cubierta por vegetación. Está compuesto por dos partes, la primera relaciona la riqueza de especies

indicadoras con la riqueza específica total del sector o mallín y la cobertura vegetal, con el objetivo de cuantificar la representación de las especies indicadoras en la comunidad vegetal y la disminución de la cubierta vegetal. En la segunda parte del término, la relación de la cobertura de subarbustos con la cobertura de especies indicadoras denota los cambios en el contenido hídrico del suelo, ya que la presencia de esta forma de vida indica la disminución del contenido de agua en el suelo del sector o mallín.

$$GA = (SPId/SP) * (100/Cv) + 3 * (Csub/CspId)$$

SPId: riqueza de especies indicadoras de degradación del sector

SP: riqueza de especies del sector

Cv: cobertura vegetal del sector. El valor mínimo que puede tomar este ítem en los ecosistemas de mallín es el 50 % (Bonvissuto et al. 2008)

Csub: cobertura de subarbustos del sector

CspId: cobertura relativa de las especies indicadoras de degradación

CI: hace referencia a la relación espacial, es decir, dentro de un sector o mallín cuanta de la superficie se encuentra cubierta por especies indicadoras:

$$CI = CspId / 100$$

U: expresa la uniformidad de la distribución de las especies:

$$U = (1 - J') / (1 + J')$$

J' = índice de Pielou del sector o mallín

El *IDM* puede tomar valores entre 0 y 5, indicando seis estados de degradación que van desde muy bajo a extremo (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Rangos de valores del IDM

<i>IDM</i>	Estado de degradación
0,0 - 0,8	Muy bajo
0,9 - 1,7	Bajo

<i>IDM</i>	<i>Estado de degradación</i>
1,8 - 2,5	Medio
2,6 - 3,4	Alto
3,5 - 4,3	Muy alto
4,4 - 5,0	Extremo

Los resultados de *IDM* obtenidos para cada mallín se utilizaron para recategorizar los mapas de unidades de vegetación, a partir de los cuales se generaron los mapas de degradación en el programa ArcGis 9.2 (ESRI, 2006).

4.1.2. Análisis estadístico de los datos

La variabilidad existente en la composición florística de los sectores muy húmedos, húmedos y semihúmedos de los mallines glaciales y fluviales se exploró a través del análisis de componentes principales (ACP) para un grupo de variables, a través de una matriz de datos. La matriz estuvo integrada por 26 casos, dados por las transectas de vegetación de los sectores muy húmedos, húmedos y semihúmedos de los mallines *La Laguna, El Morro, EL Chorrillo, El Zurdo, Bella Vista y Pali Aike* con 21 variables que corresponden a la cobertura de las especies encontradas en las transectas. Para el análisis se utilizaron las especies que presentaban valores de cobertura $\geq 2\%$. La distribución de los datos se analizó en los planos definidos por los componentes principales CP1 y CP2, CP1 y CP3 y por el CP2 y CP3.

Por otro lado, se utilizó un análisis de conglomerados (Cluster) mediante el método de Ward y con la distancia City-Block para determinar grupos homogéneos con las transectas de vegetación. La distancia de corte para definir los grupos se estableció en 320. El método de Ward es un procedimiento jerárquico en el cual, en cada paso del análisis, considera la posibilidad de la unión de cada par de grupos y opta por la fusión de aquellos dos grupos que menos incrementen la suma de los cuadrados de las desviaciones al unirse (Ward, 1963), de esta forma minimiza la pérdida de información en las uniones y suele ser más discriminativo en los niveles de agrupación, razón por la cual se evaluaron los datos del estudio con este método.

En los posteriores análisis de los datos se agruparon los sectores muy húmedos y húmedos, ya que se distinguen por el contenido de humedad pero las diferencias en cuanto a la composición de la vegetación son mínimas.

Los datos de riqueza, equitatividad y cobertura por forma de vida, se analizaron por ANAVA, con un modelo completamente aleatorizado. Se tomaron como factor de variación la humedad (húmedo y semihúmedo), el ambiente geomorfológico (glacial y fluvial) y la interacción de estos. Los supuestos del método (normalidad y homogeneidad de la varianza) se evaluaron con los test de Shapiro – Wilk modificado y Levene. El test de Tukey ($\alpha = 0,05$) se utilizó para determinar las diferencias entre medias.

Los datos de cobertura vegetal, por forma de vida y por especie se transformaron para su análisis. A la cobertura vegetal se le aplicó el arcoseno de la raíz cuadrada, mientras que para la transformación de las coberturas por forma de vida y por especie, se tuvo en cuenta que son datos composicionales, es decir, tienen la particularidad de que las variables que los componen son las partes de un total y por ello la suma de las variables es constante (usualmente 1 o 100). Por esta razón se utilizó la transformación log cociente centrada (clr) de la metodología de Aitchison (Aitchison, 1982) que se basa en la transformación de los datos composicionales al espacio real multivariante.

La diversidad y cobertura vegetal no cumplieron los supuestos del ANAVA, por lo cual se evaluaron con el Test no paramétrico Kruskal Wallis ($\alpha = 0,05$).

Todos los análisis se realizaron con el programa InfoStat (Di Rienzo et al. 2011). En los resultados de las medias de cobertura vegetal y por forma de vida se presentan sin transformar con sus respectivos errores estándar (EE).

4.3. RESULTADOS

4.3.1. Caracterización de la vegetación

En la tabla 4.3 se presentan, ordenadas alfabéticamente por familia, las especies identificadas en los mallines de estudio, la forma de vida a la que pertenece y si están catalogadas como especies indicadoras de degradación. En 18 casos solo se llegó a género y en 4 no se logró la identificación, estas últimas no se presentan.

Tabla 4.3. Lista de especies identificadas en los sectores muy húmedos, húmedos y semihúmedos de los mallines glaciales y fluviales.

Familia	Género y especie	Estatus biogeográfico	Forma de vida	Mallines glaciales						Mallines fluviales						
				El Chorrillo		La Laguna			El Morro		El Zurdo		Bella Vista		Pali Aike	
				HU	SH	MH	HU	SH	MH	HU	HU	SH	HU	SH	HU	SH
Apiaceae	<i>Azorella fuegiana</i> *	End	Sub		X	X			X				X			
	<i>Azorella monantha</i> *	End	Sub													X
	<i>Azorella trifurcata</i> *	End	Sub		X	X			X				X	X		
Asteraceae	<i>Baccharis magallenica</i> *	End	Sub		X											
	<i>Chiliotrichum diffusum</i> *	End	Sub		X											
	<i>Cotula</i> sp.		Hr									X				
	<i>Eriachaenium magellanicum</i>	End	Hr												X	
	<i>Erigeron patagonicus</i>	End	Hr						X				X			
	<i>Gamochaeta nivalis</i>	End	Hr		X								X			
	<i>Hieracium praealtum</i> *	Adv	Hr	X	X											
	<i>Hypochaeris radicata</i> *	Adv	Hr	X	X					X	X		X			
	<i>Leptinella scariosa</i>	End	Hr												X	
	<i>Nassauvia aculeata</i> *	End	Sub													

Familia	Género y especie	Estatus biogeográfico	Forma de vida	Mallines glaciales						Mallines fluviales						
				El Chorrillo		La Laguna			El Morro		El Zurdo		Bella Vista		Pali Aike	
				HU	SH	MH	HU	SH	MH	HU	HU	SH	HU	SH	HU	SH
	<i>Senecio magellanicus</i>	End	Hr	X								X				
	<i>Taraxacum officinale*</i>	Adv	Hr	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	
	<i>Tripleurospermum inodorum*</i>	Adv	Hr				X									
<i>Berberiaceae</i>	<i>Berberis microphylla*</i>	End	Sub	X	X											
<i>Campanulaceae</i>	<i>Lobelia oligophylla</i>	Nva	Hr		X		X	X	X			X	X	X		
	<i>Cerastium arvense*</i>	Adv	Hr		X					X	X				X	
	<i>Cerastium fontanum*</i>	Adv	Hr	X		X		X					X			
<i>Caryophyllaceae</i>	<i>Colobanthus quitensis</i>	Nva	Hr								X	X	X	X		
	<i>Colobanthus subulatus*</i>	End	Hr		X	X										
	<i>Stellaria debilis</i>	Adv	Hr	X			X		X	X	X					
	<i>Carex aematorhyncha</i>	End	Gra							X						
<i>Cyperaceae</i>	<i>Carex andina</i>	End	Gra		X						X				X	
	<i>Carex argentina</i>	End	Gra								X					

Familia	Género y especie	Estatus biogeográfico	Forma de vida	Mallines glaciales						Mallines fluviales						
				El Chorrillo		La Laguna			El Morro		El Zurdo		Bella Vista		Pali Aike	
				HU	SH	MH	HU	SH	MH	HU	HU	SH	HU	SH	HU	SH
	<i>Carex gayana</i>	End	Gra	X		X			X	X	X	X				
	<i>Carex macloviana</i>	End	Gra	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X	
	<i>Carex sp.</i>		Gra	X		X										
	<i>Eleocharis pseudoalbibracteata</i>	Nva	Gra	X	X		X	X		X			X	X	X	
<i>Empetraceae</i>	<i>Empetrum rubrum*</i>	Nva	Sub		X											
	<i>Adesmia sp.</i>		Hr		X											X
	<i>Lathyrus sp.</i>		Hr											X		
<i>Fabaceae</i>	<i>Trifolium dubium*</i>	Adv	Hr	X												
	<i>Trifolium repens*</i>	Adv	Hr	X	X											
	<i>Vicia sp.</i>		Hr		X	X						X				X
<i>Geraniaceae</i>	<i>Geranium sp.</i>		Hr		X											X
<i>Gunneraceae</i>	<i>Gunnera magellanica</i>	Nva	Hr	X												
<i>Iridaceae</i>	<i>Sisyrinchium sp.</i>		Hr	X	X	X	X	X								
<i>Juncaceae</i>	<i>Juncus balticus</i>	Nva	Gra	X		X						X	X	X	X	X

Familia	Género y especie	Estatus biogeográfico	Forma de vida	Mallines glaciales						Mallines fluviales						
				El Chorrillo		La Laguna			El Morro		El Zurdo		Bella Vista		Pali Aike	
				HU	SH	MH	HU	SH	MH	HU	HU	SH	HU	SH	HU	SH
	<i>Juncus scheuchzerioides</i> Gaudich	Nva	Gra		X		X									
	<i>Juncus sp.</i>		Gra			X			X							
	<i>Juncus stipulatus</i> Nees & Meyen	Nva	Gra						X	X			X	X		
	<i>Luzula chilensis</i>	End	Gra		X	X		X				X				X
Orobanchaceae	<i>Euphrasia antártica</i>	End	Hr	X	X	X	X			X	X					
Plantaginaceae	<i>Plantago sp.*</i>		Hr			X		X							X	
Plumbaginacea	<i>Armeria marítima</i>	End	Hr									X				
	<i>Agrostis aff. Meyenii</i>	Nva	Gr						X							
	<i>Agrostis stolonifera</i> var <i>palustris</i>	Nda	Gr		X										X	X
Poaceae	<i>Agrostis tenuis</i> var <i>tenuis</i>	Int	Gr			X	X	X	X	X						
	<i>Agrostis sp.</i>		Gr	X								X			X	
	<i>Alopecurus pratensis</i>	Adv	Gr								X				X	

Familia	Género y especie	Estatus biogeográfico	Forma de vida	Mallines glaciales						Mallines fluviales						
				El Chorrillo		La Laguna			El Morro		El Zurdo		Bella Vista		Pali Aike	
				HU	SH	MH	HU	SH	MH	HU	HU	SH	HU	SH	HU	SH
	<i>Anthoxathum sp.</i>		Gr								X					
	<i>Bromus sp.</i>		Gr		X	X					X		X	X	X	X
	<i>Deschampsia caespitosa</i>	Nva	Gr		X											
	<i>Deyeuxia sp.</i>		Gr							X						
	<i>Festuca magellanica</i>	End	Gr		X	X		X			X					X
	<i>Festuca pallescens</i>	End	Gr		X	X		X			X		X	X	X	X
	<i>Festuca pyrogea</i>	End	Gr													X
	<i>Holcus sp.</i>		Gr	X	X											
	<i>Hordeum comosum</i>	Nva	Gr											X	X	X
	<i>Hordeum pubiflorum</i>	Nva	Gr			X		X		X	X	X	X			
	<i>Koeleria sp.</i>		Gr				X									
	<i>Phleum sp.</i>		Gr				X			X		X				X
	<i>Poa annua</i>	Adv	Gr													X
	<i>Poa atropidiformis</i>	End	Gr													X
	<i>Poa pratensis*</i>	Adv	Gr	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X

Familia	Género y especie	Estatus biogeográfico	Forma de vida	Mallines glaciales						Mallines fluviales						
				El Chorrillo		La Laguna			El Morro		El Zurdo		Bella Vista		Pali Aike	
				HU	SH	MH	HU	SH	MH	HU	HU	SH	HU	SH	HU	SH
	<i>Poa spiciformis</i> var. <i>ibari</i>	End	Gr									X				X
	<i>Rytidosperma virescens</i>	End	Gr		X	X			X			X				X
	<i>Trisetum</i> sp.		Gr		X	X	X	X			X	X				X
	<i>Polygala darwiniana</i>	End	Hr					X				X				
Polygalaceae	<i>Rumex acetosella</i> *	Adv	Hr		X											
	<i>Rumex crispus</i> *	Adv	Hr								X					
	<i>Caltha sagittata</i> *	End	Hr	X	X	X	X	X	X	X			X			X
Ranunculaceae	<i>Ranunculus peduncularis</i>	End	Hr					X			X					
	<i>Acaena magellanica</i> *	Nva	Hr	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X
Rosaceae	<i>Acaena poeppigiana</i>	End	Hr													X
	<i>Acaena</i> sp.		Hr							X						
	<i>Potentilla</i> sp.		Hr								X					
Rubiaceae	<i>Galium aparine</i>	Adv	Hr						X							X

Familia	Género y especie	Estatus biogeográfico	Forma de vida	Mallines glaciales						Mallines fluviales						
				El Chorrillo		La Laguna			El Morro		El Zurdo		Bella Vista		Pali Aike	
				HU	SH	MH	HU	SH	MH	HU	HU	SH	HU	SH	HU	SH
Samolaceae	<i>Samolus spathulatus*</i>	End	Hr			X	X	X								
Violaceae	<i>Viola maculata</i>	End	Hr		X											

* Especies identificadas como indicadoras de degradación.

Gra: graminoides; Gr: gramíneas; Hr: hierbas; Sub: subarbustos.

Nva: nativa; End: endémica; Int: introducida; Adv: adventicia; Nda: naturalizada.

Se identificaron 63 especies en total, comprendidas dentro de 57 géneros y 22 familias. El 42,8 % de las especies están distribuidas solo entre dos familias: las *Poaceas* (23,8 %) y *Asteraceas* (19 %) (Tabla 4.4).

Tabla 4.4. Cantidad de géneros y especies pertenecientes a cada familia identificada en las transectas de vegetación.

Familia	Nº de géneros	Nº de especies	Especies por familia (%)
<i>Apiaceae</i>	1	3	4,8
<i>Asteraceae</i>	13	12	19,0
<i>Berberiaceae</i>	1	1	1,6
<i>Campanulaceae</i>	1	1	1,6
<i>Caryophyllaceae</i>	3	5	7,9
<i>Cyperaceae</i>	2	6	9,5
<i>Empetraceae</i>	1	1	1,6
<i>Fabaceae</i>	4	2	3,2
<i>Geraniaceae</i>	1	0	0
<i>Gunneraceae</i>	1	1	1,6
<i>Iridaceae</i>	1	0	0
<i>Juncaceae</i>	2	4	6,3
<i>Orobanchaceae</i>	1	1	1,6
<i>Plantaginaceae</i>	1	0	0
<i>Plumbaginaceae</i>	1	1	1,6
<i>Poaceae</i>	14	15	23,8
<i>Polygalaceae</i>	2	3	4,8
<i>Ranunculaceae</i>	2	2	3,2
<i>Rosaceae</i>	2	2	3,2
<i>Rubiaceae</i>	1	1	1,6
<i>Samolaceae</i>	1	1	1,6
<i>Violaceae</i>	1	1	1,6
Total	57	63	100,0

0: indica que no se logró identificar a la especie

La familia *Cipereacea* fue la de mayor frecuencia absoluta, con 2134 observaciones (Figura 4.1) correspondientes a 6 especies (Tabla 4.4). Las familias *Poaceae* y *Asteraceae* presentaron valores de frecuencia absoluta de 1723 y 899, respectivamente, distribuidas en un mayor número de especies (Figura 4.1).

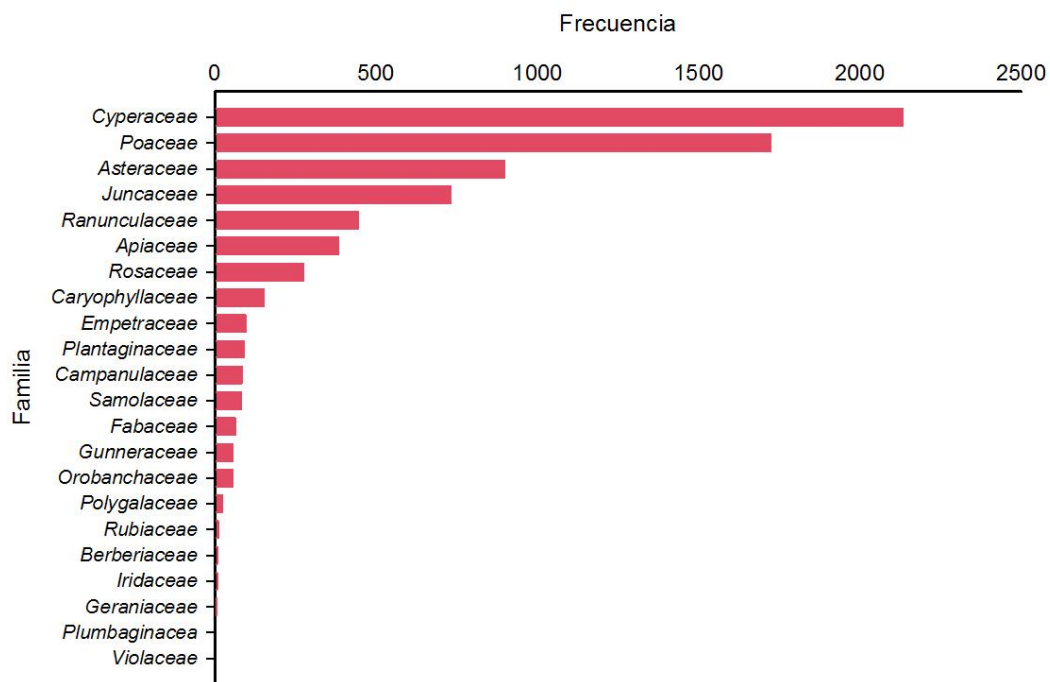


Figura 4.1. Frecuencia absoluta de familias identificadas en las transectas de vegetación de los mallines glaciales y fluviales.

En la clasificación por estatus geográfico de las especies se encontró que el 37,9 % de las plantas registradas son endémicas y el 30,9 % nativas. Asimismo, se observó una alta proporción de adventicias (19,3%). El 7,8% de los individuos no pudo ser clasificado, ya que en la determinación solo se llegó a género (Figura4.2).

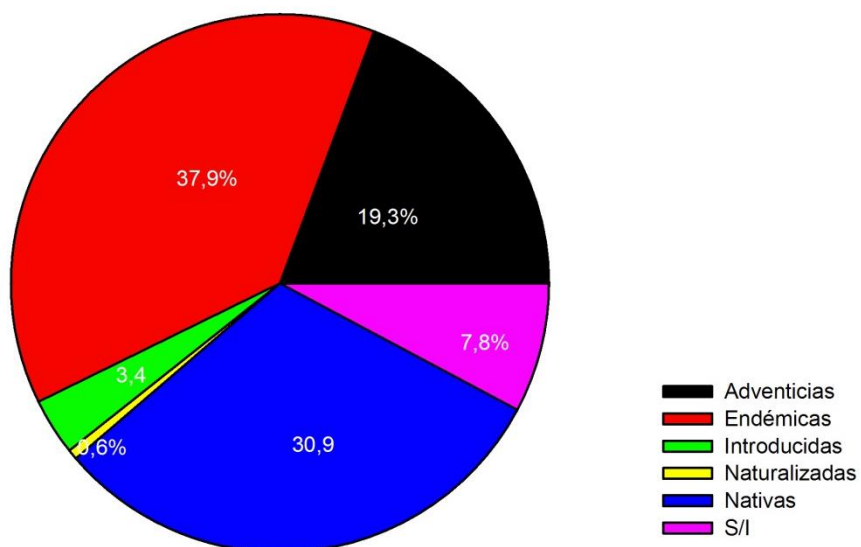


Figura 4.2. Frecuencia relativa de las especies identificadas en los relevamientos de vegetación de los mallines glaciales y fluviales clasificadas según su estatus biogeográfico. S/I: sin clasificar.

Por otro lado, se identificaron 25 especies catalogadas como indicadoras de degradación (Figura 4.3). *Taraxacum officinale* y *Poa pratensis* resultaron ser las más abundantes, con frecuencias absolutas de 538,5 y 504 puntos, respectivamente.

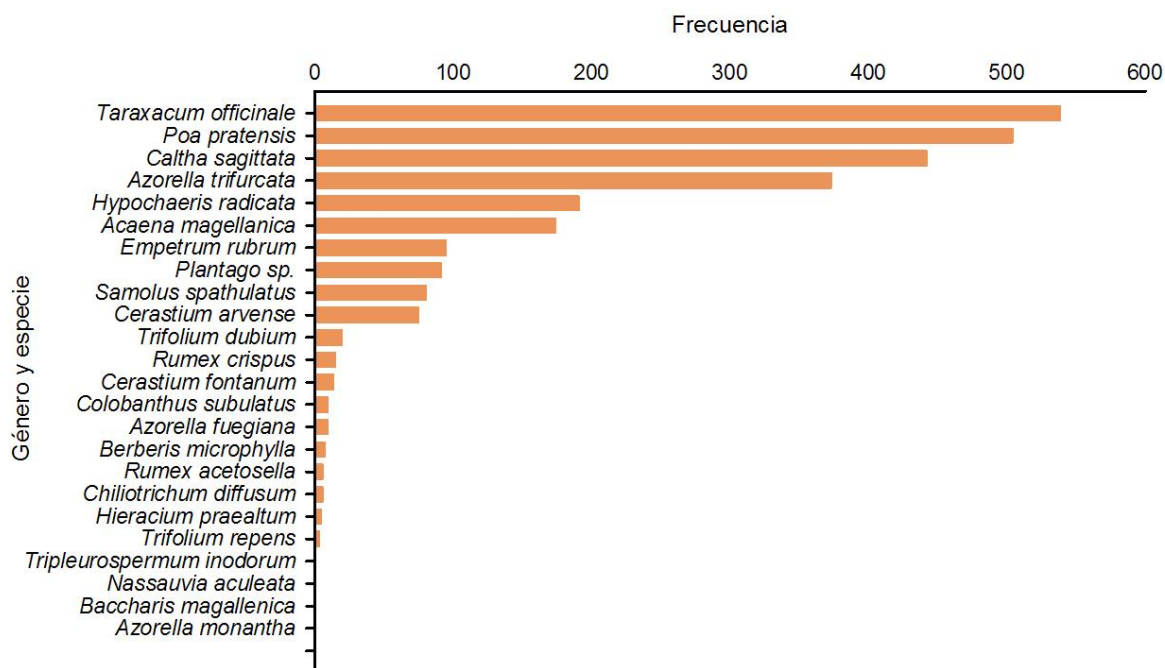


Figura 4.3. Frecuencia absoluta de las especies indicadoras identificadas en los relevamientos de vegetación de los mallines glaciales y fluviales.

4.3.2. Descripción florística

4.3.2.1. Mallines glaciales

En el mallín *La Laguna* (Figura 4.4) se delimitaron tres unidades fisonómicas florísticas, pradera de *Carex macloviana* en el sector muy húmedo; pradera de *Poa pratensis* en el sector húmedo y finalmente en el sector semihúmedo la pradera de *Festuca pallenscens* (Figura 4.5). En las tres unidades la cobertura vegetal superó el 90 %, con un máximo de 99,5 % en el sector muy húmedo (Tabla 4.4). La riqueza específica en cada sector fue distinta, el valor más alto se registró en el SH, con 30 especies y el más bajo en el H, con 17 especies. El índice de diversidad es similar para los sectores muy húmedo y semihúmedo, con valores de 2,3 y 2,2, respectivamente. El índice de Pielou arrojó el mismo valor para los tres, 0,7 (Tabla 4.5).



Figura 4.4. Vista panorámica del mallín glacial *La Laguna*.

La cobertura de especies indicadoras de degradación fue alta en los tres sectores, con un valor mínimo de 44,3 % en el sector húmedo y un máximo de 63,1 % en el semihúmedo (Tabla 4.5). Las especies indicadoras de degradación más frecuentes fueron *Caltha sagittata*, *P. pratensis* y *Azorella trifurcata*, en los sectores muy húmedo, húmedo y semihúmedo, respectivamente (Figura 4.6 a, b y c).

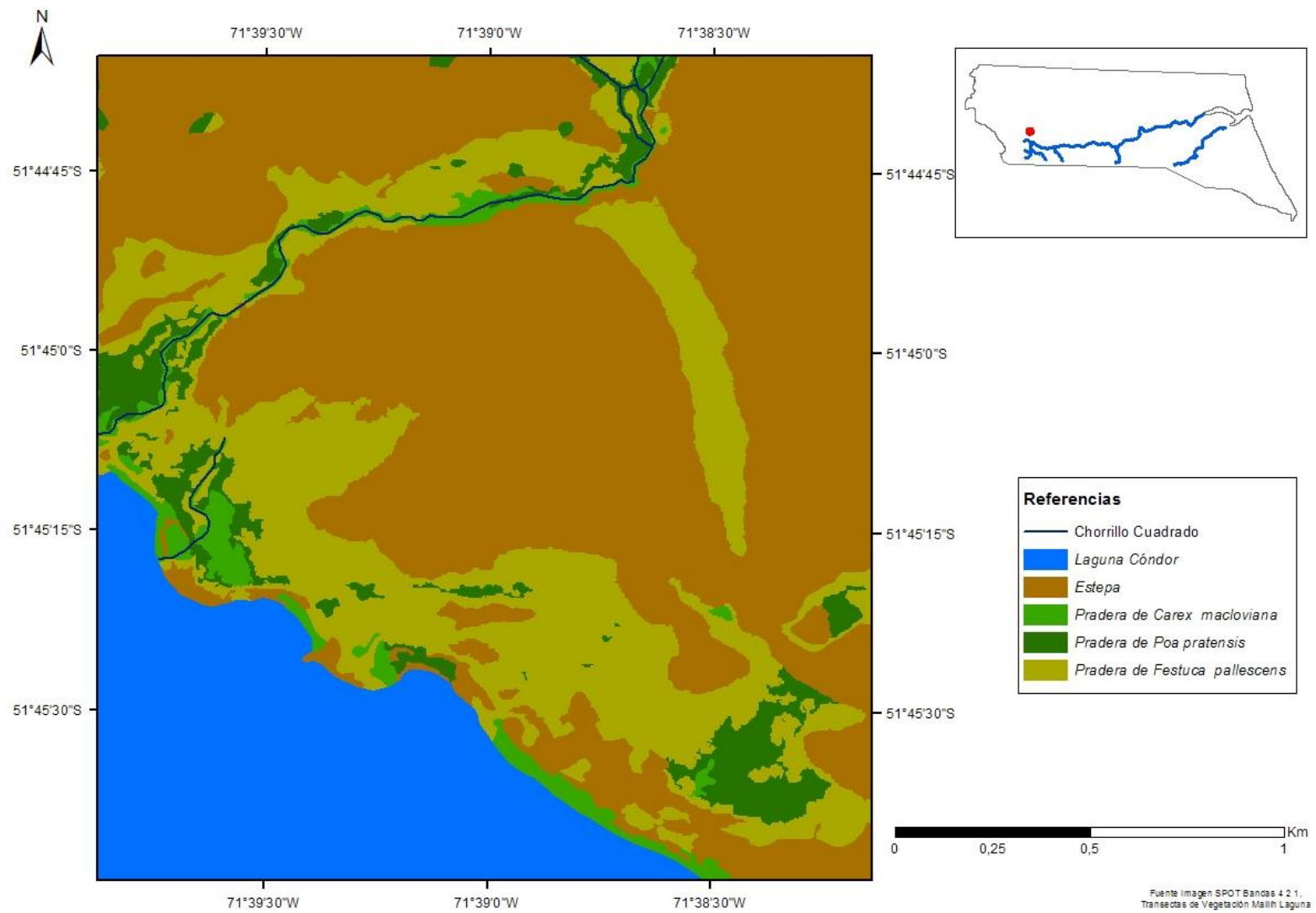


Figura 4.5. Mapa de unidades de vegetación del mallín glacial *La Laguna*. Fuente: Imagen SPOT 5 bandas 4 2 1, transectas de vegetación.

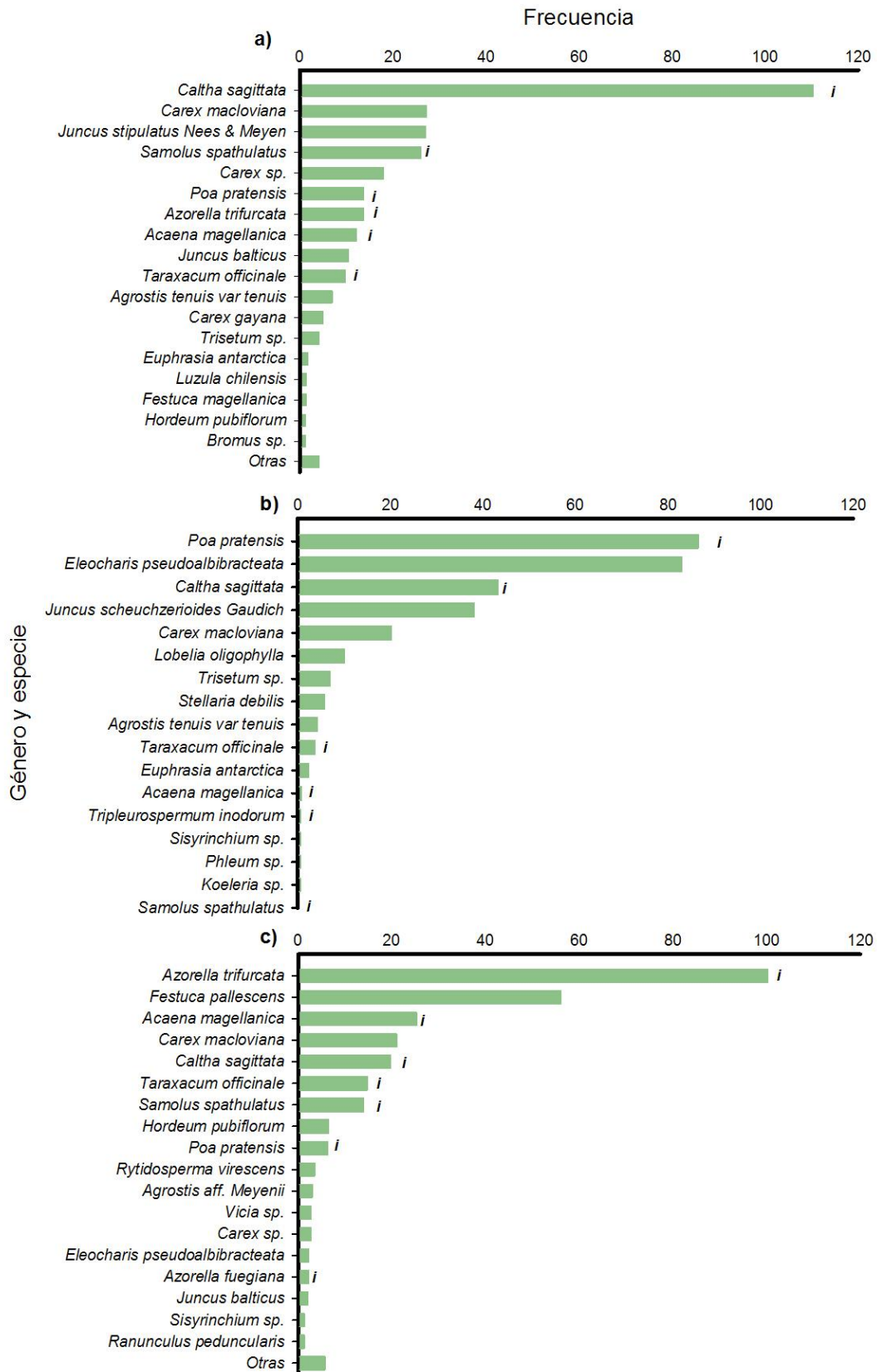


Figura 4.6. Frecuencia absoluta de las especies presentes en los tres sectores del mallín glacial *La Laguna*. a) Muy húmedo; b) Húmedo y c) Semihúmedo. La categoría otras incluye las especies con frecuencia ≤ 1 .

El mallín *El Morro* (Figura 4.7) por su parte, presentó dos unidades de vegetación: praderas de *Juncus stipulatus* Nees & Meyen en los sectores muy húmedo, con una cobertura vegetal de 99,8 %, y praderas de *Agrostis tenuis* var *tenuis* en el húmedo con el 95,6 % de cobertura vegetal (Figura 4.8). Los valores de riqueza de ambos sectores fueron de 9 y 14, en ese orden, con un mayor índice de diversidad en el sector húmedo (1,6) e igual índice de Pielou para ambos sectores (Tabla 4.5).



Figura 4.7. En primer plano vista parcial del mallín glacial *El Morro*.

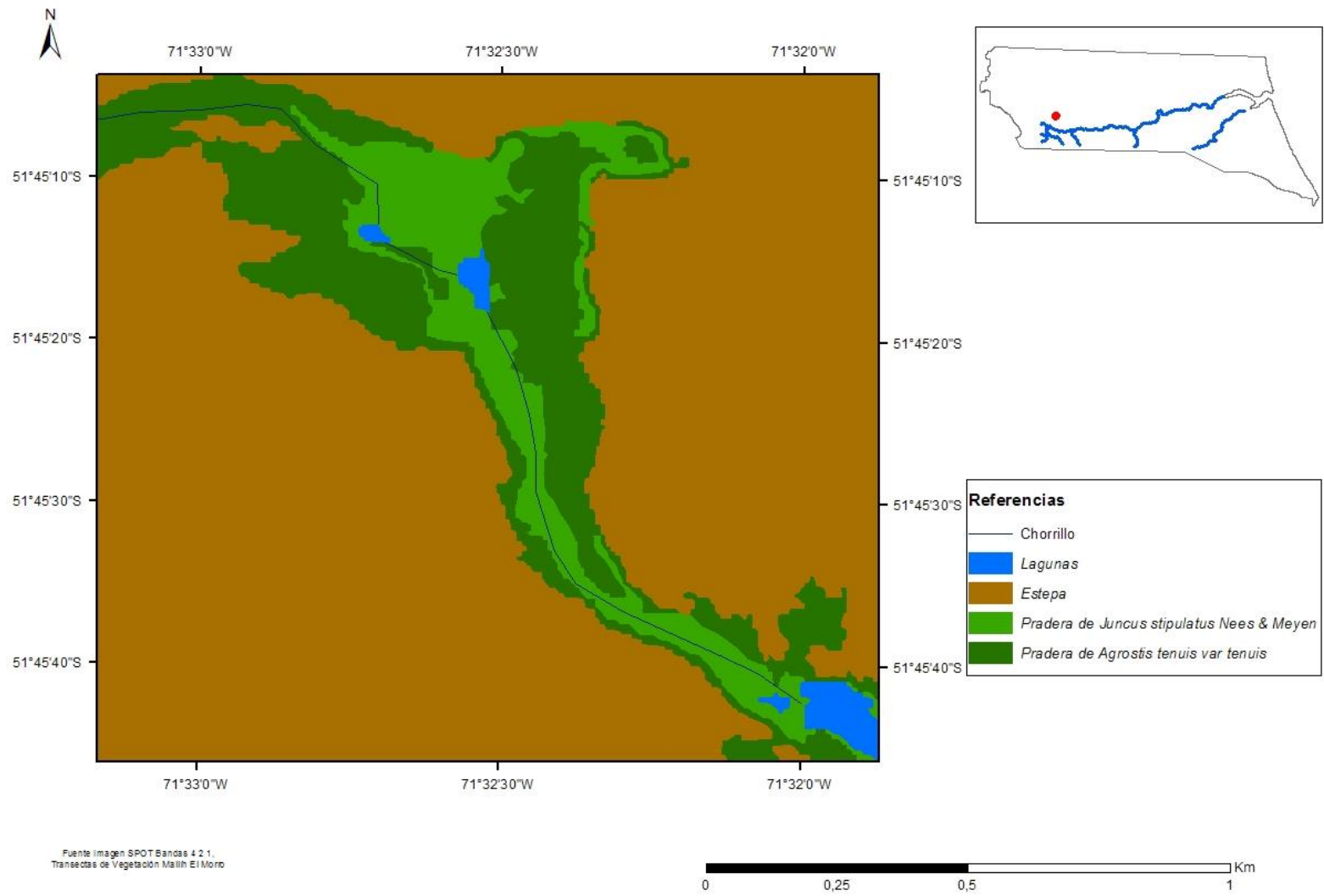


Figura 4.8. Mapa de unidades de vegetación del mallín glacial *El Morro*. Fuente: Imagen SPOT 5 bandas 4 2 1, transectas de vegetación.

En la pradera de *Juncus stipulatus* Nees & Meyen (sector muy húmedo) se observaron solo 2 especies, con una frecuencia menor a 5. Mientras que en la pradera de *Agrostis tenuis var tenuis* se identificaron 4 especies indicadoras de degradación con frecuencias menores a 6, donde *P. pratensis* presentó el mayor valor (Figura 4.9). La cobertura de indicadoras de degradación en ambos sectores no superó el 3 % (Tabla 4.5).

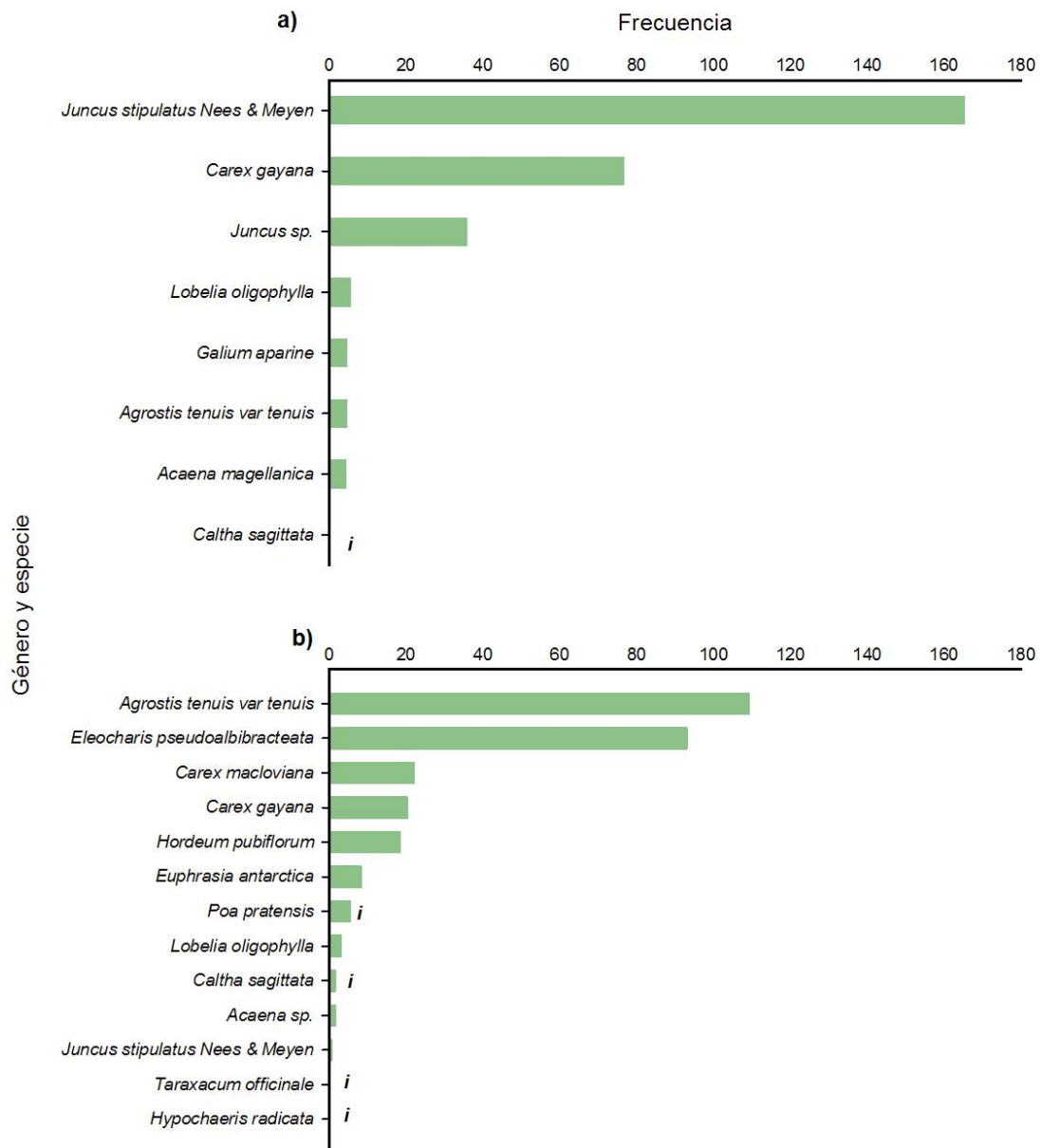


Figura 4.9. Frecuencia absoluta de las especies presentes en los dos sectores del mallín glacial *El Morro*. a) Muy húmedo y b) Húmedo.

El mallín *El Chorrillo* se encontraba cubierto por praderas de *Eleocharis pseudoalbibracteata* en los sectores húmedos (Figura 4.10) y de *Carex andina* en los semihúmedos (Figura 4.11). La cobertura vegetal para ambos fue de 99,6 y 97,9 %, respectivamente. *El Chorrillo* presentó los valores de riqueza más altos de los mallines glaciales en estudio, tanto en los sectores húmedos como semihúmedos, tomando valores de 23 en el primero y 37 en el segundo. Lo mismo se observó en el índice de diversidad que arrojó un valor de 2,9 para el sector semihúmedo (Tabla 4.5).



Figura 4.10. Vista panorámica del mallín glacial *El Chorrillo*.

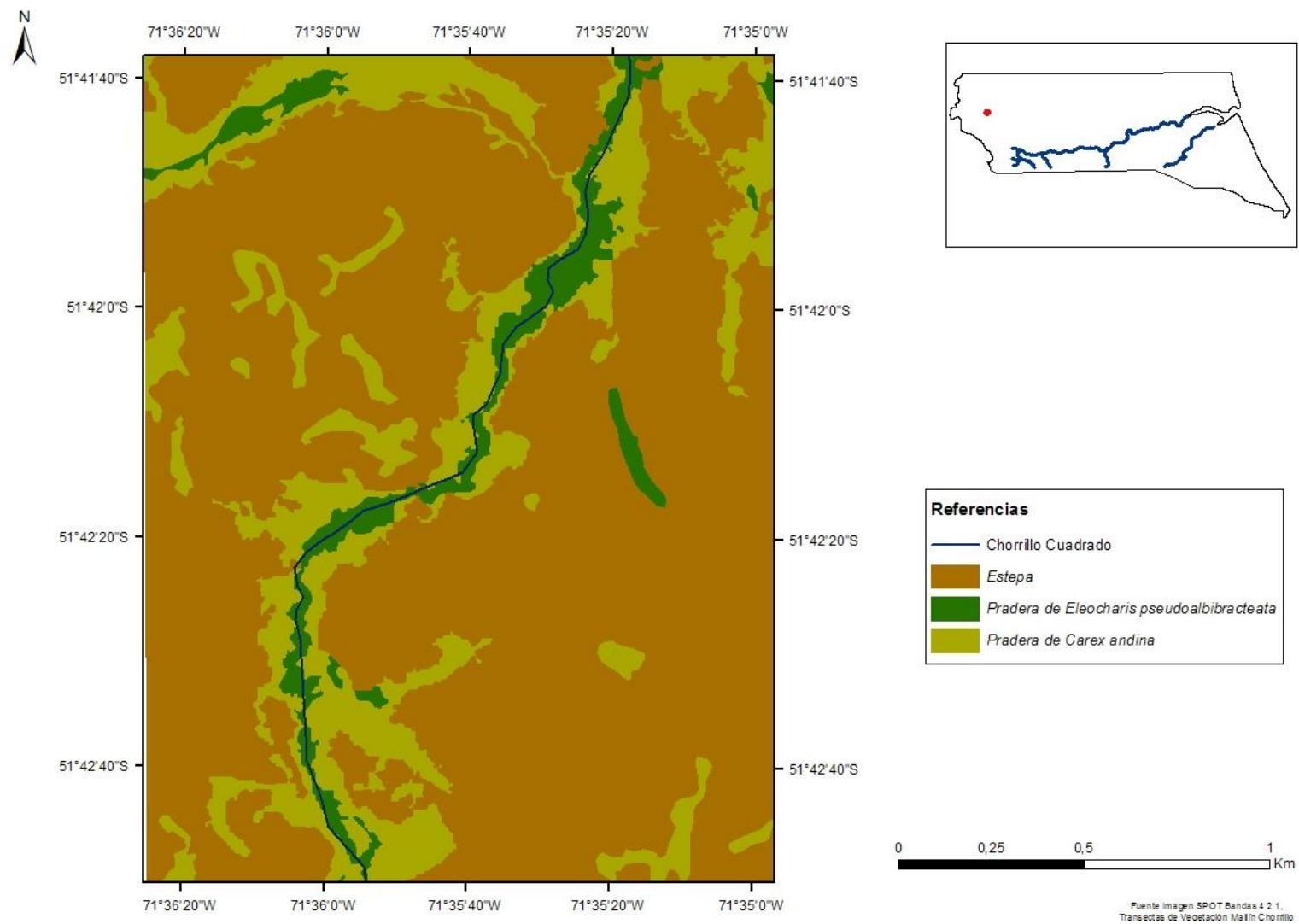


Figura 4.11. Mapa de unidades de vegetación del mallín glacial *El Chorrillo*. Fuente: Imagen SPOT 5 bandas 4 2 1, transectas de vegetación.

En lo que respecta a las especies indicadoras de degradación, en este mallín se registraron 9 especies en el sector húmedo y 14 en el semihúmedo (Tabla 4.5), siendo las más frecuentes *Hypochaeris radicata* en el sector húmedo y *Empetrum rubrum* en el semihúmedo (Figura 4.12). Los valores de cobertura de indicadoras de degradación fueron similares a los registrados en el mallín *La Laguna* y rondaron el 50 % en ambos sectores (Tabla 4.5).

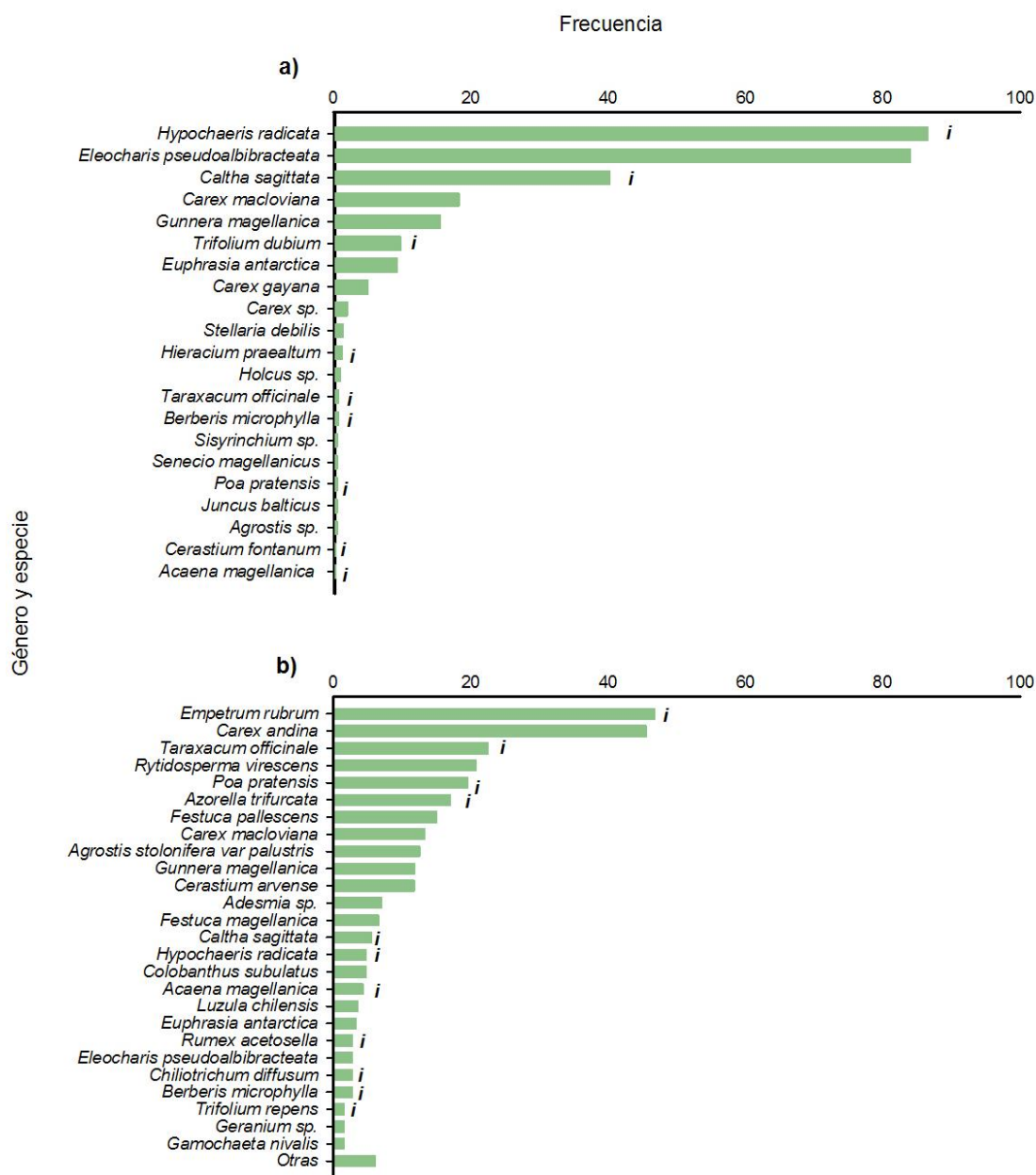


Figura 4.12. Frecuencia absoluta de las especies presentes en los dos sectores del mallín glacial *El Chorrillo*. a) Húmedo y b) Semihúmedo. La categoría otras incluye las especies con frecuencia ≤ 1 .

Tabla 4.5. Valores de los indicadores utilizados para caracterizar la vegetación de los mallines glaciales según el sector.

Mallín	Sector	Cv (%)	Cspld (%)	SP	SPId	H'	J'
La Laguna	<i>MH</i>	99,5	62,9	27	9	2,3	0,7
	<i>HU</i>	98,6	44,3	17	6	1,9	0,7
	<i>SH</i>	94,8	63,1	30	10	2,2	0,7
El Morro	<i>MH</i>	99,8	1,5	9	2	1,2	0,6
	<i>HU</i>	95,6	2,7	14	4	1,6	0,6
El Chorrillo	<i>HU</i>	99,6	48,8	23	9	2,0	0,6
	<i>SH</i>	97,9	50,3	37	16	2,9	0,8

Cv: cobertura vegetal; *Cspld*: cobertura de especies indicadoras de degradación; *SP*: riqueza de especies; *SPId*: riqueza de especies indicadoras de degradación; *H'*: índice de diversidad de Shannon-Weaver; *J'*: índice de Pielou.

4.3.2.2. Mallines fluviales

El mallín *El Zurdo* (Figura 4.13) se destacó por sus praderas de *Carex gayana* en los sectores húmedos y de *Festuca pallescens* en los semihúmedos (Figura 4.14), presentaron coberturas vegetales del 100 y 93,7 %, respectivamente. La riqueza específica fue mayor en el sector semihúmedo con 32 especies registradas (Tabla 4.6). Este mallín presentó valores de índice de diversidad superior a 2 en ambos sectores y de equitatividad mayores a 0,6 (Tabla 4.6).



Figura 4.13. Vista panorámica del mallín fluvial *El Zurdo*.

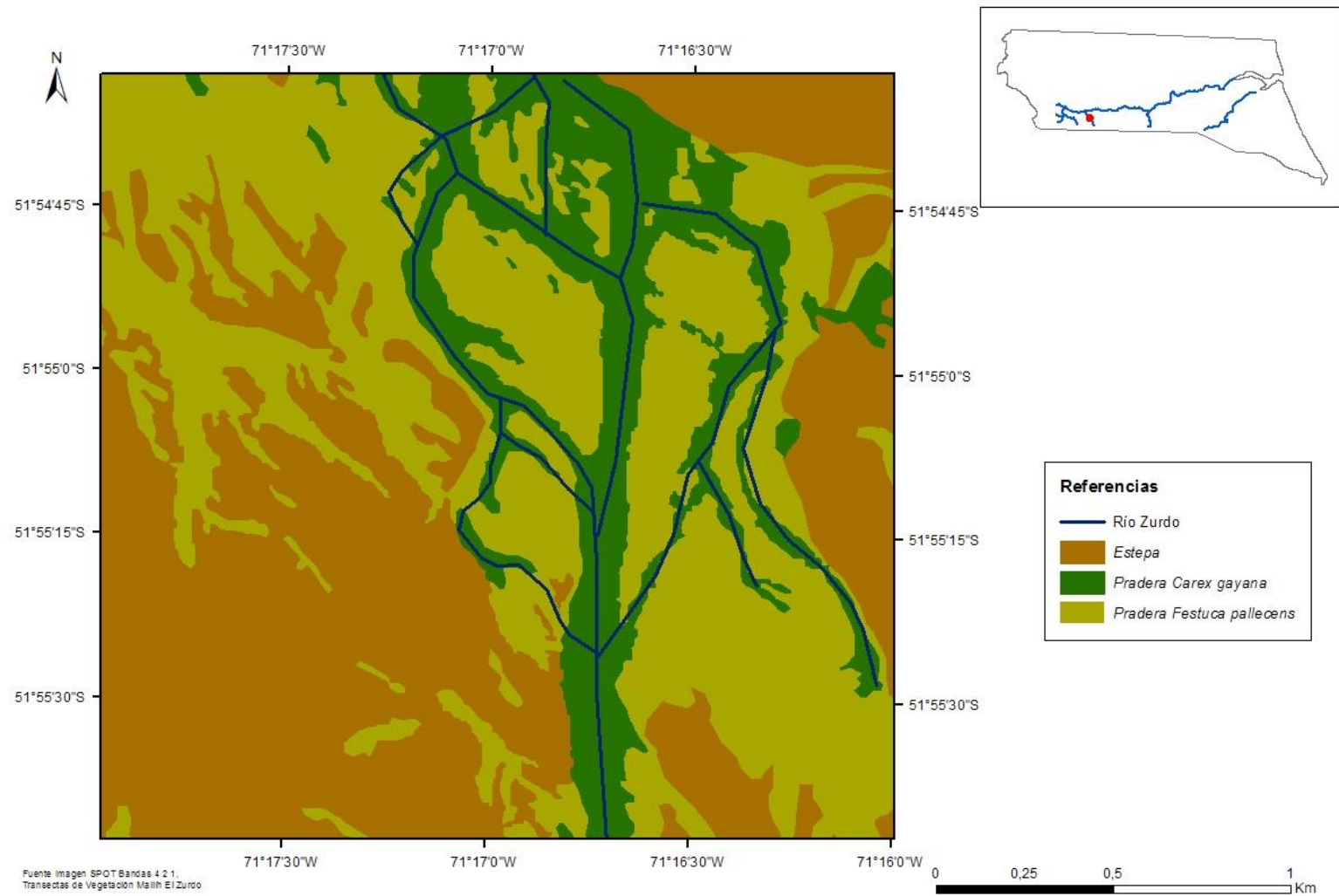


Figura 4.14. Mapa de unidades de vegetación del mallín fluvial *El Zurdo*. Fuente: Imagen SPOT 5 bandas 4 2 1, transectas de vegetación.

En el sector húmedo de *El Zurdo* se identificaron 6 especies indicadoras de degradación pero ninguna presentó una frecuencia mayor a 11. No ocurrió lo mismo en el sector semihúmedo, en donde *A. trifurcata* y *T. officinale* representaron el 37 % de los registros (Figura 4.15), con una cobertura de especies del 49,1 % (Tabla 4.6).

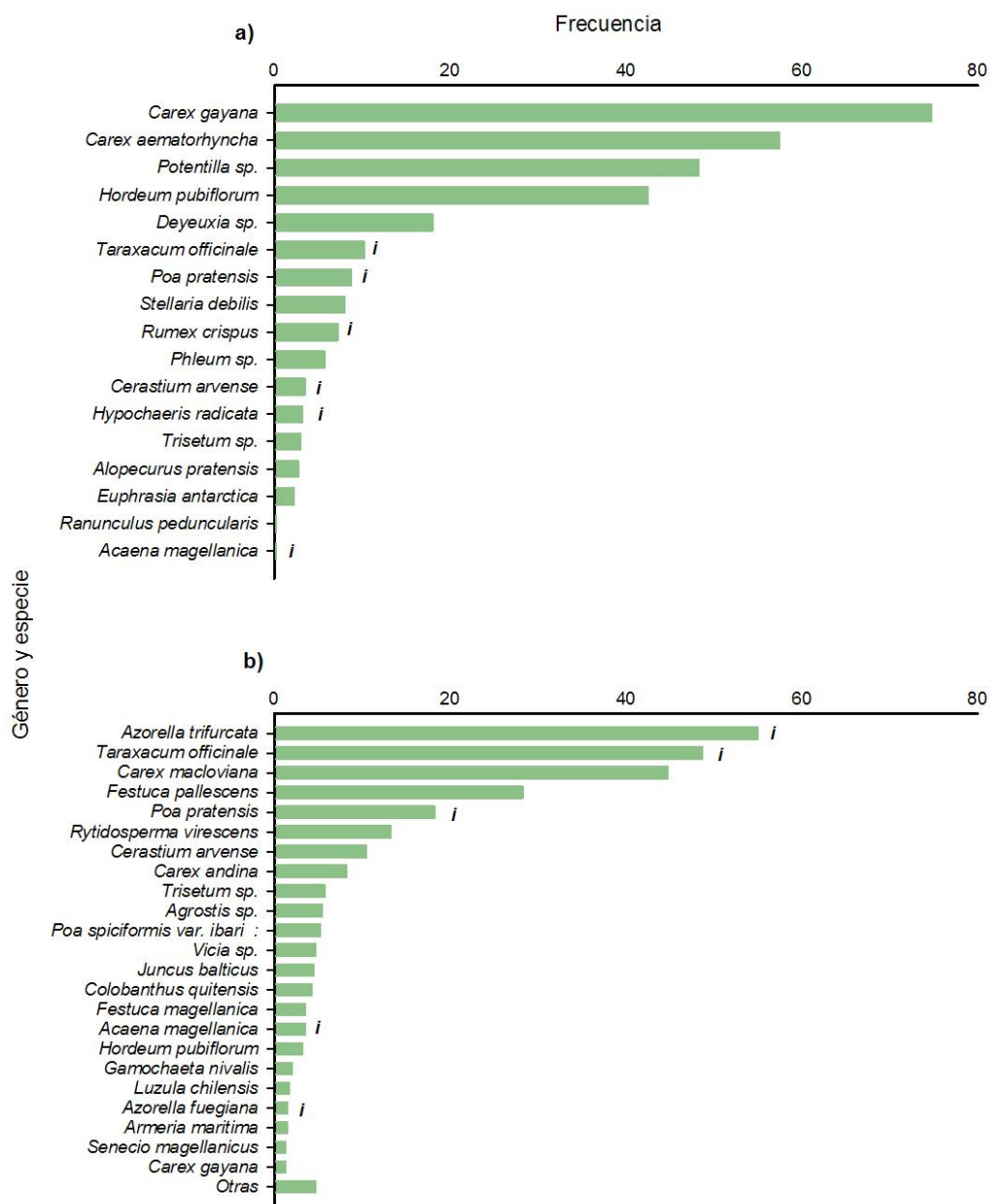


Figura 4.15. Frecuencia absoluta de las especies presentes en los dos sectores del mallín fluvial *El Zurdo*. a) Húmedo y b) Semihúmedo. La categoría otras incluye las especies con frecuencia ≤ 1 .

El mallín *Bella Vista* (Figura 4.16) presentó una pradera de *Eleocharis pseudoalbibracteata* en sus sectores húmedos, mientras que en los sectores semihúmedos predominaron las praderas de *Taraxacum officinale* (Figura 4.17). La cobertura vegetal de los sectores húmedos fue del 99,8 %, que al igual que en los mallines antes descritos, superó a la registrada en los sectores semihúmedo (93,3 %). Lo mismo se observó en la riqueza específica, con 11 y 19 especies, respectivamente. En la pradera de *Eleocharis pseudoalbibracteata* se obtuvieron los valores más bajos de los índices de diversidad y de equitatividad calculados para los mallines fluviales bajo estudio (Tabla 4.6).



Figura 4.16. Vista panorámica del mallín fluvial *Bella Vista*.

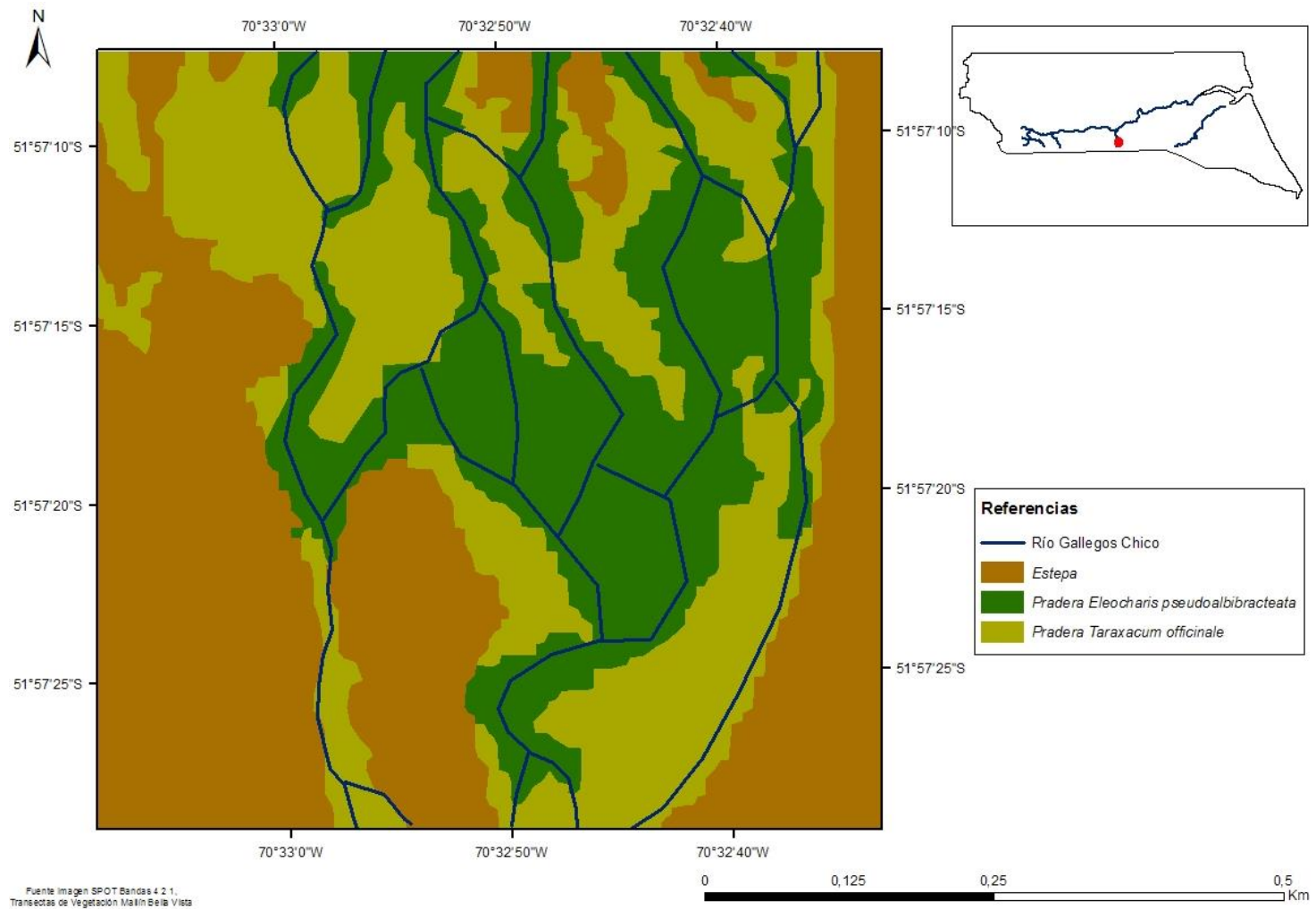


Figura 4.17. Mapa de unidades de vegetación del mallín fluvial *Bella Vista*. Fuente: Imagen SPOT 5 bandas 4 2 1, transectas de vegetación

En este mallín se identificaron 6 especies indicadoras de degradación, todas se encontraron en sector semihúmedo (Tabla 4.6). *T. officinale* fue la especie de mayor frecuencia absoluta, con 113 observaciones (Figura 4.18).

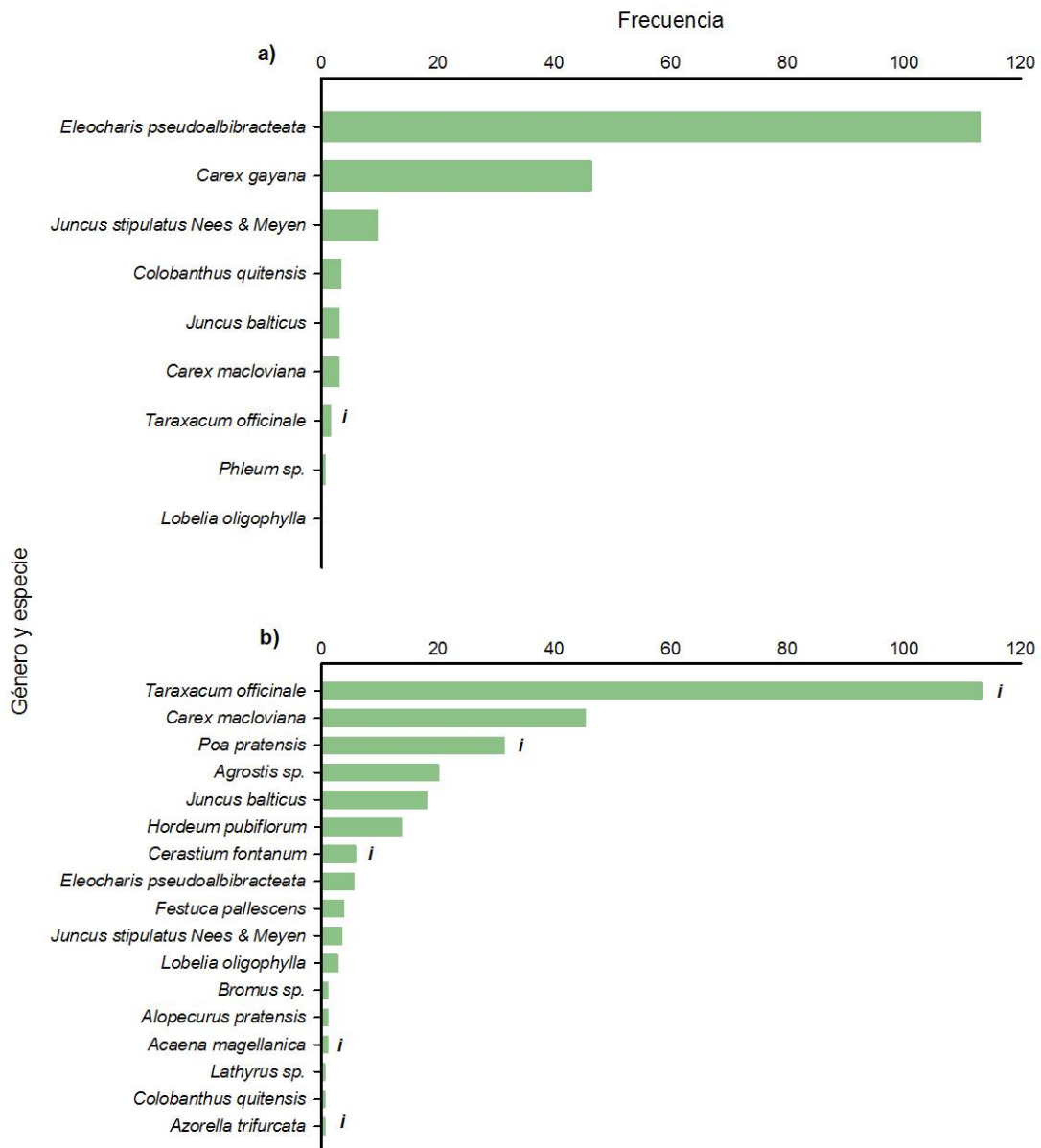


Figura 4.18. Frecuencia absoluta de las especies presentes en los dos sectores del mallín fluvial *Bella Vista*. a) Húmedo y b) Semihúmedo.

En el mallín *Pali Aike* (Figura 4.19), junto a los cursos de agua se desarrollaron praderas de *Eleocharis pseudoalbibracteata* y en los sectores semihúmedos extensas praderas de *Festuca pallescens* (Figura 4.20). Las coberturas vegetales de ambos sectores presentaron valores similares a los determinados para el mallín *Bella Vista* (Tabla 4.6). La riqueza específica registrada fue 16 y 27 especies para los sectores húmedos y semihúmedos, en ese orden. No se observaron grandes diferencias en los índices de Shannon-Weaver y Pielou entre sectores (Tabla 4.6).



Figura 4.19. Vista panorámica del mallín fluvial *Pali Aike*.

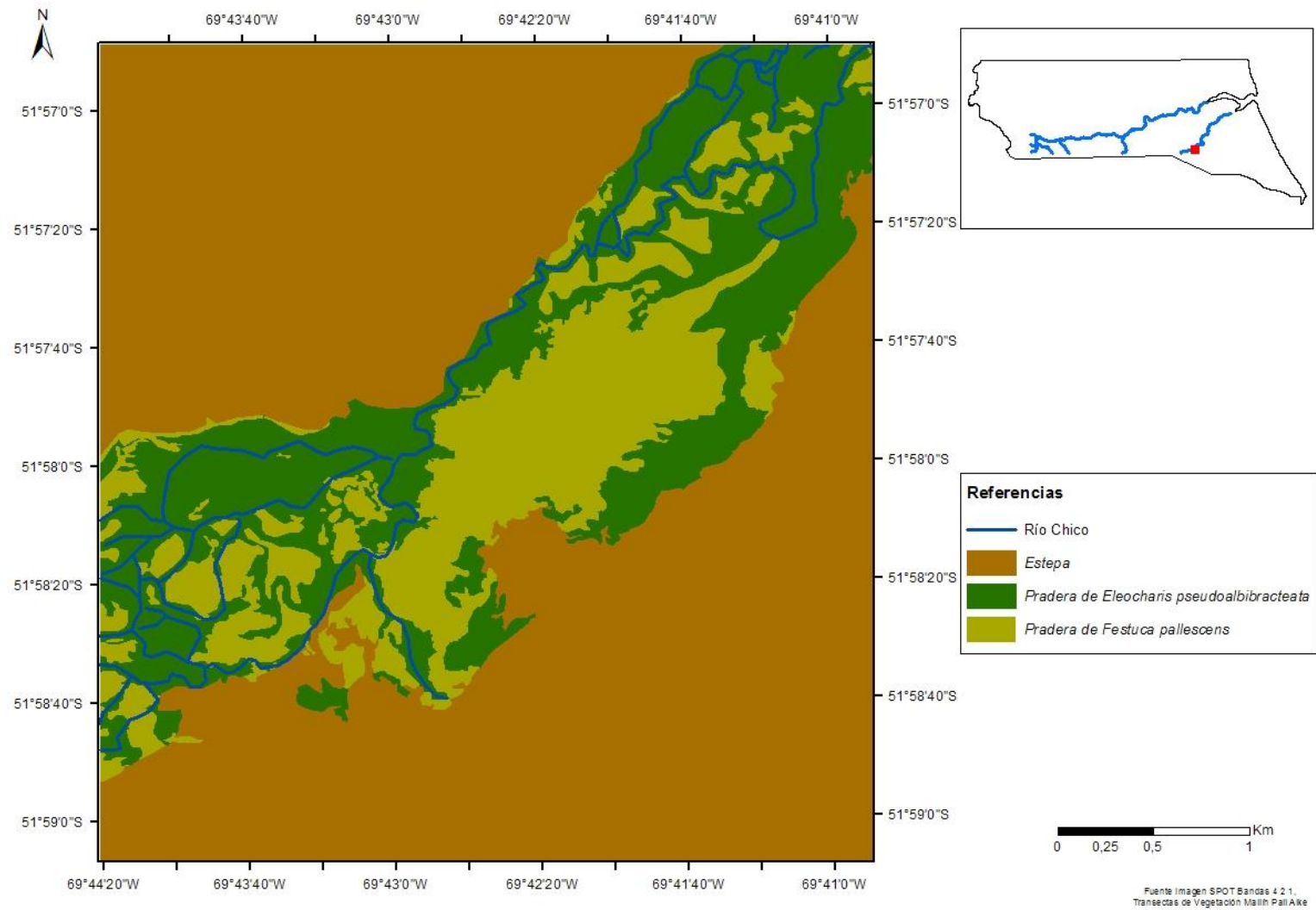


Figura 4.20. Mapa de unidades de vegetación del mallín fluvial *Pali Aike*. Fuente: Imagen SPOT 5 bandas 4 2 1, transectas de vegetación.

La presencia de especies indicadoras de degradación en este mallín fue alta, con porcentajes cobertura de 20,1 % en el sector húmedo y 48,5 % en el semihúmedo (Tabla 4.6), *Plantago sp.*, *P. pratensis* y *T. officinale* fueron las especies de mayor frecuencia absoluta (Figura 4.21).

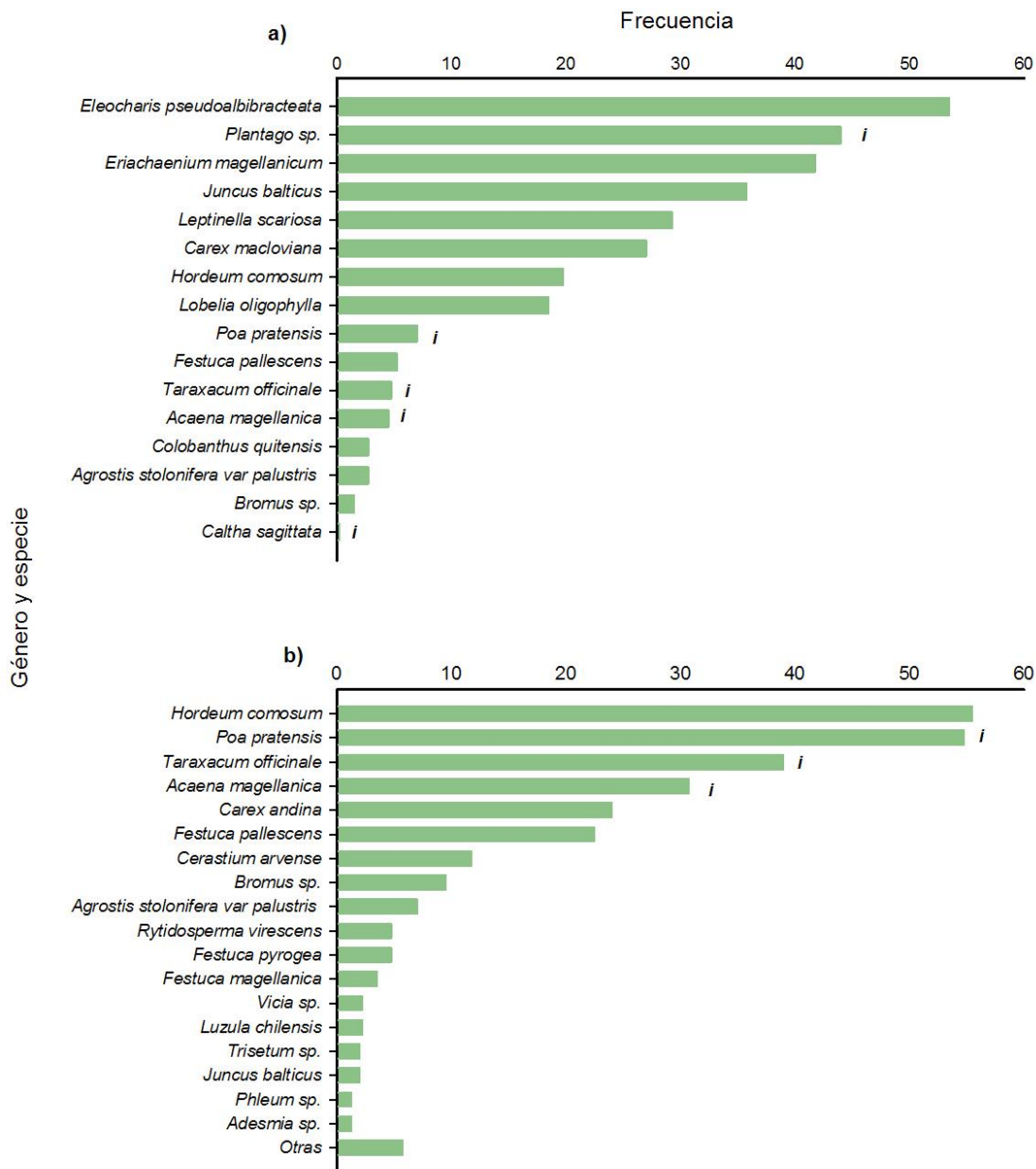


Figura 4.21. Frecuencia absoluta de las especies presentes en los dos sectores del mallín fluvial *Pali Aike*. a) Húmedo y b) Semihúmedo. La categoría otras incluye las especies con frecuencia ≤ 1 .

Tabla 4.6. Valores de los indicadores utilizados para caracterizar la vegetación de los mallines fluviales según el sector.

<i>Mallín</i>	<i>Sector</i>	<i>Cv (%)</i>	<i>Cspld (%)</i>	<i>SP</i>	<i>SPld</i>	<i>H'</i>	<i>J'</i>
El Zurdo	HU	100,0	11,2	17	6	2,1	0,8
	SH	93,7	49,1	32	7	2,6	0,7
Bella Vista	HU	98,7	0,9	11	1	1,4	0,6
	SH	93,3	56,0	19	5	2,0	0,7
Pali Aike	HU	99,8	20,1	16	5	2,3	0,8
	SH	93,8	48,5	27	6	2,4	0,7

Cv: cobertura vegetal; *Cspld*: cobertura de especies indicadoras de degradación; *SP*: riqueza de especies; *SPld*: riqueza de especies indicadoras de degradación; *H'*: índice de diversidad de Shannon-Weaver; *J'*: índice de Pielou.

4.3.3. Relación de la vegetación con el ambiente geomorfológico y el sector

El análisis de componentes principales de las transectas de vegetación permitió explorar la variabilidad entre los ambientes geomorfológicos y entre los sectores de los mallines. La componente principal 1 explicó el 18,2 % de la variación y agrupó a las transectas marcando un gradiente de humedad. Las transectas de los sectores húmedo se caracterizaron por la presencia de las especies *Carex gayana*, *Juncus stipulatus* Nees & Meyen, *Carex aematorhyncha*, *Potentilla sp.* y *Eleocharis pseudoalbibracteta*, mientras que las del sector semihúmedo estaban compuestas principalmente por *Festuca pallescens*, *Poa pratensis* y *Hordeum sp.* (Figura 4.22). Las transectas del sector húmedo que se agruparon con las del sector semihúmedo presentaban una cobertura de especies indicadoras de degradación superior al 55 % (Tabla 4.5), principalmente *Caltha sagittata* y *Azorella trifurcata*.

El plano definido por el componente principal 2 explicó el 16,5 % de la variación y separó a las transectas que están compuestas principalmente por *C. sagittata*, *C. gayana* y *A. trifurcata* en un extremo y por el otro a las que presentan las especies *C. aematorhyncha*, *Carex andina*, *Potentilla sp.* y *Hordeum sp.* (Figura 4.22). La componente principal 3 explicó solo el 12,9 % de la variación y las especies positivamente asociadas a esta componente fueron *Eriachaenium magellanicum*, *Juncus balticus* y *Plantago*, mientras que *Carex sp.* y *Taraxacum officinale* lo hicieron en sentido inverso (Figura 4.22).

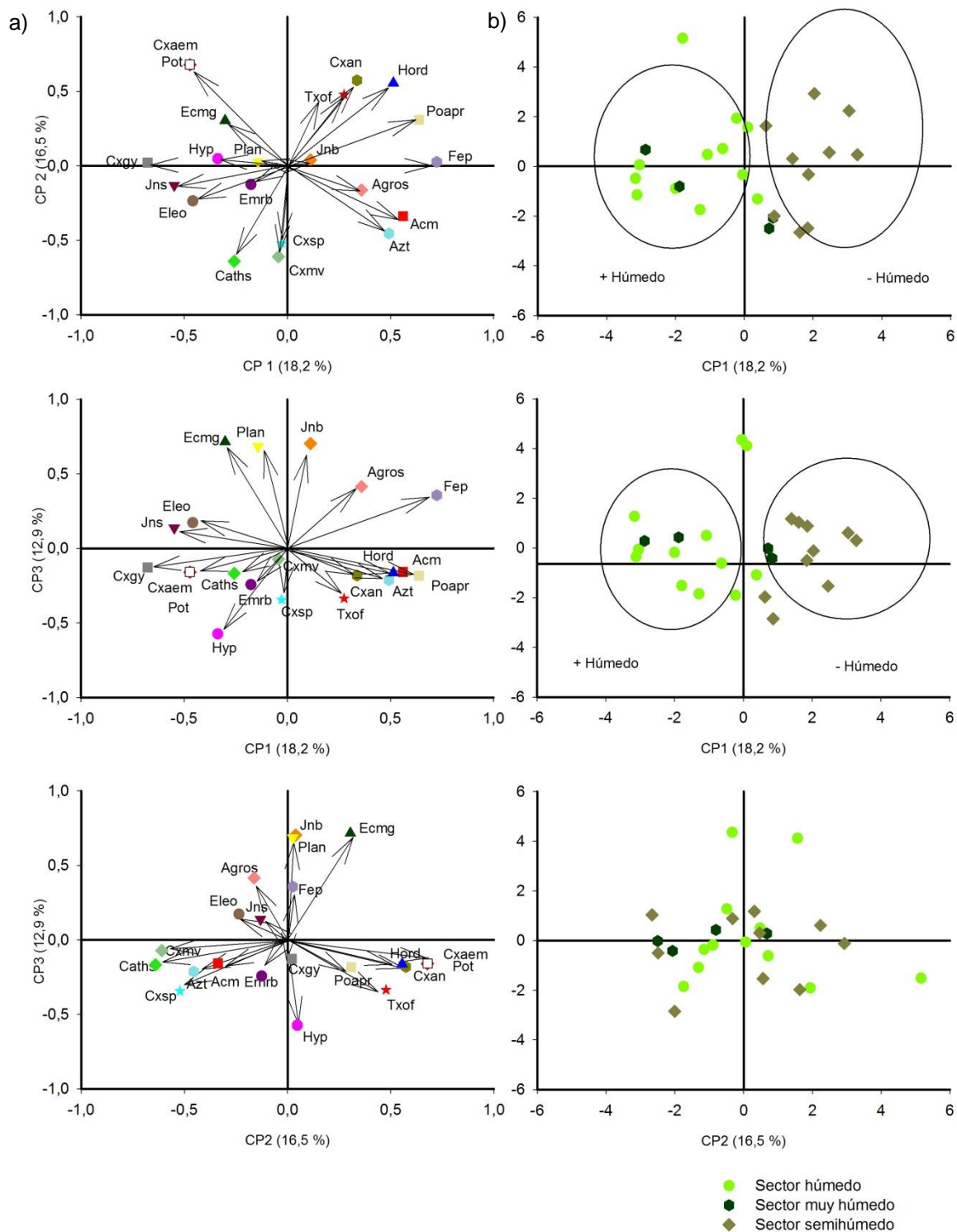


Figura 4.22. Distribución de las especies *Acaena magellanica* (Acm), *Azorella trifurcata* (Azt), *Caltha sagittata* (Cath), *Carex aematorhyncha* (Cxaem), *Carex gayana* (Cxgy), *Carex andina* (Cxan), *Carex macloviana* (Cxm), *Carex sp.* (Cxsp), *Eleocharis pseudoalbibracteta* (Eleo), *Empetrum rubrum* (Emrb), *Eriochaenium magellanicum* (Ecmg), *Festuca pallescens* (Fep), *Hordeum sp.* (Hord), *Hypochaeris radicata* (Hyp), *Juncus balticus* (Jnb), *Juncus stipulatus* Nees & Meyen (Jns), *Plantago sp.* (Plan), *Poa pratensis* (Poapr), *Potentilla sp.* (Pot), *Taraxacum officinale* (Txof) y *Agrostis sp.* (Agros) y transectas de vegetación de los sectores muy húmedos, húmedos y semihúmedos de los mallines *La Laguna*, *El Morro*, *El Chorrillo*, *El Zurdo*, *Bella Vista* y *Pali Aike*. ACP: columna a) diagrama de variables y columna b) diagrama de casos.

En el análisis de conglomerados de las transectas de vegetación se observaron cuatro grupos florísticamente diferentes. Estos grupos se identificaron como A, B, C y D en el dendrograma (Figura 4.23). En el grupo A se concentran a las transectas de sectores muy húmedos y húmedos compuestas principalmente por *Carex gayana*, *Eleocharis pseudoalbibracteata* y *Juncus stipulatus* Nees & Meyen, mientras que en el grupo B se asocian las transectas de los sectores semihúmedos que presentan las especies *Poa pratensis*, *Hordeum sp.* y *Carex Andina*. En el grupo C se entremezclan transectas de los sectores muy húmedos, húmedos y semihúmedos con altas coberturas de *Caltha sagittata*, *Acaena magallanica*, *P. pratensis*, *Taraxacum officinale* y *Azorella trifurcata*, al igual que en el grupo D, pero en este caso se asociaron por las especies *Festuca pallescens*, *P. pratensis*, *Agrostis sp.*, *T. officinale*, *Carex macloviana* y *Juncus balticus* (Figura 4.23).

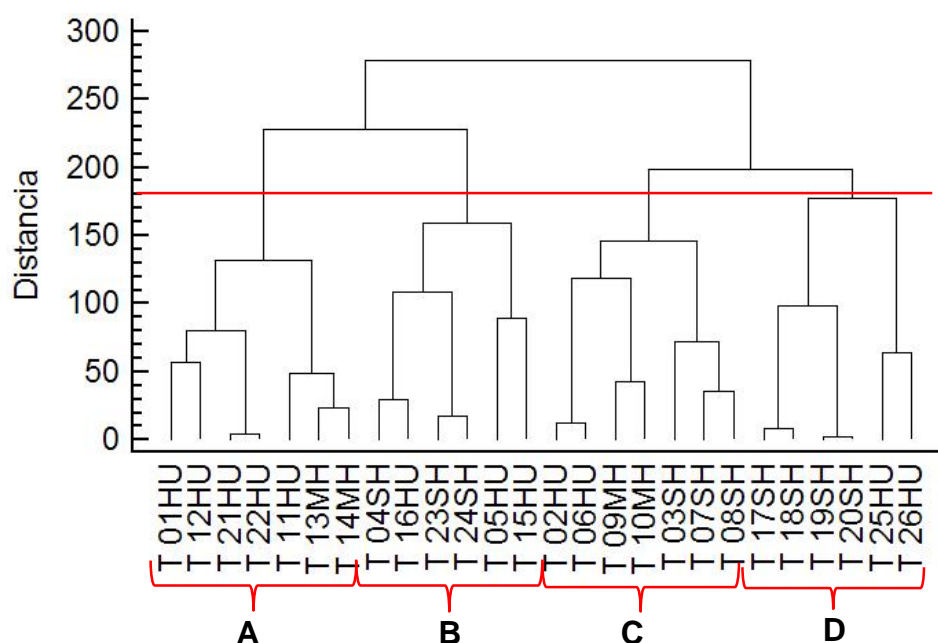


Figura 4.23. Dendrograma del análisis de conglomerados (Método de Ward, Distancia City-Block) de las transectas de vegetación de los mallines glaciales y fluviales. La línea roja indica la distancia de corte para definir los grupos y corchetes rojos indican los grupos A, B, C y D.

Los resultados de los análisis de la varianza (Tabla 4.7), paramétricos y no paramétricos, de la riqueza específica, índice de Shannon–Weaver, índice de Pielou, cobertura vegetal y cobertura por forma de vida (gramíneas, graminoides, hierbas y subarbustos) no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre ambientes geomorfológicos. Por el contrario, sí se detectaron diferencias en las medias ($p \leq 0,05$) de estas variables dadas por el sector, a excepción de la cobertura de gramíneas ($p = 0,9066$). En ningún caso se encontró interacción de los factores (Tabla 4.7).

Tabla 4.7. Análisis de la varianza (*p* valores) de los indicadores de la vegetación por el ambiente geomorfológico (Amb. Geo.) y el sector.

Factor	SP	H'	J'	Cv	CGr	CGra	CHr	CSub
<i>Amb. Geo.</i>	0,165	0,6434	0,236	0,4388	0,8542	0,3886	0,0605	0,1582
<i>Sector</i>	0,0001	0,0005	0,0454	0,0002	0,9066	0,0027	0,0434	0,0084
<i>Amb. Geo. x sector</i>	0,8578		0,7551		0,7819	0,7911	0,2181	0,6097

SP: riqueza de especies; H': índice de diversidad de Shannon-Weaver; J': índice de Pielou. Cv: cobertura vegetal; CGr: cobertura de gramíneas; CGra: cobertura de gramínoideas; CHr: cobertura de hierbas; CSub: cobertura de subarbustos.

En los sectores húmedos la riqueza específica fue, aproximadamente, 50% menor a la de los semihúmedos, el número de especies promedio fue 11,6 ($\pm 1,3$) y 20,9 ($\pm 1,4$), respectivamente. Las especies más importantes fueron *Eleocharis pseudoalbibracteata* y *Carex gayana*, en los sitios húmedos, mientras que en los sectores semihúmedos *Poa pratensis* y *Festuca pallescens*. Los valores medios del índice de Shannon-Weaver destacaron la mayor diversidad de los sitios semihúmedos ($2,18 \pm 0,073$) frente a los húmedos ($1,51 \pm 0,118$), mientras que los resultados del índice de Pielou indicaron que en ambos sectores las especies estaban representadas de manera relativamente uniforme, más allá de ser significativamente diferentes (Figura 4.24, Tabla 4.7).

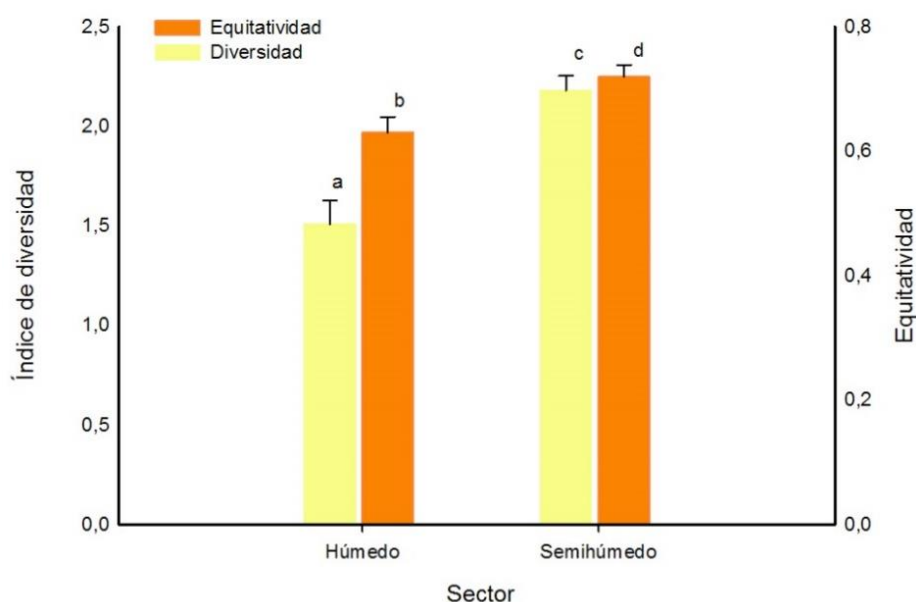


Figura 4.24. Índice de Shannon-Weaver medio y Pielou (equitatividad) media de los mallines húmedos y semihúmedos. Letras distintas indican diferencias significativas de los índices entre los sectores y las barras negras el error estándar.

La cobertura vegetal de estos ambientes en general fue alta. En los sectores húmedos se presentaron coberturas medias del 99 % ($\pm 0,4$), mientras que en los semihúmedos rondaron el 95 % ($\pm 0,1$). Cuando se analizó este atributo por forma de vida, los gramínoideos y las hierbas contribuyeron en mayor medida en la cobertura total de los sectores húmedos (Figura 4.25). En las áreas semihúmedas, las formas de vida estaban representadas homogéneamente y aquí tomaron importancia los subarbustos (Figura 4.25). Las gramíneas tuvieron la misma importancia en ambos sectores (Tabla 4.7).

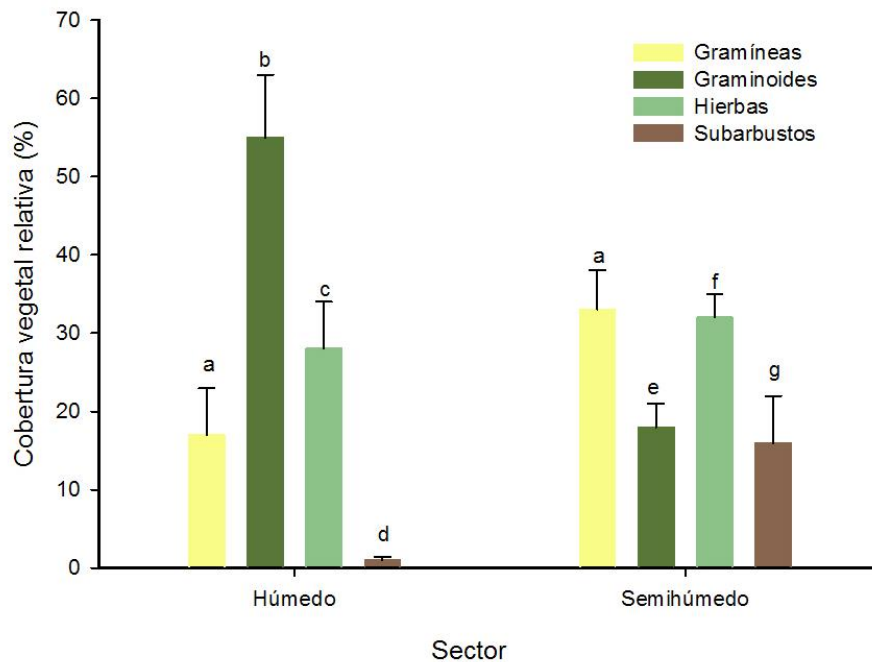


Figura 4.25. Cobertura relativa media de la vegetación por forma de vida en los mallines húmedos y semihúmedos. Letras distintas indican diferencias significativas de las formas de vida entre los sectores y las barras negras el error estándar.

4.3.4. Índice de degradación

El *IDM* muestra el estado de degradación en el que se encuentran los mallines estudiados. El índice se calculó para cada sector de los mallines y se observó que, en general, los sectores muy húmedos y húmedos, tanto de los mallines glaciales como fluviales, se encontraban en un estado de degradación de muy bajo a bajo, a excepción del sector muy húmedo de *La Laguna*, en el cual el *IDM* fue igual a 2,0 posicionándolo en estado de degradación medio (Tabla 4.8). Los sectores semihúmedos de los mallines *El Zurdo*, *El Chorrillo* y *La Laguna*, presentaron los mayores valores de *IDM*, con estados de degradación de Alto a Muy Alto (Figura 4.26 y 4.27), mientras que el mallín glacial *El Morro* presentó el menor estado de degradación en ambos sectores (Figura 4.26 b).

Por otro lado, se advirtió que los valores del *IDM* de los sectores húmedos y semihúmedos de los mallines fluviales fueron menores al de los mallines glaciales (Tabla 4.8).

Tabla 4.8. Índice de degradación de mallines (*IDM*) calculado para los distintos sectores de los mallines glaciales y fluviales.

Ambiente Geomorfológico	Mallín	Sector	IDM	Estado de degradación
Glacial	<i>La Laguna</i>	MH	2,0	Medio
		H	1,4	Bajo
		SH	3,5	Muy Alto
	<i>El Morro</i>	MH	0,5	Muy bajo
		H	0,6	Muy bajo
	<i>El Chorrillo</i>	H	1,6	Bajo
		SH	3,0	Alto
Fluvial	<i>El Zurdo</i>	H	0,7	Muy bajo
		SH	2,6	Alto
	<i>Bella Vista</i>	H	0,4	Muy bajo
		SH	1,6	Bajo
	<i>Pali Aike</i>	H	0,8	Muy bajo
		SH	1,4	Bajo

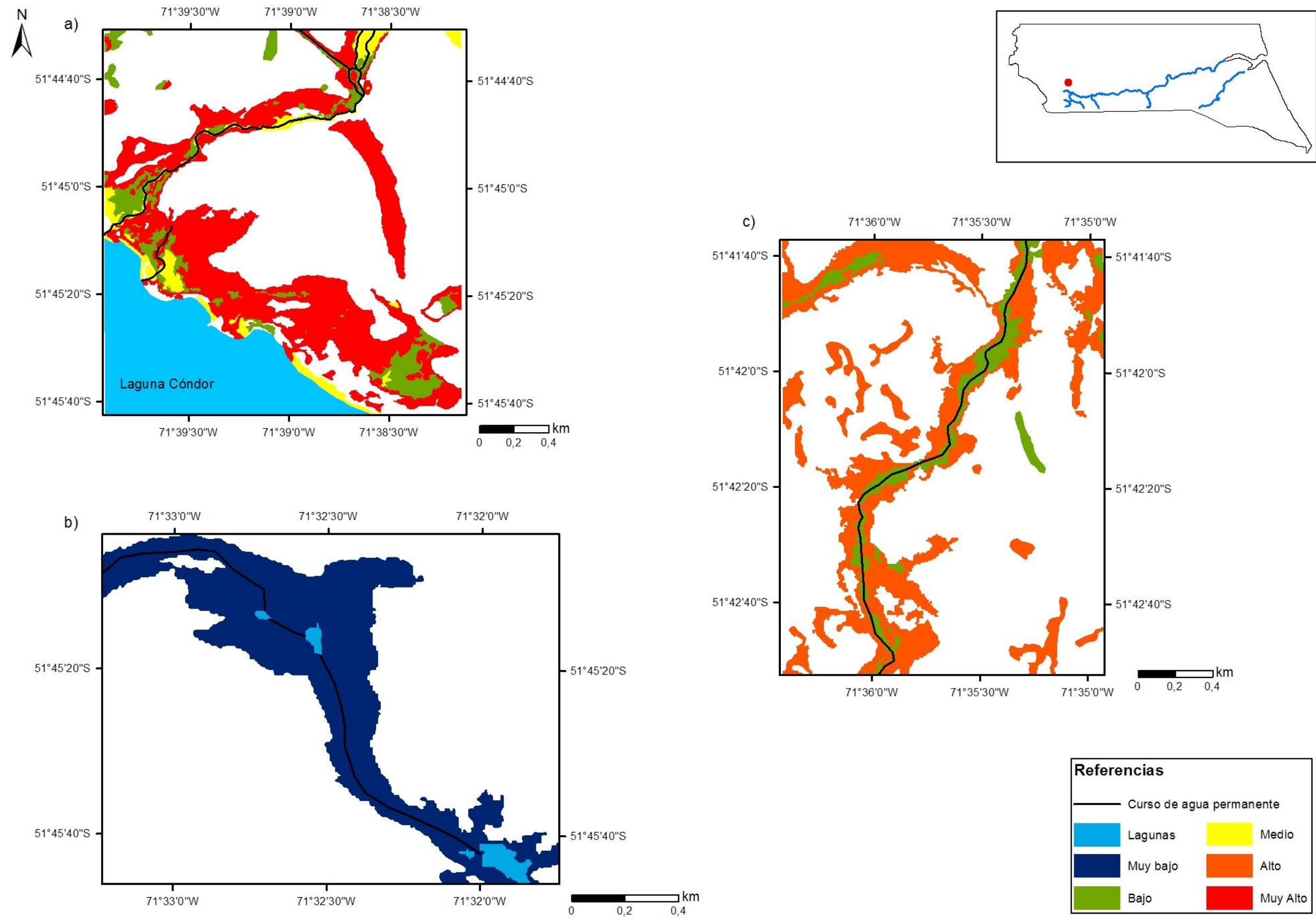


Figura 4.26. Mapas de estados de degradación de los mallines glaciales. a) *La Laguna*, b) *El Morro* y c) *El Chorrillo*. Fuente: Imagen SPOT 5 bandas 4 2 1, transectas de vegetación.

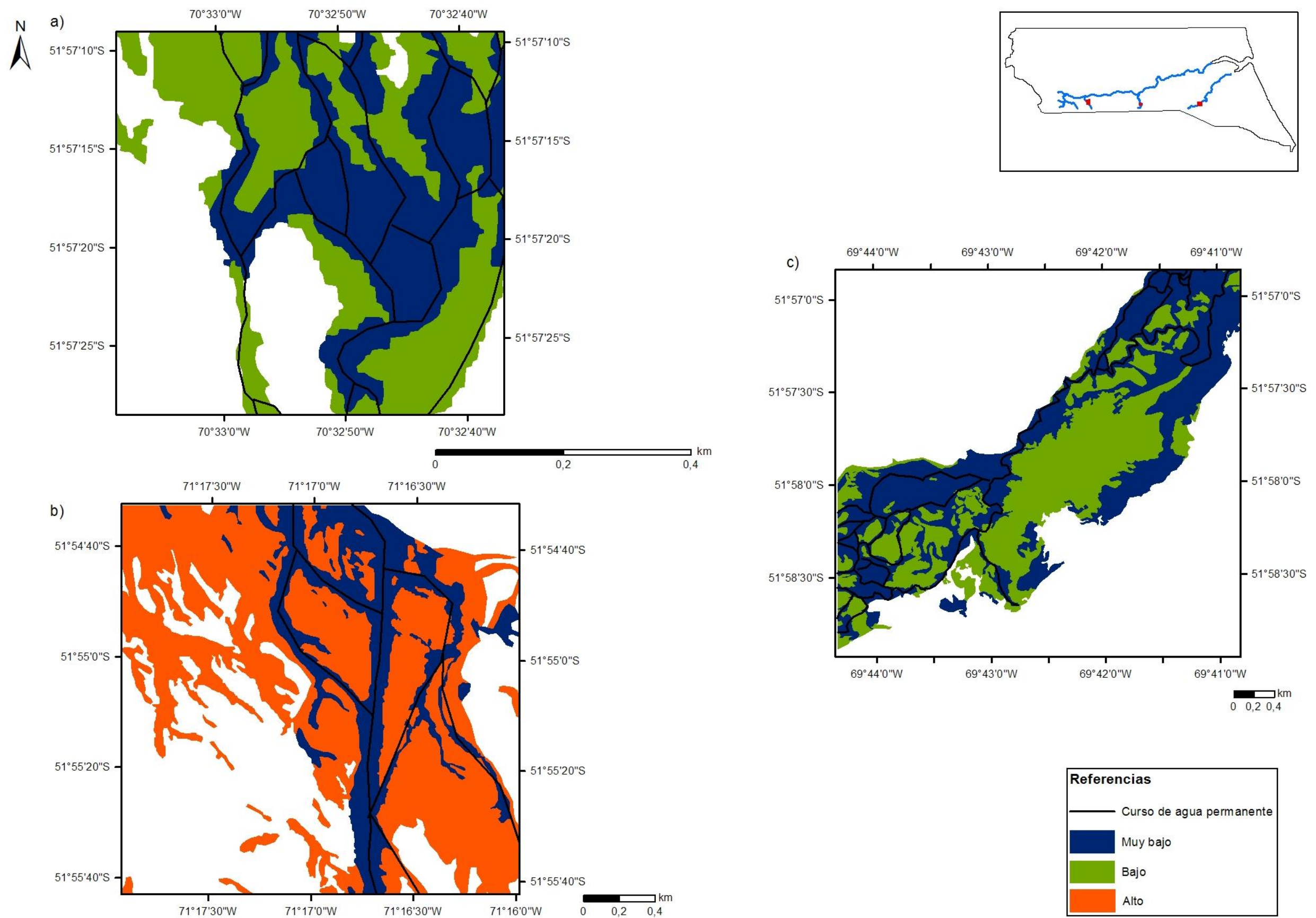


Figura 4.27. Mapas de estados de degradación de los mallines fluviales. a) *El Zurdo*, b) *Bella vista* y c) *Pali Aike*. Fuente: Imagen SPOT 5 bandas 4 2 1, transectas de vegetación.

4.4. DISCUSIÓN

La composición florística y los atributos de la vegetación no mostraron patrones definidos asociados al ambiente geomorfológico, en cambio sí se observaron diferencias vinculadas al contenido hídrico del suelo (Figura 4.22; Tabla 4.7). Esto coincide con los resultados presentados por Collantes et al. (2009) y Filipová et al. (2013), quienes informaron que los humedales magallánicos forman un gradiente florístico desde las zonas xéricas a las húmedas relacionado al gradiente climático regional y no al paisaje o al tipo de suelo. La vegetación de los mallines estuvo compuesta principalmente por especies pertenecientes a las familias *Cyperaceae*, *Poaceae* y *Asteraceae* (Tabla 4.4), lo que coincide con los resultados presentados por Boelcke (1957), Gandullo et al. (2013) y Utrilla et al. (2014) para otros mallines de la Patagonia N y S. En general, los sectores húmedos de los mallines glaciales y fluviales aquí analizados, estaban compuestos principalmente por ciperáceas y presentaron valores de riqueza específica e índices de diversidad menores a los encontrados en los sectores semihúmedos, conformados principalmente por gramíneas (Tablas 4.5 y 4.6). Se advirtió una correspondencia negativa entre la disponibilidad hídrica y los valores de riqueza e índices de diversidad; así, a mayor contenido hídrico, menor riqueza y diversidad. Asimismo, se encontró una relación positiva entre la disponibilidad hídrica y la cobertura vegetal: los sectores húmedos presentaron porcentajes de cobertura vegetal mayores a los de los sectores semihúmedos. Las diferencias de riqueza específica y diversidad detectadas entre los sectores húmedo y semihúmedo podrían explicarse por la menor tolerancia de las gramíneas y las hierbas al anegamiento, ya que mayoritariamente se trata de especies mesofíticas (Daubenmire, 1990). Por otro lado, el contenido hídrico que presentan los suelos de los sectores semihúmedo genera un nicho ecológico para la proliferación de hierbas y gramíneas, lo cual incrementa el número de especies (riqueza) que componen a las comunidades vegetales de estos ecosistemas; mientras que en los sectores húmedos, los períodos de anegamiento favorecen a las ciperáceas, especies hidrofíticas con una competencia interespecífica mayor y con adaptaciones como rizomas y/o raíces parenquimatosas que le permiten resistir los momentos de anoxia. Grevilliot et al. (1997) y Dwire et al. (2004) explicaron relaciones análogas en ambientes similares del hemisferio N, en donde a medida que aumenta la profundidad de la napa freática se incrementa el número de especies presentes.

Los patrones de composición florística, biodiversidad y riqueza encontrados variaron en función del grado de deterioro del mallín. Se observó un incremento en la frecuencia de especies vegetales exóticas, introducidas y/o adventicias, tales como *Taraxacum officinale*,

Caltha sagittata y *Poa pratensis*, como así también de subarbustos como *Azorella trifurcata*, según el grado de deterioro, las cuales indicarían sobrepastoreo y desecamiento del suelo. Esto coincide con lo reportado por Collantes et al. (2013), quienes explicaron la transición de praderas húmedas de juncos altos de Tierra del Fuego a praderas húmedas de juncos cortos dominados por *C. sagittata* ante situaciones de sobrepastoreo y sequía, mientras que para los mallines semihúmedos en condiciones similares detallaron la aparición de subarbustos tales como *A. trifurcata*. En todos los mallines evaluados en esta tesis se registraron especies indicadoras de deterioro, con diferencias en la cantidad de especies y en el porcentaje de cobertura respecto del total de la vegetación. El efecto de la cobertura de estas especies se pudo observar en el análisis de conglomerados (Figura 4.24), en el cual se diferenciaron cuatro grupos con diferente composición florística, dos de ellos (C y D) directamente asociados a la proporción de las especies indicadoras de degradación *Caltha sagittata*, *Poa pratensis*, *Taraxacum officinale* y *Azorella trifurcata*. En el mallín glacial *La Laguna* los patrones de riqueza y diversidad expuestos anteriormente (Tabla 4.5 y 4.6) no se observaron. Los sectores muy húmedo y semihúmedo de este mallín presentaron valores de riqueza específica similares (27 y 30, respectivamente), lo cual podría estar correlacionado con el número de especies indicadoras (9) registradas en el sector muy húmedo y su alto porcentaje de cobertura (62,9 %), como también con la elevada frecuencias de *C. sagittata*, *T. officinale* y *P. pratensis* (Figura 4.6 a). Ante situaciones de estrés por herbivoría la comunidad vegetal cambia su estructura vertical, lo que permite el desarrollo de especies como la *C. sagittata* y la *A. Trifurcata*, que poseen mecanismos de evitación al pastoreo y de resistencia a la disminución del contenido hídrico en el suelo. Utrilla et al. (2014) encontraron resultados similares en mallines con distintas condiciones de degradación, en donde reportaron valores de riqueza florística de 11 para sectores húmedos en buena condición y de 21 para los muy deteriorados. Asimismo, observaron que en los sectores secos la riqueza comienza a disminuir cuando la condición es muy deteriorada y el porcentaje de suelo desnudo es superior al 20 %. Conocer qué especies indicadoras se encuentran en estos ecosistemas permite inducir cuál es el estado de deterioro en el que se encuentran y proponer herramientas de manejo para minimizar el factor impactante. El índice de degradación de mallines (IDM) propuesto en esta tesis cuantifica el grado de degradación de los mallines de estudio, en una escala de 1 a 5 (Tabla 4.2). Si bien, en todos los mallines se registraron especies indicadoras de degradación, solo algunos presentaron altos valores de cobertura de estas especies (Tablas 4.5 y 4.6). En general, el grado de deterioro de los distintos sectores de los mallines de estudio fue bajo, a excepción de los sectores semihúmedo de los mallines *El Zurdo* y *La Laguna*, cuyos IDM correspondieron a los grados alto y muy alto, respectivamente (Tabla 4.8). Esto se debe a que el IDM no solo tiene en cuenta la cobertura y riqueza de especies indicadoras, sino

también la cobertura de subarbustos, la cobertura vegetal total y la equitatividad (índice de Pielou). La cobertura vegetal superó el 90% en todos los casos, lo cual implica que aún no hay presencia de suelo descubierto; mientras que los valores del índice de Pielou obtenidos reflejan la distribución equitativa de las especies. En los trabajos de Bonvissuto et al. (2008), Gandullo et al. (2011) y Collantes et al. (2013), los mallines con alto grado de degradación presentan coberturas vegetales del 50 al 70 % y se observa la prevalencia de una especie sobre las demás. En el S de la Provincia de Santa Cruz, Suarez et al. (2010), Ormaechea et al. (2010) y Utrilla et al. (2014) explicaron el estado de degradación de estos ambientes a través de la condición, estableciendo 3 clases: bueno, moderada y severamente deteriorado, en función de la cobertura vegetal total y la cobertura de especies indicadoras. Sin embargo, ellos proponen un catálogo de especies indicadoras en el que excluyen a especies introducidas con valor forrajero como por ejemplo la *P. pratensis* y el género *Trifolium*. Por tal motivo no es posible comparar los estados de degradación obtenidos a través del IDM con la condición de mallines propuesta por estos autores.

4.5. CONCLUSIÓN

En este capítulo se abordaron las relaciones entre la composición florística de los mallines con la distribución del agua en el suelo y el emplazamiento geomorfológico. Pudo observarse que la composición y los atributos de la vegetación de estos humedales varían con el contenido hídrico del suelo, independientemente del ambiente geomorfológico. Las condiciones de anegamiento temporal que presentan los sectores húmedos limitan el número de especies que componen a la comunidad vegetal, a diferencia de los sectores con menor contenido hídrico, en donde la riqueza específica es mayor. El índice de degradación de mallines resulta un buen estimador del grado de degradación de estos ambientes.

CAPÍTULO 5
PRODUCCIÓN DE BIOMASA
AÉREA: SU RELACIÓN CON
EL AMBIENTE
GEOMEORFOLÓGICO Y CON
EL CONTENIDO HÍDRICO
DEL SUELO

5.1. INTRODUCCIÓN

La productividad primaria neta aérea (PPNA) es la principal fuente de energía para sostener la vida del planeta. Es uno de los flujo energéticos más importante de un ecosistema (Odum, 1971), que resulta de la interacción entre sus características ambientales y el tipo de vegetación y refleja los patrones de variación espacial y temporal de los factores ambientales (Buono, 2007).

En los ambientes áridos y semiáridos, la productividad primaria neta aérea de los pastizales está estrechamente relacionada con la precipitación anual media (Lauenroth, 1979; Sala et al. 1988) y limitada por la disponibilidad de agua (Noy-Meir, 1973). En los ecosistemas de mallines, en donde la disponibilidad de agua no resulta una limitante, la PPNA está principalmente asociada a las propiedades edáficas, al hidroperíodo y a la temperatura ambiental (Utrilla et al. 2006; 2008; Dwire et al. 2004; Buono et al. 2010; Enriquez et al. 2014; Enriquez et al. 2015).

La existencia de gradientes hídricos y edáficos a escala regional y local determina patrones espaciales y temporales en la producción de biomasa en este tipo de humedales. En este sentido, a escala regional, Utrilla et al. (2008) reportaron valores de biomasa acumulada 10000 a 12000 kg MS ha/año y de 7500 a 8000 kg MS ha/año para mallines húmedos del O y E, respectivamente, de Santa Cruz. Por su parte, Gandullo et al. (2013) establecieron producciones de biomasa aérea de 6000 a 10000 kg ha/año para mallines de zonas montañosas del O y de 3000 a 5000 kg ha/año para los de zonas áridas serranas del E de la Provincia de Río Negro.

Dentro de los mallines, la producción de biomasa aérea se relaciona positivamente con el contenido hídrico del suelo (Nakamatsu, 1998; Dwire et al. 2004; Buono, 2007; Utrilla et al. 2008; Buono et al. 2010). En la Patagonia se han registrado valores de PPNA de 1000 a 6000 kg MS ha/año en los sectores secos a subhúmedos y de 6000 a 12000 kg MS ha/año en los sectores húmedos (Bonvissuto y Somlo, 1998; Nakamatsu, 1998; Siffredi, 2005; Utrilla et al. 2008; Buono, 2010). Utrilla et al. (2008), registraron valores de biomasa acumulada en los sectores húmedos de mallines del O y E de Santa Cruz de 12000 kg MS ha/año y de 8000 kg MS ha/año, respectivamente, mientras que en los sectores semihúmedos la acumulación de biomasa fue inferior a los 2000 kg MS ha/año en ambas situaciones. Por otro lado, Buono et al. (2010), registraron PPNA de 4000 a 8000 kg ha/año en los sectores húmedos de mallines del centro de la Patagonia extraandina y de 2000 a 5000 kg ha/año en los sectores semihúmedos. Estas diferencias en la producción de

biomasa área serían el resultado de las distintas comunidades vegetales que se encuentran en los sectores de un mallín (Dwire et al. 2004).

Existen varios métodos para determinar la producción de biomasa aérea: estimaciones basadas en la cosecha del material vegetal (Buono et al 2010) como también aquellas derivadas de los datos provenientes de sensores remotos, particularmente los índices de vegetación, también denominados índices verdes (Xie et al. 2011; Fuller y Wang, 2014; Byrd et al. 2014). El uso de los datos provenientes de sensores remotos para estimar la producción de biomasa verde se basa en las propiedades únicas que tienen los distintos tipos de coberturas del paisaje de reflejar, transmitir y absorber la energía lumínica. La vegetación sana refleja poca radiación en la banda del rojo y mucha en la banda del infrarrojo cercano del espectro electromagnético, característica que ha sido empleada para generar distintos índices de vegetación que representan el estado de la vegetación. Así, la relación entre las bandas del infrarrojo y el rojo permiten estimar la producción de pasto en función de la cantidad de luz que es interceptada (Potter et al. 1993; Ruimy et al. 1994; Buono, 2007; Xie et al. 2011; Fuller y Wang, 2014; Byrd et al. 2014).

En base a lo descripto, este capítulo tiene como objetivos a) analizar la relación entre la producción de biomasa con el ambiente geomorfológico y el contenido hídrico del suelo; b) describir la variación espacial y temporal de la producción vegetal y c) evaluar la factibilidad del uso de índices de vegetación para la estimación de la productividad de mallines.

5.2. MATERIALES Y MÉTODOS

5.2.1. Biomasa acumulada y productividad primaria neta aérea

En septiembre de 2010 se seleccionó un área representativa dentro del sector húmedo de cada mallín fluvial y glacial (Tabla 5.1) descripto en el capítulo 2 y se instaló una clausura de exclusión al pastoreo de 6,25 m² de superficie (Figura 5.1) con el fin de evaluar la dinámica de crecimiento de la biomasa aérea. Los sectores semihúmedos solo se muestrearon en los mallines fluviales, que a diferencia de los glaciales, presentan una considerable superficie (ver Tabla 2.5 y 2.6, capítulo 2). El procedimiento fue igual al usado en los sectores húmedos, una clausura por cada mallín fluvial.

El seguimiento se realizó durante dos temporadas de crecimiento (septiembre 2010–mayo 2011 y octubre 2011–mayo 2012), a excepción del mallín glacial *El Morro*, en donde por

factores externos solo se concretó el muestro de la segunda temporada. Al inicio del período 2011-2012 se reubicaron las clausuras en las inmediaciones de su posición original para mantener las condiciones iniciales.

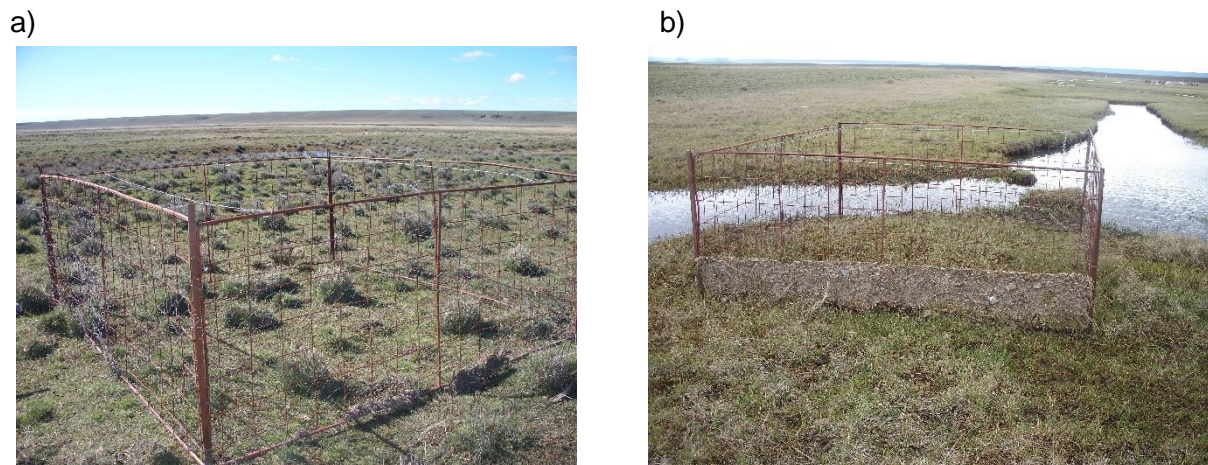


Figura 5.1. Jaulas de exclusión al pastoreo. a) Mallín *Pali Aike* sector semihúmedo y b) mallín *El Zurdo* sector húmedo.

La cosecha de biomasa aérea se realizó en los meses de diciembre, marzo y mayo de cada estación de crecimiento. Se estableció diciembre como el punto de inicio de los muestreos, ya que de septiembre a noviembre los mallines de estudio aún se encontraban anegados.

En cada fecha se tomaron 10 muestras de biomasa por clausura con un marco rectangular de 0,1 m². Posteriormente se secaron en estufa a 60°C hasta alcanzar peso constante, durante 72 a 96 hs. Se pesaron y se determinó la biomasa acumulada por fecha y mallín.

Posteriormente, se homogeneizaron las diez muestras obtenidas en cada fecha de corte y se extrajo una submuestra equivalente a un cuarto del peso total, que se separó en las fracciones verdes y secas. Para determinar el aporte de cada forma de vida a la acumulación de biomasa viva a lo largo de la estación de crecimiento, se dividieron las fracciones verdes de la temporada 2011-2012 de cada mallín en hierbas, gramíneas, graminoides, subarbustos y criptógamas, se pesaron y se calculó la proporción que representan.

Con los datos obtenidos se generaron las curvas de acumulación de biomasa aérea total (biomasa verde + biomasa seca) y las curvas de acumulación de biomasa aérea verde para cada sector evaluado y ambiente geomorfológico. Las curvas por ambiente geomorfológico se construyeron a partir de los datos medios de biomasa para cada fecha.

La productividad primaria neta aérea (PPNA) se determinó como el pico máximo de biomasa total, verde + seco (Sala y Austin, 2000; Scurlock et al. 2002; Buono, 2007).

5.2.2. Análisis estadístico de los datos de biomasa acumulada

La variabilidad temporal de los datos de biomasa total, biomasa verde y la proporción de la biomasa verde por forma de vida, se evaluó a través del análisis de medidas repetidas (AdMR) ($\alpha = 0,05$) (ver hipótesis en el ítem 3.1.1). Para detectar diferencias entre sectores húmedos de mallines glaciales y fluviales se tomó como factor de variación el ambiente geomorfológico, mientras que para identificar las diferencias entre sectores húmedos y semihúmedos de mallines fluviales, se tomó como factor el sector.

La temperatura superficial media mensual de los meses de junio del 2010 a mayo del 2012, se correlacionó con el pico máximo de biomasa total y con el pico máximo de biomasa verde de los sectores húmedos de los mallines glaciales y fluviales, y de los sectores semihúmedos de mallines fluviales, a través de una regresión lineal. Se tomó como factor independiente la temperatura media mensual. El análisis se realizó para cada mes.

La variabilidad de la producción de biomasa aérea y de las características del suelo entre mallines de diferentes ambientes geomorfológicos se evaluó a través del análisis de componentes principales. La matriz de datos estuvo compuesta por 11 casos, correspondientes a los mallines de estudio, con 11 variables (biomasa aérea acumulada, HuV, N_t , P_d , Ca, K, Na, Mg, CE, pH y IDM). La distribución de los valores de los componentes principales se analizó en los planos definidos por los componentes principales CP1 y CP2, CP1 y CP3 y CP2 y CP3.

La normalidad y la homocedasticidad de las observaciones se probaron con el test de Shapiro–Wilk modificado y Levene, respectivamente. La proporción de la biomasa verde por forma de vida no cumplió con los supuestos, por lo que se utilizó la transformación log cociente centrada (clr) de la metodología de Aitchison (Aitchison, 1982).

Todos los análisis se realizaron con el programa InfoStat (Di Rienzo et al. 2011). En los resultados se presentan los valores de las medias sin transformar con sus respectivos errores estándar (EE).

5.2.3. Índices de vegetación y su relación con la biomasa verde

Con el fin de evaluar la respuesta de los índices de vegetación como herramienta para estimar la producción de biomasa vegetal en mallines, se calcularon ocho índices que utilizan distintas bandas espectrales, detallados en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Índices de vegetación utilizados para el análisis de la productividad primaria neta aérea.

Nombre	Siglas	Ecuación
<i>Simple Ratio</i>	SR (Jordan, 1969)	NIR/RED
<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>	NDVI (Kriegler et al. 1969)	$(\text{NIR}-\text{RED})/(\text{NIR}+\text{RED})$
<i>Differenced Vegetation Index</i>	DVI (Tucker, 1979)	NIR-RED
<i>Normalized Difference Water Index (SWIR 5)</i>	NDWI* (Hardisky et al. 1983)	$(\text{NIR}-\text{SWIR})/(\text{NIR}+\text{SWIR})$
<i>Normalized Difference Water Index (SWIR 7)</i>	NDWI* (Hardisky et al. 1983)	$\text{NIR}-\text{SWIR}/(\text{NIR}+\text{SWIR})$
<i>Renormalized Difference Vegetation Index</i>	RDVI (Roujean y Breon, 1995)	$(\text{NIR}-\text{RED})/(\sqrt{(\text{NIR}+\text{RED})})$
<i>Infrared Percentage Vegetation Index</i>	IPVI (Crippen, 1990)	$\text{NIR}/(\text{NIR}+\text{RED})$
<i>Non-Linear Index</i>	NLI (Goel y Qin, 1994)	$(\text{NIR}^2-\text{RED})/(\text{NIR}^2+\text{RED})$

NIR: infrarrojo cercano, RED: rojo, SWIR: infrarrojo medio y GREEN: verde.

** NDWI se calculó con las bandas SWIR 5 y 7, por lo cual se denominan en este trabajo NDWI5 y NDWI7.*

El cálculo de los índices de vegetación se efectuó con imágenes Landsat 5 y 7, disponibles para las fechas en las que se realizaron los muestreos de campo. Se seleccionaron 27 imágenes (Tabla 5.2) desde la página web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (<https://earthexplorer.usgs.gov>), teniendo en cuenta la proximidad de la fecha de toma a la fecha de cosecha.

Tabla 5.2. Imágenes Landsat TM 5 y 7 utilizadas para el cálculo de los índices verdes.

<i>Escena</i>	<i>Fecha de toma</i>	<i>Bandas</i>	<i>Resolución espacial (m)</i>
LT52280962004011COA01	11/01/2004	7	30
LT52280962004075COA00	15/03/2004	7	30
LE72290962004106COA00	15/04/2004	7	30
LT52280962004107COA00	16/04/2004	7	30
LE72280962004131COA00	10/05/2004	7	30
LE72290962004122EDC03	11/05/2004	7	30
LT52300962004281COA00	07/10/2004	7	30
LE72280962004307EDC00	02/11/2004	7	30
LE72290962004314EDC00	09/11/2004	7	30
LE72300962004337EDC00	02/12/2004	7	30
LE72300962005003EDC00	03/01/2005	7	30
LT52280962005045COA00	14/02/2005	7	30
LT52290962005068COA00	09/03/2005	7	30
LE72290962005124EDC00	04/05/2005	7	30
LT52290962005276COA00	03/10/2005	7	30
LE72290962005316EDC00	12/11/2005	7	30
LE72290962005348EDC00	14/12/2005	7	30
LE72280962006008EDC00	08/01/2006	7	30
LT52290962006039COA00	08/02/2006	7	30
LT52300962006062COA00	03/03/2006	7	30
LT52280962006064COA00	05/03/2006	7	30
LT52300962011044COA00	13/02/2011	7	30
LT52280962011046COA00	15/02/2011	7	30
LE72290962011125EDC00	05/05/2011	7	30
LE72290962011349EDC00	15/12/2011	7	30
LE72290962012064EDC00	04/03/2012	7	30
LE72290962012128EDC00	07/05/2012	7	30

En cada imagen satelital se realizó la corrección atmosférica de las bandas 3 (RED), 4 (NIR), 5 (SWIR-1) y 7 (SWIR-2), con el método de sustracción de objetos oscuros (Chavez, 1988), que no utiliza información sobre las condiciones atmosféricas. El método asume la existencia de píxeles donde la reflectividad es muy baja o nula y que cualquier valor obtenido en estos píxeles es el producto de la dispersión atmosférica (Sendra et al. 2015). Para corregirlo sustrae en cada banda la diferencia entre el valor teórico y el almacenado por el sensor de dichas áreas en la imagen. Este proceso se efectuó con el módulo SCP (*Semi-Automatic Classification Plugin*) del software libre QGIS 2.18.0 (QGIS Development Team, 2016).

Posteriormente a la corrección atmosférica, con la calculadora raster del programa QGIS 2.18.0 (QGIS Development Team, 2016) se calcularon los índices DVI, IPVI, NDVI, NDWI5, NDWI7, SR, RDVI y NLI (Tabla 5.1). Las imágenes resultantes se reproyectaron con el software ArcGis 9.2 (ESRI, 2006) al sistema Transverse Mercator, elipsoide de referencia y datum WGS84.

Estos índices se calcularon para las temporadas de crecimiento de los años 2003/04, 2004/05 y 2005/06 (Tabla 5.3), en las que se contaba con datos de campo, obtenidos de clausuras, tanto en el marco de esta investigación como por Utrilla et al (2004, 2008). Estos últimos se sumaron al análisis con el fin de aumentar el número de observaciones.

De los resultados obtenidos se extrajeron los valores de los píxeles correspondientes a los mallines arriba mencionados, generándose una matriz integrada por 82 casos. Se utilizó el módulo *Spatial Analyst Tool* de ArcGis 9.2 (ESRI, 2006), eliminándose los valores anómalos de los índices que correspondían a nubes o sombras. La variabilidad de estos datos se exploró a través del análisis de componentes principales (ACP) en los planos definidos por los componentes CP1 y CP2, CP1 y CP3 y por el CP2 y CP3. Además, la asociación lineal entre los valores de los ocho índices calculados se analizó mediante el coeficiente de correlación de Pearson.

Tabla 5.3. Ubicación de los puntos de muestreo del mallín Glencross (Utrilla et al. 2004, 2008)

Mallín	Sector	Clausura	Coordenadas
Glencross	<i>H</i>	1	51° 49' 24,3" S 71° 37' 27,5" O
		2	51° 49' 26,4" S 71° 37' 28,8" O
		3	51° 49' 23,4" S 71° 37' 25,3" O
	<i>S</i>	1	51° 49' 21,6" S 71° 37' 21,6" O
		2	51° 49' 21,3" S 71° 37' 18,6" O
		3	51° 49' 20,6" S 71° 37' 15,3" O

Finalmente, y con el objetivo de contrastar los datos satelitales con la información obtenida en campo, se evaluó la relación entre los índices de vegetación y la producción de biomasa verde a través de una regresión lineal. Para este análisis se seleccionaron los cuatro índices (SR, NDVI, NDWI7 y NDWI5) que explicaron en mayor medida la variación de los datos y que presentaron la menor correlación entre sí.

La normalidad y la homocedasticidad de las observaciones se probaron con el test de Shapiro–Wilk modificado y Levene, respectivamente. Los índices RDVI y SR no cumplieron con los supuestos por lo cual se transformaron con el logaritmo natural. Asimismo, los datos de DVI, NLI, NDWI7 y biomasa aérea verde acumulada se normalizaron con el método de

escores normales. Todos los análisis estadísticos se realizaron en InfoStat (Di Rienzo, 2011).

5.2.4. Mapa de los índices de vegetación

Para presentar un producto final que mostrara y permitiera comparar los resultados de los cuatro índices elegidos, se elaboró un mapa final del área de estudio, presentando solamente los valores de los índices para mallines. Se generaron mosaicos de cada índice verde correspondientes al verano de 2011-2012 con el programa ERDAS IMAGINE 9.1 (Leica Geosystems, 2006), desde el cual se extrajo el área de estudio con la herramienta *Extraction-Extract by Mask* del módulo *Spatial Analyst Tool* de ArcGis 9.2 (ESRI, 2006). Con el *Raster Calculator* de ArcGis 9.2 (ESRI, 2006), se eliminaron todas las clases que no correspondían a los ecosistemas de pastizales húmedos. Para ello se generaron rangos con los valores observados para cada índice verde en los mallines muestreados y se excluyeron todos aquellos que fueron mayores o menores a este rango, según el siguiente detalle:

- NDWI5 < 0,001, NDWI5 > 0,699;
- NDWI7 < 0,250, NDWI7 > 0,759;
- NDVI < 0,400, NDVI > 0,754;
- SR < 2,800, SR > 6,255.

Estas imágenes fueron las utilizadas para componer el mapa presentado en la figura 5.14.

5.3. RESULTADOS

5.3.1. Producción de biomasa aérea de mallines fluviales y glaciales

5.3.1.1. Mallines glaciales

La Laguna presentó los valores de PPNA más altos registrados para los mallines glaciales en las dos temporadas de crecimiento (Tabla 5.4), siendo mayor en el período 2011-2012 con 4143 kg MS/ha. Esto se observa en las curvas de biomasa aérea acumulada (Figura 5.2 a), en donde el pico de biomasa total de la segunda temporada de crecimiento se alcanzó en el mes de mayo y es mayor al pico del primer período (3314 kg MS/ha). Asimismo, las diferencias entre las curvas de biomasa total y verde exponen que la

acumulación de forraje en la temporada 2011-2012 comenzó antes del primer corte (Figura 5.2 a).

La biomasa verde de este mallín estaba compuesta por tres formas de vida: hierbas, gramínoides y gramíneas, siendo este último el grupo predominante en toda la temporada de crecimiento. La mayor proporción de gramíneas (95 %) en la biomasa verde se registró en el mes de mayo, en donde el aporte de las hierbas y gramínoides fue insignificante. Los gramínoides alcanzaron su máxima producción en el mes de diciembre, representando el 27 % de la biomasa verde acumulada, a partir de esta fecha comenzó a disminuir la proporción de biomasa de esta forma de vida. Por otro lado, las hierbas tuvieron su máxima producción en el mes de marzo, aportando el 34 % del forraje cosechado (Figura 5.2 b).

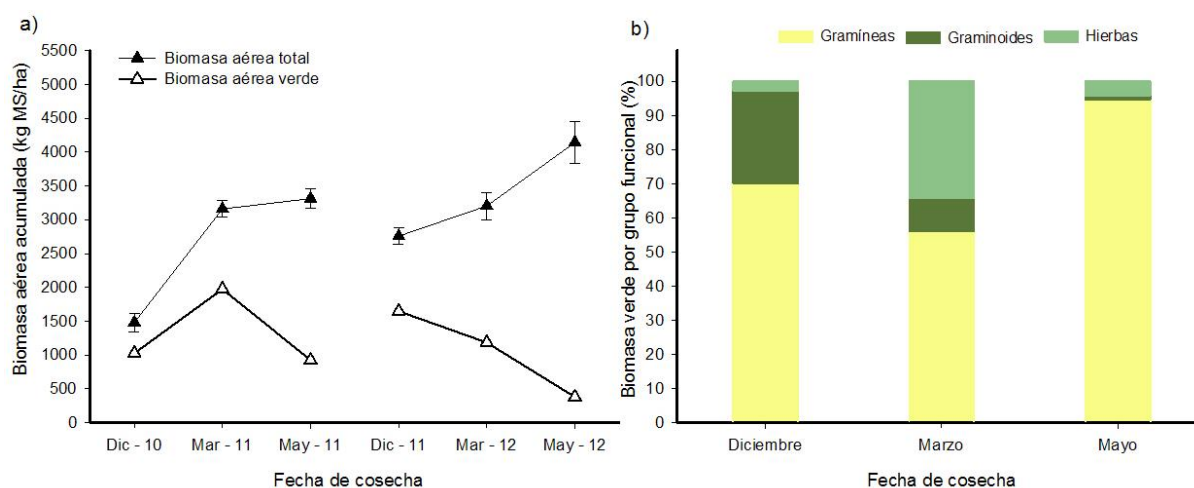


Figura 5.2. a) Curvas de biomasa aérea acumulada total y verde de las temporadas de crecimiento 2010-2011, 2011-2012 y b) proporción de la biomasa verde por forma de vida del mallín glacial *La Laguna*. Las barras negras indican el error estándar.

En *EL Morro* el pico máximo de biomasa total (PPNA) de la temporada 2011-2012 fue de 1696 kg MS/ha y se registró en el mes de marzo (Figura 5.3 a). La producción máxima de biomasa verde se observó en el mes de diciembre con 1263 kg MS/ha, a partir de este punto comenzó a descender hasta alcanzar los 675 kg MS/ha al final de la temporada (mayo), en donde la diferencia entre biomasa aérea total y verde llegó a los 900 kg MS/ha (Figura 5.3 a).

Al igual que en el mallín *La Laguna*, gramíneas fue la forma de vida que más aportó a la cantidad de biomasa verde en la temporada de crecimiento (Figura 5.3 b), con la mayor proporción en el mes de mayo, momento en el cual constituye el 84 % de la biomasa aérea. El aporte de las hierbas fue muy bajo durante la temporada y prácticamente desaparecieron hacia el final del período (0,6 %). En cambio, los gramínoides representaron el 32,1 % de la

biomasa verde en el mes de diciembre, aunque esta proporción disminuyó en el mes de marzo para mantenerse casi constante en mayo, con el 16 y 15 %, respectivamente (Figura 5.3 b).

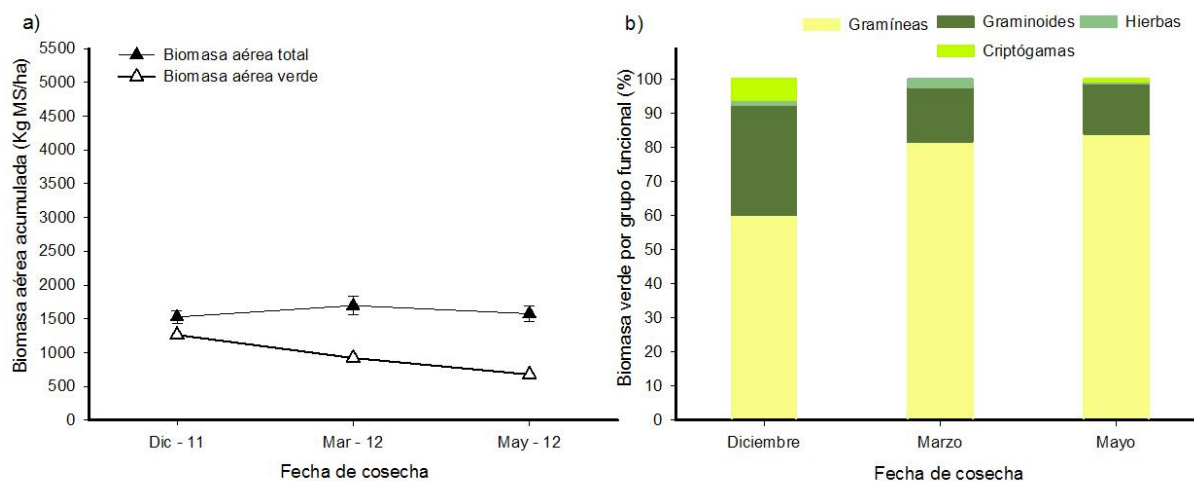


Figura 5.3. a) Curvas de biomasa aérea acumulada total y verde de la temporada de crecimiento 2011-2012 y b) proporción de la biomasa verde por forma de vida del mallín glacial *El Morro*. Las barras negras indican el error estándar.

En *El Chorrillo* la PPNA entre el primer y segundo período no mostró grandes diferencias (Tabla 5.4), en cambio el pico de biomasa verde de la segunda temporada duplicó al registrado en 2010-2011, 1317 y 556 kg MS/ha, respectivamente (Figura 5.4 a). En ambas temporadas los máximos de biomasa total se observaron en el mes de mayo y los de biomasa verde en diciembre. La caída de la fracción verde difirió entre temporadas, siendo en mayo para el período 2010-2011 y en marzo para el 2011-2012 (Figura 5.4 a).

A diferencia de lo observado en *La Laguna* y *El Morro*, la proporción de gramíneas dentro de la biomasa verde fue muy pequeña. En este caso, los graminoides aportaron la mayor parte del forraje, con porcentajes que variaron entre el 83 y 95 % entre diciembre y mayo (Figura 5.4 b). Las hierbas contribuyeron con el 16 % de la biomasa en el mes de diciembre y su proporción disminuyó en los meses posteriores (Figura 5.4 b).

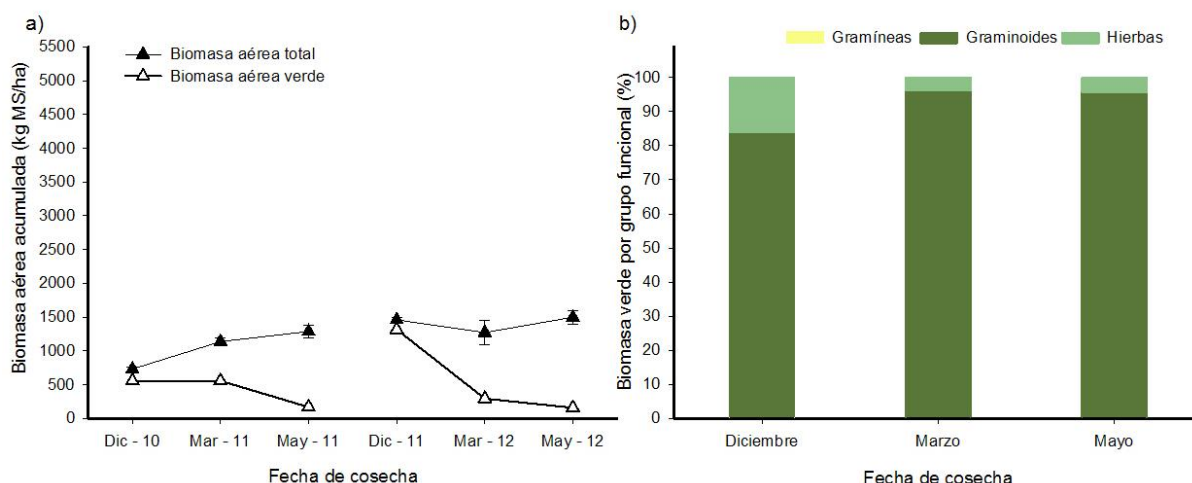


Figura 5.4. a) Curvas de biomasa aérea acumulada total y verde de las temporadas de crecimiento 2010-2011, 2011-2012 y b) proporción de la biomasa verde por forma de vida del mallín glacial *El Chorrillo*. Las barras negras indican el error estándar.

Tabla 5.4. Productividad primaria neta aérea (kg MS/ha) del sector húmedo de los mallines glaciales calculada a partir del pico máximo de biomasa total.

Temporada de crecimiento	<i>La Laguna</i>		<i>El Morro</i>		<i>El Chorrillo</i>	
	PPNA	EE	PPNA	EE	PPNA	EE
2010-2011	3314	147,0	ND	ND	1286	99,0
2011-2012	4143	303,6	1696,0	142,6	1497	101,3

EE: error estándar; ND: no determinado.

5.2.1.2. Mallines fluviales

En el sector húmedo del mallín *El Zurdo* la PPNA de la temporada 2010-2011 fue 5372 kg MS/ha, 1,6 veces mayor a la productividad del 2011-2012 (Tabla 5.5), mientras que los máximos de biomasa verde difirieron en 530 kg MS/ha, con valores de 3313,7 y 2783,7 kg MS/ha para la primera y segunda temporada, respectivamente (Figura 5.5 a). El pico de la fracción verde de la biomasa acumulada en la estación de crecimiento 2011-2012 se registró en el mes de diciembre, indicando que la acumulación de biomasa inició antes del primer corte, lo cual no ocurrió en la primera temporada, en donde el pico se observó en marzo (Figura 5.5 a).

En este sector, la biomasa verde estaba compuesta por tres formas de vida, principalmente gramínoides y gramíneas. En las tres fechas de cosecha los gramínoides representaron la mayor parte de la biomasa, exponiendo el máximo en el mes de mayo con el 65 %. El aporte de las gramíneas siempre se encontró por debajo del 50 %, con el mayor porcentaje

en el mes de marzo (47,7 %). La mayor proporción registrada de hierbas se encontró en el mes de mayo, con solo el 1,5 % de la biomasa verde (Figura 5.5 b).

La PPNA del sector semihúmedo de *El Zurdo* no superó los 1500 kg MS/ha en ninguna de las estaciones de crecimiento evaluadas. Al igual que lo observado en el sector húmedo, la productividad de la primera temporada (1428 kg MS/ha) duplicó a la registrada en 2011-2012 (Tabla 5.5). En lo que respecta a la acumulación de biomasa verde, en la figura 5.4 c, se observa que durante la primera temporada la curva se mantiene prácticamente constante, con valores que varían entre 300 y 400 kg MS/ha de diciembre a mayo. Esto no ocurre en el período 2011-2012, en donde el máximo de biomasa verde se encontró en el mes de diciembre y cayó bruscamente en el mes de marzo, de 375 a 74 kg MS/ha (Figura 5.5 c).

En la biomasa verde de este sector se identificaron cuatro formas de vida que modifican su proporción a lo largo de la temporada de crecimiento. En diciembre el 42,6 % de la biomasa correspondió a gramíneas, el 35,7 % a gramíneas, el 21,3 % a hierbas y solo el 0,33 % a subarbustos. En el mes de marzo esta última forma de vida desapareció y el 82,5 % de la biomasa correspondió a gramíneas, mientras que al final de la temporada el 93 % de la biomasa fue aportada por el grupo las gramíneas y desaparecieron las hierbas (Figura 5.5 d).

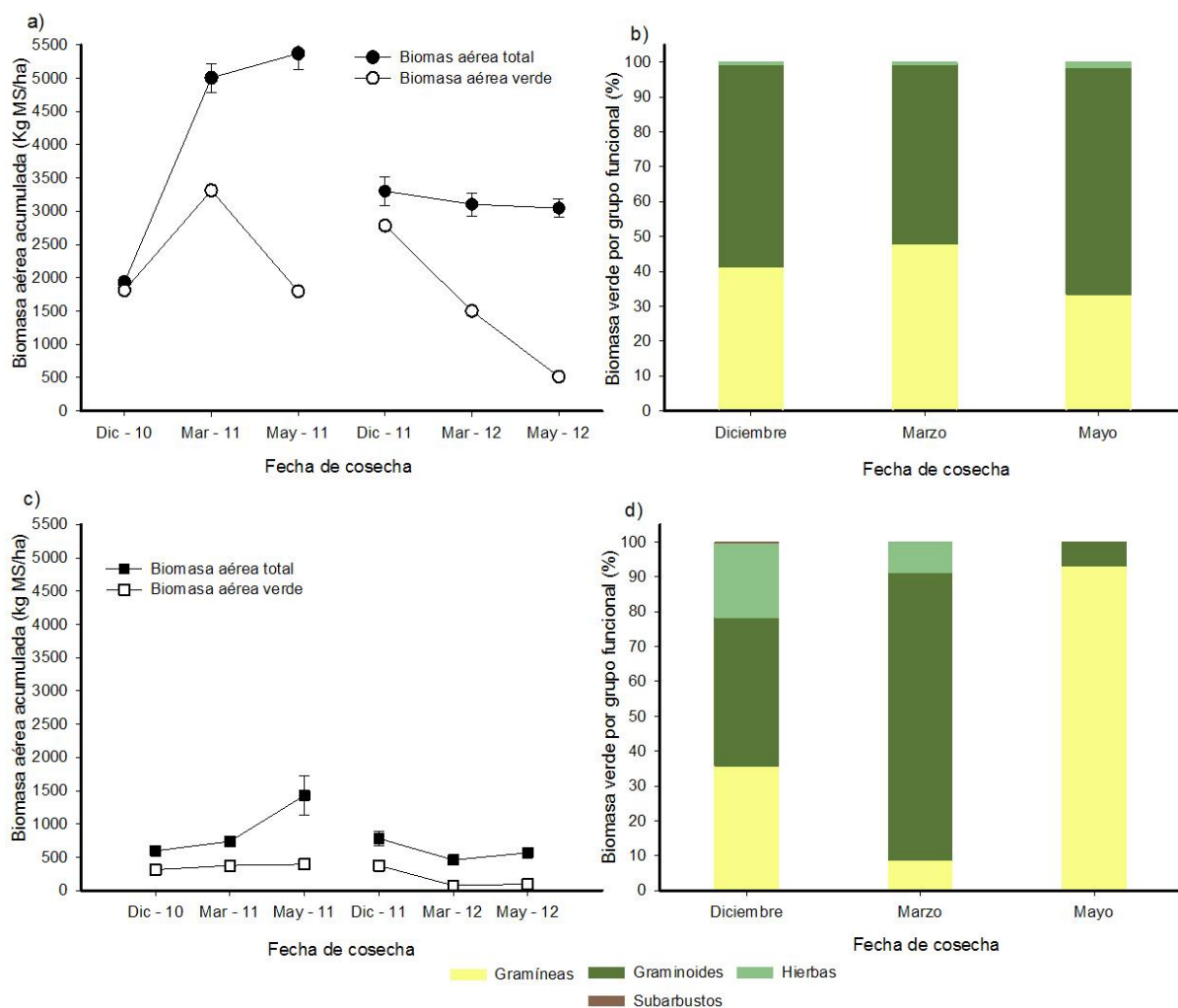


Figura 5.5. Curvas de biomasa aérea acumulada total y verde de las temporadas de crecimiento 2010-2011, 2011-2012 de los sectores a) húmedo y c) semihúmedo; y proporción de la biomasa verde por forma de vida del sector b) húmedo y del d) semihúmedo del mallín fluvial *El Zurdo*. Las barras negras indican el error estándar.

En el sector húmedo de *Bella Vista* la PPNA fue similar en ambos períodos evaluados y superó los 4200 kg MS/ha (Tabla 5.5). En la primera temporada el máximo de biomasa total se observó en el mes de mayo, mientras que en la segunda ocurrió en marzo. Los picos de biomasa verde se registraron en marzo en 2012 en ambas temporadas, con valores de 3125 y 3016 kg MS/ha para 2010-2011 y 2011-2012, respectivamente (Figura 5.6 a).

La biomasa verde de este sector estuvo compuesta casi exclusivamente por graminoides, su proporción varía entre el 88 y 97 % a lo largo de la temporada, con el menor valor en marzo y el mayor en mayo. En las tres fechas de cosecha se identificaron criptógamas dentro de la biomasa acumulada. Las hierbas representaron el 0,4 % de la biomasa en diciembre y las gramíneas el 2,7 % en mayo (Figura 5.6 b).

La PPNA del sector semihúmedo no superó los 2000 kg MS/ha (Tabla 5.5) en las dos temporadas y se observó el máximo de biomasa total en marzo en el período 2010-2011 y en mayo en el 2011-2012. En cambio el pico de biomasa verde se registró al inicio (diciembre) en ambas estaciones de crecimiento con 1042,6 y 658,4 kg MS/ha para la primera y segunda temporada, respectivamente (Figura 5.6 c).

En este caso, la biomasa verde estaba conformada por cuatro formas de vida. En el mes de diciembre la mayor parte de la biomasa correspondió a hierbas (47,6 %) y gramíneos (36,1 %), mientras que en marzo este último aumentó su proporción aportando la mayor parte de la biomasa. Hacia el final de la temporada se observó un incremento en la proporción de gramíneas (65,9 %) y de subarbustos (18,5 %) (Figura 5.6 d).

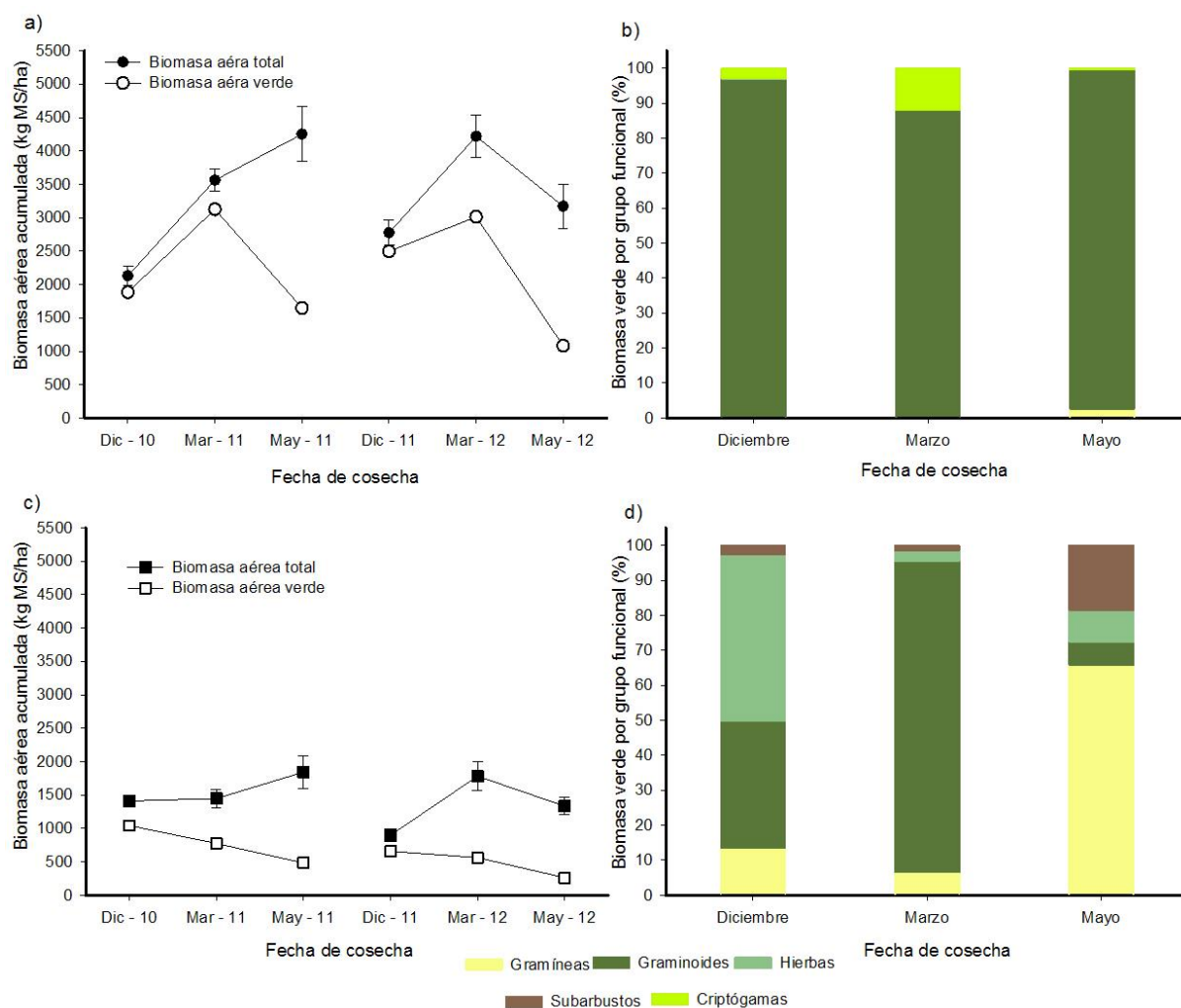


Figura 5.6. Curvas de biomasa aérea acumulada total y verde de las temporadas de crecimiento 2010-2011, 2011-2012 de los sectores a) húmedo y c) semihúmedo; y proporción de la biomasa verde por forma de vida del sector b) húmedo y del d) semihúmedo del mallín fluvial *Bella Vista*. Las barras negras indican el error estándar.

Pali Aike, en el sector húmedo presentó valores de PPNA de 4344 kg MS/ha en el período 2010-2011 y de 4075 kg MS/ha en 2011-2012. El pico de biomasa verde se registró en marzo en las dos temporadas (Figura 5.7 a), siendo levemente superior en el primer período con 3035,5 kg MS/ha frente a 2489,8 kg MS/ha.

La fracción verde de este sector estuvo compuesta por gramíneas, hierbas y graminoides. A lo largo de la temporada la mayor parte de la biomasa correspondió a gramíneas, con proporciones superiores al 50 %. La producción de las hierbas fue más variable, al inicio de la temporada el 26,8 % de la biomasa correspondió a esta forma de vida, mientras que en marzo no se identificó su presencia y en mayo solo aportó el 3,2 % (Figura 5.7 b).

En el sector semihúmedo, la PPNA de la primera temporada de crecimiento fue aproximadamente el doble a la observada en la segunda temporada (Tabla 5.5). El pico de biomasa verde se registró en diciembre, con valores de 2057,1 kg MS/ha en 2010-2011 y 1746,3 kg MS/ha en 2011-2012, a partir de allí comenzó a disminuir la fracción verde (Figura 5.7 c).

Las formas de vida gramíneas y hierbas fueron los principales componentes de la biomasa verde en el mes de diciembre. Esto se modificó con el avance de la temporada, en donde la proporción de gramíneas dentro de la fracción verde aumentó hasta representar el 84 % en el mes de mayo (Figura 5.7 d).

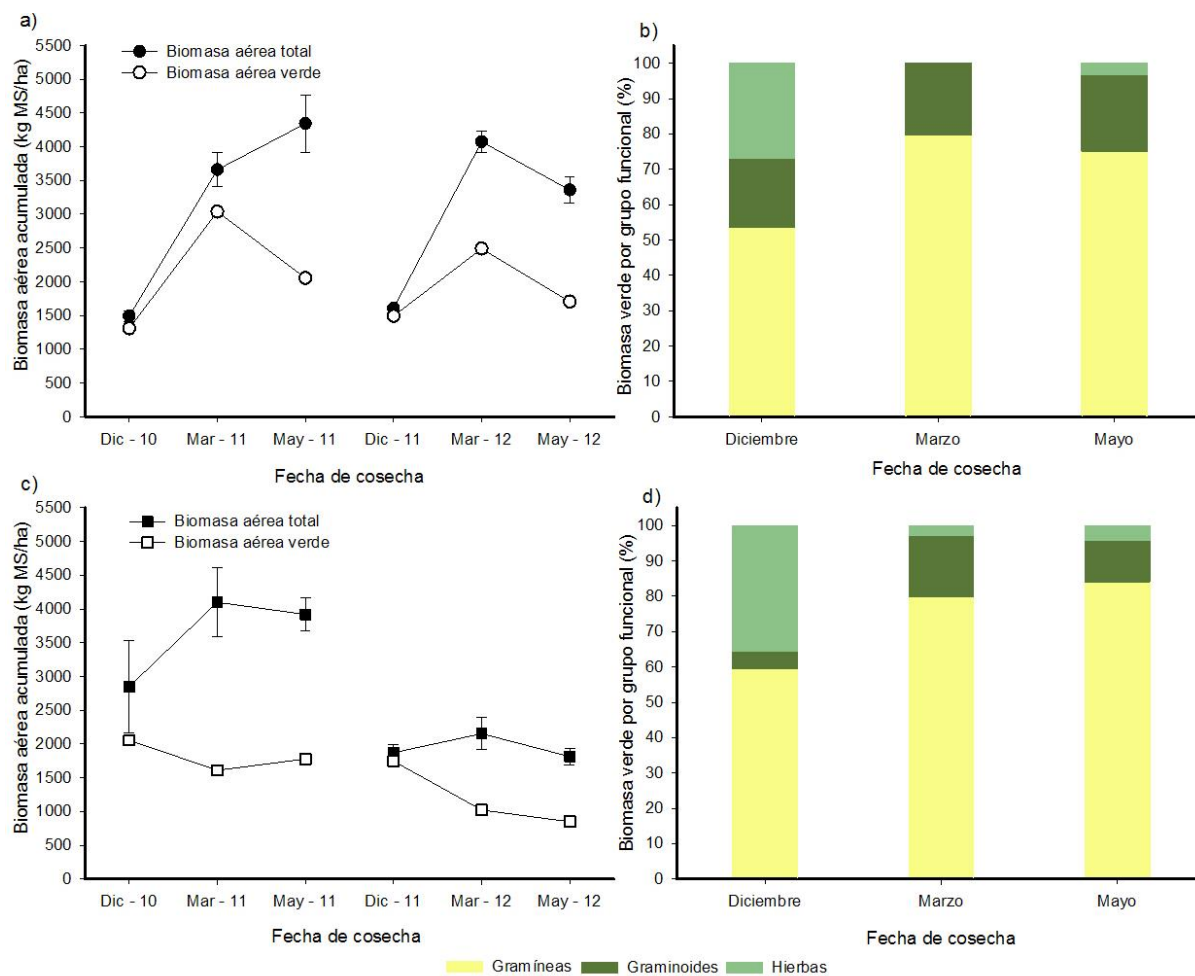


Figura 5.7. Curvas de biomasa aérea acumulada total y verde de las temporadas de crecimiento 2010-2011, 2011-2012 de los sectores a) húmedo y c) semihúmedo; y proporción de la biomasa verde por forma de vida del sector b) húmedo y del d) semihúmedo del mallín fluvial *Pali Aike*. Las barras negras indican el error estándar.

Tabla 5.5. Productividad primaria neta aérea (kg MS/ha) de los sectores húmedos y semihúmedos de los mallines fluviales calculada a partir del pico máximo de biomasa total.

Temporada de crecimiento	<i>El Zurdo</i>				<i>Bella vista</i>				<i>Pali Aike</i>			
	<i>H</i>		<i>SH</i>		<i>H</i>		<i>SH</i>		<i>H</i>		<i>SH</i>	
	<i>PPNA</i>	<i>EE</i>	<i>PPNA</i>	<i>EE</i>	<i>PPNA</i>	<i>EE</i>	<i>PPNA</i>	<i>EE</i>	<i>PPNA</i>	<i>EE</i>	<i>PPNA</i>	<i>EE</i>
2010-2011	5372	247,5	1428	298,5	4250	409,1	1844	242,9	4344	425,8	4098,6	514,2
2011-2012	3302,1	214,7	782,2	104,2	4218	311,7	1783	214,7	4075	158,8	2152	236,6

EE: error estándar.

5.3.2. Relación de la producción de biomasa aérea con el ambiente geomorfológico y el sector

En el análisis de medidas repetidas se observaron diferencias significativas entre la biomasa total ($p = 0,0119$) producida por los mallines glaciales y fluviales, como así también en la biomasa verde ($p = 0,0001$), siendo los mallines fluviales los de mayor producción vegetal (Figura 5.8 a y b). Asimismo, se observaron diferencias significativas entre fechas de cosecha en ambos casos, biomasa total ($p = 0,0209$) y verde ($p = 0,0004$). En la figura 5.8 (a y b), se observa que la acumulación de biomasa fue menor en la segunda temporada de crecimiento en los mallines de ambos ambientes geomorfológicos. A pesar de esto se mantuvo la diferencia de productividad entre mallines fluviales y glaciales.

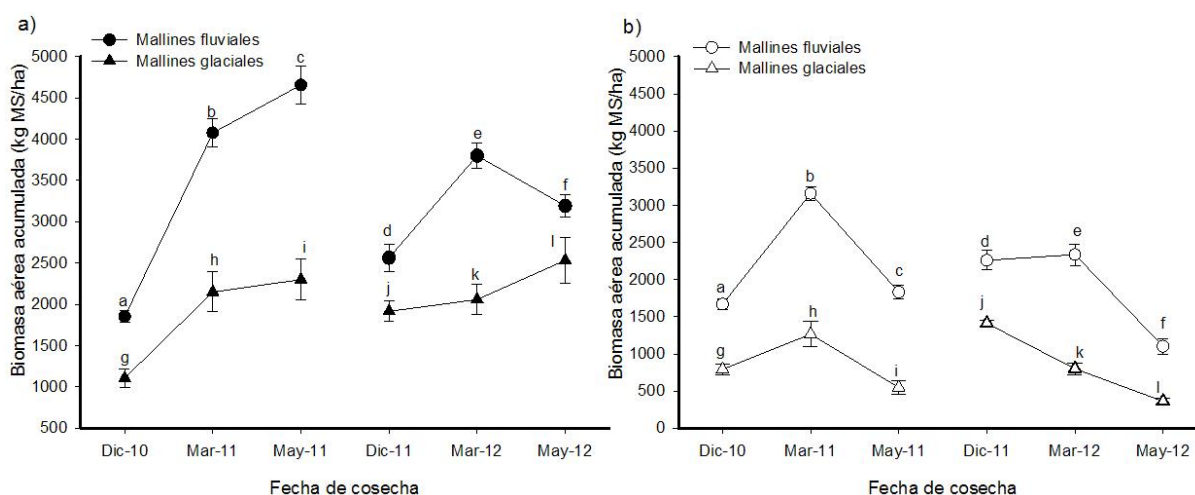


Figura 5.8. Curvas de biomasa acumulada a) total y b) verde de mallines de ambiente glacial y fluvial. Las barras negras indican el error estándar y letras distintas diferencias significativas.

No se encontraron diferencias ($p > 0,05$) en la proporción que representan las distintas formas de vida en la biomasa verde entre ambientes geomorfológicos. Asimismo, en la figura 5.9, se observa que los mallines glaciales presentan alto porcentaje de gramíneas dentro de la fracción verde a lo largo del período evaluado (Figura 5.9 a), mientras que en los mallines fluviales la mayor proporción de la biomasa verde corresponde a graminoides (Figura 5.9 b).

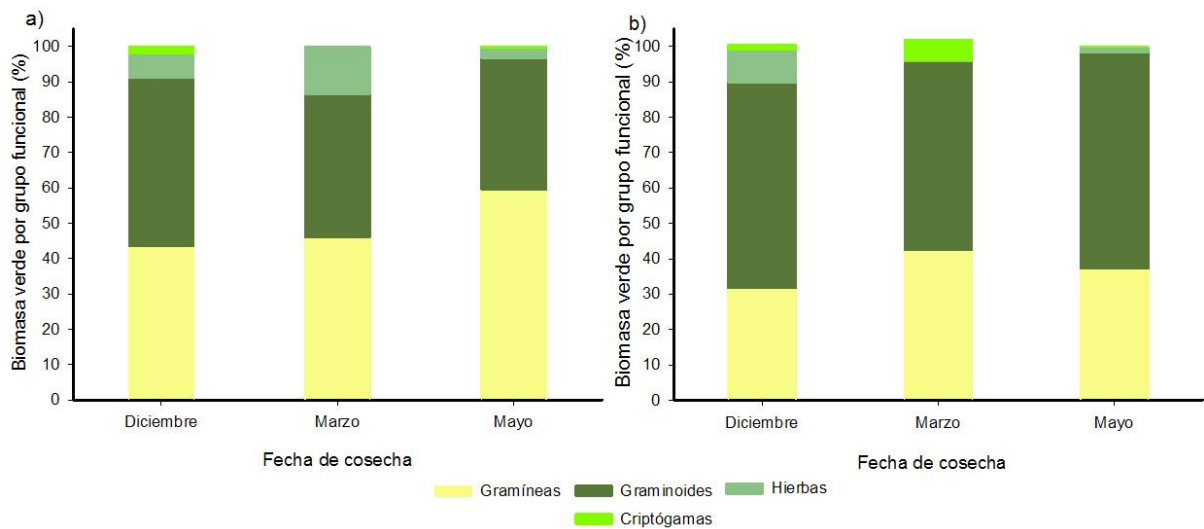


Figura 5.9. Proporción de la biomasa verde de mallines a) glaciales y b) fluviales por forma de vida.

En el análisis de los datos de producción de biomasa aérea total y verde de los mallines fluviales, se encontraron diferencias entre sectores, tanto en biomasa total ($p = 0,0045$) como en biomasa verde ($p = 0,0010$). Se detectaron diferencias temporales en la productividad de los sectores (Figura 5.10 a y b), con p valores de 0,0124 para la biomasa total y 0,0003 para la verde. Al igual que lo observado en la producción vegetal por ambiente geomorfológico, la producción de biomasa de la primer temporada fue superior a la del segundo período (Figura 5.10 a y b).

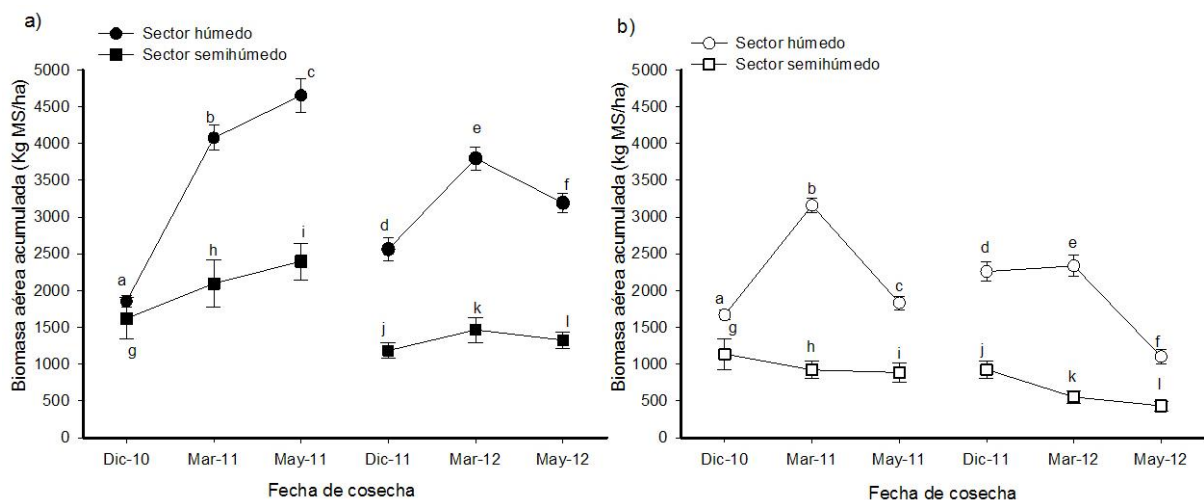


Figura 5.10. Curvas de biomasa acumulada a) total y b) verde de los sectores húmedo y semihúmedo de mallines fluviales. Las barras negras indican el error estándar y letras distintas diferencias significativas.

5.3.3. Relación de la producción de biomasa aérea con la temperatura

Los resultados de la regresión lineal expusieron correlaciones distintas entre la temperatura superficial media mensual y el pico máximo de biomasa aérea total y verde acumulada. Dependiendo del ambiente geomorfológico y el sector, el máximo de biomasa, tanto verde como total, se relacionó con la temperatura de distintos meses (Tabla 5.6).

En los mallines glaciales, el pico de biomasa total está fuertemente relacionado con la temperatura media del mes de octubre (Figura 5.11 a), mientras que para el pico máximo de la fracción verde no se observó relación con la temperatura, siendo 0,21 el mayor valor de R^2 encontrado (Figura 5.11 b, Tabla 5.6).

En el sector húmedo de los mallines fluviales se detectó una leve relación entre el pico de biomasa total y la temperatura superficial media del mes de diciembre, con un R^2 de 0,45 (Figura 5.11 c). En cambio, la biomasa verde presentó una fuerte relación con la temperatura del mes de abril (Figura 5.11 d).

En el caso del sector semihúmedo de los mallines fluviales, se observó que tanto el pico máximo de biomasa total como verde se relacionan con la temperatura del mes de agosto, siendo significativa solo la relación con la biomasa total (Tabla 5.6).

Tabla 5.6. Análisis de regresión lineal entre la temperatura superficial media mensual con el pico máximo de biomasa total (PMBT) y verde (PMBV) acumulada.

Ambiente geomorfológico	Sector	Variable	Mes	R^2	R^2 aju	p valor
Glacial	<i>H</i>	PMBT	Octubre	0,84	0,79	0,0285
		PMBV	Septiembre	0,21	0	0,4347
Fluvial	<i>H</i>	PMBT	Diciembre	0,45	0,32	0,1423
		PMBV	Abril	0,91	0,88	0,0034
	<i>SH</i>	PMBT	Agosto	0,94	0,93	0,0013
		PMBV	Agosto	0,59	0,48	0,0763

aju = ajustado

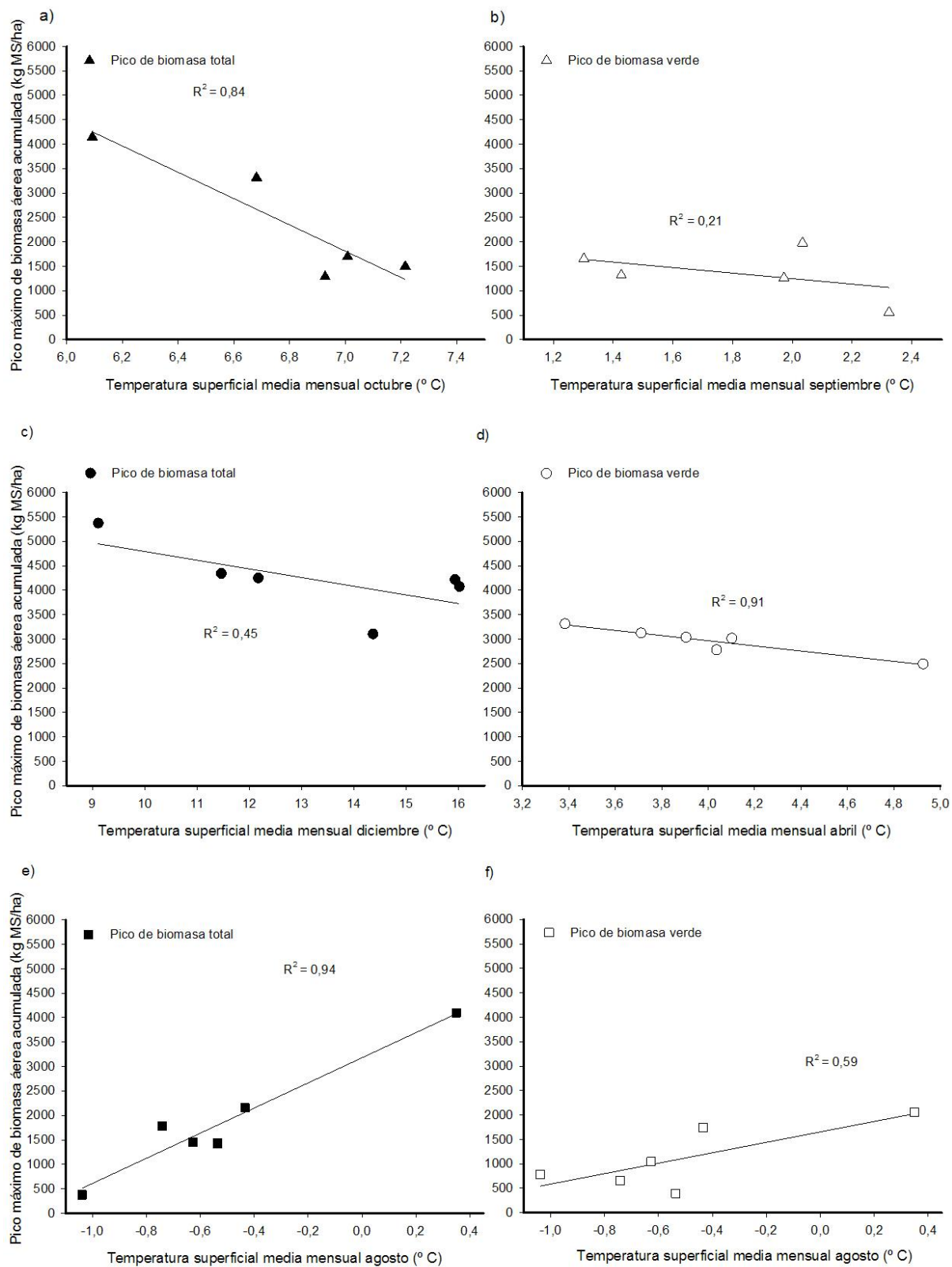


Figura 5.11. Relación entre el pico máximo de biomasa total (PMBT) y verde (PMBV) acumulada con la temperatura superficial media mensual. a) PMBT y b) PMBV de mallines glaciales; c) PMBT y d) PMBV del sector húmedo de mallines fluviales; e) PMBT y f) PMBV del sector semihúmedo de mallines fluviales. La línea entera corresponde al ajuste lineal.

5.3.4. Relación entre la producción de biomasa aérea, las características edáficas y el estado de degradación de los mallines

El ACP de los datos de biomasa total acumulada (BAT), propiedades edáficas y estado de degradación de los mallines explicó el 66,1 % de la dispersión en los primeros 3 componentes. La CP1 se asoció al contenido de Na, a la BAT, el pH, la conductividad eléctrica (CE) y el porcentaje de humedad relativa del suelo (HuV), explicando el 31,5 % de la variabilidad (Figura 5.12 a). En el extremo izquierdo de esta componente se agruparon los mallines con menor biomasa total acumulada, con los valores de pH, CE y contenidos de Na más bajos y que presentaron altos porcentajes de HuV. Mientras que en el extremo opuestos se ubicaron los mallines con alta producción de biomasa y altos valores de pH, CE y contenido de Na, que se emplazan en el ambiente fluvial (Figura 5.12 b).

La CP2 se relacionó con el contenido de los nutrientes P_d , Ca, K y Mg en el suelo de los mallines y explicó el 20,3 % de la variación de los datos (Figura 5.12 a). En esta componente se agruparon, por un lado, aquellos mallines que presentaban altos contenidos de P_d y K, y bajas concentraciones de Ca y Mg, principalmente de ambiente fluvial. El otro grupo identificado en esta componente estuvo integrado por mallines glaciales con concentraciones de nutrientes opuestas a las descritas anteriormente (Figura 5.12 b).

El 14,3 % restante de la variación fue explicado por la CP3, que se asoció a los valores del índice de degradación de mallines (IDM) y a la concentración de N_t (Figura 5.12 a). En este eje se detectaron 3 grupos, uno formado por mallines glaciales con alto contenido de nitrógeno total y dos asociados al IDM, correspondiendo uno a degradación muy baja y el otro a degradación baja-media (Figura 5.12 b).

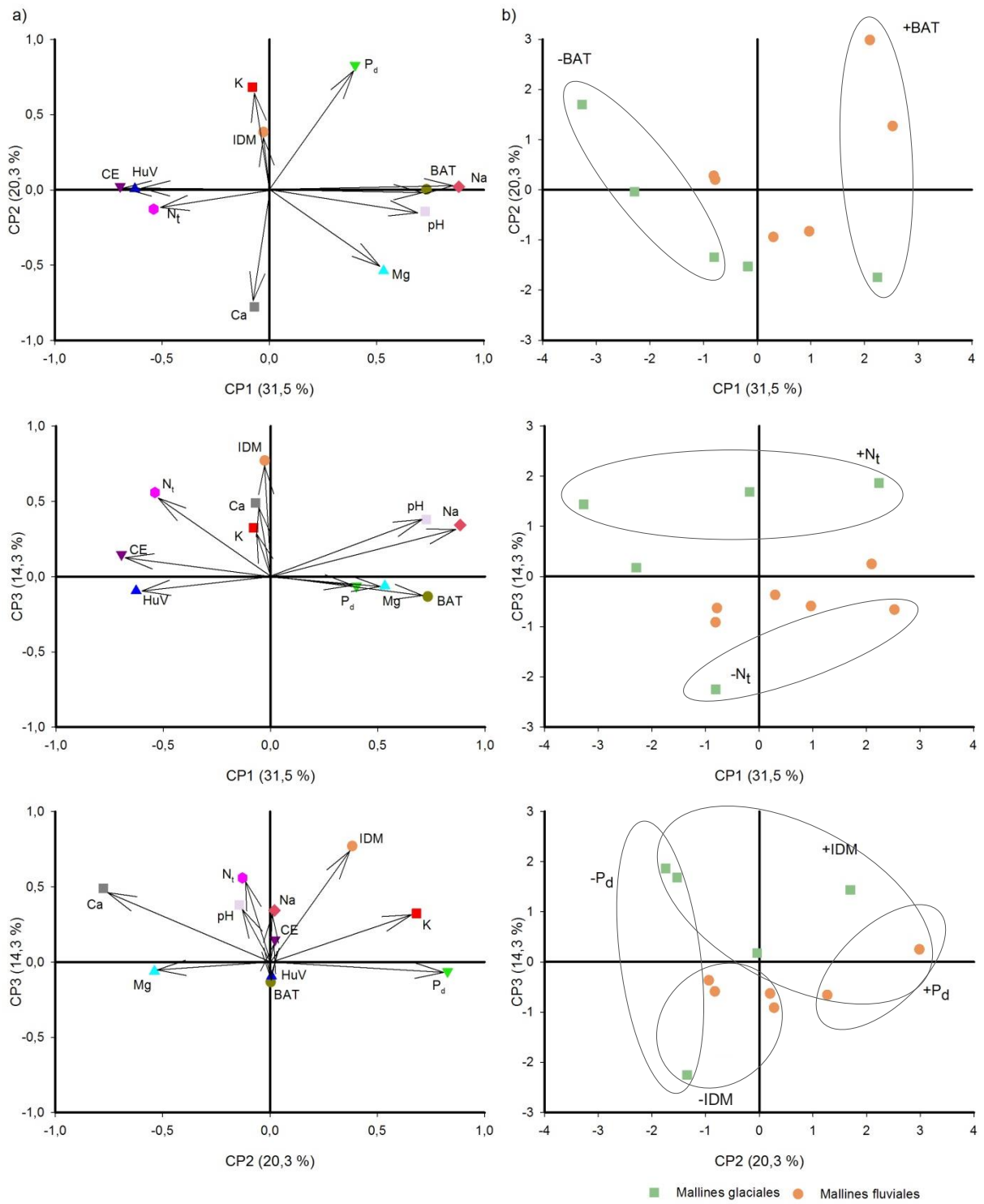


Figura 5.12. Distribución de la biomasa aérea acumulada total (BAT), de los parámetros del suelo nitrógeno total (Nt), fósforo disponible (Pd) Ca, Mg, K, Na, conductividad eléctrica (CE), pH, del porcentaje de humedad volumétrica del suelo (HuV) y del índice de degradación de mallines (IDM), de los mallines glaciales y fluviales. ACP: columna a) diagrama de variables y columna b) diagrama de casos.

5.3.5. Índices de vegetación y su relación con la biomasa verde

En el análisis de componentes principales de los índices de vegetación los tres primeros componentes explicaron el 94,2 % de la variación de los datos. Esta variación se asoció principalmente al componente principal 1 (71,4 %), en el cual los datos tienden a agruparse en función al sector al que pertenecen (Figura 5.13 b). Esta tendencia está dada principalmente por los valores de los índices SR, RDVI, IPVI, DVI, NLI y NDVI.

Por otro lado, las componentes principales 2 y 3 explicaron el 12,9 y 9,9 % de la variación, respectivamente, asociada a los índices NDWI7 y NDWI5, en ese orden (Figura 5.13 a). En ambas componentes, los datos se agruparon en función de la temporada de crecimiento a la que pertenecían (Figura 5.13 b).

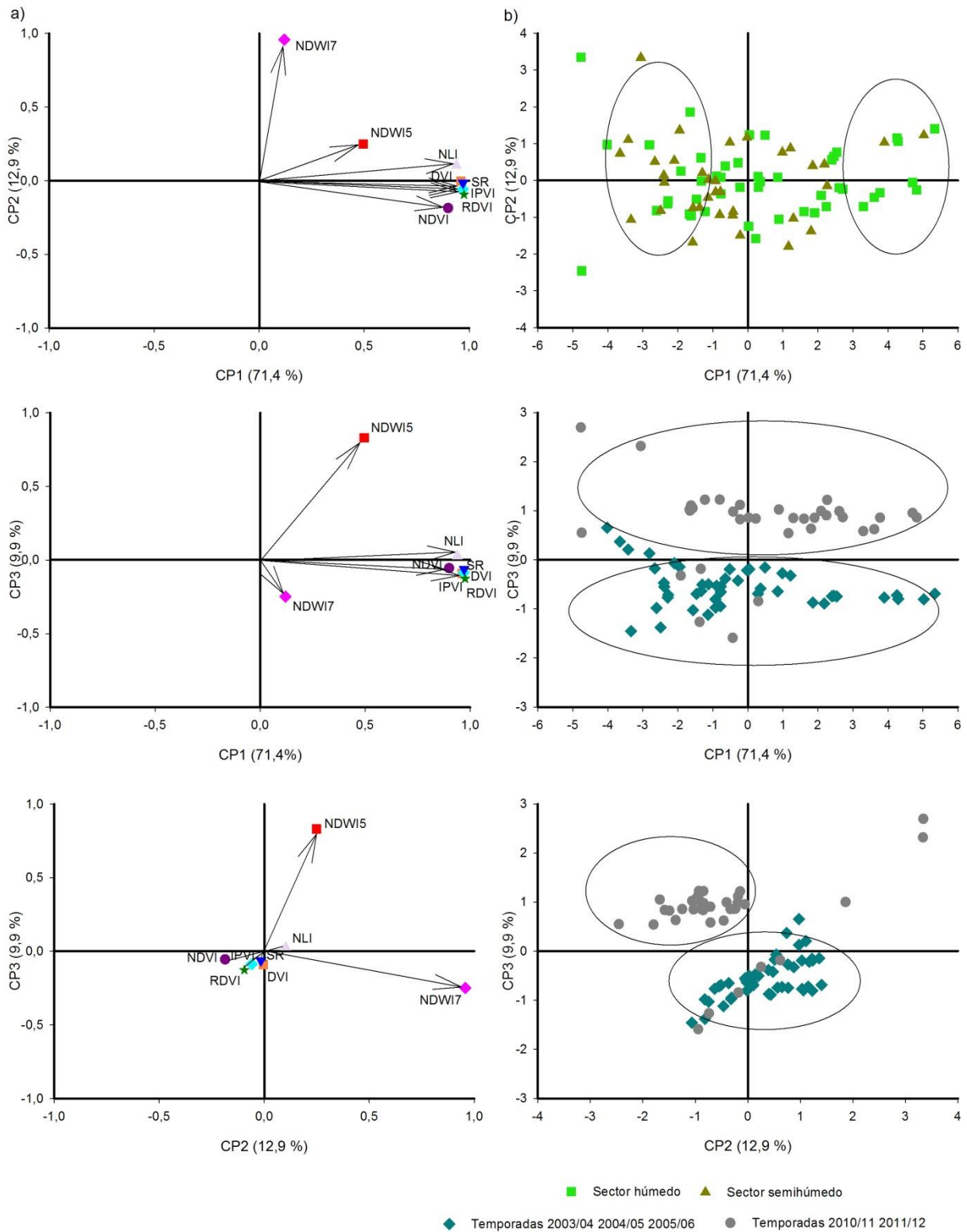


Figura 5.13. Distribución en los índices verdes DVI, IPVI, RDVI, NLI, NDWI5, NDWI7, NDVI y SR de los sectores húmedo y semihúmedo de los mallines *La Laguna, El Chorrillo, El Morro, El Zurdo, Bella Vista, Pali Aike* y *Glencross*. ACP: columna a) diagrama de variables y columna b) diagrama de casos.

En el análisis de correlación de Pearson se observó que los índices de vegetación NDWI5 y NDWI7 presentan un bajo nivel de asociación con el resto de los índices, mientras que los coeficientes de correlación entre IPVI, RDVI, DVI, SR y NLI fueron superiores a 0,9 (Tabla 5.7), lo que indica un alto nivel de asociación entre estos índices.

Tabla 5.7. Coeficientes de correlación de Pearson de los índices IPVI, RDVI, NLI, DVI, SR, NDVI, NDWI7 y NDWI5.

Índices	IPVI	NDVI	NDWI5	RDVI	SR	DVI	NDWI7	NLI
<i>IPVI</i>	1							
<i>NDVI</i>	0,87	1						
<i>NDWI5</i>	0,06	-0,04	1					
<i>RDVI</i>	0,97	0,88	0,03	1				
<i>SR</i>	0,99	0,87	0,10	0,96	1			
<i>DVI</i>	0,91	0,84	0,09	0,96	0,90	1		
<i>NDWI7</i>	0,40	0,36	0,11	0,36	0,43	0,38	1	
<i>NLI</i>	0,87	0,78	0,15	0,89	0,87	0,96	0,48	1

En función de los resultados del análisis de componentes principales y de correlación de Pearson, se seleccionaron, en consecuencia, los índices de vegetación SR, NDVI, NDWI7 y NDWI5, para evaluar su relación con la producción de biomasa verde de los mallines a través de una regresión lineal. Estos índices se eligieron por explicar en mayor medida la variación de los datos y por su nivel de correlación entre ellos.

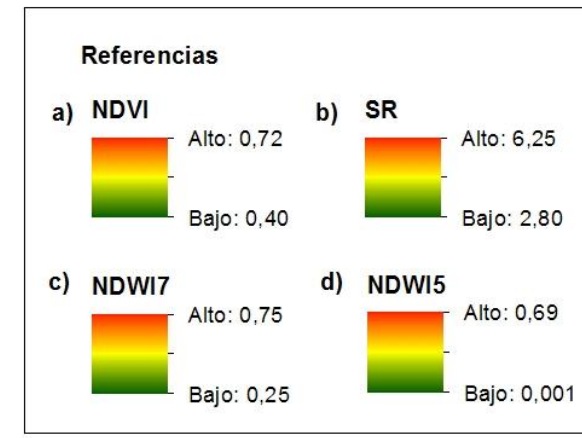
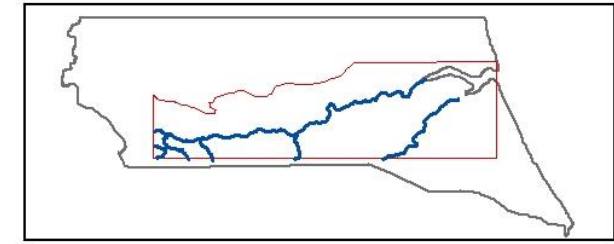
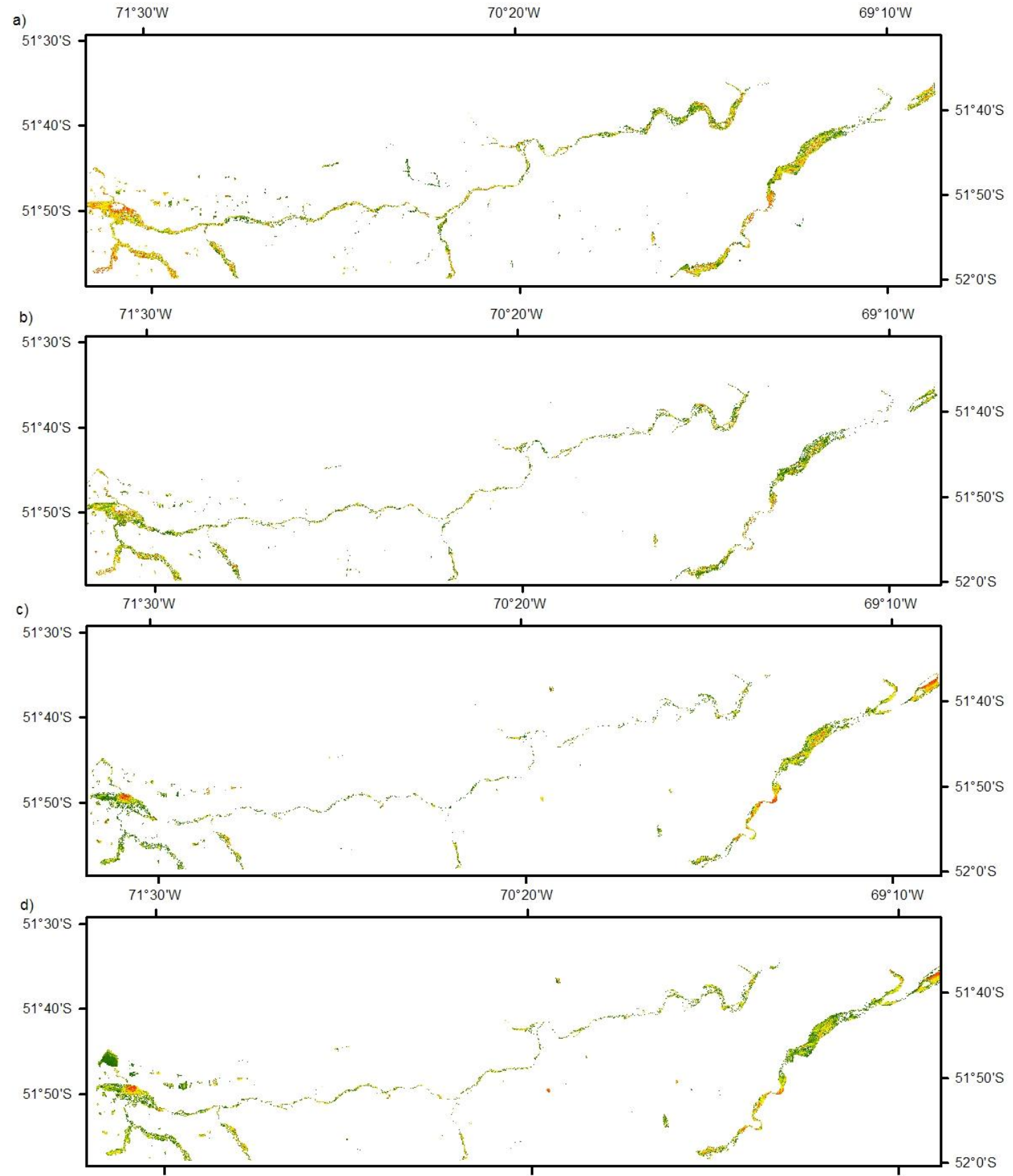
Los R^2 resultantes de la regresión lineal fueron bajos y tomaron valores inferiores a 0,15 en todos los casos (Tabla 5.8).

Tabla 5.8. Análisis de regresión lineal entre la biomasa verde y el SR, NDVI, NDWI7 y NDWI5.

Variable	R^2	R^2 aju	p valor
<i>SR</i>	0,11	0,10	0,0019
<i>NDVI</i>	0,03	0,02	0,1032
<i>NDWI7</i>	0,02	0,01	0,1586
<i>NDWI5</i>	0,06	0,05	0,0218

aju = ajustado

A pesar de la baja relación existente entre los índices de vegetación y la producción de biomasa verde de los mallines, en los mapas de los índices SR, NDVI, NDWI7 y NDWI5 correspondientes al verano de 2012 (Figura 5.14 a, b, c y d), se puede observar como estos discriminan con claridad estos humedales. Los índices de vegetación NDWI7 y NDWI5, calculados con las bandas del infrarrojo cercano (NIR) y del infrarrojo medio (SWIR), distinguen con mayor precisión la humedad, filtrando adecuadamente las zonas secas (Figura 5.14 c y d), mientras que NDVI y SR, obtenidos a partir de las bandas NIR y rojo (RED), diferencian entre zonas de mayor y menor productividad dentro de los ecosistemas de mallines (Figura 5.14 a y b).



Fuente: imagen Landsat 8 Bandas 5 3.

Figura 5.14. Mapas de los valores de los índices verdes a) SR, b) NDVI, c) NDWI7 y d) NDWI5 asociados a la biomasa de los mallines del área de estudio. Fuente: Imagenes Landsat 7 bandas 3 4 5 y 7, valores de los IV calculados para la temporada 2011/12.

5.4. DISCUSIÓN

En la producción de biomasa aérea se detectaron diferencias asociadas al ambiente geomorfológico como así también a la disponibilidad hídrica del suelo. La producción vegetal de los mallines glaciales, situados al O de la cuenca del río Gallegos, fue menor que la de los mallines fluviales ubicados hacia el E. Estos hallazgos no concuerdan con los reportados por Utrilla et al. (2008) para mallines de la estepa Magallánica húmeda y seca (O-E) situados en distintas cuencas del S de Santa Cruz y por Gandullo et al. (2013) para una transecta O-E de la Provincia de Neuquén. Dichos autores encontraron que la mayor producción de biomasa se daba en los mallines situados al O. Las diferencias en los resultados pueden deberse principalmente a la posición geográfica que influye en las características y relaciones entre el ambiente geomorfológico, el gradiente térmico, la duración del período de anegamiento, las propiedades físicas y químicas del suelo y la proporción de las distintas formas de vida en la comunidad vegetal. Se sabe que la temperatura define el inicio de la estación de crecimiento, retrasándola en aquellos pastizales con baja temperatura (Jobbágy et al. 2002), y que la duración de los períodos de anegamiento limitan la ventana de crecimiento. El anegamiento genera un ambiente reductor que da lugar a la formación de suelos con pH ácidos, alto contenido de materia orgánica y nitrógeno total, como así también al lavado de sales y nutrientes (Na, P_d y K, entre otros) (Aye et al. 2006). La conjunción de bajas temperaturas junto con extensos períodos de anoxia (por inundación) limita la disponibilidad de nitrógeno y fósforo en el suelo para las plantas (Grootjans et al. 1986; Chambers et al. 1999). Finalmente, la confluencia de todos estos factores limita el crecimiento y desarrollo de la vegetación. Los mallines glaciales estudiados están situados geográficamente en el extremo inferior del gradiente térmico de la cuenca del río Gallegos (Figura 1.6 b), la temperatura superficial que se registró en estos humedales fue 1° C inferior a la medida en los mallines fluviales (Figura 2.14). Asimismo, en la zona donde se ubican los mallines de ambiente glacial, la acumulación de agua en el suelo por lluvias y nieve inicia antes que en el resto del área de estudio, permaneciendo anegados durante mayor tiempo (conocimiento empírico). Como consecuencia de estas características, y a pesar de no mostrar diferencias significativas en los análisis realizados, se observó una tendencia en los suelos de los mallines glaciales, que fueron más ácidos y con CE y contenidos de Na, P_d y K menores que los de los fluviales. Por consiguiente, la baja producción de biomasa de los mallines de ambiente glacial sería el resultado de la interacción entre su temperatura, dinámica hídrica y propiedades edáficas condicionadas por su ubicación geográfica (Figura 5.12).

Por otro lado, las formas de vida que integran la comunidad vegetal de los mallines son primordiales en la definición de la PPNA ya que las hierbas y gramíneas, en general, aportan a la riqueza específica pero no a la acumulación de biomasa (Dwire et al. 2004). En los mallines fluviales se encontró que la vegetación estaba compuesta principalmente por graminoides (Capítulo 4), mientras que en los sectores semihúmedos predominan las hierbas y gramíneas. La mayor proporción de la biomasa aérea de los sectores húmedos correspondió a graminoides y fue más alta que la registrada en los sectores. Resultados similares fueron reportados por Dwire et al. (2004), Buono (2007) y Utrilla et al. (2008), entre otros, quienes aducen que las diferencias en la PPNA entre sectores se deben al contenido hídrico y parámetros del suelo y a la composición florística. En los sectores húmedos de este tipo de humedales los suelos son más ácidos, con mayor contenido de MO, N_t y P_d y están compuestos principalmente por ciperáceas. Estas especies se caracterizan la presencia de un aerénquima bien desarrollado que les permitiría producir tejido subterráneo en ambientes poco oxigenados y anóxicos y consecuentemente disponer de nutrientes para el desarrollo de biomasa aérea (Nakamatsu, 1998), a diferencia de las hierbas y gramíneas que, en general, no soportan el anegamiento y ante condiciones de estrés hídrico reducen su crecimiento, lo cual explicaría la menor producción de biomasa de los sectores semihúmedos.

Con respecto a los índices de vegetación, SR, NDVI, NDWI7 y NDWI5 presentaron la mayor sensibilidad a la variación espacial y temporal de la producción de biomasa verde. El ACP agrupó los datos de los índices verdes por el sector del mallín al que pertenecían y según la temporada de crecimiento evaluada (Figura 5.13). Estos resultados coinciden con los trabajos presentados por Buono (2007), Xie et al. (2011), Fuller y Wang (2014), Byrd et al. (2014), entre otros, para diferentes tipos de humedales. Dichos autores encontraron que los índices verdes tienen la capacidad de detectar las variaciones temporales y espaciales de la PPNA en los humedales. Sin embargo, la correlación entre la biomasa verde acumulada con los índices verdes calculados en esta tesis fue muy baja (Tabla 5.8), opuesto a los resultados encontrados por Xie et al. (2011), quienes reportaron valores de R² de 0,421; 0,438; 0,505 y 0,475 para la correlación entre la biomasa y los índices RVI (equivalente al SR), NDVI, DVI y TNDVI, en ese orden. La baja correlación podría deberse a dos razones: en primer lugar, el método utilizado para estimar la PPNA, ya que en esta tesis se realizó a través de cosechas en jaulas de exclusión al pastoreo cuya superficie es inferior al tamaño de pixel de las imágenes utilizadas y en la cual la cantidad de biomasa acumulada supera ampliamente a la de las áreas pastoreadas de los mallines. En segundo lugar al ciclo de inundaciones, pues el anegamiento del suelo introduce errores en la reflectancia espectral (Byrd et al. 2014). Por otro lado, la comparación de los resultados de los diversos índices,

muestra que el NDWI7 y NDWI5 posibilitaron discriminar de forma más adecuada la cobertura de este tipo de humedales en el área de estudio (Figura 5.14). Probablemente, la utilización de imágenes de alta resolución espacial posibilitará una mejor estimación de la PPNA mediante índices de vegetación.

5.5. CONCLUSIÓN

La producción de biomasa de los sectores húmedos de los mallines está determinada por la interacción de las condiciones geomorfológicas de emplazamiento con los gradientes de climáticos regionales y su relación con la variación de los parámetros edáficos y de la dinámica hídrica. Los mallines glaciales, situados al O del área de estudio, presentan temperaturas menores con períodos de anegamientos más extensos que los de los mallines fluviales, ubicados hacia el E, como así también suelos más ácidos y con bajos contenidos de P_d y K que limitan la producción de biomasa, definiendo de esta forma un gradiente O–E de PPNA.

Asimismo, las diferencias internas en el contenido hídrico y los parámetros del suelo de los mallines fluviales, asociadas a la posición topográfica y cercanía a la fuente de agua, establecen la composición florística y predominancia de ciertas formas de vida en los distintos sectores, lo cual determina su productividad. En este sentido, se marca un gradiente de producción de biomasa con valores más altos en los sectores húmedos compuestos principalmente por graminoides.

Por otro lado, la relación entre los índices de vegetación calculados con los datos provenientes de los sensores remotos Landsat 5 y 7 y la producción de biomasa verde de los mallines es muy baja, lo cual no permitiría una buena estimación de la PPNA de estos ecosistemas.

CAPÍTULO 6

DISCUSIÓN Y COMENTARIOS

FINALES

Los mallines son un tipo de humedal de gran importancia en la Patagonia, tanto desde el punto de vista ecológico como productivo. Presentan una serie de características que los convierten en cruciales reguladores del régimen hidrológico y en esenciales para el crecimiento y supervivencia de numerosas especies silvestres y domésticas (Ramsar, Irán, 1971; Brison, 1993; Malvárez, 1999). En la Patagonia austral su estudio es escaso y se ha enfocado en el uso ganadero. Particularmente, distintos autores llevaron a cabo investigaciones relacionadas con la PPNA (Utrilla et al. 2008), la composición florística (Utrilla et al. 2014) y la conformación de las comunidades vegetales (Collantes et al. 2009; Filipová et al. 2013) y las características edáficas (Lamoreux y Migliora, 1995; 1999; Collantes et al. 2009; Filipová et al. 2013). Una menor proporción de trabajos está vinculada a la comprensión del funcionamiento, dinámica y fragilidad de estos humedales (Collantes et al. 2013).

Esta tesis abordó el estudio de los mallines bajo el enfoque hidrogeomórfico (Brinson, 1993), siendo el primer trabajo de estas características en la zona, ya que previamente, Mazzoni y Vazquez (2004) caracterizaron los mallines según la unidad de paisaje en la que se ubican a escala regional. Se evaluaron atributos asociados con las relaciones ecológicas de mallines de ambientes glacial y fluvial en la Patagonia Sur y se analizaron distintos aspectos vinculados al paisaje y a la relación entre sus principales componentes (topografía, dinámica hídrica, composición florística y producción vegetal). En los dos primeros capítulos se destacó la importancia y las características de este tipo de ecosistemas azonales a nivel global y regional y se describió el área de estudio; en los capítulos 3, 4 y 5 se analizaron los aspectos hídricos, edáficos y geomorfológicos, la vegetación y la PPNA. Se generó un índice de degradación de mallines, a fin de cuantificar el estado de deterioro de estos ambientes (capítulo 4) y se calcularon índices de vegetación que se relacionaron con la producción de biomasa de este tipo de humedales (capítulo 5). En el presente capítulo, se puntualizan y discuten los resultados alcanzados, resaltando e integrando los principales aspectos tratados en cada capítulo.

6.1. DISCUSIÓN FINAL

El 6,6 % de la superficie del área de estudio está cubierta por humedales y la mayor proporción (86 %) se encuentran en dos unidades de paisaje: 1) fluvial y fluvio-glacial y 2) glacial, concordando con los resultados obtenidos por Mazzoni y Vazquez (2004) para la Provincia de Santa Cruz. Estos autores expusieron que los valles y las planicies glaciarias son las geoformas que presentan la mayor aptitud para la génesis y conservación de los ecosistemas de mallines. Esto se debería a las características de los ambientes: en las planicies de inundación en las que el agua escurre lentamente, se favorecen las condiciones de irrigación y la consecuente formación de este tipo de humedales. Por otro lado, las planicies glaciarias poseen, en general, sedimentos finos que favorecen la retención del agua en el suelo (Mazzoni y Vazquez, 2004).

En cada uno de estos emplazamientos geomorfológicos, los mallines presentan alta variabilidad relacionada a su régimen hidrológico, suelo, vegetación y producción de biomasa aérea. El principal factor determinante de la heterogeneidad de los mallines en el área de estudio es la disponibilidad hídrica del suelo y su dinámica estacional. En los sectores húmedos de todos los mallines analizados, la napa freática fluctúa estacionalmente, con incrementos otoñales y descensos estivales, con un rango promedio de 0 a 70 cm de profundidad. En cambio, en los sectores semihúmedos la fluctuación de la napa a lo largo del período es leve (50 a 100 cm). Estos resultados coinciden con las observaciones de Utrilla et al. (2008) en mallines de la región. Burgos (1994), Nakamatsu (1998) y Raffaele (2004), en el centro y N de la Patagonia, al igual que Utrilla et al. (2008) observaron que las variaciones estacionales en el contenido de agua en los suelos son el resultado de la fluctuación del caudal de los ríos, arroyos, lagunas. Los autores explicaron que el aumento de la profundidad de la napa en verano es consecuencia de la disminución del caudal de las fuentes de agua y el incremento de la evapotranspiración, mientras que el ascenso primaveral y otoñal está ocasionado por los deshielos y la precipitación. Asimismo, expusieron que las variaciones del caudal tienen poca influencia sobre los sectores semihúmedos, donde depende principalmente de las precipitaciones.

Los cambios en el contenido hídrico del suelo influye en el comportamiento de los parámetros edáficos, tales como el nitrógeno total (N_t), fósforo disponible (P_d), Ca, Mg, K, Na, MO y el porcentaje de humedad volumétrica (HuV). En los mallines de estudio la variabilidad de estos parámetros depende de las características propias de cada mallín, lo cual coincide con lo presentado por Filipová et al. (2010) para suelos de mallines del S de Chile. Sin embargo, se observó una tendencia en los suelos de los mallines glaciales, que

fueron más ácidos y con conductividad eléctrica y contenidos de Na, P_d y K menores que los de los fluviales. Esta tendencia está asociada a los gradientes de temperatura y precipitación que se presentan en la cuenca del río Gallegos. Resultados similares fueron encontrados en la Patagonia Norte por Luque y Amari (1997), quienes reportaron contenidos del 10 al 25 % de materia orgánica en diferentes estados de descomposición en mallines de cordillera y precordillera, que se sitúan al O en las zonas de menor temperatura y mayor precipitación; mientras que en los mallines de costa y de sierras y mesetas ubicados hacia el E, en donde aumenta la temperatura y disminuye la precipitación, la proporción de materia orgánica es menor al 15 %. Asimismo, Collantes et al. (2009) explicaron que en los mallines de Tierra del Fuego situados en las áreas de bajas temperaturas, la actividad biológica en el suelo se ve limitada, retardando la descomposición de la MO, con la consecuente disminución del contenido de N_t y P_d. Collantes et al. (2009) y Filipová et al. (2013) expusieron que en los sectores de mayor precipitación se produce una caída en el pH y la lixiviación de bases. Por otro lado, Loeb et al. (2008) encontraron que las crecidas primaverales de los ríos provocan la reducción de hierro promoviendo la liberación de grandes cantidades de fósforo, y con el descenso del contenido hídrico y el aumento de la temperatura, éste queda disponible para las plantas.

Las características de los suelos junto a la dinámica hídrica de los mallines determinan la composición florística y los atributos de la vegetación de las comunidades que se encuentran en estos ecosistemas. En el área de estudio, se observaron diferencias entre los sectores de los distintos mallines evaluados, vinculadas principalmente a la disponibilidad hídrica del suelo. Burgos (1993) explicó que la humedad disponible en los primeros 40 cm del suelo en la época primaveral es el factor que mejor explica la composición florística de las comunidades vegetales de este tipo de humedales. La mayor proporción de las especies que se encuentran en estos ecosistemas corresponden a las familias *Cyperaceae*, *Poaceae* y *Asteraceae*. Las comunidades vegetales de los sectores húmedos están compuestas principalmente por ciperáceas, mientras que en los sectores semihúmedos predominan las gramíneas. Estos patrones también fueron reportados por Boelcke (1957), Gandullo et al. (2013) y Utrilla et al. (2014) para otros mallines de la Patagonia N y S. La cantidad de especies que conforman las comunidades vegetales de los distintos sectores varía en función de la disponibilidad de agua en el suelo. En los mallines glaciales y fluviales aquí analizados, se detectó una correspondencia negativa entre contenido hídrico y los valores de riqueza e índices de diversidad. Por el contrario, en lo que respecta a la cobertura vegetal, se encontró que este factor presenta una relación positiva con la disponibilidad hídrica. Estas relaciones establecen gradientes internos en la composición y riqueza específica y diversidad, con valores bajos en los sectores más húmedos, lo que poseen

mayor contenido de MO y/o suelos ácidos. Esto coincide con lo encontrado por Huston (1993), Grevilliot et al. (1997), Dwire et al. (2004), Collantes et al. (2009) y Filipová et al. (2013). Por otro lado, la cobertura vegetal se incrementa con el contenido de humedad, al igual que lo reportado por Bonvissuto y Somlo (1998), Bonvissuto et al. (2008) y Utrilla et al. (2008). Las diferencias en la riqueza específica y diversidad entre los sectores húmedos y semihúmedos están asociadas a la tolerancia que presentan las especies a las situaciones de anegamiento. Las ciperáceas son especies hidrofíticas que presentan adaptaciones como rizomas y/o raíces parenquimatosas que le permiten no solo una rápida propagación vegetativa, sino también resistir los momentos de anoxia, lo que les da ventajas competitivas para ocupar sitios y consumir agua y nutrientes (Nakamatsu, 1998). Mientras que las gramíneas y las hierbas, en general son especies mesofíticas, que no toleran el exceso de agua (Daubenmire, 1990). De esta forma, los períodos de anegamiento que se presenta en los sectores húmedos limita la cantidad de especies que pueden establecerse, al contrario de lo que ocurre en los sectores semihúmedos, donde el contenido hídrico del suelo genera un nicho ecológico que promueve la proliferación de hierbas y gramíneas, incrementando el número de especies (riqueza) que componen a las comunidades vegetales de estos ecosistemas.

Los patrones encontrados en la disponibilidad hídrica, en los parámetros edáficos y en las características de la vegetación se ven reflejados en la productividad de los mallines. Las diferencias encontradas en la producción de biomasa aérea de estos ecosistemas se asociaron al emplazamiento geomorfológico como así también al contenido de agua del suelo. La cantidad de biomasa aérea producida por los mallines glaciales situados al O de la cuenca del río Gallegos, fue menor que la de los mallines fluviales ubicados hacia el E, lo cual se contrapone a los resultados encontrados por Utrilla et al. (2008) y Gandullo et al. (2013), para distintos mallines de la Patagonia Sur y Norte. Los mallines glaciales presentan temperaturas inferiores a las registradas en los mallines fluviales y se sitúan en las zonas donde las precipitaciones y la acumulación de nieve son mayores y los suelos permanecen anegados durante más tiempo, por lo cual tienden a ser más ácidos y con contenidos de Na, P_d y K menores que los de los fluviales. Como consecuencia la producción de biomasa es menor, respecto a la de los mallines fluviales. Estas diferencias están ocasionadas por la posición geográfica, siguiendo el gradiente de precipitaciones y temperatura, factor que define las características y relaciones entre el ambiente geomorfológico, la duración del período de anegamiento, las propiedades físicas y químicas del suelo y la proporción de las distintas formas de vida en la comunidad vegetal. El inicio de la estación de crecimiento de los pastizales está determinado por la temperatura (Jobbágy et al. 2002) y, en los ecosistemas húmedos, la duración depende de la extensión de los períodos de

anegamiento que condicionan la ventana de crecimiento. La conjunción de bajas temperaturas y largos períodos de inundación, afectan la disponibilidad de N y P en el suelo para las plantas (Grootjans et al. 1986; Chambers et al. 1999). El anegamiento genera un ambiente reductor que disminuye el pH de los suelos y aumenta el contenido de materia orgánica y N_t , como así también promueve al lavado de sales y nutrientes (Na, P_d y K, entre otros) (Aye et al. 2006), mientras que las bajas temperaturas limitan la disponibilidad de P y N en el suelo, lo cual restringe el crecimiento y desarrollo de la vegetación.

Las formas de vida que integran la comunidad vegetal de los mallines, que dependen de la dinámica hídrica y de las características del suelo, son determinantes de la PPNA de estos ecosistemas. En los sectores húmedos de los mallines fluviales los graminoides representaron la mayor proporción de la biomasa aérea y fue mayor a la de los sectores semihúmedos, compuestos principalmente por gramíneas y hierbas. Dwire et al. (2004), Buono (2007) y Utrilla et al. (2008), encontraron resultados similares en distintos mallines. Los autores aducen que las diferencias en la PPNA entre sectores se deben al contenido hídrico y parámetros del suelo y a la composición florística. Como se explicó anteriormente, en los sectores húmedos este tipo de humedales presentan suelos más ácidos, con mayor contenido de MO, N_t y P_d y están compuestos principalmente por ciperáceas. Estos graminoides se caracterizan por la presencia de un aerénquima bien desarrollado que les permite disponer de nutrientes para el desarrollo de biomasa aérea en ambientes poco oxigenados y anóxicos (Nakamatsu, 1998) a diferencia de las hierbas y las gramíneas que, en general, no soportan el anegamiento y ante condiciones de estrés hídrico reducen su crecimiento, lo cual explicaría la menor producción de biomasa de los sectores semihúmedos.

La producción de biomasa de estos ecosistemas puede estimarse a través de índices de vegetación (índices verdes). En esta tesis el SR, NDVI, NDWI7 y NDWI5 presentaron la mayor sensibilidad a la variación espacial y temporal de la producción de biomasa verde, coincidentemente con lo reportado por Buono (2007), Xie et al. (2011), Fuller y Wang (2014), Byrd et al. (2014), para diferentes tipos de humedales. Sin embargo, la correlación entre la biomasa verde acumulada y los índices verdes fue muy baja, lo que se contrapone a lo expuesto por Xie et al. (2011), quienes reportaron valores de R^2 de 0,421; 0,438; 0,505 y 0,475 para la correlación entre la biomasa y los índices RVI (equivalente al SR), NDVI, DVI y TNDVI, en ese orden. La baja correlación entre los índices y la producción de biomasa podría estar dada por los errores en la reflectancia espectral introducidos por los ciclos de anegamiento (Byrd et al. 2014) y/o por el método utilizado para estimar la PPNA, ya que en esta tesis se realizó a través de cosechas en jaulas de exclusión al pastoreo cuya

superficie es inferior al tamaño de pixel de las imágenes utilizadas y en la cual la cantidad de biomasa supera ampliamente a la de las áreas pastoreadas de los mallines.

Las alteraciones en las interacciones entre los distintos componentes de los mallines son provocadas, principalmente, por las altas cargas de pastoreo de los grandes herbívoros domésticos (ovinos, vacunos y equinos) (Nakamatsu, 1998) y silvestres (guanacos). En el área de estudio, los patrones de composición florística, biodiversidad y riqueza encontrados variaron en función del grado de deterioro de los distintos sectores de cada mallín evaluado. Se registraron especies indicadoras de deterioro en todos los sectores evaluados; las diferencias se presentaron en la cantidad de especies registradas y el porcentaje de cobertura respecto del total de la vegetación. Las especies con mayor frecuencia fueron *Caltha sagittata*, *Poa pratensis* en los sectores húmedos y *Taraxacum officinale* y *Azorella trifurcata* en los semihúmedos, las cuales indicarían sobrepastoreo y desecamiento del suelo. Esto coincide con lo reportado por Collantes et al. (2013), quienes explicaron la transición de praderas húmedas de juncos altos de Tierra del Fuego a praderas húmedas de juncos cortos dominados por *C. sagittata* ante situaciones de sobrepastoreo y sequía, mientras que para los mallines semihúmedos en condiciones similares detallaron la aparición de subarbustos tales como *A. trifurcata*. Raffaele (1999), Collantes et al. (2013) y Utrilla et al. (2014) manifestaron que los cambios en la composición florística y estructura de la vegetación son consecuencia de los largos períodos de pastoreo, principalmente con ovinos. Dentro de los mallines se observan tres estratos vegetales y los herbívoros ejercen la mayor presión de pastoreo sobre el estrato medio, que es el que presenta los valores más altos de riqueza específica y cobertura. Esto explicaría los cambios en la composición y estructura de las comunidades vegetales, ya que la apertura del canopy favorece la invasión de especies exóticas, con el consecuente incremento de la riqueza y la expansión de especies heliófitas del estrato inferior, tales como *Caltha sagittata*, *Lobelia oligophylla*, *Acaena spp*, entre otras (Nakamatsu, 1998; Bonvisutto y Lanciotti, 2002; Raffaele, 2004; Collantes et al. 2009; Ormaechea et al. 2010; Suárez et al. 2010; Collantes et al. 2013; Utrilla et al. 2014). Con el incremento de la presión de pastoreo comienza a disminuir la cobertura vegetal de los mallines, se produce la degradación física del suelo, se presentan cambios en el contenido hídrico del suelo, disminuye la productividad primaria neta, aparecen especies xerofíticas y subarbusivas y, cuando el porcentaje de suelo desnudo es superior al 20 %, la riqueza comienza a disminuir (Nakamatsu, 1998; Utrilla et al. 2014).

La modificación del paisaje y el uso del suelo inadecuado, en algunos casos desmesurados, por la ganadería, la agricultura y la urbanización han llevado a la pérdida de diversidad biológica en este tipo de humedales. Sin un uso correcto, los mallines pueden llegar a un estado de degradación extremo, del cual no hay retorno ya que en general, son

ecosistemas frágiles con muy baja resiliencia. Con el índice de degradación de mallines (IDM) propuesto en esta tesis se puede cuantificar esta pérdida y permite proponer medidas de remediación ante distintas situaciones. Si bien en todos los mallines estudiados se registraron especies indicadoras de degradación, solo algunos presentaron altos valores de cobertura de estas especies. El IDM diferenció aquellos sectores que presentaban grados de deterioros muy bajos, en donde se detectan coberturas mínimas de especies indicadoras y no hay indicios de desecamiento y/o degradación física, de aquellos en donde la cobertura de subarbustos indican la pérdida de humedad del suelo, cuyos IDM correspondieron a los grados alto y muy alto. Esto es posible porque el IDM no solo tiene en cuenta la cobertura y riqueza de especies indicadoras, sino también la cobertura de subarbustos, la cobertura vegetal total y la equitatividad (índice de Pielou). En el S de la Provincia de Santa Cruz, Suarez et al. (2010), Ormaechea et al. (2010) y Utrilla et al. (2014) explicaron el estado de degradación de estos ambientes a través de la condición, estableciendo 3 clases: bueno, moderada y severamente deteriorado, en función de la cobertura vegetal total y la cobertura de especies indicadoras. Ellos proponen un catálogo de especies indicadoras en el que excluyen a especies introducidas con valor forrajero como por ejemplo la *P. pratensis* y el género *Trifolium*. Por tal motivo no es posible comparar los estados de degradación obtenidos a través del IDM con la condición de mallines propuesta por estos autores.

6.2. COMENTARIOS FINALES

Se han realizado numerosos estudios en mallines de la Patagonia, sin embargo muy pocos se llevaron a cabo en extremo austral de la región. Los mallines situados en esta zona se caracterizan por desarrollarse en condiciones de clima frío, por lo cual utilizar la información proveniente de otras regiones de la Patagonia para entender su comportamiento resulta poco factible. Esta tesis procuró aumentar el conocimiento de estos ecosistemas, con el objetivo principal de comprender el rol que ejercen las condiciones de emplazamiento de los mallines del S de la Patagonia (cuenca del río Gallegos) en la variabilidad espacial de sus características hidro-eco-geomorfológicas, en su productividad y en el estado de deterioro que presentan estos humedales.

Los resultados obtenidos permitieron cumplir con el propósito planteado y concluir que la heterogeneidad de los mallines depende solo parcialmente del ambiente geomorfológico en el que se desarrollan. Las diferencias entre los mallines glaciales y fluviales en esta región,

están influenciadas principalmente por la disponibilidad hídrica del suelo y por su dinámica estacional y, en menor medida, por los gradientes climáticos regionales y por el ambiente geomorfológico. En consecuencia, la hipótesis propuesta al inicio de esta investigación se cumple parcialmente y para poder comprobar o rechazar su enunciado sería necesario ampliar el número de mallines de estudio y de esta forma reducir la dispersión que se observa en las variables analizadas.

En cuanto a éstas, a lo largo de la tesis se detectaron distintos patrones y/o tendencias tanto a escala regional como de mallín, que sustentan la conclusión expuesta. A nivel de cuenca, se encontró que la posición geográfica, estrechamente relacionada a los gradientes climáticos regionales, determina la duración de los períodos de anegamiento y el valor de los parámetros de los sectores húmedos de los mallines glaciales y fluviales y estos patrones afectan su producción de biomasa. A escala de mallín se observó que el contenido de agua del suelo de los distintos sectores está definido por la posición topográfica y sus variaciones temporales dependen de las condiciones hidrológicas locales, mientras que la disponibilidad hídrica condiciona los valores de los parámetros edáficos, la composición y los atributos de la vegetación y juntos determinan la productividad de cada mallín.

Además, las técnicas de campo y de gabinete utilizadas en esta investigación permitieron analizar la sensibilidad de los datos provenientes de distintos sensores remotos para el reconocimiento de estos ecosistemas y de diferentes métodos de teledetección para su clasificación y monitoreo y obtener cartografía temática que incluyó mapas de humedales del área de estudio y mapas detallados de cada uno de los mallines evaluados, describir y caracterizar detalladamente los mallines estudiados y su heterogeneidad espacial y temporal y elaborar un índice de degradación de mallines (*IDM*) que cuantifica el estado de deterioro de estos ecosistemas a partir de distintos atributos de la vegetación. El *IDM* resultaría una herramienta de gran utilidad a la hora de proponer planes de manejo sustentable y tomar decisiones sobre el uso de los mallines, ya que provee la información necesaria tanto a escala predial como regional. El uso racional de este tipo de humedales es central para evitar su desaparición en el futuro inmediato. Estos ecosistemas son frágiles, con baja resiliencia, y desempeñan funciones de vital importancia en la Patagonia, como el almacenamiento, la recarga y descarga de acuíferos, la retención de nutrientes, sedimentos y contaminantes y el suministro de alimento y refugio a diferentes especies de animales. La pérdida de vegetación y de suelo por la modificación del paisaje y el uso inadecuado, sobre todo de la actividad ganadera, merman su capacidad de almacenamiento de agua aumentando el flujo superficial, el desecamiento, la salinización y la profundización de cárcavas y escarpas en la superficie del suelo, llevando a la pérdida de la diversidad biológica y consecuentemente a la disminución de su PPNA.

La información generada en esta tesis enriquece el conocimiento de los ecosistemas de mallines en la región, que hasta el momento se focalizaba en su relevancia para la ganadería dejando en segundo plano la importancia y el valor ecológico de estos ecosistemas. Es el punto de partida en el estudio de las relaciones hidro-eco-geomorfológicas de los mallines de la porción más austral de la Patagonia.

BIBLIOGRAFÍA

- Adam, E.; Mutanga, O.; Abdel-Rahman, E. y Ismail, R. 2014. Estimating standing biomass in papyrus (*Cyperus papyrus* L.) swamp: exploratory of in situ hyperspectral indices and random forest regression. *International Journal of Remote Sensing* 35 (2): 693-714.
- Aitchison, J. 1982. The statistical analysis of compositional data. *Journal of Royal Statistical Society* 44: 139-177.
- Aye, T.; Nguyen, M.; Bolan, N. y Hedley, M. 2006. Phosphorus in soils of riparian and non-riparian wetland and buffer strips in the Waikato area, New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 49 (3): 349-358.
- Ayesa, J.; Bran, D.; López, C.; Marcolín, A. y Barrios, D. 1999. Aplicación de la teledetección para la caracterización y tipificación utilitaria de valles y mallines. *Revista Argentina de Producción Animal* 19 (1): 133-138.
- Baker, C.; Lawrence, R.; Montagne, C. y Patten, D. 2006. Mapping wetlands and riparian areas using Landsat ETM+ imagery and decision-tree-based models. *Wetlands* 26 (2): 465-474.
- Baker, C.; Lawrence, R.; Montagne, C. y Patten, D. 2007. Change detection of wetland ecosystems using Landsat imagery and change vector analysis. *Wetlands* 27 (3): 610-619.
- Baldassini, P.; Volante, J.; Califano, L. y Paruelo, J. 2012. Caracterización regional de la estructura y de la productividad de la vegetación de la Puna mediante el uso de imágenes MODIS. *Ecología Austral* 22 (1): 22-32.
- Barati, S.; Rayegani, B.; Saati, M.; Sharifi, A. y Nasri, M. 2011. Comparison the accuracies of different spectral indices for estimation of vegetation cover fraction in sparse vegetated areas. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 14 (1): 49-56.
- Bauni, V.; Schivo, F.; Capmourteres, V. y Homberg, M. 2015. Ecosystem loss assessment following hydroelectric dam flooding: The case of Yacyretá, Argentina. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 1: 50-60.
- Blue Marble Geographics. 2010. Global Mapper 11.
- Boelcke, O. 1957. Comunidades herbáceas del Norte de la Patagonia y sus relaciones con la ganadería. *Revista de Investigación Agrícola (Argentina)* 11: 5-98.

- Bonvissuto, G y Somlo, R. 1998. Guía de condición para los campos naturales de “Precordillera” y “Sierras y Mesetas” de Patagonia. Centro Regional Patagonia Norte, Estación Experimental Agropecuaria Bariloche INTA/GTZ (Argentina).
- Bonvissuto, G.; Somlo, R.; Lanciotti, M.; González Carteau, A. y Busso, C. 2008. Guías de condición para pastizales naturales de “Precordillera”, “Sierras y Mesetas” y “Monte Austral” de Patagonia. Estación Experimental Agropecuaria Bariloche INTA–Global Environment Facility: Patagonia.
- Borrelli, P. y Oliva, G. 2001. Ganadería ovina sustentable en la Patagonia Austral. Tecnología de Manejo Extensivo. Ed. INTA. Buenos Aires. Argentina
- Bortolus, A.; Schwindt, E.; Bouza, P. y Idaszkin, Y. 2009. A characterization of Patagonian salt marshes. *Wetlands* 29 (2): 772-780.
- Bouyoucos, G. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal* 54 (5): 464-465.
- Bran, D., López, C., Marcolín, A., Ayesa, J. y Barrios, D. 1998. Valles y mallines de la comarca de Ingeniero Jacobacci (Río Negro). Distribución y tipificación utilitaria. Proyecto de investigación estratégica: generación de tecnología para el aprovechamiento racional de mallines.
- Bran, D.; Gaitán, J.; Ayesa, J. y López, C. 2004. La vegetación de los mallines del Noroeste de Patagonia. En: Actas del taller Los mallines en la Patagonia Argentina. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Esquel, 4 y 5 de marzo de 2004.
- Bremner, J. 1982. Nitrogen — urea. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2º edition. Agronomy monograph N° 9. Madison.
- Brinson, M. 1993. A hydrogeomorphic classification for wetlands. East Carolina Univ. Greenville NC. <http://www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADA270053>
- Brinson, M. y Malvárez, A. 2002. Temperate freshwater wetlands: types, status, and threats. *Environmental conservation* 29 (02): 115-133.
- Brinson, M. 2004. Niveles extremos de variación de patrones y procesos en humedales. Documentos del Curso-Taller: bases ecológicas para la clasificación e inventario de humedales en Argentina: 19-24.
- Bueno, G. 2005. Sistema de Pastoreo ovino- bovino en Mallines. *IDIA* 21: 41-44.
- Bueno, G. 2007. Tesis: Variación espacial y temporal de la productividad de mallines patagónicos.

- Buono, G.; Oesterheld, M.; Nakamatsu, V. y Paruelo, J. 2010. Spatial and temporal variation of primary production of Patagonian wet meadows. *Journal Arid Environment* 74:1257–1261
- Burgos, A. 1994. Tesis: Caracterización de la relación entre disponibilidad hídrica y vegetación en un mallín precordillerano.
- Burgos, A.; Lanciotti, M. y Bonvissuto, G. 1996. Estudios sobre la distribución del agua. *Mallines de Precordillera. Revista Presencia INTA* 39: 41-43.
- Byrd, K.; O'Connell, J.; Di Tommaso, S. y Kelly, M. 2014. Evaluation of sensor types and environmental controls on mapping biomass of coastal marsh emergent vegetation. *Remote Sensing of Environment* 149: 166-180.
- Cabrera, A. 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. *Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería. Tomo II, Fase 1. 2º edición. Ed. Acme. Buenos Aires. Argentina.*
- Canevari, P.; Blanco, D.; Bucher, E.; Castro, G. y Davidson, I. 1998. Los humedales de la Argentina. Clasificación, situación actual, conservación y legislación. *Wetlands International*.
- Chambers, J.; Blank, R.; Zamudio, D. y Tausch, R. 1999. Central Nevada riparian areas: Physical and chemical properties of meadow soils. *Journal of Range Management*: 92-99.
- Charlin, J. 2012. Materias primas líticas y uso del espacio en las nacientes del Río Gallegos: el caso de Laguna Cóndor (Estancia Glencross, Santa Cruz, Argentina). *Magallania Punta Arenas* 40 (1): 163-184.
- Chavez, P. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote sensing of environment* 24 (3): 459-479.
- Chen, Y.; Huang, C.; Ticehurst, C.; Merrin, L. y Thew, P. 2013. An evaluation of MODIS daily and 8-day composite products for floodplain and wetland inundation mapping. *Wetland*, 33 (5): 823-835.
- Chen, L.; Jin, Z.; Michishita, R.; Cai, J.; Yue, T.; Chen, B. y Xu, B. 2014. Dynamic monitoring of wetland cover changes using time-series remote sensing imagery. *Ecological Informatics* 24: 17-26.
- Chen, Y.; Wang, B.; Pollino, C.; Cuddy, S.; Merrin, L. y Huang, C. 2014. Estimate of flood inundation and retention on wetlands using remote sensing and GIS. *Ecohydrology* 7 (5): 1412-1420.

- Chuvieco, E. 1995. Fundamentos de teledetección espacial. Ed. Rialp. Madrid.
- Chuvieco E. 2010 Teledetección ambiental. Ed. Ariel. Barcelona
- Collantes, M. y Faggi, A. 1999. Los humedales del sur de Sudamérica. Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica. Ed. UNESCO. Montevideo. Uruguay.
- Collantes, M.; Anchorena, J.; Stoffella, S. y Escartín, C. 2004. Los humedales de la estepa fueguina. Actas del taller: Los mallines en la Patagonia Argentina. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Esquel, 4 y 5 de marzo.
- Collantes, M.; Anchorena, J.; Stoffella, S.; Escartín, C. y Rauber, R. 2009. Wetlands of the Magellanic steppe (Tierra del Fuego, Argentina). *Folia Geobotanica* 44 (3): 227-245.
- Collantes, M.; Escartín, C.; Braun, K.; Cingolani, A. y Anchorena, J. 2013. Grazing and grazing exclusion along a resource gradient in Magellanic meadows of Tierra del Fuego. *Rangeland Ecology and Management* 66 (6): 688-699.
- Corbella, H. 2002. El campo volcánico - tectónico de Pali Aike. Geología y recursos naturales de Santa Cruz. Relatorio del XV Congreso Geológico Argentino. El Calafate. Buenos Aires.
- Coronato, A.; Coronato, F.; Mazzoni, E. y Vázquez, M. 2008. The physical geography of Patagonia and Tierra del Fuego. The Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego. Ed. *Developments in Quaternary Sciences*. Elsevier. Amsterdam.
- Correa, M. 1969-1999. Flora Patagónica Tomos I-VIII. Colección Científica INTA. Buenos Aires.
- Cowardin, L. 1979. Classification of wetlands & deepwater habitats of the US. Diane Publishing.
- Cremona, M.; Lanciotti, M. y Bonvisutto, G. 1996. Dinámica del agua en mallines con diferente condición del pastizal en Patagonia Norte. XV CACS Santa Rosa, La Pampa.
- Crippen, R. 1990. Calculating the vegetation index Faster. *Remote Sensing of Environment* 34: 71-73.
- Cui, L.; Li, G.; Liao, H.; Ouyang, N. y Zhang, Y. 2015. Integrated approach based on a regional habitat succession model to assess wetland landscape ecological degradation. *Wetlands* 35 (2): 281-289.

- Dabrowska-Zielinska, K.; Gruszczynska, M.; Lewinski, S.; Hoscilo, A. y Bojanowski, J. 2009. Application of remote and in situ information to the management of wetlands in Poland. *Journal of Environmental Management* 90 (7): 2261-2269.
- Dadaser-Celik, F.; Bauer, M.; Brezonik, P. y Stefan, H. 2008. Changes in the sultan marshes ecosystem (Turkey) in satellite images 1980–2003. *Wetlands* 28 (3): 852-865.
- Daubenmire, R. 1990. *Ecología Vegetal: Tratado de autoecología de plantas*. 3^o Reimpresión de la 1^o edición. Noriega Limusa. México.
- Dechka, J.; Franklin, S.; Watmough, M.; Bennett, R. y Ingstrup, D. 2002. Classification of wetland habitat and vegetation communities using multi-temporal Ikonos imagery in southern Saskatchewan. *Canadian Journal of Remote Sensing* 28 (5): 679-685.
- Del Valle, H. 1993. *Mallines de ambiente árido, pradera salina y estepa arbustiva gramínea en el NO del Chubut. Secuencias de deterioro de distintos ambientes patagónicos. Su caracterización mediante el modelo de estados y transiciones*. INTA/GTZ (Ludepa-SMR). Buenos Aires. Argentina.
- Dick D. y Gilliam, F. 2007. Spatial heterogeneity and dependence of soils and herbaceous plant communities in adjacent seasonal wetland and pasture sites. *Wetlands* 27 (4): 951–963.
- Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; Balzarini, M.; Gonzalez, L.; Tablada, M. y Robledo, Y. 2011. *InfoStat versión 2011*. Grupo InfoStat. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- D'orazio, M.; Agostini, S.; Innocenti, F.; Haller, M.; Manetti, P. y Mazzarini, F. 2001. Slab window-related magmatism from southernmost South America: the Late Miocene mafic volcanics from the Estancia Glencross Area (~52 S, Argentina–Chile). *Lithos* 57 (2): 67-89.
- Dwire, K.; Kauffman, J.; Brookshire, E. y Baham, J. 2004. Plant biomass and species composition along an environmental gradient in montane riparian meadows. *Oecologia* 139 (2): 309-317.
- El-Asmar, H.; Hereher, M. y El Kafrawy, S. 2013. Surface area change detection of the Burullus Lagoon, North of the Nile Delta, Egypt, using water indices: A remote sensing approach. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 16 (1): 119-123.
- Enriquez, A.; Chimner, R. y Cremona, M. 2014. Long-term grazing negatively affects nitrogen dynamics in Northern Patagonian wet meadows. *Journal of Arid Environments* 109: 1-5.

- Enriquez, A.; Chimner, R.; Cremona, M.; Diehl, P. y Bonvissuto, G. 2015. Grazing intensity levels influence C reservoirs of wet and mesic meadows along a precipitation-gradient in Northern Patagonia. *Wetlands Ecology and Management* 23 (3): 439-451.
- Erize, E. 1960. Diccionario comentado: Mapuche—Español: Araucano.Pehuenche, Pampa, Picunche, Rancilche, Huilliche. Editorial Yapun. Bahía Blanca.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). 2006. ArcGIS 9.2. Redlands CA.
- FAO. 2006. Guidelines for soil description. 4^o edición. FAO. Roma. Italia.
- Ferrer, J. y Mazzoni, E. 2014. Mallines del Oeste neuquino. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires.
- Filipová, L.; Hédl, R. y Covacevich, N. 2010. Variability of soil types in wetland meadows in the south of the Chilean Patagonia. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70 (2): 266-277.
- Filipová, L.; Hédl, R.; y Dančák, M. 2013. Magellanic Wetlands: More than Moor. *Folia Geobotanica* 48 (2): 163-188.
- Frohn, R.; Reif, M.; Lane, C. y Autrey, B. 2009. Satellite remote sensing of isolated wetlands using object-oriented classification of Landsat-7 data. *Wetlands* 29 (3): 931-941.
- Fu, B.; Pollino, C.; Cuddy, S. y Andrews, F. 2015. Assessing climate change impacts on wetlands in a flow regulated catchment: A case study in the Macquarie Marshes, Australia. *Journal of Environmental Management* 157: 127-138.
- Fu, G. y Shen, Z. 2016. Environmental humidity regulates effects of experimental warming on vegetation index and biomass production in an alpine meadow of the Northern Tibet. *PloS one* 11 (10): e0165643.
- Fuller, D. y Wang, Y. 2014. Recent trends in satellite vegetation index observations indicate decreasing vegetation biomass in the southeastern saline everglades wetlands. *Wetlands* 34 (1): 67-77.
- Gaitán, J.; López, C. y Bran, D. 2011. Vegetation composition and its relationship with the environment in mallines of north Patagonia, Argentina. *Wetlands Ecology and Management* 19 (2): 121-130.
- Gandullo, R.; Schmid, P. y Peña, O. 2011. Dinámica de la vegetación de los humedales del Parque Nacional Laguna Blanca (Neuquén, Argentina). Propuesta de un modelo de estados y transiciones. *Multequina* 20 (1): 43-62.

- Gandullo, R.; Fernandez, C.; Schmid, P. y Gimenez, G. 2013. Efecto de la variación ambiental en la flora, vegetación y productividad de los humedales “mallines” de la Provincia de Neuquén. Argentina. Congreso de Pastizales. Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam 22 (2): 1-9.
- Gao, J.; Chen, Y.; Lü, S.; Feng, C.; Chang, X.; Ye, S. y Liu, J. 2012. A ground spectral model for estimating biomass at the peak of the growing season in Hulunbeier grassland, Inner Mongolia, China. International Journal of Remote Sensing 33 (13): 4029-4043.
- Gell, P. y Reid, M. 2014. Assessing change in floodplain wetland condition in the Murray Darling Basin, Australia. Anthropocene 8: 39-45.
- Ghioca-Robrecht, D.; Johnston, C. y Tulbure, M. 2008. Assessing the use of multiseason QuickBird imagery for mapping invasive species in a Lake Erie coastal Marsh. Wetlands 28 (4): 1028-1039.
- Giraud, C.; Somlo, R; Bonvisutto, G.; Siffredi, G. y Becker, G. 1995. Ensayo de pastoreo rotativo con ovinos en mallín central y periférico. Seminario-Taller sobre Producción, Nutrición y Utilización de pastizales. Trelew.
- Goel, N. y Qin, W. 1994. Influences of canopy architecture on relationships between various vegetation indices and LAI and Fpar: A Computer Simulation. Remote Sensing Reviews 10: 309-347.
- Grevilliot, F.; Krebs, L. y Muller, S. 1998. Comparative importance and interference of hydrological conditions and soil nutrient gradients in floristic biodiversity in food meadows. Biodiversity and Conservation 7: 1495-1520.
- Grootjans, A.; Schipper, P. y Van der Windt, H. 1985. Influence of drainage on N-mineralization and vegetation response in wet meadows. Acta Oecológica Planta 6: 403-417.
- Hammersmark, C.; Rains, M.; Wickland, A. y Mount, J. 2009. Vegetation and water-table relationships in a hydrologically restored riparian meadow. Wetlands 29 (3): 785-797.
- Hardisky, M.; Klemas, V. y Smart, R. 1983. The influence of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral radiance of *Spartina alterniflora* canopies. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 49: 77-83.
- He, C.; Liu, Z.; Tian, J. y Ma, Q. 2014. Urban expansion dynamics and natural habitat loss in China: a multiscale landscape perspective. Global change biology 20 (9): 2886-2902.

- Hettiarachchi, M.; Morrison, T. y McAlpine, C. 2015. Forty-three years of Ramsar and urban wetlands. *Global Environmental Change* 32: 57-66.
- Hijmans, R.; Cameron, S. y Parra, J. 2006. WorldClim Global Climate Layers Version 1.4. Disponible en WorldClim Database: <http://www.worldclim.org/>
- Horne, F. 2010. Manejo hidrológico de mallines: aplicación al manejo sustentable del Mallín Genoa. 1º edición. Ed. Educo-Universidad Nacional del Comahue. Neuquén.
- Hou, P.; Shen, W.; Wang, Q.; Jang, W.; Li, J. y Chen, Y. 2014. Quantitative analysis of driving factors for wetland degradation based on hydrology balance. *Shengtai Xuebao Acta Ecológica Sinica* 34 (3): 660-666.
- Hupp, C. y Osterkamp, W. 1996. Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes. *Geomorphology* 14 (4): 277-295.
- Huston, M. 1993. Biological diversity, soils, and economics. *Science* 262 (5140): 1676-1680.
- la Cecilia, D.; Toffolon, M.; Woodcock, C. y Fagherazzi, S. 2016. Interactions between river stage and wetland vegetation detected with a Seasonality Index derived from Landsat images in the Apalachicola delta, Florida. *Advances in Water Resources* 89: 10-23.
- IGN (Instituto Nacional de Geografía). 2014. Modelo digital de elevaciones de la República Argentina. <http://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones/Busqueda>
- Iriando, M.; de Orellana, J. y Neiff, J. 1974. Sobre el concepto de "mallín" cordillerano. *Natura Neotropicalis* 1 (5): 45-52.
- Irisarri, J. y Schmid, P. 2004. Propuesta metodológica preliminar para caracterizar suelos de mallines. Taller "Los mallines en la Patagonia Argentina", Esquel. Chubut.
- Jensen, R. 1986. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. Prentice Hall Inc, Old Tappan, New Jersey, USA.
- Jobbágy, E.; Sala, O. y Paruelo, J. 2002. Patterns and controls of primary production in the Patagonian steppe: a remote sensing approach. *Ecology* 83 (2): 307-319.
- Jordan, C. 1969. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology* 50 (4): 663-666.

- Junk, W.; Piedade, M.; Lourival, R.; Wittmann, F.; Kandus, P.; Lacerda, L. y Schöngart, J. 2014. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 24 (1): 5-22.
- Kandus, P.; Minotti, P. y Malvárez, A. 2008. Distribution of wetlands in Argentina estimated from soil charts. *Acta Scientiarum. Biological Sciences* 30 (4): 403-409.
- Kandus, P.; Quintana, R.; Minotti, P.; Oddi, J.; Baigún, C.; Trilla, G. y Ceballos, D. 2011. Ecosistemas de humedal y una perspectiva hidrogeomórfica como marco para la valoración ecológica de sus bienes y servicios. *Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Ed. INTA, Buenos Aires.
- Kriegler, F.; Malila, W.; Nalepka, R. y Richardson, W. 1969. Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition. *Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of the Environment*, Ann Arbor, Michigan.
- Lamoreux, M. y Migliora, H. 1995. Caracterización de suelos de vegas. Ea. La regalona (Santa Cruz). Informe técnico Consejo agrario provincial–Estación Experimental Santa Cruz INTA.
- Lamoreux, M. y Migliora, H. 1999. Caracterización de suelo y evaluación del riesgo de deterioro debido al tránsito de animales en un sector de vega del río Coyle. Informe técnico Consejo agrario provincial – Estación Experimental Santa Cruz INTA
- Lanciotti M.; Bellatti, J.; Bonvissuto, G. y Somlo, R. 1993. Mallines. Recopilación bibliográfica. Proyecto de prevención y control de la desertificación en la Patagonia, Estación Experimental Bariloche INTA.
- Lanciotti, M.; Cremona, M. y Burgos, A. 1998. Evaluación del estado hídrico de mallines en una subcuenca de la Patagonia semiárida. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Villa Carlos Paz. Córdoba.
- Leica Geosystems. 2006. ERDAS IMAGINE PROFESSIONAL 9.1.
- León, R.; Bran, D.; Collantes, M.; Paruelo, J. y Soriano, A. 1998. Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extra andina. *Ecología Austral* 8: 125-144.
- Levy, B. y Madden, E. 1933. The point method of pasture analysis. *New Zealand Journal Agriculture* 46: 267-279.
- Loeb, R.; Lamers, L. y Roelofs, J. 2008. Prediction of phosphorus mobilisation in inundated floodplain soils. *Environmental Pollution* 156 (2): 325-331.

- Luque, J. y Amari, M. 1997. Características edáficas e hídricas de los mallines del Chubut. Estación Experimental Chubut INTA. Trelew.
- Malvárez, A. 1999. Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica. Ed. UNESCO. Montevideo. Uruguay.
- Marcolín, A.; Durañona, G.; Ortiz, R.; Sourrouille, E; Latur, M. y Larrama, G. 1978. Caracterización de Mallines en un área del sudoeste de la Provincia de Río Negro. VIII Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo.
- Margalef, R. 1983. Limnología. Ed. Omega. Barcelona.
- Mazzoni, E. 2001. Distribución espacial y caracterización geomorfológica de pequeñas cuencas endorreicas de la Patagonia austral. Anales del Instituto de la Patagonia. Serie Ciencias Naturales 29: 5-24.
- Mazzoni, E. y Vázquez, M. 2004. Ecosistemas de mallines y paisajes de la Patagonia Austral, Provincia de Santa Cruz. Ed. INTA.
- Mazzoni, E. 2007. Tesis doctoral: Geomorfología y evolución geomorfológica de los escoriales volcánicos y sus mallines asociados en diferentes ambientes de Patagonia extra-andina.
- Mazzoni, E. 2008. Características fisiográficas de humedales patagónicos de ambientes áridos. Revista Geografía, Ensino & Pesquisa 12 (1): 2149-2164.
- Mazzoni, E. y Rabassa, J. 2013. Types and internal hydro-geomorphologic variability of mallines (wet-meadows) of Patagonia: Emphasis on volcanic plateaus. Journal of South American Earth Sciences 46: 170-182.
- Mazzoni E (2017) Landscapes of Southern Patagonia, Argentina, their scenic characteristics and their importance for geotourism. En: Rabassa J (ed) Advances in Geomorphology and Quaternary Studies in Argentina, Proceedings of the Sixth Argentine Geomorphology and Quaternary Studies Congress. Springer Series on Earth System Sciences.
- Mazzoni E.; Rabassa J. 2018 Wetlands Associated with Basaltic Plateaus and Their Identification by Means of Remote Sensing Techniques. En: Mazzoni E., Rabassa J. (eds) Volcanic Landscapes and Associated Wetlands of Lowland Patagonia.
- McNaughton, S. 1983. Serengeti grassland ecology: the role of composite environmental factors and contingency in community organization. Ecological Monographs 53 (3): 291-320.

- Mensing, D.; Galatowitsch, S. y Tester, J. 1998. Anthropogenic effects on the biodiversity of riparian wetlands of a northern temperate landscape. *Journal of Environmental Management* 53 (4): 349-377.
- Milchunas, D.; Sala, O. y Lauenroth, W. 1988. A generalized model of the effects of grazing by large herbivores on grassland community structure. *American Naturalist* 87-106.
- Mita, D.; DeKeyser, E.; Kirby, D. y Easson, G. 2007. Developing a wetland condition prediction model using landscape structure variability. *Wetlands* 27 (4): 1124-1133.
- Mitsch, W.; y Gosselink, J. 2000. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. *Ecological economics* 35(1): 25-33.
- Montaldo, P. 1976. Análisis ecológico de mallines de Aysen. *Agro Sur* 4 (2): 106-110.
- Morales, R. 1994. Metodología para el aprovechamiento del recurso hídrico superficial en mallines de la Patagonia Argentina. Informe Interno. INTA, PRODESER, CRPS.
- Movia, C.; Ower, G. y Perez, C. 1982. Estudio de la vegetación natural de Neuquén. Relevamiento. Tomo I. Ed. Ministerio de Economía y Hacienda. Subsecretaria de Recursos Naturales. Neuquén.
- Movia, C. 1984. Tipología de mallines. Curso de campo en sistemas ecogeomorfológicos: Guía de excursiones. Departamento de Postgrado. Universidad Nacional del Comahue. Neuquén.
- Movia, C.; Soriano, A. y León, R. 1987. La vegetación de la cuenca del río Santa Cruz (Provincia de Santa Cruz, Argentina). *Darwiniana* 28 (1-4): 9-78.
- Mutanga, O.; Adam, E. y Cho, M. 2012. High density biomass estimation for wetland vegetation using WorldView-2 imagery and random forest regression algorithm. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 18: 399-406.
- Naiman, R.; Decamps, H. y Pollock, M. 1993. The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *Ecological applications* 3 (2): 209-212.
- Nakamatsu, V. 1998. Mallines, valles y áreas ribereñas. Consultoría DHV-SCC Swedforest. Estación Experimental Chubut INTA.
- Nelson, D. y Sommers, L. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2^o edition. Agronomy monograph N° 9. Madison.

- Nguyen, H.; Dargusch, P.; Moss, P. y Tran, D. 2016. A review of the drivers of 200 years of wetland degradation in the Mekong Delta of Vietnam. *Regional Environmental Change* 1-13.
- Niemeyer, H. y Cereceda, P. 1984. *Hidrografía*. Tomo VIII. Colección Geografía de Chile, Instituto Geográfico Militar.
- Noy-Meir, I. 1973. Desert ecosystems: environment and producers. *Annual review of ecology and systematics* 4: 25-51.
- Odum, E. 1971. *Fundamentals of ecology*. 3^o edition. Saunders. Philadelphia
- Olsen, S.; Cole, C.; Watanabe, F. y Dean, L. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with NaHCO₃. United States Department of Agriculture. Washington.
- ORNL DAAC. 2012. MODIS Collection 5 Land Products Global Subsetting and Visualization Tool. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. http://daacmodis.ornl.gov/cgi-bin/MODIS/GLBVIZ_1_Glb/modis_subset_order_global_col5.pl
- Ormaechea, S.; Utrilla, V.; Suárez, D. y Peri, P. 2010. Evaluación objetiva de la condición de mallines de Santa Cruz. *Cartilla de Información Técnica*. Estación Experimental Santa Cruz INTA.
- Panigatti, J. 2010. *Argentina 200 años, 200 suelos*. Ed. INTA. Buenos Aires.
- Paruelo, J.; Beltrán, A.; Jobbágy, E.; Sala O. y Golluscio, R. 1998. The climate of Patagonia: general patterns and controls on biotic processes. *Ecología Austral* 8: 85-101.
- Paz, C. y Buffoni, H. 1982. Manejo de las “Vegas” en el Sur de Santa Cruz. *Agencia de Extensión Rural Río Gallegos INTA*.
- Potter, C.; Randerson, J.; Field, C.; Matson, P.; Vitousek, P.; Mooney, H. y Klooster, S. 1993. Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data. *Global Biogeochemical Cycles* 7 (4): 811-841.
- QGIS Development Team. 2016. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- Rabassa, J. 2008. The late cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego. *Developments in Quaternary Science* 11: 151-204.
- Ramos, V. 1999. Evolución tectónica de la Argentina. *Geología Argentina. Anales* 29, SEGEMAR 715 –759. Buenos Aires.

- Raffaele E. 1999. Mallines: aspectos generales y problemas particulares. Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica. Ed. UNESCO. Montevideo. Uruguay.
- Raffaele, E. 2004. Susceptibility of a Patagonian mallín flooded meadow to invasion by exotic species. *Biological Invasions* 6 (4): 473-481.
- Real Academia Española. 2014. Diccionario de la lengua española. 23ª edición. <http://dle.rae.es>
- Records, R.; Arabi, M.; Fassnacht, S.; Duffy, W.; Ahmadi, M. y Hegewisch, K. 2014. Climate change and wetland loss impacts on a western river's water quality. *Hydrology and Earth System Sciences* 18 (11): 4509-4527.
- Richards, J. 2013. Remote sensing digital image analysis. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Richardson, J. y Vepraskas, M. 2001. Wetlands soils. Genesis, hydrology, landscapes and classification. Lewis Publishers, CRC Press LLC.
- Rodríguez-Rodríguez, M. 2007. Hydrogeology of ponds, pools, and playa-lakes of southern Spain. *Wetlands* 27 (4): 819 – 830.
- Rodríguez, J.; Díaz-Ambrona, C. y Alfonso, A. 2014. Selección de índices de vegetación para la estimación de la producción herbácea en dehesas. *Pastos* 44 (2): 6-18.
- Roig, F. 1998. La Vegetación de la Patagonia. Flora Patagónica. Colección científica INTA VIII (1): 48-166.
- Rolls, R.; Leigh, C. y Sheldon, F. 2012. Mechanistic effects of low-flow hydrology on riverine ecosystems: ecological principles and consequences of alteration. *Freshwater Science* 31 (4): 1163-1186.
- Roujean, J. y Breon, F. 1995. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote Sensing of Environment* 51: 375-384.
- Ruimy, A.; Saugier, B. y Dedieu, G. 1994. Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 99 (D3): 5263-5283.
- Ruíz leal, R. 1972. Los confines boreal y austral de las provincias Patagónica y Central respectivamente. *Sociedad Argentina de Botánica Boletín* 13: 89 -118.
- Sala, O. y Austin, A. 2000. Methods of estimating aboveground net primary productivity. *Methods in Ecosystem Science* 31-43.

- Salazar Lea Plaza, J. y Godagnone, R. 1990. Provincia de Santa Cruz, 1: 1.000. 000. Atlas de Suelos de la República Argentina. Ed. INTA-Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Buenos Aires.
- Salvia, M. 2010. Aporte de la teledetección al estudio del funcionamiento del macrosistema Delta del Paraná: análisis de series de tiempo y eventos extremos. www.digital.bl.fcen.uba.ar
- San Martino, L. 1997. Fertilización en Patagonia Sur. Pasturas bajo riego y Mallines. Boletín técnico. Estación Experimental Santa Cruz INTA. Convenio INTA – CAP – UNPA.
- San Martino, L. 2000. Mejoramiento y utilización de mallines en Santa Cruz-Zona Norte. Módulo I: Recurso Forrajero. Informe Final de Plan de Trabajo. Estación Experimental Santa Cruz INTA. Convenio INTA – CAP – UNPA.
- San Martino, L. 2003. Fertilización de mallines en la Patagonia. Ed. INTA. Buenos Aires.
- Scurlock, J.; Johnson, K. y Olson, R. 2002. Estimating net primary productivity from grassland biomass dynamics measurements. *Global Change Biology* 8 (8): 736-753.
- Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013. Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971). 6º edición. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).
- Sendra, V.; Sánchez, J.; Camacho, F. y Lacaze, R. 2015. Metodología para la validación de los productos de reflectividad de baja resolución a partir de imágenes de alta resolución en el marco de Copernicus. Teledetección: Humedales y Espacios Protegidos. XVI Congreso de la Asociación Española de Teledetección, Sevilla 21-23 de octubre 488-491.
- Sica, Y.; Quintana, R.; Redeloff, V. y Gavier-Pizarro, G. 2016. Wetland loss due to land use change in the Lower Paraná River Delta, Argentina. *Science of the Total Environment* 568: 967-978.
- Siffredi, G.; Giraud, C.; Becker, G.; Somlo, R. y Bonvisutto, G. 1995. Ensayo de pastoreo rotativo con vacunos en un mallín de precordillera. Seminario-Taller sobre Producción, Nutrición y Utilización de pastizales. Trelew.
- Siffredi, G. 2005. Conceptos de evaluación forrajera y de determinación de la carga animal en Patagonia norte. Curso de evaluación de recursos naturales para la planificación del pastoreo en los establecimientos ganaderos. Sociedad Rural de Neuquén; Secretaría de Producción (Provincia del Neuquén); AER INTA San Martín de los Andes; Estación Experimental Bariloche INTA.

- Sims, N. y Colloff, M. 2012. Remote sensing of vegetation responses to flooding of a semi-arid floodplain: Implications for monitoring ecological effects of environmental flows. *Ecological Indicators* 18: 387-391.
- Soil Survey Staff. 2006. Claves para la taxonomía de suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de los Recursos Naturales.
- Somlo, R; Siffredi, G.; Taddeo, H. y Cohen, L. 1995. Momento adecuado de corte de un mallín de precordillera. Seminario-Taller sobre Producción, Nutrición y Utilización de pastizales. Trelew,
- Soriano A. 1956. Aspectos ecológicos y pastoriles de la vegetación patagónica relacionados con su estado y capacidad de recuperación. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (Argentina)* 10: 349-372.
- Sorensen, T. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Biol. skr.* 5: 1-34.
- Sturzenbaum, P.; Imberti, P.; y Magaldi, J. 1997. Negocios con mallines. Intensificación de la Ganadería en la Patagonia Austral. Manual de Negocios. Grupo Interdisciplinario para la intensificación de la ganadería. Ed. Proyectos Cambio Rural, Prodesar, Carne Ovina, Estación Experimental Santa Cruz. Convenio INTA–CAP–UNPA.
- Sturzenbaum, M.; Rivera, E.; Utrilla, V.; Mora, J.; Milicevic, F.; Suarez, D. y Watson, B. 2010. Prueba de fertilización nitrogenada y fosforada en una vega semi-húmeda del valle del río Coyle. Informe técnico. Estación Experimental Santa Cruz INTA.
- Suárez, D.; Ormaechea, S.; Peri, P. y Utrilla, V. 2010. Caracterización objetiva de la condición en mallines de Santa Cruz. Informe técnico Estación Experimental Santa Cruz INTA.
- Thompson, Y.; Sandefur, B.; Miller, J. y Karathanasis, A. 2007. Hydrologic and edaphic characteristics of three mountain wetlands in southeastern Kentucky, USA. *Wetlands* 27 (1): 174 – 188.
- Timoney, K. 2006. Landscape cover change in the Peace-Athabasca Delta, 1927–2001. *Wetlands* 26 (3): 765-778.
- Tucker, C. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8: 127–150.

- Utrilla, V.; Brizuela, M. y Cibils, A. 2006. Structural and nutritional heterogeneity of riparian vegetation in Patagonia (Argentina) in relation to seasonal grazing by sheep. *Journal of Arid Environments* 67: 661–670
- Utrilla, V.; Ferrante, D.; Peri, P.; Kofalt, J. y Humano, G. 2008. Efecto de la dinámica hídrica edáfica y ambiental sobre la productividad y calidad forrajera de mallines en la Patagonia Austral. Informe técnico final (ciclos 2004/05 y 2005/06). Estación Experimental Santa Cruz INTA.
- Utrilla, V y Jaurena, G. 2009. Efectos de la fertilización nitrogenada y fosforada sobre el pastizal de vegas de Tierra del Fuego. *Revista Argentina de Producción Animal* 29 (1): 602-603
- Utrilla, V.; Andrade, M.; Billoni, S.; Peri, P.; Sturzenbaum, M. y Rogel, B. 2014. Monitoreo de indicadores de degradación en mallines bajo pastoreo ovino en el Sur de Santa Cruz. Informe técnico Estación Experimental Santa Cruz INTA.
- Wassen, M.; Peeters, W. y Venterink, H. 2003. Patterns in vegetation, hydrology, and nutrient availability in an undisturbed river floodplain in Poland. *Plant Ecology* 165 (1): 27-43.
- Watkins, S.; Quinn, G. y Gawne, B. 2010. Changes in organic-matter dynamics and physicochemistry, associated with riparian vegetation loss and river regulation in floodplain wetlands of the Murray River, Australia. *Marine and Freshwater Research* 61: 1207–1217.
- Wilcox, D. y Nichols, J. 2008. The effects of water-level fluctuations on vegetation in a Lake Huron wetland. *Wetlands* 28 (2): 487–501.
- Xie, P.; He, B. y Xing, M. 2011. Estimation above-ground biomass of wetland bulrush in Qaidam Basin, China, combining regression model with vegetation index. *Geoinformatics, 2011 19th International Conference. IEEE.*
- Xu K.; Kong, C.; Wu, C.; Liu, G.; Deng, H. y Zhang, Y. 2009. Dynamic changes in Tangxunhu wetland over a period of rapid development (1953 – 2005) in Wuhan, China. *Wetlands* 29 (4): 1255-1261.
- Yao, Y.; Wang, L.; Lv, X.; Yu, H. y Li, G. 2014. Changes in stream peak flow and regulation in Naoli River watershed as a result of wetland loss. *The Scientific World Journal.*

- Zhang, S.; Na, X.; Kong, B.; Wang, Z.; Jiang, H.; Yu, H. y Dale, P. 2009. Identifying wetland change in China's Sanjiang Plain using remote sensing. *Wetlands*, 29(1): 302-313.
- Zhao, Q.; Bai, J.; Huang, L.; Gu, B.; Lu, Q. y Gao, Z. 2016. A review of methodologies and success indicators for coastal wetland restoration. *Ecological Indicators* 60: 442-452.
- Zuloaga, F.; Morrone, O. y Belgrano, M. 2009. Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur. Versión base de datos en sitio web del Instituto Darwinion, Argentina. URL:<http://www2.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/FA.asp>

DIFUSIÓN DE RESULTADOS DERIVADOS DE LA TESIS

- Vargas, P.; Mazzoni, E., Bonvecchi, V. 2014. Producción de biomasa aérea en mallines de diferente origen geomorfológico en la Patagonia Austral. 37° Congreso Argentino de Producción Animal – 2nt Joint Meeting ASAS-AAPA – XXXIX Congreso de la Sociedad Chilena – SOCHIPA, Buenos Aires.
- Vargas, P.; Mazzoni, E. y Bonvecchi, V. 2014. Producción de biomasa aérea en mallines de diferente origen geomorfológico en la Patagonia Austral. Jornadas Ganaderas, Río Gallegos.
- Vargas, P. y Mazzoni, E. 2014. Caracterización de la composición florística y productividad primaria del mallín Pali Aike, Patagonia Austral Argentina. X Jornadas Nacionales de Geografía Física. <https://redargentinadegeografiafisica.files.wordpress.com/2014/04/trabajo-vargas-y-mazzoni.pdf>
- Vargas, P. y Mazzoni, E. 2012. Los mallines de la Patagonia Austral: su variabilidad ambiental y ecológica. IX Jornadas Nacionales de la Geografía Física.
- Vargas, P. 2011. Variación estacional de la biomasa en mallines emplazados en diferentes ambientes de la Patagonia austral. Jornadas Ganaderas Río Gallegos.
- Vargas, P.; Mazzoni, E. y Sione, W. 2010. Presentación: Mallines del sur de la Patagonia: interacciones entre unidades fisiográficas y productividad en diversos ambientes geomorfológicos. Encuentro de Investigadores de la Patagonia Austral, 05 de octubre.

ANEXO

Apéndice 1. Descripción de la calicata N° 2 realizada en el sector húmedo del mallín fluvial *Pali Aike*.

- 0 – 4 cm; negro (10 YR 2/1) en húmedo; gris muy oscuro (10 YR 3/1) en seco; franco limoso; ligeramente plástico y no adhesivo; suelto en seco; raíces finas y muy finas abundantes; límite claro y suave.
- A₁ 4 – 11 cm; negro (10 YR 2/1) en húmedo; gris muy oscuro (10 YR 3/1) en seco; franco limoso; bloques finos, medios y gruesos; ligeramente plástico y no adhesivo; duro en seco; raíces finas y muy finas abundantes; límite claro y suave.
- A₂ 11 – 31 cm; negro (10 YR 2/1) en húmedo; gris muy oscuro (10 YR 3/1) en seco; limoso; bloques finos y medios, moderada; ligeramente plástico y no adhesivo; ligeramente duro en seco; raíces finas y muy finas abundantes; límite claro y suave.
- A₃ 31 – 47 cm; negro (10 YR 2/1) en húmedo; gris muy oscuro (10 YR 3/1) en seco; limoso; granular muy fina, fina y media y bloques medios; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; duro en seco; raíces finas abundantes y raíces muy finas comunes; límite claro y suave.
- 2C₁ 47 – 63 cm; gris muy oscuro (10 YR 3/1) en húmedo; gris (10 YR 5/1) en seco; franco limoso; bloques medios y gruesos; plástico y adhesivo; extremadamente duro en seco; raíces finas comunes y raíces muy finas escasas; límite claro y suave.
- 3C₂ 63 – 73 cm; gris muy oscuro (10 YR 3/1) en húmedo; gris oscuro (10 YR 4/1) en seco; franco; bloques medios y gruesos y laminar; plástico y adhesivo; extremadamente duro en seco; moteados escasos; raíces finas y muy finas muertas; límite claro y suave.
- 4C₃ 73 – 90 cm; gris oscuro (10 YR 4/1) en húmedo; gris (10 YR 5/1) en seco; franco arcillo arenoso; bloques finos y medios; plástico y muy adhesivo; duro en seco; raíces finas y muy finas muertas; presencia de gravillas; límite claro y suave
- 5C₄ 90+ cm; pardo grisáceo (10 YR 5/2) en húmedo; gris claro (10 YR 7/2) en seco; franco arenoso; bloques finos y medios y prismática media; extremadamente duro en seco; moteados abundantes; raíces finas y muy finas muertas; presencia de gravillas.