

O/H. 12233
C 19

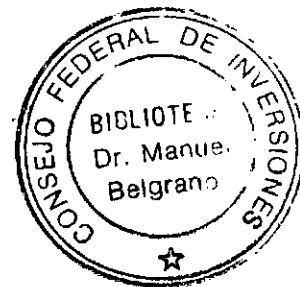
46193

17312

PROVINCIA DE TIERRA DEL FUEGO
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

Invasión de *Hieracium pilosella* L. (Asteraceae)
en pastizales de Tierra del Fuego:
Factores asociados y posibilidad de manejo.

Informe Final



- Diciembre 2006 -

Gobernador de la provincia de Tierra del Fuego e Islas del Atlántico sur.
Sr. Jorge Collazo

Secretario General del Consejo Federal de Inversiones
Ing. Juan José Ciacera

Subsecretaría de Recursos Naturales
Ing. Agr. Ruben Cerezani

Área técnica Consejo Federal de Inversiones
Sistemas Productivos Regionales

Equipo técnico

Ing. Agr., Dr., Pablo A. Cipriotti (MACN-FAUBA)

Ing. Agr. Marta Collantes (MACN)

Lic. Ruth Rauber (MACN)

Lic. Karen Braun (MACN)

Lic. Guadalupe de la Peña (MACN)

Lic. Celina Escartín (MACN)

Dra. Mirta Arriaga (MACN)

Dra. Mónica Stampacchio (MACN)

Ing. Agr. Marcelo Jacob (Dirección de Recursos, pcia. Tierra del Fuego)

Ing. Agr. Enrique Livraghi (INTA)

Ing. Agr. Cecilia García Sampedro (SENASA)

Índice General

Resumen.....	6
Introducción.....	7
Metodología.....	11
Resultados.....	40
Consideraciones finales.....	89
Bibliografía.....	95
Anexo I – Análisis estadísticos.....	99
Anexo II – Fotografías.....	100
Anexo III – Folleto.....	104

Índice de Tablas y Cuadros

Tabla 1.....	26
Tabla 2.....	61
Tabla 3.....	62
Tabla 4.....	65
Tabla 5.....	65
Tabla 6.....	85
Tabla 7.....	87
Cuadro 1.....	42

Índice de Figuras

Figura 1.....	13
Figura 2.....	14
Figura 3.....	16
Figura 4.....	19
Figura 5.....	22
Figura 6.....	23
Figura 7.....	24
Figura 8.....	27
Figura 9.....	28
Figura 10.....	30
Figura 11.....	31
Figura 12.....	45
Figura 13.....	45
Figura 14.....	46
Figura 15.....	46
Figura 16.....	47
Figura 17.....	47
Figura 18.....	50
Figura 19.....	51
Figura 20.....	52
Figura 21.....	53
Figura 22.....	54
Figura 23.....	56
Figura 24.....	57
Figura 25.....	58
Figura 26.....	59

Índice de Figuras (continuación)

Figura 27.....	60
Figura 28.....	61
Figura 29.....	63
Figura 30.....	64
Figura 31.....	67
Figura 32.....	68
Figura 33.....	70
Figura 34.....	71
Figura 35.....	71
Figura 36.....	72
Figura 37.....	73
Figura 38.....	74
Figura 39.....	74
Figura 40.....	75
Figura 41.....	75
Figura 42.....	76
Figura 43.....	76
Figura 44.....	77
Figura 45.....	77
Figura 46.....	78
Figura 47.....	79
Figura 48.....	80
Figura 49.....	80
Figura 50.....	81
Figura 51.....	82
Figura 52.....	83

Índice de Figuras (*continuación*)

Figura 53.....	84
Figura 54.....	87
Figura 55.....	90

RESUMEN

Hieracium pilosella L. es una maleza de campos ganaderos reconocida a nivel mundial. Esta maleza es capaz de reemplazar especies forrajeras reduciendo la capacidad productiva de pastizales naturales y pasturas, atentado contra la sustentabilidad económica y ecológica de estos ecosistemas. En este trabajo se estudió la distribución y abundancia de *Hieracium pilosella* en el sector norte de la isla grande de Tierra del Fuego, específicamente en la región de la estepa fueguina. Durante un año de trabajo se realizaron relevamientos a campo y se llevaron a cabo ensayos para evaluar el rol de los disturbios y la cobertura de suelo desnudo sobre la colonización y las posibilidades de manejo en sitios específicos invadidos. Los resultados indican que *Hieracium pilosella* es una maleza con potencial para convertirse en un problema severo en la isla. Actualmente, la cobertura regional de la maleza es muy baja (<3%) sin embargo la variabilidad espacial es grande (CV 200%) y la invasión se encuentra ampliamente diseminada (constancia 70%). Si bien no se encontraron relaciones entre la cobertura de la invasora y el grado del pastoreo, si aparecieron relaciones más evidentes con algunas comunidades vegetales: matorrales, coironales y pastizales de pastos blandos y con sitios con historias de disturbios conocida, tales como remoción de mata negra, implantación de pasturas o algún otro tipo de disturbio del suelo. Por otro lado, los ensayos agronómicos indicaron que es posible reducir la cobertura de esta maleza a través de exclusiones estratégicas del pastoreo y fertilizaciones (P/N) e intersembras con especies adaptadas a la zona (tréboles, pasto ovillo), pero sobre todo en lugares húmedos. Además, los herbicidas ensayados mostraron un buen control de la maleza mediante la aplicación local, a pesar de la aparición de rebrotes al año, reduciendo más de un 70 % la cobertura aérea basal. Al final del informe, se presentan una serie de recomendaciones generales de manejo para la maleza y se advierte acerca de la oportunidad de realizar un manejo de la invasión durante esta etapa, donde aún la situación no es irreversible o los costos no resultan extremadamente altos.

INTRODUCCIÓN

Las **invasiones biológicas** representan un problema de actualidad global (Drake *et al.*, 1989). En diferentes ecosistemas alrededor del mundo se han reportado invasiones de organismos exóticos que causan problemas e interfieren con diversas actividades productivas del hombre (Vitousek y Walker, 1989). Durante los últimos siglos, el incremento de las actividades comerciales y el transporte de las sociedades modernas a escala mundial, trajo aparejado un aumento en la dispersión de organismos fuera de su lugar de origen (Drake *et al.*, 1989). Si bien son una minoría las especies que prosperan y efectivamente se transforman en invasores exitosos, el conjunto de especies dispersadas antrópicamente ha crecido respecto de hace 500 años. Los pastizales son ecosistemas particularmente susceptibles a este tipo de invasiones (Mack, 1989), dado el alto grado de disturbios vinculado con la agricultura y la ganadería. En el mismo sentido, las islas representan ecosistemas vulnerables por su condición relativa de aislamiento genético / evolutiva respecto del continente (Drake *et al.*, 1989). Dentro de este contexto, los pastizales de la isla grande de Tierra del Fuego tienen el potencial de ser ecosistemas susceptibles a la llegada de organismos exóticos como puede ser el caso de la invasión de *Hieracium pilosella*.

La principal actividad agropecuaria del norte de la isla de Tierra del Fuego es la ganadería ovina, la que se basa en los pastizales naturales de la estepa fueguina. Para mantener una explotación sustentable a largo plazo es de suma importancia conocer los factores que contribuyen a mantener el valor forrajero de los pastizales. Las invasiones biológicas representan una amenaza a la biodiversidad y a los procesos de los ecosistemas, que se traducen directamente en consecuencias económicas, como pérdida de cosechas o campos de pastoreo (Mack *et al.*, 2000). La dominancia de plantas de baja palatabilidad dada por las invasiones puede llevar a una pérdida de capacidad de carga del sistema.

En distintos puntos de la Patagonia austral existen antecedentes que documentan la presencia de *Hieracium pilosella*, una especie exótica originaria de Eurasia. En Tierra del Fuego, existen evidencias que indican una invasión de *Hieracium pilosella*. Hace alrededor de 10 años (Marta Collantes, datos no publicados) observó un progresivo aumento de la misma en sitios puntuales. En

monitoreos realizados en la estancia María Behety se registró un aumento del 107% de su cobertura en un lapso de tres años (1995 a 1998). En la zona norte de la estepa se la ha encontrado formando grandes manchones en sitios que habían sido previamente arados e implantados con pasturas. En general, se asoció su presencia con el suelo desnudo producido tanto por el pisoteo de los ovinos como por técnicas de labranza usadas en forma esporádica (E. Livraghi, INTA Río Grande, com. pers.).

Hieracium pilosella es una especie perteneciente a la familia *Asteraceae*, originaria de Europa y oeste de Asia (Bishop y Davy, 1994). Las especies del género *Hieracium* son plantas invasoras de pastizales reconocidas a nivel mundial. Esta especie es un formidable competidor fuera de su hábitat natural (Bishop y Davy 1994), debido a que es capaz de cubrir rápidamente los espacios de suelo desnudo y formar manchones gracias a sus variadas formas de reproducción: rizomas, estolones y semillas dispersadas por el viento y adheridas a la ropa, pelo, plumas y otros vehículos (Carson, 1995) y la presencia de metabolitos secundarios de posibles efectos fitotóxicos (Bishop y Dany 1994).

Hieracium pilosella ha invadido tierras utilizadas para la ganadería en Nueva Zelanda (Krahulcova *et al.*, 1999; Makepeace, 1981; Treskonova, 1991; Rose, 1998), Estados Unidos (Vander Kloet 1978; Voss y Böhlke 1978; Carson, 1995) y Chile (N. Covacevic, Estación Kampenaike, Pta. Arenas, com. pers.), convirtiéndose en una maleza con niveles de cobertura importantes. En los últimos años, existen evidencias de la invasión de esta especie en el sur de la Patagonia argentina (Rauber *et al.*, 2005). En Nueva Zelanda, se reportó por primera vez en 1878 (Allan, 1924; Webb *et al.*, 1988) pero recién comenzó a expandirse rápidamente luego de 1950 y en poco tiempo fue considerada una maleza grave (Connor, 1964; 1965; 1992). Se cree que una de las causas sería debido a la presencia de praderas degradadas por sobrepastoreo doméstico (Rose *et al.*, 1995). En Estados Unidos, ha sido designada dañina en Idaho y otros estados, afectando principalmente a pasturas y praderas (Carson, 1995). En el área magallánica de Chile se la describió como invasora en el año 1987 y la situación actual es crítica (Covacevic, 2001).

Las posibilidades de control y manejo de la invasión de *Hieracium pilosella* conocidas hasta el momento, varían desde el uso de herbicidas, intersemebra de pasturas, fertilizaciones, hasta técnicas de control biológico. Ensayos realizados en Nueva Zelanda, investigaron la posibilidad de controlar la maleza mediante

tratamientos de interseembra de pasturas y fertilización, dando buenos resultados en determinadas combinaciones de ambos tratamientos en el mediano plazo (Scott *et al.*, 1990). En la isla de Tierra del Fuego, ensayos realizados con Picloram (Covacevic com. personal), 2,4 D y glifosato demostraron ser efectivos en el control a corto plazo de manchones tratados puntualmente. Además, en algunos sitios de Nueva Zelanda y Chile se está evaluando la posibilidad de control biológico mediante microhimenópteros.

La ganadería ovina de Tierra del Fuego puede verse amenazada en el mediano o largo plazo por la invasión de *H. pilosella* en la estepa, dado que la especie presenta una forma planófila y reemplaza a especies nativas. Experimentos de corte foliar que simulan el pastoreo han demostrado que éste tiene poco efecto sobre *H. pilosella* debido a su crecimiento postrado, el que impide que los mamíferos herbívoros puedan alimentarse de sus hojas (Lamoureaux *et al.*, 2003). El crecimiento y la expansión de la invasión puede llevar a una pérdida de la biodiversidad y a un empobrecimiento forrajero del sistema (Carson, 1995), amenazando la sustentabilidad de la explotación ganadera. Toda esta situación ha sido vista con preocupación por las autoridades locales (AER INTA Río Grande, Dirección de Recursos Naturales provincial), nacionales (SENASA) y por los productores. De todo lo expuesto surge la necesidad de evaluar el grado de invasión de *H. pilosella*, sobre todo en la región de la Estepa Fueguina, de conocer los factores asociados y de analizar posibles formas de manejo, dado que la detección temprana de una especie invasiva reduce los costos y el tiempo necesarios para su control e incrementa la posibilidad de su erradicación (Anderson *et al.*, 1993; Rejmánek y Pitcairn, 2002).

En el presente informe final se resumen todas las actividades realizadas durante un año de trabajo en el marco del proyecto "Invasión de *Hieracium pilosella* (Asteraceae) en pastizales de Tierra del Fuego: Factores asociados y posibilidad de manejo" y se presentan los resultados. Durante este período se desarrollaron las siguientes tareas.

1. Entrevistas con informantes claves del proceso de invasión: profesionales del INTA Río Grande (Ing. Agr. Livraghi E.), de la Subsecretaría de Recursos Naturales del gobierno provincial (Ing. Agr. Jacob M.) y productores / administradores de la zona. Además, los Ings. Agrs.

Sampedro García C. y Pico H. como agentes del SENASA del área de sanidad vegetal en la transferencia de aspectos normativos referidos a temas fitosanitarios.

2. Relevamiento de las estepas Magallánicas para la caracterización de la distribución y abundancia actual de la especie *Hieracium pilosella*.
3. Colección y herborización de ejemplares de *Hieracium pilosella* y congéneres en el norte de la isla para estudios botánicos morfológicos.
4. Elaboración del mapa actual de la invasión de *Hieracium pilosella* en las estepas Magallánicas.
5. Factores asociados a la invasión de *Hieracium pilosella*.
6. Análisis de suelos para distintas comunidades vegetales dominantes y su relación con la invasión.
7. Elaboración del mapa de susceptibilidad a la invasión por *Hieracium pilosella*.
8. Instalación de áreas clausuradas en lugares actualmente invadidos por la maleza (Cdon. Pirámide, Ea. Cullen).
9. Ensayos experimentales acerca de la remoción de la vegetación, el suelo desnudo, las posibilidades de manejo agronómico de la especie invasora en condiciones contrastantes de pastoreo y cambios en el ciclado de nutrientes ocasionados por la maleza exótica.
10. Evaluación de riesgo de *Hieracium pilosella* en la zona de estudio.
11. Estudios dietarios mediante el análisis de tejidos en heces.
12. Exploración de la factibilidad de empleo de imágenes satelitales para la detección del proceso de invasión en su estadio actual.
13. Folleto de divulgación para los productores.

A continuación en la sección "Metodología" se desarrollan los aspectos metodológicos de cada uno de estos puntos para luego presentar una sección con los principales resultados y finalmente destacar las principales conclusiones del trabajo realizado durante un año en la Estepa Fueguina.

METODOLOGÍA

1. Entrevistas con informantes claves

Durante el transcurso de la primera campaña hubo diferentes oportunidades en las cuales se pudieron intercambiar opiniones con referentes involucrados e interesados en el problema de invasión actual de *Hieracium pilosella*. En este sentido, se habló con el Ing. Agr. Enrique Livraghi representante del INTA y el Ing. Agr. Marcelo Jacob representante de la Dirección de Recursos Naturales de la provincia, quienes han recorrido mucho la zona, acerca de los diferentes focos de invasión que ambos tienen identificados en el campo con la idea de complementar el muestreo sistemático. Además, se pudo charlar con diferentes administradores de algunas estancias de la zona como el Adm. Errol O'Byrne de Ea. Cullen, el Tec. Patricio Suárez de Ea. María Behety, y el Ing. Sebastián Cabeza de Ea. Guazú-Cue. Todos aportaron información de utilidad para complementar el plan original y enriquecer el presente estudio. Por otro lado, durante un periodo de la campaña, se sumó al equipo de trabajo la Ing. Agr. Cecilia García Sampedro representante del SENASA que permitió profundizar la búsqueda de daño natural sobre plantas de *Hieracium pilosella*.

Durante el transcurso de la segunda campaña se realizó una recorrida más amplia que abarcó una mayor cantidad de establecimientos y por lo tanto un mayor intercambio de opiniones, sobre todo con administradores de los diferentes establecimientos. Se habló sobre la problemática con el Sr. Charlie Mann de la Ea. Sara, el Sr. Sebastián de la Ea. San Julio, el Sr. Eavon de la Ea. Los Flamencos, el Sr. David Thompson de la Ea. José Menéndez, el Ing. Pablo Chevallier de la Ea. María Behety, el Sr. Osvaldo de la Ea. La Retranca, el Sr. Arriaga de la Ea. San José y el Ing. Sebastián Cabeza de la Ea. Guazú-Cue. En general, con cada administrador se georeferenció, a partir de mapas de campo de la estancias, potreros en los cuales ellos creían haber visto la maleza exótica. Además, se individualizaron potreros que en algún momento habían sido disturbados por la implantación de pasturas o remociones mecánicas de mata. Estos sitios fueron en su mayoría nuevamente relevados y se confirmó la presencia de la maleza invasora. De este modo se enriqueció el plan de muestreo original.

En particular, el administrador de la Ea. Sara mostró un gran interés en el problema y nos señaló distintos lugares con presencia de *Hieracium pilosella* dentro de la estancia, la que presenta una condición de invasión muy severa en algunos potreros.

2. Relevamiento - Distribución y Abundancia de *Hieracium pilosella*

Se elaboró un protocolo muestral que abarcó toda la Estepa Magallánica desde el Cabo Espiritu Santo hasta el paralelo 54° Lat. S cerca del Río Fuego tal como se especificó en el alcance geográfico del proyecto original. Se delimitaron tres áreas (norte, centro y sur) con el fin de sectorizar el muestreo y el trabajo de campo. Un área al **norte** de la Bahía San Sebastián (específicamente en Ea. Cullen) con mayor intensidad de muestreo dado la posibilidad de presentarse allí el foco de invasión más importante. Para esto se georeferenció el mapa de vegetación del norte de Tierra del Fuego (Collantes et al. 1985, 1993) utilizando más de 15 puntos asociados principalmente a cruces de caminos en imágenes satelitales LANDSAT TM. En el sector norte se superpuso una grilla de 2.5 Km x 2.5 Km y en cada intersección se determinó un punto de muestreo tal como se indica en la **Figura 1** totalizando un total de 85 sitios de muestreo. Para aquellas comunidades de escasa representación areal pero de alto valor productivo como las vegas, se agregaron puntos con el fin de cumplir una cantidad mínima para representar cada comunidad. Además se agregaron puntos en aquellas áreas no alcanzadas por el muestreo sistemático pero que según los informantes claves se hallaban con gran abundancia de la especie invasora.

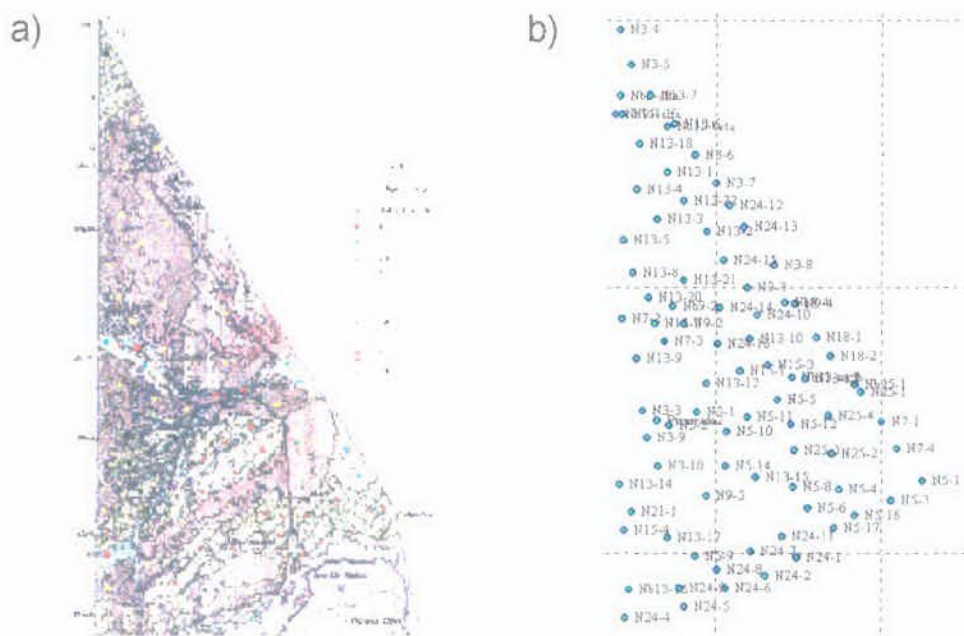


Figura 1. a) Mapa de vegetación con el plan de muestreo para el sector norte de la Estepa Magallánica (Ea. Cullen, al norte de Bahía San Sebastián); y b) Detalle con los sitios efectivos muestreados. Ver leyenda en figura 2.

En las áreas **centro** y **sur** de la bahía San Sebastián se escogió una cantidad equivalente de puntos pero abarcando una extensión más amplia de manera de representar toda la heterogeneidad de comunidades vegetales posibles y asegurando una cantidad mínima de 5 sitios de muestreo por comunidad vegetal como se indica en las **Figuras 2a y b**. Por otro lado, se tuvo en cuenta para la ubicación de los puntos sobre todo en las áreas centro y sur, la disponibilidad de caminos y la accesibilidad de los sitios.

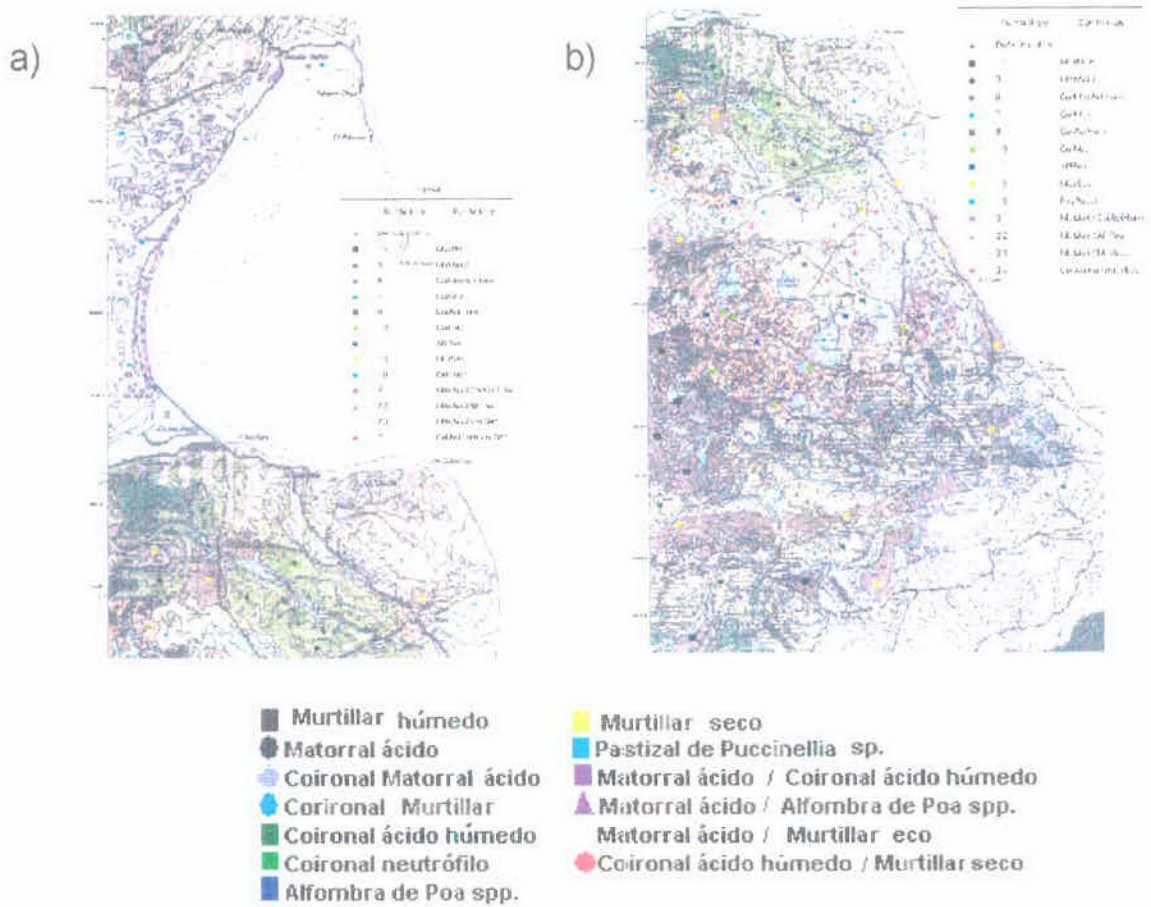


Figura 2. Mapa de vegetación con el plan de muestreo superpuesto para el sector a) centro y b) sur de la Bahía San Sebastián en la Estepa Magallánica al norte de la isla de Tierra del Fuego.

Una vez definido el plan de muestreo, todos los puntos fueron volcados al equipo GPS Garmin Etrex utilizando el mismo sistema de coordenadas y Datum, lo que permitió ubicarlos en el campo.

En función del plan de muestreo diseñado en gabinete, con los mapas de vegetación y de caminos, fotografías aéreas y los puntos de GPS seleccionados se

visitó cada estación de muestreo a partir de recorridos a campo en vehículos provistos por la Dirección de Recursos Naturales de la provincia.

En cada sitio de muestreo se realizaron estudios, sobre la comunidad vegetal (a y b), el grado de invasión de *H. pilosella* (c), uso ovino y compactación del suelo (d) y en un subconjunto se caracterizaron parámetros del suelo (e).

a) Reconocimiento de la comunidad dominante. Se verificó la información del mapa de vegetación de Collantes *et al.* 1985 mediante una inspección visual y fotos digitales de la comunidad.

b) Caracterización de la comunidad vegetal. Se confeccionó un censo florístico con valores de abundancia / cobertura para cada especie según el método de Braun-Blanquet por un profesional, experto en el tema, Ing. Agr. Marta Collantes. Además, para complementar dicha información se cuantificó la cobertura de suelo desnudo y los grupos funcionales más importantes (Ciperáceas y Juncáceas; Coirones; Pastos blandos; Dicotiledóneas herbáceas; Arbustos; Arbustos enanos; Cojines; Broza; Líquenes; Musgos) sobre una transecta de 20 m con el fin de diferenciar la heterogeneidad de las comunidades dominantes de esta región (Cingolani *et al.* 2005).

c) Estimación del grado de invasión de *Hieracium pilosella*. Se tendió una transecta de 50 m y tres personas recorrieron dos veces dicho trayecto distanciados de modo tal de barrer un área de 50 m x 50 m, tal como se indica en la **Figura 3**. Durante la recorrida se inspeccionó cuidadosamente el área, con el fin de detectar individuos de la especie invasora. En caso de encontrar rosetas individuales o parches mono-específicos de *Hieracium pilosella*, los mismos eran medidos como dos diámetros ortogonales en el sentido del máximo desarrollo para luego calcular una estimación de la cobertura aérea basal relativa.

d) Estimación de uso ovino y compactación del suelo. Se estimó la presión de pastoreo y la compactación del suelo en cada sitio de muestreo. Para lo primero se tiró 100 veces un marco de 0.5 m x 0.5 m para la determinación de la frecuencia de heces y obtener así una estimación de la carga animal en cada sitio. Para lo segundo, se utilizó un penetrómetro y se realizaron 20 mediciones por sitio.

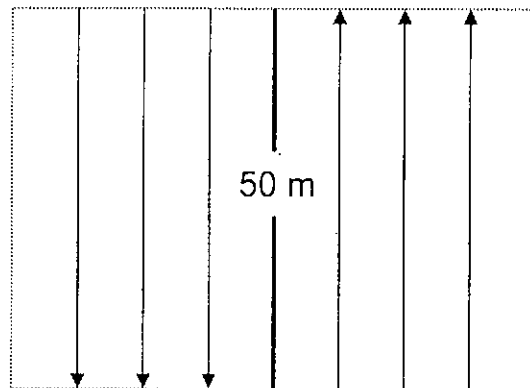


Figura 3. Esquema del muestreo efectuado a campo para la inspección visual y detección de *Hieracium pilosella* sobre un área de 2.500 m². La línea engrosada indica la transecta y las flechas la dirección y el sentido de avance de los investigadores. La línea punteada delimita la parcela.

e) Parámetros del suelo. Con el fin de caracterizar las principales diferencias edáficas entre las comunidades vegetales y su relación con la susceptibilidad a la invasión, se tomaron 34 muestras (aprox. 2-4 por tipo de comunidad) de suelo compuestas a 15-20 cm. de profundidad en un subconjunto de los sitios. Se determinó pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo, nitrógeno total, cationes (Ca, K, Mg y Na) y capacidad de intercambio catiónico (CIC). Los análisis químicos se realizaron en el *Laboratorio de Suelos, Aguas y Vegetales* de la Fac. de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (ver más adelante punto 6).

Finalmente, se registraron una serie de observaciones accesorias del sitio de muestreo como la posición en el paisaje o el grado de perturbación que permitan mejorar la explicación de los patrones de distribución observados en *Hieracium pilosella*.

3. Colección y herborización ejemplares de *Hieracium pilosella*

En distintos lugares de la recorrida por el norte de la isla se colectaron y herborizaron ejemplares de *Hieracium pilosella* y congéneres para luego en laboratorio realizar los estudios botánicos. El material herborizado fue secado a temperatura ambiente para luego ser incorporado a la colección BA (Colección Nacional de Botánica del MACN). Se coleccionaron individuos en distinto estadio de desarrollo (vegetativo o florecidos), dado que hubo dos fechas de muestreo. En la observación macroscópica y microscópica de los ejemplares se tomó en cuenta principalmente características diferenciales de valor taxonómico entre especies: morfología externa de la hoja, forma y longitud del peciolo, forma del borde de la hoja, cantidad de hojas sobre el tallo florífero, tipo de inflorescencias, cantidad de capítulos que forman la inflorescencia, longitud de pedúnculos florales, longitud de las lígulas, morfología y longitud del fruto, color y longitud del papus y presencia de estolones en las plantas. A partir del análisis de esta información se elaboró una descripción detallada de la especie y se construyó un cuadro comparativo ilustrado que facilitará diferenciar ejemplares de *Hieracium pilosella* de aquellos pertenecientes a otras especies del mismo género que cohabitan en la Isla de Tierra del Fuego.

4. Mapa de invasión

Se construyó un mapa de invasión, a partir de la información obtenida en los 148 puntos de muestreo, mediante técnicas geoestadísticas (e.g. kriging) que permiten interpolar datos en el espacio a partir de información existente discreta y así, estimar distribución y abundancia de especies. Para estos análisis se utilizaron los programas: GS+ v5.0 de Gamma Design Software, 2004 y Gstat del R-package.

Mediante la utilización de los datos del relevamiento regional, más las observaciones accesorias de los parches observados a campo, se construyó un archivo con un total de 148 puntos de muestreo en el área de interés. El archivo combinaba información espacial a través de las coordenadas planares UTM y la cobertura basal de *Hieracium pilosella* en cada uno de los sitios de muestreo. La variable original fue transformada como el Log (x) para cumplir con los supuestos de normalidad requeridos por las técnicas geo-estadísticas empleadas para estudiar la heterogeneidad espacial del grado de invasión de *Hieracium pilosella*.

El análisis consistió en calcular la semi-varianza isotrópica ($\gamma(h) = 1/2n \cdot \sum [z(x_i) - z(x_{i+h})]^2$) para las variables propuestas a las distintas escalas espaciales posibles de observación ($h < 150$ Km.), siendo $z(x_i)$ el valor de una variable en una localización (x_i) y $z(x_{i+h})$ el valor de la misma variable en un punto distante (h) del anterior (Rossi *et al.*, 1992, Ettema y Wardle 2002, Isaaks y Srivastava 1990). A partir de este gráfico se realizaron ajustes de los datos observados con los modelos más adecuados: esférico ($\gamma(h) = C_0 + C [1.5(h/A_0) - 0.5(h/A_0)^3]$), exponencial ($\gamma(h) = C_0 + C[1 - \exp(-h/A_0)]$) y lineal ($\gamma(h) = C_0 + [h(C/A_0)]$) que permitieron explicar la dependencia espacial de la variable de interés estimando los principales parámetros de los modelos: rango (A_0), variación en el origen o nugget (C_0) y variación estructural o espacial (C). Idealmente, si graficamos la semi-varianza en función de la distancia se obtiene el semi-variograma, una curva esperada posible (**Figura 4**).

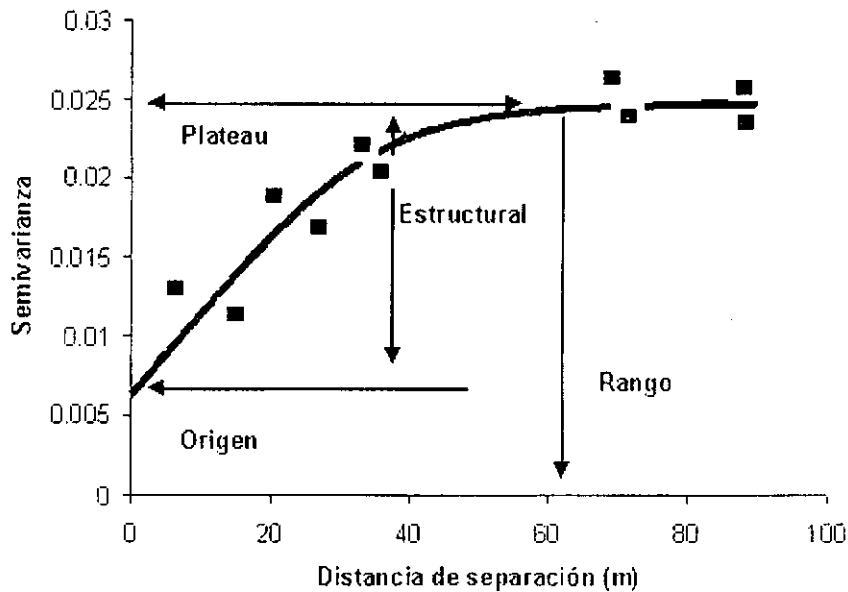


Figura 4. Semi-variograma típico donde se indica la semi-varianza en función de la distancia, y se destacan los principales parámetros del modelo esférico ajustado: Rango, Varianza estructural, Varianza en el origen y Varianza muestral o plateau.

El valor de la semi-varianza crece con la distancia alcanzando un valor " $C+Co$ ", a una distancia " Ao " denominada rango. El rango define la distancia dentro de la cual existe dependencia espacial y además es el máximo radio dentro del cual se puede hacer inferencia estadística mediante técnicas de interpolación (e.g. kriging). Los semi-variogramas deben pasar por el origen cuando " h " tiende a cero. Sin embargo, esto no ocurre así para todas las escalas de trabajo. A esta varianza distinta de cero en el origen se la denomina varianza nugget " Co " y representa la microvariabilidad que no puede ser detectada a la escala de muestreo utilizada. El ajuste de los modelos se evalúa mediante el coeficiente de regresión (r^2) y la suma de cuadrados residuales (RSS), este último provee una medida más exacta y sensible para seleccionar los modelos, debido a que es una medida directa del error en el ajuste, cuanto menor es su valor mejor es el ajuste.

Finalmente, con los modelos ajustados, se emplearon técnicas de interpolación (e.g. kriging) para estimar los valores de las variables en todas las localizaciones del área de estudio, partiendo de la información suministrada por los sitios muestrales.

5. Factores asociados a la invasión de *Hieracium pilosella*

Los datos de cobertura de las diferentes formas de vida de 128 sitios de muestreo se usaron para construir una matriz en la que se incluyó además la cobertura de *Hieracium pilosella*. Con dicha matriz se llevó a cabo un Análisis de Correspondencia (CA).

El CA asigna coordenadas para los ejes del análisis a los diferentes sitios de muestreo de acuerdo a la cobertura registrada de cada una de las formas de vida. La asignación inicial de la comunidad a la que corresponden cada uno de los puntos de muestreo fue establecida en parte por visualización del paisaje durante la recolección de los datos (según Collantes *et. al.* 1985) y en parte por comparación de la cobertura de las diferentes formas de vida obtenida durante la medición de la transecta. Los autovalores obtenidos por el CA miden la importancia de cada uno de los ejes y el porcentaje de varianza corresponde a la variabilidad explicado por cada uno de estos.

Por otra parte, se investigó la relación entre variables ambientales y de uso ovino que podrían estar asociadas a la cobertura de *Hieracium pilosella* mediante un Análisis de Correspondencia Canónico (CCA). Para ello se confeccionó una segunda matriz con la cobertura de broza y de suelo desnudo, datos de penetrometría (indicador del grado de compactación del suelo, y por lo tanto de la intensidad de uso del sitio) y la presencia de heces ovinas como variables.

El CCA permite analizar los efectos de las variables ambientales (y otras variables exploratorias) sobre las comunidades biológicas. El método opera sobre datos de presencia y abundancia de especies (en este caso formas de vida) y datos de variables ambientales en los sitios, y extrae de las variables ambientales medidas de gradientes sintéticos (ejes de ordenamiento) que maximizan la separación de nicho entre especies, creando una combinación lineal de variables ambientales. Como conclusión, el CCA incorpora al CA las regresiones múltiples de manera que los ejes estén restringidos a ser combinaciones lineales de las variables consideradas. Los programas empleados para realizar estos análisis fueron el PCOrd y el Canoco para Windows de Ter Braak.

6. Análisis de suelos

Con el fin de caracterizar las principales diferencias edáficas entre las comunidades vegetales y su relación con la susceptibilidad a la invasión, se tomaron 34 muestras (aprox. 2-6 por tipo de comunidad) de suelo compuestas a 15-20 cm. de profundidad en un subconjunto de todos los sitios censados.

Un total de 18 muestras fueron remitidas al *Laboratorio de Suelos, Aguas y Vegetales* de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires para realizar una caracterización química completa. Las mismas representaban seis comunidades vegetales dominantes (n=3): Coironales, Matorrales, Murtillares, Pastizales de pastos cortos (Céspedes), Vegas y comunidades salinas. Se determinó: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo, nitrógeno total, carbono fácilmente oxidable y la concentración de los principales cationes (Ca, Mg, Na y K) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC). A continuación se mencionan los protocolos seguidos para cada determinación en los análisis de suelos. La determinación del carbono oxidable se realizó según el protocolo de Walkley y Black. El fósforo extractable se determinó por el método de Kurtz y Bray I. El pH se midió en agua con una relación 1:2,5 y la conductividad eléctrica se midió en pasta. El nitrógeno total y la CIC se determinaron mediante microKjeldhal. Las extracciones de los cationes (Ca, Mg, Na y K) se hicieron con acetato de amonio a pH=7 y las lecturas se realizaron mediante fotometría de absorción atómica (mét. Rister).

7. Mapa de susceptibilidad

A partir de la información espacial de la invasión de *Hieracium pilosella* (distribución y abundancia) en la estepa Magallánica, los resultados de los análisis multivariados respecto de las comunidades vegetales, e información cualitativa accesoria del proceso de invasión vinculada con los disturbios, se elaboró un sistema de información geográfica (SIG) para producir un mapa de susceptibilidad a la invasión de *Hieracium pilosella* (Figura 5).

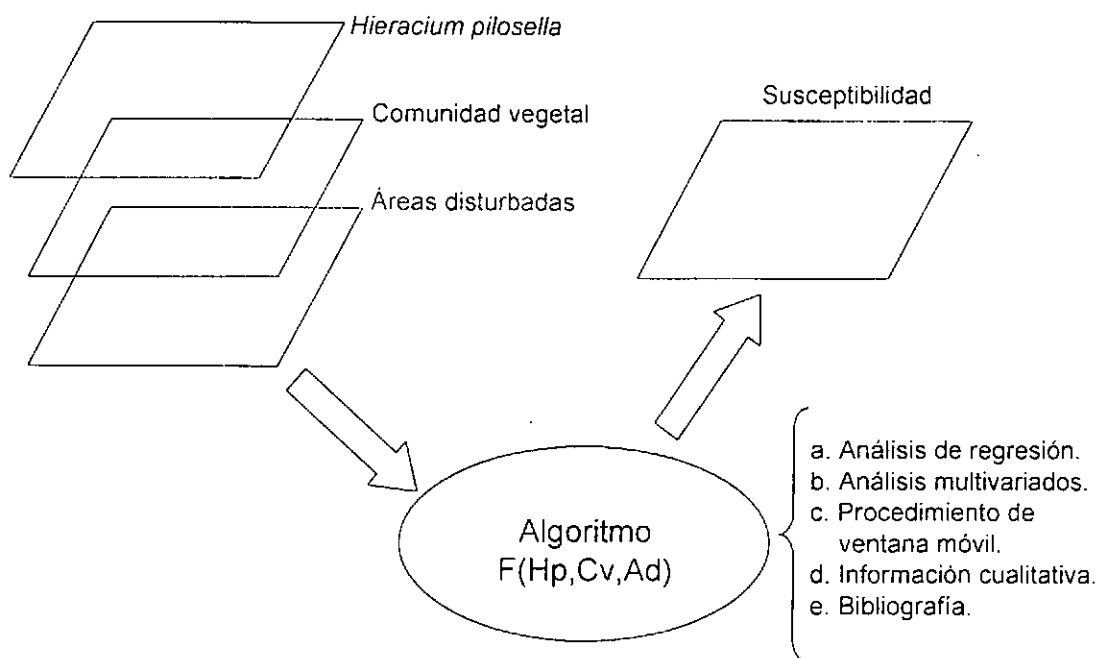


Figura 5. Esquema conceptual de la aproximación mediante un sistema de información geográfica (SIG).

Para elaborar este mapa se utilizó un sistema de información geográfico con tres capas representando tres criterios básicos íntimamente relacionados con la probabilidad de invasión de un sitio por parte de la maleza exótica. Una aproximación muy similar fue utilizada para la invasión de *Bromus tectorum* en las estepas arbustivas al norte del Great Basin en Estados Unidos (Bradley y Mustard 2006). La primera capa del SIG tiene que ver con la **abundancia de la especie**

exótica dentro de un área de vecindad; la segunda con el grado de disturbio antrópico y la tercera con la comunidad vegetal dominante.

La información utilizada para elaborar cada capa se importó o creó en el programa ERDAS, se georectificó y rasterizó, con el fin de compatibilizar las capas entre sí. Cada uno de estos atributos se relacionó independientemente mediante una escala empírica con la probabilidad de invasión, tal como se establece en los criterios más adelante, para luego ser integrado y ponderado en un índice global de susceptibilidad con una escala arbitraria (i.e. de 1 a 10, de menor a mayor susceptibilidad) (Figura 6).

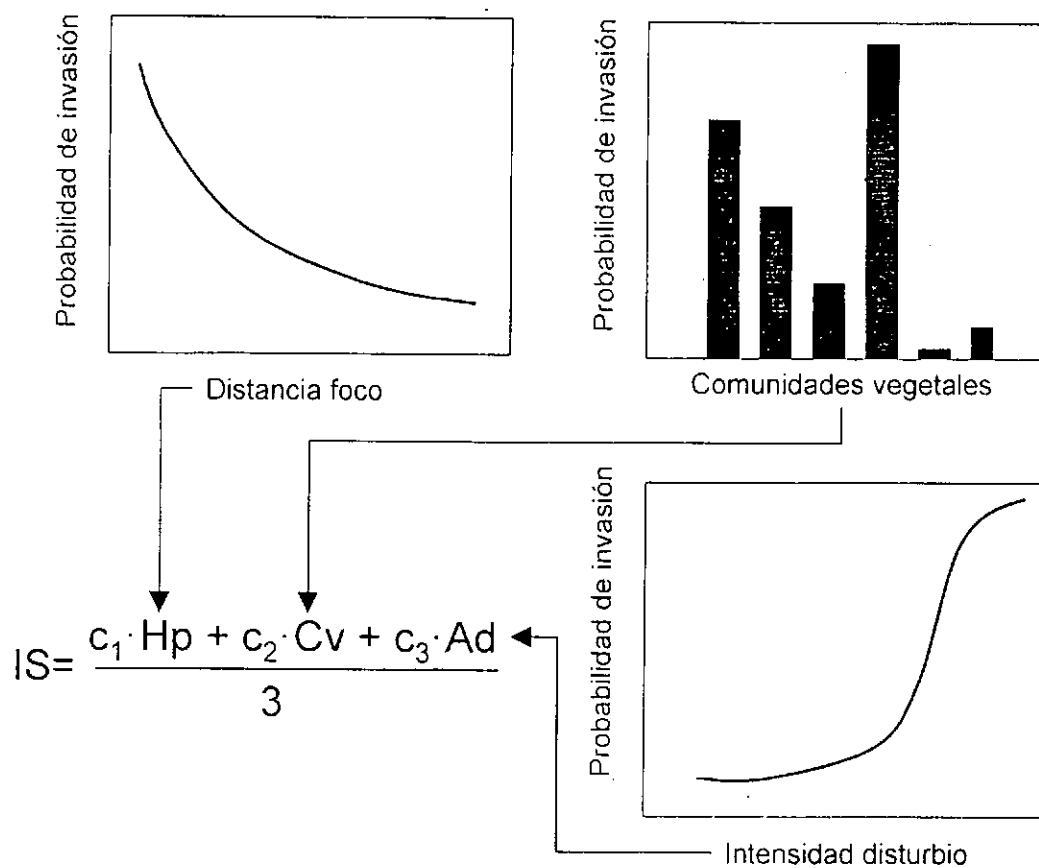


Figura 6. Ejemplificación de la estructura del algoritmo empleado y programado en Model Maker (ERDAS) para calcular el índice de susceptibilidad (IS) a la invasión de *Hieracium pilosella* en la Estepa Magallánica.

Capa 1: Abundancia actual de la especie exótica en áreas vecinas. A partir de los datos de abundancia de la maleza exótica para toda la estepa, generados mediante la aplicación de técnicas de interpolación geo-estadísticas (kriging) con

una resolución espacial aproximada de 1.900 m x 1.900 m, se aplicó un algoritmo (moving window) que buscaba en áreas vecinas cercanas (vecindad) la presencia de la maleza exótica y registraba su abundancia. Dado que la cercanía a sitios con altos niveles de invasión actual aumentan la probabilidad de invasión a un sitio no colonizado, se aplicó el algoritmo de ventana móvil (moving window) con una extensión de 5 Km x 5 Km (valor estimado a partir de información bibliográfica de la distancia máxima de dispersión para semillas similares a las de *Hieracium pilosella*, e.g. Schurr et al. 2005) para generar áreas con distinta probabilidad de invasión de acuerdo con la cercanía y cobertura a parches ya invadidos. El procedimiento de ventana móvil retiene el máximo valor de cobertura estimado dentro del área de la ventana (25 Km²) para luego asignarlo a la celda focal en cuestión. En otras palabras, este procedimiento toma una celda determinada y le asigna una probabilidad de invasión en función de su propio grado de cobertura de la especie invasora y de los valores de cobertura en celdas contiguas hasta una distancia máxima de 5 km (Figura 7). Para calcular la probabilidad de invasión en función de la cobertura pre-existente de la maleza exótica, se tomó como punto de referencia al sitio con mayor estimación (aprox. 3,7 %).

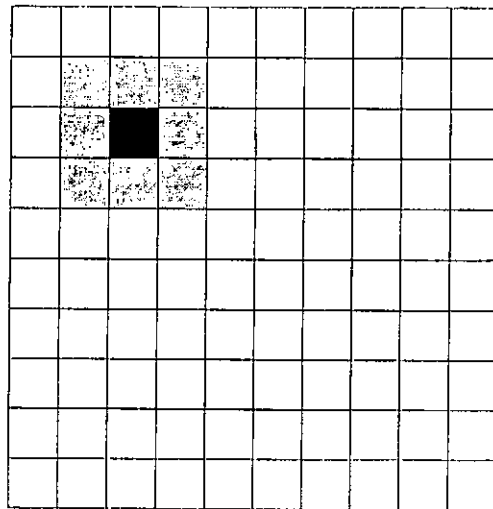


Figura 7. Esquema del procedimiento de ventana móvil (“moving window”) para un área filtro de 3 x 3 celdas (color gris, aprox. 5 Km x 5 Km) sobre una celda focal particular (color negro).

Capa 2: Grado de disturbio antrópico. Buscando representar el efecto de los disturbios sobre la probabilidad de invasión, se construyó un vector ERDAS del grado de disturbio a partir de la imagen satelital LANDSAT 7 ETM+ de Febrero de 2002, de las indicaciones de los productores durante los viajes a campo y del vector con las divisiones de las estancias del norte de la isla provisto por la Dirección de Recursos Naturales del gobierno de la provincia de Tierra del Fuego.

A los potreros distinguibles en la imagen del contexto o delimitados por los productores (en general potreros pequeños) como aquellos que actualmente o alguna vez fueron disturbados para la implantación de pasturas, o la remoción de mata o por algún otro motivo (i.e. laboreos al suelo). Se les asignó una probabilidad más alta de invasión.

Para calcular la probabilidad de invasión de las áreas disturbadas se tuvieron en cuenta la presencia y la abundancia de la maleza en los distintos tipos de sitios (con y sin disturbio). A partir de información empírica sobre los disturbios ponderada por la abundancia máxima (en siete de ocho áreas disturbadas visitadas se halló la maleza), se obtuvo el valor de probabilidad de invasión por disturbio igual a 0.875.

Para obtener el valor de probabilidad de invasión en áreas no disturbadas se realizó el cociente entre la cantidad de sitios no disturbados con *Hieracium pilosella* sobre el total de sitios no disturbados relevados (82/128), multiplicado por la cobertura media en esos sitios (0.62 %), obteniendo el valor de 0.4.

Capa 3: Comunidad vegetal dominante. Se construyó una capa a partir del mapa de vegetación de Collantes et al. 1985, los análisis multivariados de los 125 censos de las comunidades vegetales y la abundancia promedio de *Hieracium pilosella* en cada comunidad.

Se buscó representar la probabilidad diferencial de sufrir invasión de las comunidades observada en los análisis (i.e. las comunidades de matorrales neutrófilos, coironales o céspedes tienen una mayor probabilidad de invasión con respecto a los mallines y murtillares). Para ello, las comunidades con mayor constancia y cobertura de *Hieracium pilosella* (matorrales neutrófilos) representaron el valor máximo, y el resto se relativizó a estas (ver **Tabla 1**).

Tabla 1. Detalle del cálculo de la probabilidad de invasión por *Hieracium pilosella* (Hp) para cada comunidad vegetal del área de estudio.

Comunidad vegetal	Cobertura absoluta Hp A	Cobertura relativa* Hp B	Constancia Hp (%) C	Probabilidad de invasión de Hp (B x C) / 100
Matorral neutrófilo	2,68	1	100	1
Matorral acidófilo	0,81	0,31	70,59	0,212
Coironal neutrófilo	0,07	0,03	62,96	0,016
Coironal acidófilo	0,10	0,04	90	0,034
Pastizal de pastos cortos	0,10	0,04	78,95	0,029
Murtillar	0,0001	0,00004	33,33	~0
Vega	0,0008	0,0003	50	0,00015
Pastizal / Arbustal salino	0	0	0	0
Coironal – Matorral ácido*		0,17	80,29	0,14
Murtillar – Coironal	0,002	0,0007	52,63	0,0004
Matorral – Murtillar*		0,15	51,96	0,08
Matorral ácido – Césped*		0,17	74,77	0,13

* Dicho valor esta relativizado al máximo hallado en los matorrales neutrófilos.

* Dichas comunidades se calcularon a partir del promedio de los valores de cobertura de *Hieracium pilosella* hallados en las comunidades simples.

Finalmente, los tres criterios (capas), fueron integrados en un índice global de susceptibilidad, construido a partir del ambiente de modelado del ERDAS (model maker). Básicamente, para cada celda del raster se multiplicaron las distintas probabilidades de invasión de acuerdo con las escalas empíricas establecidas *a priori* y ponderadas por un coeficiente de ponderación asociada a cada capa. En una primera simulación los tres criterios fueron igualmente ponderados, pero en una segunda aproximación, se asignó una mayor incidencia a los disturbios y a las cercanías a manchones preexistentes que a la comunidad vegetal. En general, áreas cercanas a poblaciones de alta cobertura de *Hieracium pilosella*, en ambientes con historias de disturbio por implantación de pasturas o remoción de suelo y en comunidades vegetales correspondientes a matorrales abiertos, pastizales de pastos cortos o coironales, presentan una mayor susceptibilidad a la invasión. Es importante remarcar, que en esta instancia se dejaron afuera todos los disturbios vinculados con las actividades petroleras (locaciones, trazas de ductos, líneas sísmicas, etc.) por no contar aún con información precisa que permita asignar relaciones entre este tipo de disturbios y el grado de invasión de *Hieracium pilosella*.