



## **COMPORTAMIENTO DE LA VEGETACIÓN DE UN HUMEDAL (MALLÍN) ENTRE PERÍODOS HÚMEDOS Y SECOS MEDIANTE ANÁLISIS METEOROLÓGICO Y ESPECTRAL**

*Oscar Peña<sup>1</sup>  
Griselda Ostertag<sup>2</sup>  
Ricardo Gandullo<sup>3</sup>  
Alicia Campo<sup>4</sup>*

### **Resumen**

En este estudio se analiza el comportamiento meteorológico y espectral de un humedal (mallín) localizado en la cuenca media del Río Catan Lil, en la provincia de Neuquén, (Argentina), en una serie de diez años que abarcan períodos hidrológicos secos-medios y húmedos.

Los mallines son importantes ecosistemas naturales que históricamente se han utilizado como recurso forrajero para la ganadería extensiva en la Patagonia Argentina y que han sufrido, en la mayoría de los casos, intensos procesos de degradación. .

Para evaluar el comportamiento meteorológico, se caracterizaron los años teniendo en cuenta la lluvia y la nieve caída, considerando valores totales mensuales, desde 1996/97 hasta 2005/06. El análisis espectral se realizó mediante el uso de imágenes satelitales de la serie Landsat Tm (path 232 row 087) de las series de años mencionadas.

Del análisis resulta que existe una relación bastante directa entre años secos o con adelantamiento de la fusión nival y la disminución de la actividad fotosintética de la vegetación, respecto a períodos medios ó húmedos. Esto queda reflejado en los índices obtenidos mediante el proceso digital de las imágenes.

La utilización de información satelital y su correlación con información meteorológica es una buena herramienta para planificar el uso de estos recursos sin causar problemas que afecten la dinámica del mallín.

**Palabras clave:** cambio, imágenes, vegetación, degradación.

---

<sup>1</sup> Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Comahue

<sup>2</sup> Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Comahue

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Comahue

<sup>4</sup> Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Sur

## Introducción

### *Caracterización de los mallines en el área de estudio*

Los humedales (mallines), son importantes ecosistemas naturales como recurso forrajero para la ganadería extensiva en la patagonia argentina. Pueden presentar una producción variable entre 20 a 30 veces superior a la estepa circundante (Bonvissuto y Somlo 1997:3). Los mismos representan el 4 % de la superficie patagónica (Nakamuscu, 1998:1). Su presencia depende básicamente de las formaciones geológicas aledañas y de la existencia de estratos impermeables que retardan el drenaje en los fondos de los valles (Fiorio, 1997:20).

Estos ecosistemas tienen su origen en el aporte de agua superficial y subterránea. El primero proviene de las precipitaciones níveas y lluvias que actúan sobre relieves normales a ligeramente cóncavos, originando los cauces de escurrimiento superficiales (Nakamuscu, 1998:2). La recarga superficial es de ocurrencia otoño-invierno – primavera temprana, que determina un exceso de agua cuando la vegetación está en receso.

La recarga subterránea se origina por el aporte de agua freática por movimiento lateral del acuífero libre. Donde se registra la amplitud mayor en el movimiento de la capa freática, es en el sector más próximo al cauce.

Dentro del mallín se distinguen tres zonas que pueden aparecer como perímetros irregulares relacionadas a su microtopografía (Gandullo, 2005:1). La zona central es la más húmeda e inundable y tiene características hidromórficas. En ella predominan las especies acuáticas, Juncos y Carex. Por lo general en esta zona siempre se encuentra un cauce que actúa como drenaje del agua y su profundidad está en relación proporcional al estado de conservación de la cuenca. La zona intermedia, en un nivel micro topográfico más elevado y con la capa freática por debajo de la superficie la mayor parte del año, es la de mayor producción forrajera, con predominio de gramíneas y leguminosas. La última es la zona periférica que se encuentra influenciada por Stúpas (coirones) y otras especies pertenecientes a la estepa y constituye un sitio de equilibrio muy frágil (Fiorio 1997:22).

En general, los factores antropogénicos de degradación de un mallín están básicamente relacionados con la principal actividad ejercida sobre estos ecosistemas en la patagonia argentina, tal es la ganadería extensiva (Horne, 1998:33). A la presión ejercida al mallín por la carga animal se suma el efecto de la variabilidad de los estados del tiempo interanuales, ya que las cargas ganaderas se planifican en función de años medios o húmedos (Bleskow, 1990:87)

Los períodos húmedos y secos modifican la dinámica hidrológica del mallín (Peña, 2004:11) y esto repercute en la evolución del complejo agua-suelo-vegetación y en su capacidad forrajera, determinando en los períodos secos sobrecarga animal y procesos de degradación difíciles de revertir.

### *El uso de información satelital en estudios multitemporales*

El análisis de imágenes de satélite proporciona la distribución espacial y temporal de variables, que son claves para entender el funcionamiento del ecosistema. Estas variables son la temperatura de superficie, la radiación interceptada por la vegetación, el contenido de clorofila o de agua en las hojas o el índice de área foliar (Chuvieco 1996:330).

Los satélites de la serie Landsat, en especial las obtenidas por el sensor TM con sus tres bandas en el visible, cuatro bandas en el infrarrojo y una resolución espacial de 30 metros, permite una serie de aplicaciones a mesoescala y en algunos casos a microescala. Algunos ejemplos pueden ser: contaminación de espejos de agua (banda azul); exploración minera (infrarrojo medio), contenido de humedad en las plantas y suelo (infrarrojo medio), actividad fotosintética (infrarrojo cercano) detección de focos de calor (infrarrojo medio y térmico), detección de áreas urbanas, vías de comunicación, etc.

La banda 3, localizada en la porción visible del espectro electromagnético (entre los 0,63 y 0,69 micrómetros) sufre una gran influencia por la absorción de los pigmentos de las hojas. Así las unidades con vegetación verde vigorosa que cubren el suelo, tienen una respuesta baja en esta banda. La banda 4, región del infrarrojo cercano (entre 0,76 y 0,90 micrómetros), está influenciada por la estructura celular interna de la hoja, específicamente por la estructura del mesófilo y por la absorción de agua. Por lo que las áreas con gran cobertura vegetal tendrán una repuesta espectral mayor. La reflectividad de la banda 5 y 7, localizada en el infrarrojo medio depende del contenido de agua almacenada por los componentes de la vegetación y del suelo. Por lo que a mayor contenido de agua, menor es la respuesta espectral (Chuvieco 2002:334).

Las bandas espectrales de mayor aplicación corresponden a la del verde, rojo, infrarrojo cercano e infrarrojo medio. La razón de la utilización de la información de estas bandas, se encuentra en la respuesta espectral que tiene el complejo suelo, agua y vegetación. Es en estos rangos donde estos elementos se pueden diferenciar y estudiar sus comportamientos (Gilabert, 1997:7). En el caso concreto de cambios de la vegetación, la comparación entre índices de vegetación de distintas fechas ha resultado ser la base más adecuada, así se han desarrollado aplicaciones para seguimientos de cultivos, bosques, incendios forestales, plagas, estrés hídrico, etc.

Uno de los algoritmos más utilizados para determinar el comportamiento de la vegetación en relación a cambios multitemporales es el NDVI. Ese algoritmo (Índice de Vegetación Normalizado) utiliza la información, entre otros, del rojo y el infrarrojo cercano (banda 3 y 4 del satélite Landsat Tm). Los valores mínimos y máximos se determinan entre -1 y 1. Un alto valor del índice muestra una vegetación de alta cobertura y vigor, mientras que un bajo valor significa estrés vegetal. En este estudio se utilizará este índice verde para el estudio multitemporal.

Un aspecto a tener en cuenta en estudios multitemporales y que resulta relevante en la primera etapa del trabajo con imágenes de satélite, es la georeferenciación y corrección atmosférica a fin de comparar lo más fielmente posible la información obtenida (Chuvieco 2002:427).

## **Objetivo**

El objetivo del estudio es analizar temporalmente el grado de relación existente entre el comportamiento meteorológico y la repuesta en los cambios espectrales del complejo agua-suelo-vegetación, en un mallín localizado en la cuenca media del Río Catan Lil, en la Provincia de Neuquén.

## **Métodos y materiales**

De acuerdo con el objetivo planteado, se analizó información de precipitaciones y valores de agua nieve de un periodo histórico que abarcó desde 1996 hasta 2007, generando una base de datos con información de estaciones localizadas cerca del área de estudio. Se utilizaron los valores diarios de temperatura y precipitación de la estación Rahue (localizada 10 km al Oeste de la zona en estudio). Se determinaron las precipitaciones medias anuales y medias estivales (noviembre, diciembre, enero y febrero). Los valores de fusión nival se tomaron de un nivómetro localizado en el cerro Chachil, distante 25 km al Norte del mallín.

Se utilizaron imágenes satelitales de la serie Landsat TM Path 232 Row 087 para un periodo de 11 años, desde el año 1997 al 2008 cedidas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Para realizar estudios multitemporales del comportamiento espectral de la vegetación del mallín, fue necesario la georeferenciación y su corrección atmosférica. En primer lugar se detectaron las distintas zonas del mallín y posteriormente se analizó el comportamiento espacio temporal de la vegetación del mismo entre periodos húmedos, medios y secos. Esto fue realizado en laboratorio aplicando una clasificación supervisada y el NDVI y los resultados fueron corroborados en el terreno.

## **Caracterización biofísica de la zona**

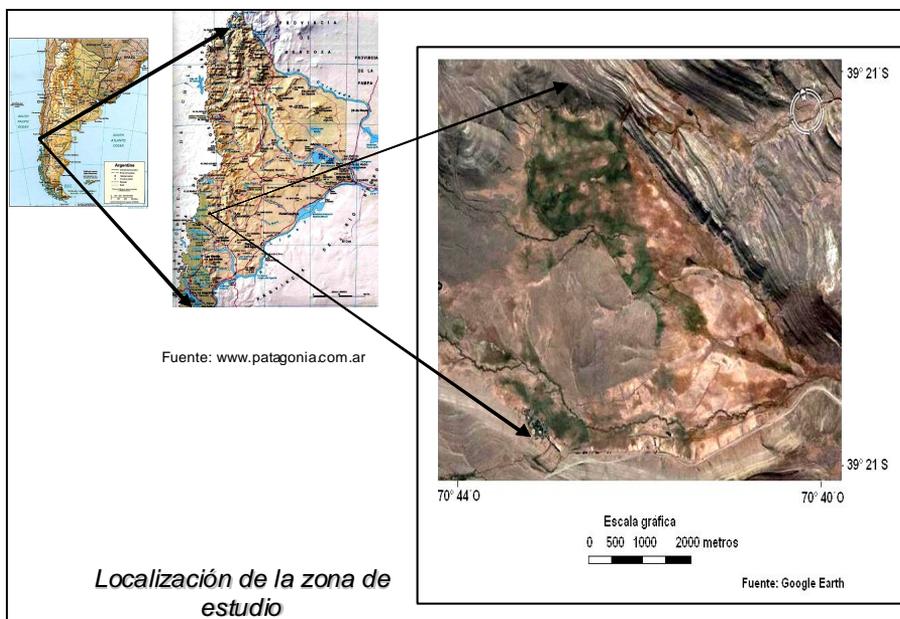
El mallín en estudio comprende unas 500 hectáreas y se localiza en la Sierra de Catan Lil, en el centro Oeste de la Provincia de Neuquén, (Argentina), a unos 1.200 metros sobre el nivel del mar (Fig 1). Geológicamente es un sector dominado por rocas sedimentarias plegadas de origen marino del período Jurásico (Leanza, 1985:34).

El área se encuentra bajo la influencia de los vientos del Oeste provenientes del centro de alta presión semipermanente del Pacífico Sur. Las precipitaciones, unos 800 mm de promedio, se originan principalmente, por avances de frentes fríos y tienen mayor frecuencia en la época invernal. Desde el mes de noviembre hasta el mes de marzo, la Alta Presión Subtropical se localiza a mayor latitud por lo que el ingreso de perturbaciones disminuye influyendo en los bajos montos de lluvia que se registran. Existe de esta manera una marcada diferencia entre inviernos fríos y húmedos y veranos cálidos y secos.

La vegetación natural en la zona que rodea al mallín corresponde al Distrito occidental de la Provincia Patagónica (Cabrera, 1958: 64 – 71). Esta provincia fitogeográfica se extiende desde el centro de la precordillera de Mendoza hacia el Sur. Se ensancha paulatinamente hasta cubrir la parte Oeste de Neuquén desde el límite con Mendoza hasta el paralelo 39° y desde allí continúa como una cuña entre el Bosque Subantártico y la Provincia del Monte.

La vegetación dominante corresponde a una Estepa de Neneo. Predominan las matas hemisféricas de *Mulinum spinosum* “neneo”, especie que posee una gran tolerancia a la humedad y puede avanzar sobre suelos alterados en los límites de la Provincia Subantártica. Además invaden los bordes de caminos y áreas mallinosas en condiciones de degradación. Suele estar acompañada por “mata mora” *Senecio filaginoides*, *Adesmia campestris*, “cola piche” *Nassauvia glomerulosa*, “coiron amargo” *Stipa speciosa*, “duraznillo o coliguay” *Colliguaya integerrima*, *Haploppapus pectinatus*, etc. Hacia el Oeste, a pocos kilómetros del mallín, en las laderas de los cerros y siguiendo los cauces de los arroyos, se encuentran pequeños bosques de araucaria, ñire y chacay que van creciendo en cobertura y abundancia a medida que se avanza hacia occidente.

El origen de los mallines es reciente, período Holoceno (Leanza, 1985:73). Corresponde a aluvios que han rellenado áreas deprimidas de origen glacifluvial, generalmente en sectores donde hay cursos de agua permanente o semipermanente, como el caso del mallín en estudio. Estos sectores constituyen el recurso más importante para pastoreo de ganado, principal actividad en la zona.



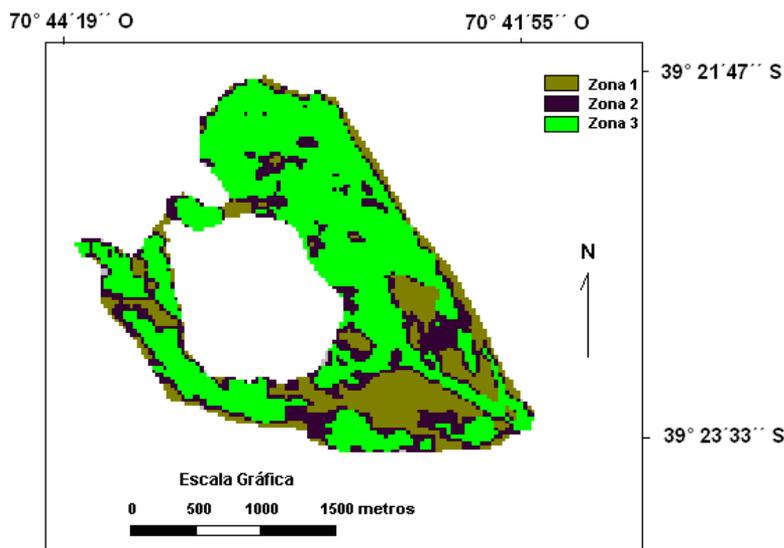
**Figura 1:** Localización de la zona de estudio.

La red hídrica de la cuenca corresponde al Río Catan Lil cuya cabecera se encuentra en el Cerro Chachil (2.396 metros sobre el nivel del mar). En su transcurso hacia el Sur recibe una serie de arroyos muy caudalosos en la época de deshielo, tal es, el Catatun, el que con una pendiente Noroeste-Sureste discurre dentro del mallín en estudio, hasta desembocar en el Catan Lil

## Resultados

De la clasificación supervisada del sector de la imagen Landsat TM del año 2006 correspondiente al mallín objeto de estudio, surgieron 3 grandes zonas definidas por la relación entre la microtopografía del mallín y el tipo de vegetación existente. La figura 2 muestra las zonas delimitadas.

Se correlacionaron los valores de NDVI de cada una de las zonas del mallín en el periodo 1997/08 con los valores de lluvias estivales y de agua nieve. Además se obtuvo el desvío estándar de cada zona del mallín en el periodo considerado. La tabla 1 muestra los resultados obtenidos.



**Figura 2:** Zonificación del mallín. Cuenca media del Río Catan Lil.

Zona 1: Domina estepa de *Mulinum spinosum*, *Stipa speciosa* y *Festuca scabriuscula*

Zona 2: Domina estepa de *Festuca scabriuscula*, *F. pratensis*, *Poa pratensis*

Zona 3: Domina *Juncus lesueurii*, *Poa pratensis*, *Holcus lanatus*, *Trifolium repens*, *Medicago lupulina* entre otras y especies anuales.

a)

año	agua/nieve	ndvi z 3	ndvi z 2	ndvi z 1
1996/97	319	0,37	0,24	0,19
1997/98	733	0,47	0,29	0,22
1998/99	452	0,48	0,32	0,25
1999/00	1470	0,64	0,32	0,29
2000/01	2141	0,7	0,4	0,3
2002/03	2394	0,59	0,35	0,3
2003/04	930	0,64	0,35	0,25
2004/05	1026	0,48	0,29	0,23
2005/06	2470	0,79	0,52	0,35
2006/07	2558	0,55	0,35	0,27
2007/08	1300	0,42	0,25	0,13
<b>Coef. Correl.</b>		<b>0,68</b>	<b>0,68</b>	<b>0,64</b>

b)

año	lluvias	zona 3	zona 2	zona 1
1997	20	0,37	0,24	0,19
1998	67,1	0,47	0,29	0,22
1999	89,3	0,48	0,32	0,25
2000	95	0,64	0,32	0,29
2001	146	0,7	0,4	0,3
2003	118,3	0,59	0,35	0,3
2004	126,5	0,64	0,35	0,25
2005	33,3	0,48	0,29	0,23
2006	115	0,79	0,52	0,35
2007	64	0,55	0,35	0,27
2008	20	0,42	0,25	0,13
<b>Coef. correlación</b>		<b>0,886</b>	<b>0,743</b>	<b>0,774</b>
<b>Desvío estándar</b>		<b>0,127</b>	<b>0,077</b>	<b>0,06</b>

**Tabla 1:** a) NDVI – agua nieve; b) NDVI – lluvias de verano

### Análisis multitemporal de la serie

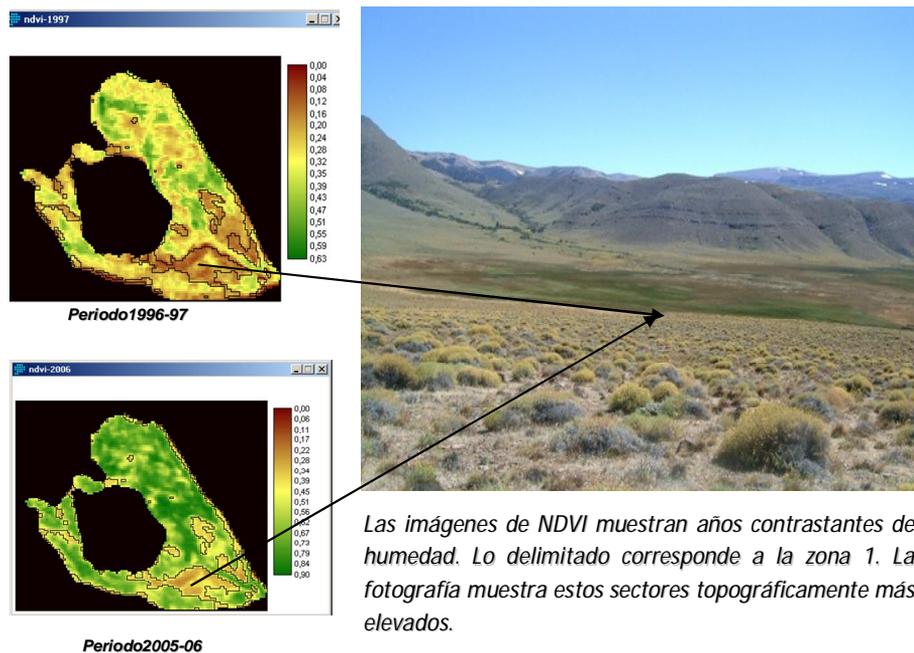
De acuerdo con las zonas detectadas en la clasificación supervisada y los NDVI de cada año de observación, se expone el tipo de vegetación de cada zona y los cambios espectrales asociados a la variabilidad de las precipitaciones y fusión nival.

Zona 1: Esta zona representa los sectores periféricos del mallín en contacto con la estepa circundante o en sectores microtopográficos de mayor altura dentro del mismo. Está definida por dos estratos de vegetación, a veces no muy bien diferenciados entre sí. El primero de altura media 0,40 m dominado por *Mulinum spinosum*. En el segundo estrato se ubican dos especies codominantes: *Stipa speciosa* y *Festuca scabriuscula* con alturas medias 0,20 m. Se observó que esta

zona presenta un porcentaje de especies anuales importantes que oscilan entre 10 – 15 %. Entre ellas: *Bromus tectorum*, *Vulpia megalura*, *Rumex acetosella*, *Triptilion achillae*. Toda la unidad tiene actividad ganadera, esto se refleja en especies indicadores de acción antropogénica como son: *Lactuca serriola*, *Thapsus baccata*, *Erodium cicutarium* y *Cirsium vulgare*.

Del comportamiento espectral obtenido en los NDVI y lo observado en las salidas al terreno muestran que se trata de sectores con importante proporción de suelo desnudo y con escasa humedad. A pesar de que el coeficiente de correlación entre índice de vegetación y lluvias de verano es más bajo que el de las restantes zonas (Coeficiente de correlación 0,77), como así también la correlación entre los valores de agua nieve y NDVI (0,64), sin embargo, en períodos húmedos se observa una ligera mejoría de la vegetación por la presencia de especies anuales. El desvío estándar entre periodos húmedos y secos en esta zona (0,06) muestra que es la que menos refleja los cambios entre periodos húmedos y secos (Tabla 1 b).

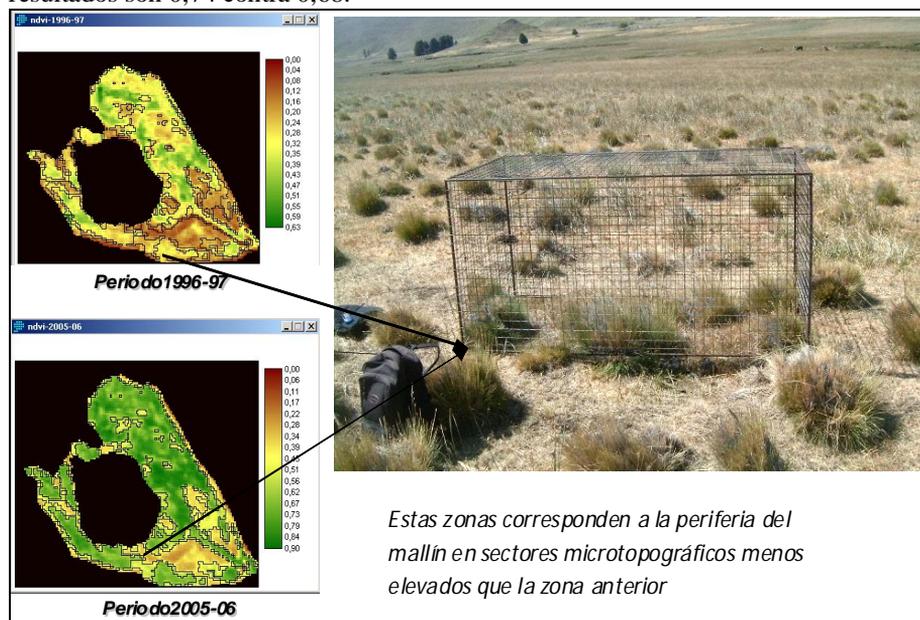
En la figura 3 se observa las imágenes el NDVI de dos periodos contrastantes, el año 2005/06 (un año húmedo) con valores de lluvias noviembre/febrero de 115 mm y de agua nieve de 2.470 mm y el año 1996/97 (un año seco) con valores de lluvia de 20 mm y fusión de 319 mm.



**Figura 3:** Los tonos marrones en la imagen muestran las zonas donde predomina *Mulinum* Cuando más oscuro es el color, mayor es el estrés de la vegetación

**Zona 2:** Estos sectores, muy importantes desde el punto de vista forrajero, se encuentran topográficamente menos elevados que la zona anterior y se presentan como perímetros irregulares dentro del mallín. La composición florística está compuesta por: *Festuca scabriuscula*, *F. pratensis*, *Poa pratensis*, *Hordeum comosum*, *Juncus lesueurii*, entre otras. *Festuca scabriuscula*, varía su porcentaje de cobertura entre el 5 – 35 %, de acuerdo con la profundidad y disponibilidad de humedad del suelo.

La clausura realizada en esta zona para evaluar la capacidad forrajera (Fig. 4), muestra que el crecimiento anual de las matas de *Festuca* (principal forrajera), es sumamente lento, por lo que una actividad ganadera elevada la expone a procesos de degradación severos. Además otro aspecto a tener en cuenta de acuerdo con los dos años de observación de los freatómetros instalados cerca de las clausuras es que los niveles obtenidos de profundidad de la capa freática estuvieron en los meses de diciembre, enero y febrero, por debajo de los dos metros de profundidad. Esto podría sugerir que en el mallín, esta zona se alimenta más del agua de lluvia que de lo que pueden extraer las raíces por capilaridad. Cuando se correlaciona el comportamiento de la vegetación con las lluvias de verano y con los valores de agua nieve los resultados son 0,74 contra 0,68.

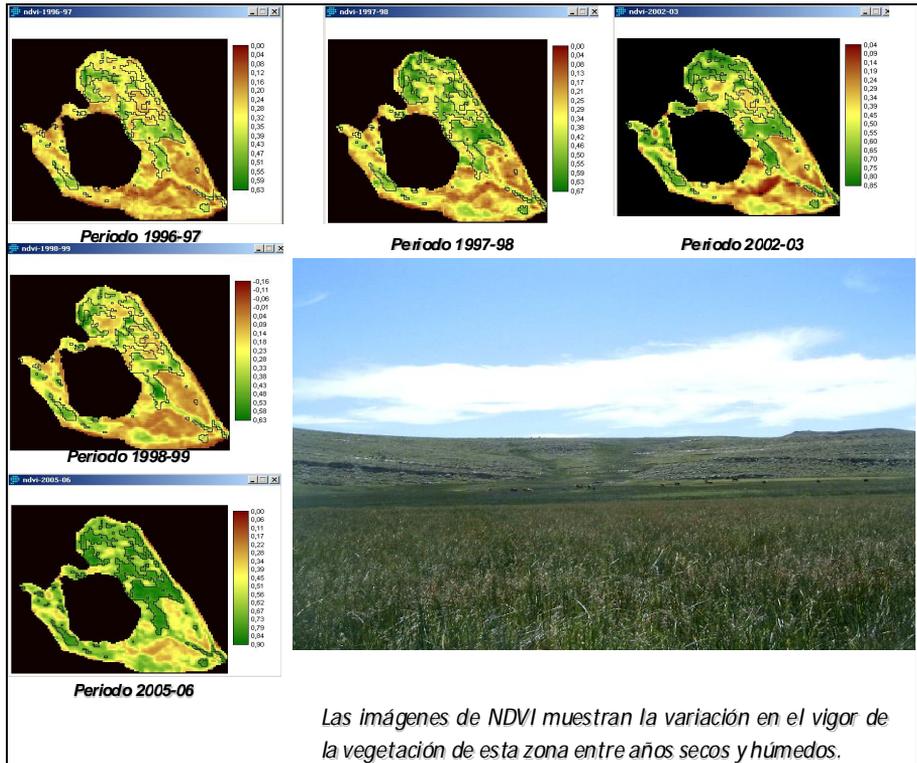


**Figura 4:** NDVI de la zona 2. En la foto se observa la comunidad vegetal y la clausura realizada.

**Zona 3:** Corresponde a zonas planas caracterizadas por un escaso valor de la pendiente. La vegetación posee una cobertura media total del 95 %. La capa freática, según las mediciones realizadas, se encuentra entre los 30 – 50 cm en la época estival. Se comprobó en el campo que parte de esta zona, presenta un sistema de canalización para riego complementario.

La flora mesofítica tiene como especie dominante nativa y pionera en la colonización de estos ambientes *Juncus lesueurii*, con valores del 30 al 60 % de cobertura. Conjuntamente con ella crecen un importante número de especies introducidas o naturalizadas de alto valor forrajero, entre las cuales se puede citar: *Poa pratensis*, *Holcus lanatus*, *Trifolium repens*, *Medicago lupulina* entre otras.

A partir del análisis multitemporal este sector del mallín sufre grandes cambios entre periodos húmedos y secos. El desvío de los NDVI respecto a la media es mayor al de las otras dos zonas (0,127). Esto podría relacionarse con el descenso de la capa freática en años de sequía y al menor uso de riego por la disminución del caudal de los arroyos que drenan al mallín. En cuanto a la vegetación el hecho de una menor cantidad de agua influye en la composición florística de esta zona. Por un lado el porcentaje de forrajeras (*Poa pratensis*, *Holcus lanatus*, *Trifolium repens*, etc) se ve afectado durante el periodo seco con la consecuente pérdida de vigor vegetal. Por otro lado, el *Juncus lesueuri* se ve afectado por la profundización de la capa freática y la falta de agua de lluvia presentando un color más amarillento como consecuencia de la disminución del proceso e fotosíntesis. Los NDVI de cada año muestran la relación existente entre mayores lluvias estivales con NDVI más altos. La figura 5 expone las imágenes del NDVI de 5 años de observación 1996/97, 1998/99 son años secos; 1997/98 es un año de precipitaciones medias y 2002/03, 2005/06 son años húmedos. La preponderancia de los tonos verdes indica una mayor cobertura y vigor vegetal.



**Figura 5:** Zona 3: Se observan las diferencias en las tonalidades en verde de esta zona en relación a períodos húmedos, medios y secos.

Dentro de esta zona existen parches de vegetación de una superficie que no pueden ser detectados por el satélite dado la resolución de la imagen apareciendo enmascarado con la vegetación de junco. Estos sectores presentan vegetación hidrófila y son muy importantes desde el punto de vista forrajero (Fig. 6). Debido a ello se realizan mediciones para calcular su capacidad forrajera y en el futuro debe adoptarse alguna metodología para calcular su superficie dentro del mallín.



**Figura 6:** Zona de pasto inglés (*Eleocharis albibracteata*).

## Conclusiones

Existe una tendencia de correlación entre altos valores del NDVI y años con mayores lluvias de verano. La correlación con la fusión nival es menor.

Desde el punto de vista espectral las zonas que se mantienen más estables entre años húmedos y secos son las zonas de *Mulinum* - *Festuca* (zona 1 y 2). Estas zonas son fácilmente degradadas por su localización y el lento crecimiento vegetal.

Existen superficies en el mallín que por su tamaño no son detectadas por el satélite. Esto se podría solucionar con imágenes de mayor resolución espacial o una metodología para calcular su superficie.

Es necesario una mayor cantidad de clausuras dentro de cada zona del mallín para tener mediciones más eficientes.

## Agradecimientos

Se agradece a la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) por las imágenes satelitales Landsat cedidas a este proyecto.

## **Bibliografía**

- AIC. Informe Hidrometeorológico. Años: 1996-97-98-99-00-01-02-03-04-05. Cipolletti. Argentina
- BLESKOW A. et al. 1990. Los sistemas fisiográficos de la región árida y semiárida de la Provincia del Chubut. Puerto Madryn. 140 pp.
- CABRERA, A. L. 1979. Regiones Fitogeográficas Argentinas. En: Enciclopedia Argentina de Agricultura y Ganadería. Tomo II. Fasc. 1. Ed. ACME. 2º ed. Bs. As. 85 pp.
- BONVISSUTO G. y SOMLO R. 1997. Guías para la condición para los mallines de cordillera, sierras y mesetas. INTA-EEA. Bariloche. 26 pp.
- CHUVIECO E. 1996. Fundamentos de Teledetección espacial. Ed. Rialp. Madrid
- FIORIO D. 1997. Manejo del agua en mallines. presencia. año XI. Nro. 41. BS. As. pp 19-23
- GANDULLO, R. y SCHMID, P. Analisis ecologico de mallines del parque provincial copahue, neuquen, argentina. Agro sur, jul. 2001, Vol. 29, No. 2, pp. 83-99.
- GILABERT, M.. 1990. A simple geometrical model for analysing the spectral response of a citrus canopy using satellite images. (Int. J. Remote Sensing.
- LEANZA H. 1985. Hoja 36b Cerro Chachil. Servicio Geológico Nacional argentino. Inédito. 53 pp.
- NAKAMATSU V. 1998. Mallines, Valles y áreas riverañas. Consultoría DHV-SCC SEDFOREST. Modulo Deressertificación. Chubut. 11 pp.
- PENA, O, et al. La variabilidad climática y su efecto sobre la capacidad forrajera de un mallin. Boletín Geográfico N° 25. Universidad Nacional del Comahue. pp. 11 a 27.