

Monitoreo de la desertificación en los valles semi-áridos del noroeste argentino: desarrollo de un Sistema de Información Geográfica empleando indicadores biofísicos y socioeconómicos

S. M. Navone, C. Espoz-Alsina, A. E. Maggi y R. M. Introcaso
*Centro de Investigación y Aplicación de la Teledetección.
Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina*

RESUMEN

La cuenca del río Santa María, en la provincia de Catamarca está actualmente presentando los primeros síntomas de desertificación. El objetivo de este estudio fue el desarrollo de un método para monitorear la desertificación que utilice un Sistema de Información Geográfica capaz de: 1) combinar distintos tipos de datos de entrada (observaciones de campo, fotografías aéreas, imágenes satelitarias Landsat y Radarsat) para cartografiar los factores que aquí se consideraron determinantes de la desertificación (suelos, grado de pendientes, cobertura vegetal y uso de la tierra. 2) procesar digitalmente las bases de datos para obtener el mapa de desertificación, y 3) permitir la simulación de posibles cambios de los indicadores ambientales de la desertificación. Los procesos determinantes de la desertificación considerados fueron: 1) deterioro de la cubierta vegetal; 2) erosión hídrica; 3) erosión eólica; 4) salinización. Se incluyeron también la presión antrópica y la presión animal como componentes socioeconómicas del problema.

El riesgo de degradación aportado por cada uno de los factores fue cuantificado con valores con un rango entre 0 (riesgo nulo) y 4 (riesgo muy severo). El valor de desertificación en cualquier punto del área de estudio surge de la interacción de dichos factores en los procesos intervinientes y corresponde a los valores máximos de erosión hídrica, eólica, salinización, presión antrópica y presión animal derivados de la intersección espacial de los cuatro mapas básicos. Los valores de desertificación fueron divididos en cinco categorías, entre 0 (sin riesgo de degradación) y 4 (riesgo muy severo) utilizando una serie de filtros a los que fue sometida la base de datos. Al observar la similitud entre el mapa de desertificación obtenido con esta metodología con el mapa obtenido con datos de campo, se concluyó que la selección de las clases de datos de entrada del SIG fue correcta y reflejó adecuadamente las condiciones de desertificación del terreno. Este método basado en la interacción de los factores de riesgo de desertificación puede ser aplicado en otras áreas áridas o semiáridas con susceptibilidad a la desertificación similares a la del valle del río Santa María.

PALABRAS CLAVE: riesgo de desertificación, SIG, metodología.

ABSTRACT

The Santa Maria river basin, in the province of Catamarca is currently showing the first symptoms of degradation. The objective of this study was to develop an effective degradation assessment method that uses a Geographic Information System to perform the following tasks: 1) combine various sorts of data such as field observations, aerial photographs and Landsat/Radarsat satellite images used to obtain four basic maps of the area: soils, slope degree, vegetation cover and land use; 2) process digitally the database to obtain degradation values and 3) allow the simulation of future scenarios.

The biophysical degradation determinant factors considered were a) deterioration of the vegetative cover, b) water erosion, c) wind erosion and d) salinization. Human pressure and animal pressure were included in the study as socioeconomic components. Each one of these factors was spatially represented in the four basic maps of the area. The risk of degradation that each of these factors poses on the terrain was quantified with values between 4 (maximum risk) and 0 (no risk) for each respective mapping unit of the basic maps.

The desertification value for a given location was defined as the sum of the values of total water erosion risk, total wind erosion risk, total salinization risk, human pressure and animal pressure derived from the spatial intersection of the soil, slope, vegetation and land use maps. The resulting desertification values were categorized into five levels ranging from 0 (no signs) to 4 (very severe) using specially designed algorithms that queried the output database. The categorized desertification map was ground checked. It was concluded that the selection of the feature classes used as inputs in the spatial intersection was correct and reflected adequately the situation on the terrain. This kind of integrated approach based on the desertification risk factors could be applied on any other arid or semiarid area undergoing similar circumstances.

KEY WORDS: desertification risk, SIG, methodology.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Santa María ocupa aproximadamente 1.100 Km² dentro de los valles calchaquíes en el noroeste de la Argentina. El clima es semiárido, con grandes fluctuaciones de la temperatura entre el día y la noche. Los inviernos son fríos, con una precipitación media de solo 10 milímetros y los veranos son relativamente cálidos y lluviosos (promedio de 290 milímetros).

El nivel inferior del valle se encuentra entre 1.000 y 1.500 metros sobre el nivel del mar y abarca varios microclimas. La flora local es típica del monte, con una estepa arbustiva de 1 a 1,80 metros de altura.

Las actividades agrícolas de la región se concentran en los oasis bajo riego y consisten en viñedos, nogales, olivos, pimientos, especias y alfalfa. La limitación principal para la expansión de las áreas cultivadas es la escasa disponibilidad de agua para riego y su uso inapropiado.

En valles similares en Argentina la desertificación ha sido alarmante en los últimos 30 años y algunos ya se han convertido en vastos desiertos, (Navone *et al.*, 1994; 1996; 1997; 1998) El valle de Santa María presenta los primeros síntomas del proceso. En los dos últimos años, se observó un aumento de la presión antrópica con impacto negativo sobre este frágil ecosistema, representada entre otros signos por el aumento de la deforestación irracional del bosque de *Prosopis sp.* (fundamental en el equilibrio de los recursos biofísicos) y un uso indebido de las tecnologías existentes para estas áreas (topadoras, arados de discos etc). Por otro lado se detectó contaminación de las aguas del río por minerales y por residuos biosólidos no procesados.

De acuerdo a la definición de la FAO-UNEP de 1984, "la desertificación es la expresión de los problemas económicos y sociales que en conjunción con los procesos naturales y los inducidos conducen a la destrucción del equilibrio en el medio ambiente". Dado que la degradación afecta directamente a la productividad agrícola de la región, se necesita una metodología integrada por los factores socio-económicos y biofísicos para poder evaluar la severidad actual. Estos cambian e interactúan en forma permanente, siendo difícil encontrar la metodología capaz de manejar todos los datos y monitorear un área en peligro. Además, una rápida implementación de medidas preventivas es crítica en aquellas áreas que todavía no han sido afectadas por el proceso de desertificación o presentan síntomas mínimos.

Los Sistemas de Información Geográfica más recientes pueden cumplir esa función y se han convertido en una herramienta útil para aplicaciones en fenómenos ambientales dinámicos y complejos como la desertificación, (Walsh, S. J., 1985). El valor real de un SIG yace en su capacidad de realizar las tareas necesarias para evaluar las condiciones de desertificación actuales y el seguimiento de la efectividad de las prácticas de conservación, así como también la simulación de diferentes situaciones posibles en el futuro. Estas características, sumadas a la posibilidad de reflejar instantáneamente los cambios en una base de datos con reducción en tiempo y costo, hacen que los SIGs sean de gran utilidad en la toma de decisiones y la formulación de políticas de conservación en los ámbitos públicos y privados (Devine y Fields, 1986; Lindgren, 1985; Puentes *et al.*, 1996).

OBJETIVO

El objetivo fue desarrollar un método original de monitoreo de la desertificación en valles extensos de regiones áridas para facilitar su control.

MATERIALES

Se utilizó una imagen captada por el satélite Radarsat-1 del Programa Globesar correspondientes a la órbita ascendente del 10 de agosto de 1997, cubriendo el área de estudio al comienzo de la estación seca.

La imagen fue captada en el modo *standard 7-beam*, y posteriormente procesadas utilizando elementos del software PCI, principalmente XPACE, Image Works y GCPs. La misma fue geo-referenciada a partir de puntos de control terrestres medidos con GPS. Posteriormente fue procesada para la interpretación visual de las unidades preliminares de uso y de vegetación aplicando un filtro Gamma, (Navone y Palacín, 1999).

Se utilizaron tres juegos de datos captados por el sensor Thematic Mapper (TM) del satélite Landsat, seis bandas espectrales respectivamente.

Dos de las imágenes coincidieron con la estación lluviosa (marzo de 1993 y enero de 1998) y la restante, agosto de 1997, con la estación seca en el área de interés. Los datos correspondientes a las bandas TM3, TM4 y TM5 fueron georreferenciadas con la proyección Gauss-Kruger y procesados digitalmen-

te a su máxima resolución espacial (30 metros). Ellas fueron combinadas para obtener una serie de cocientes VIS/IR (índices verdes). Las imágenes resultantes compensaron las variaciones en el brillo causadas por los cambios topográficos del área de estudio. Estas fueron utilizadas para separar áreas de escasa cobertura vegetal, suelo expuesto y el resto. El análisis multitemporal permitió la discriminación de los distintos porcentajes de cobertura vegetal.

Con los datos de las mismas bandas TM se calculó las tres primeras componentes principales. La primer componente principal, PC-1, que normalmente mantiene una alta correlación con el brillo de la imagen fue seleccionada para delinear los límites de las unidades preliminares del mapa de suelos:

Las tres bandas fueron digitalmente mejoradas utilizando el proceso digital de mejoramiento HIS para incrementar su potencial para la identificación de áreas sujetas a sobrepastoreo.

Datos de Campo

El trabajo de campo se realizó para cumplir dos objetivos: 1) la descripción y corroboración de límites de las unidades cartográficas de los mapas básicos preliminares, y 2) la evaluación de las condiciones de desertificación.

La textura del suelo, la estructura y los contenidos de humedad y materia orgánica fueron características tenidas en cuenta porque están directamente relacionados con la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica, eólica o salinización, tres de los componentes del proceso de degradación.

Las unidades preliminares de uso de la tierra definidas sobre bitmaps de las imágenes de Radar fueron corroboradas en el terreno y las parcelas debieron ser visitadas en más de una oportunidad a lo largo del proyecto, dado que no es inusual en la zona un cambio de la política estatal, que resulte en una modificación drástica del paisaje, como por ejemplo un incentivo de la política impositiva para el desmonte de algunas parcelas. En algunos casos se entrevistó a los agentes locales de extensión del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). También se utilizaron algunos datos adicionales publicados en los resultados finales del Censo Nacional Agropecuario de 1994 (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, INDEC).

Evaluación de las condiciones de desertificación

Los múltiples estudios sobre desertificación llevados a cabo en esta región permiten concluir que para cualquier intento de caracterización de la desertificación es necesario incluir tanto elementos biofísicos como socio-económicos ((Navone *et al.* 1988), Navone and Santanatoglia, (1989), Santanatoglia *et al.* (1991), Movia and Navone (1994), Navone *et al.* (1995) and Navone and Santanatoglia (1996)).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, publicó una serie de recomendaciones para la recolección de datos de campo de los factores que contribuyen a la desertificación, como una medida para unificar los criterios entre los distintos estudios (FAO/UN, 1984).

Teniendo en cuenta esas indicaciones, la información obtenida en el terreno esta relacionada con los procesos de erosión hídrica, erosión eólica, salinización y deterioro de la cubierta vegetal y se adquirió la siguiente información para todas las unidades cartográficas:

Erosión eólica: medición de la superficie cubierta por formaciones eólicas, presencia o ausencia de cubetas de deflación, presencia y caracterización de dunas, presencia de superficies con pavimento de desierto.

Erosión hídrica: pendiente, proceso erosivo dominante (cárcava, surcos y laminar), densidad de surcos, medición de cárcavas.

Salinización: presencia de sales en la superficie del suelo en terrenos irrigados artificialmente.

Deterioro de la vegetación: presencia de signos de abrasión, raíces expuestas.

Cada sector dentro del área de estudio tiene riesgos asociados de ocurrencia con un cierto grado de severidad de uno o más de los componentes del proceso de desertificación. Para comparar el mapa de desertificación obtenido con la metodología del Sistema de Información Geográfica con las condiciones reales en el terreno, la información de campo también fue clasificada para cada riesgo y nivel de severidad del proceso utilizando la escala entre 0 (sin riesgo) y 4 (muy severo), según las condiciones observadas en el terreno y la información recogida en visitas previas del grupo de investigación (Navone *et al.*, 1993), (Navone *et al.*, 1994).

Información topográfica

El mapa hipsométrico del área de estudio fue derivado del mapa topográfico del Instituto Geo-

gráfico Militar Argentino escala 1:50000. Las curvas de nivel fueron verificadas con imágenes satelitarias de radar. El algoritmo de proyección Gauss-Kruger, Zona 3 fue elegido para todos los mapas empleados y producidos en este estudio. El Datum geodésico utilizado fue el de Campo Inchauspe (Elipsoide de Referencia Internacional 1909). Para mejorar la precisión del mapeo se realizaron mediciones con un sistema portátil de geoposicionamiento (GPS) en puntos cerrados.

En cinco de las nueve áreas de muestreo seleccionadas los mapas basados en la información satelitaria de radar fueron casi tan precisos como los mapas topográficos del Instituto Geográfico Militar.

El modo "beam standard 7" de los datos SAR fue de gran utilidad en la detección de cambios topográficos en el terreno y en la discriminación entre distintos usos de la tierra.

Las pendientes más altas fueron penalizadas debido al potencial existente de riesgo de erosión hídrica. Las áreas planas fueron penalizadas por el incremento en el riesgo de salinización en lotes bajo riego.

Información de suelos

Las corroboraciones en el campo del mapa preliminar, realizado con imágenes TM, y la descripción de las unidades taxonómicas de suelos fueron desarrolladas aplicando los patrones de reconocimiento de suelos en Campo de Arens y Etchevere (1966).

El mapa completo de suelos para el área de estudio fue delineado de acuerdo con las especificaciones del Sistema de Clasificación de Suelos de los Estados Unidos (SSS, 1988). Las unidades cartográficas fueron definidas sobre fotografías aéreas de escala 1:35000.

Las muestras edafológicas fueron analizadas en el laboratorio de la Facultad de Agronomía en Buenos Aires.

Datos de cobertura vegetal

El mapa de vegetación, fue derivado de las unidades cartográficas descriptas por Cabrera (1978). Los límites de las unidades cartográficas fueron definidos visualmente sobre imágenes Landsat Thematic Mapper de color compuesto de las bandas 3, 4 y 5 correspondientes a la estación lluviosa. En la definición de las unidades se utilizó la fisiografía como criterio principal.

Cada unidad fue corroborada a campo y ajustada de acuerdo al método de intercepción de línea basado en el principio de reducir una transecta bidimensional, como la técnica de perímetro de la transecta, con longitud y ancho, a una sola dimensión de longitud, (M. Dombois, D. and H. Ellenberg, 1974).

Los porcentajes de cobertura vegetal para cada unidad cartográfica fueron medidos también usando el método de intercepción de línea.

En el proceso de asignación de los valores de riesgo de erosión hídrica, de erosión eólica y de salinización de la cobertura vegetal se asumió que la cubierta vegetativa tiene un efecto protector (Vich, A. 1985; Wischmeir, W. H., 1976 y 1978; Chepil *et al.*, 1951; Woodruff and Siddoway, 1965), (Gonzales T. M. 1991).

Datos de uso de la tierra

Las unidades cartográficas de uso de la tierra fueron establecidas utilizando imágenes satelitarias de radar en distintos *bitmaps* cargados por canales. Cada unidad derivada del análisis digital de las imágenes fue corroborada con los Agentes de Extensión de la Oficina Regional del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, comunicaciones personales, 1999), y mejoradas con datos provenientes del Censo Nacional de Agricultura, (INDEC, 1994).

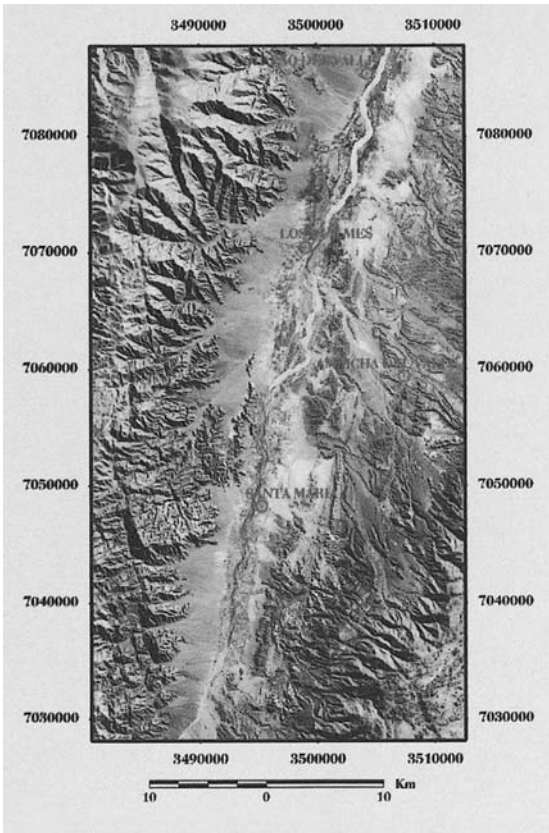
La presión antrópica es una medida del efecto directo las actividades humanas (agricultura, y minería en especial), en el proceso de desertificación del terreno. La presión animal representa el impacto de la carga animal (número de cabezas / unidad de área) en las zonas de pastoreo.

Se asignaron valores de presión antrópica y animal en un rango entre 0 (presión nula) a 4 (presión muy severa) para cada unidad del mapa de uso de la tierra.

MÉTODOS

Diseño conceptual del SIG

Se define un Sistema de Información Geográfica (SIG) como un conjunto de programas que permiten la entrada, almacenamiento, verificación, integración, manipulación, análisis y presentación de



*Figura 1. Imagen TM del valle de Santa María.

distintas clases de objetos espaciales y sus atributos. Es una herramienta para la toma de decisiones porque combina las ventajas de un sistema relacional de manejo de bases de datos con las de un sistema de mapeo digital (di Biase, 1999).

Un SIG, cuyo diseño es el apropiado, es capaz de conducir análisis espaciales complejos en forma eficiente porque integra una gama variada de datos de entrada y visualiza las relaciones entre capas diferentes y complejas. Los productos de salida contienen más información de la que se obtendría mediante el análisis en forma independiente de los estratos de entrada, (Walrath, 2000).

El enfoque original elegido para el desarrollo de un SIG en este estudio de desertificación comenzó con la digitalización de los mapas de suelos, pendiente, vegetación y uso de la tierra, creándose los correspondientes archivos de atributos para cada uno de ellos.

Cada mapa digitalizado y su archivo de atributos fueron almacenados como una clase o estrato diferente en el SIG.

Se entiende por clase o estrato a una entidad geográfica representada tanto por su geometría como por sus atributos no gráficos. El SIG capta la geometría de la tabla de datos de cada clase y la transforma en un objeto de mapeo, (Walrath, *op. cit.*).

En la Figura 1 se puede observar la imagen Landsat TM con la ubicación de las distintas localidades en el valle.

RESULTADOS

Para cada uno de los mapas básicos se desarrolló una tabla que contenía el identificador de las distintas unidades cartográficas con la valoración correspondiente de cada uno de sus atributos.

La Tabla 1 contiene la información sobre las unidades de mapeo y algunos de sus atributos.

Unidad ID	% Pendiente %	Riesgo de Erosión Hídrica Erosión Risk	Riesgo de Salinización
1	0-2	1	1
2	2-10	2	0
3	10-20	3	0
4	20+	4	0

Tabla 1. Unidades cartográficas del mapa de gradientes de pendientes.

Todas las figuras precedidas de asterisco se incluyen en el cuadernillo anexo de color

La Tabla 2 contiene la descripción de las unidades del mapa de suelos y los respectivos valores de los atributos del suelo más destacado en la desertificación.

ID	Unidades del Mapa de Suelos	%	Textura	Posición	Riesgo de Erosión Hídrica	Riesgo de Erosión Eólica	Riesgo de Salinización
1	Acuic Haplacupet Typic Salorthid	70 30	Limosa	Plano Aluvial	2	0	4
2	Lithic Torriorthent	100	Arenosa	Cono Aluvial	1	1	0
3	Lithic Torriorthent Lithic Torriorthent fase de pendiente	50 50	Arenosa	Cono Aluvial	1	1	0
4	Montañas	100	Rocas	–	0	0	0
5	Río Santa María	100	Arenoso- limosa	–	0	0	0
6	Typic Camborthid	100	Limosa	Terrenos Altos	3	2	2
7	Typic Salorthid Ustic Torripsament	65 35	Arenoso- limosa	Plano Aluvial	2	4	3
8	Typic Torrifluent Typic Cambortid	60 40	Limosa arenosa	Terrenos bajos	2	2	1
9	Lithic Torriorthent Fase de pendiente	100	Grava	Cono aluvial	1	1	1
10	Ustic Torripsament Typic Torriorthent	70 30	Limosa- arenosa	Cono aluvial	1	4	0
11	Typic Torrifluent Typic Torripsament	60 40	Arenosa	Glacis	2	4	0
12	Typic Torripsament Ustic Salorthid	70 30	Limosa	Depresión	2	4	0
13	Typic Torriorthent Typic Calciorthid	60 40	Limosa- Arenosa	Glacis	4	2	0
14	Typic Camborthid Typic Torrifluent	60 40	Arenosos limosas	Terrazas inferiores	1	2	1

Tabla 2. Unidades cartográficas de suelos.

La Tabla 3 contiene la descripción de las unidades de vegetación y los respectivos valores de los atributos más importantes para la desertificación.

Unidad ID	Unidades de Mapeo	Cobertura Vegetal (%)	Riesgo de Erosión Hídrica	Riesgo de Erosión Eólica	Riesgo de Salinización
1	Agricultura	80	3	3	3
2	Bosque (<i>Prosopis alba</i> , <i>P. nigra</i> & <i>P. flexuosa</i>)	80	1	1	3
3	Bosque (<i>P. nigra</i> & <i>Suaeda divaricata</i>)	40-60	1	1	4
4	Estepa arbustiva (<i>Larrea cuneifolia</i> & <i>P. flexuosa</i>)	<40	3	3	0
5	Estepa arbustiva (<i>L. divaricata</i>)	20-30	2	3	0
6	Estepa arbustiva (<i>L. divaricata</i> & <i>P. flexuosa</i>)	<30	3	4	0
7	Estepa arbustiva (<i>L. cuneifolia</i>)	20-30	2	3	0
8	Estepa arbustiva (<i>Pectocarpa roughiesii</i> & <i>Bulnesia schikendantzii</i>)	20-40	2	2	0
9	Pastizal de Freatófitas	5-10	0	2	4
10	Ciénagas	70-100	0	0	1
11	Estepa arbusita mixta (<i>Bromeliaceae</i>)	<5	3	0	0
12	Bosque abierto (<i>P. nigra</i> , <i>P. alba</i> & <i>Suaeda divaricata</i>)	60	1	1	3

Tabla 3. Unidades del mapa de vegetación.

La Tabla 4 contiene la descripción de las unidades de uso de la tierra y los valores respectivos de

los dos atributos socio-económicos pertinentes al área de estudio.

Unidades ID	Uso de la Tierra	Presión Antrópica	Presión Animal
1	Río Santa María	0	0
2	Vida silvestre	0	1
3	Pastoreo extensivo	1	2
4	Pastoreo intensivo	1	3
5	Forestación	2	2
6	Agricultura intensiva	3	0
7	Agricultura	3	0
8	Agricultura reciente	3	0
9	Minería	4	0

Tabla 4. Unidades del mapa de uso de la tierra.

Creación de la Base de Datos

El diseño y la implementación de las tareas para la conformación de la base de datos para la evaluación de desertificación para el valle de Santa María se pueden observar en la Figura 2.

Se eligió el formato vectorial para este estudio porque reflejó mejor la forma real de las unidades de mapeo, (polígonos), en los mapas a utilizar. La base de datos producida con el software ArcInfo fue transferida a otro SIG, el Intergraph Geomedia como datos para lectura solamente y subsecuentemente transformados a base de datos del tipo Access para poder ser editados.

De la misma forma, los productos obtenidos con Geomedia fueron exportados como archivos Shapefile para poder ser utilizados por la mayoría de los softwares de aplicación en procesamiento de información geográfica.

Trabajando con una base de datos tipo Access, luego en Geomedia cualquier cambio en ella se transfiere al resto de las tablas y mapas conectados o derivados en forma instantánea.

Se definieron cuatro clases o estratos de entrada para el SIG: *Suelos*, *Vegetación*, *Pendiente* y *Uso de la Tierra*. Cada una de ellas contenía una serie de atributos pertinentes.

Las clases *Suelo*, *Vegetación* y *Pendiente* tenían por lo menos dos de los tres siguientes atributos numéricos en común: *HydRisk* (riesgo de erosión hídrica), *EolRisk* (riesgo de erosión eólica) y *SalRisk* (riesgo de salinización).

La clase *Uso de la Tierra* tenía, entre otros, dos atributos numéricos: *HumPres* (presión antrópica) *AnimPres* (presión de la carga animal).



Figura 2. Esquema del diseño de la base de datos para el valle de Santa María.

Producción de mapas derivados

En esta etapa se seleccionaron ciertos componentes de la base de datos y se los combinó para obtener nuevos estratos siguiendo el plan de trabajo esquematizado en la Figura 3.

Se realizaron una serie de intersecciones espaciales por sobre posición (*overlap*) entre distintos pares de

clases o estratos. Este proceso supera a una mera superposición física de un par de estratos, en la medida que genera nueva información contenida en nuevos polígonos. A su vez, los atributos originales en los nuevos polígonos pueden o no conservar sus valores iniciales.

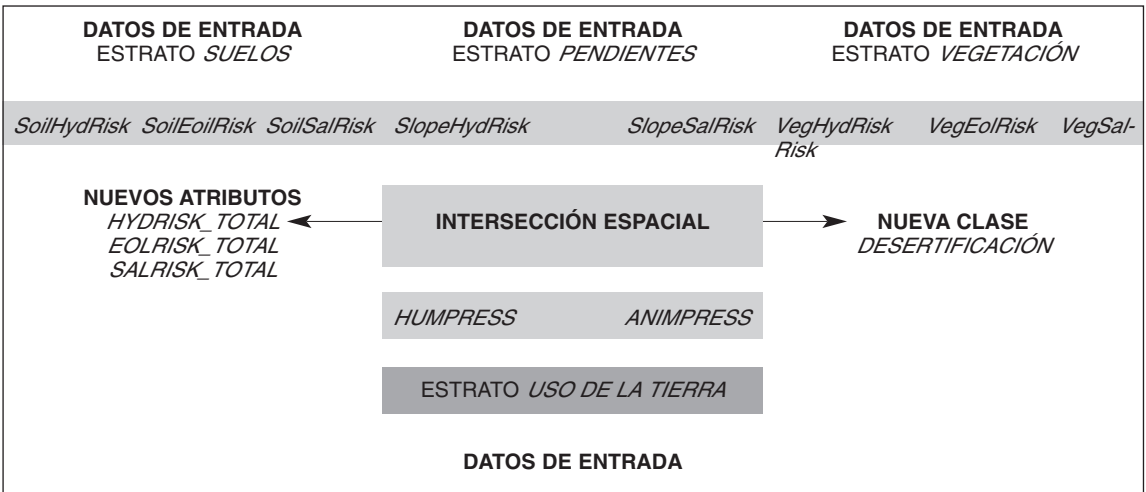


Figura 3. Esquema de trabajo para la obtención de mapas derivados.

Los polígonos resultantes de las intersecciones espaciales difieren en cuanto a tamaño y forma de los polígonos de los estratos o clases de entrada. Las líneas no coincidentes fueron removidas y se revisaron los límites entre polígonos, tratando de mantener lo mejor posible los límites originales (Figuras 4, 5 y 6). Anexando al estrato uso de la tierra su valoración correspondiente se obtuvieron las Figuras 7 y 8.

La intersección de los datos en los cuatro estratos produjo un nuevo estrato o clase llamado *Desertificación*. Este estrato contiene los datos correspondientes a los 4 estratos de entrada, con todos los atributos respectivos. Se le agregaron tres atributos nuevos: *HydRiskTotal*, *EoilRiskTotal* y *SalRiskTotal*, definidos respectivamente como el valor máximo de cada riesgo en los estratos iniciales dentro de un mismo polígono del estrato *Desertificación* (Ver Tabla 5).

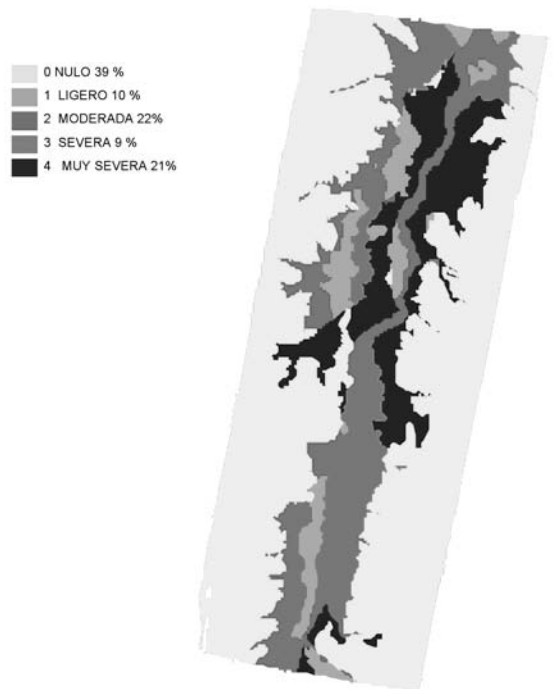
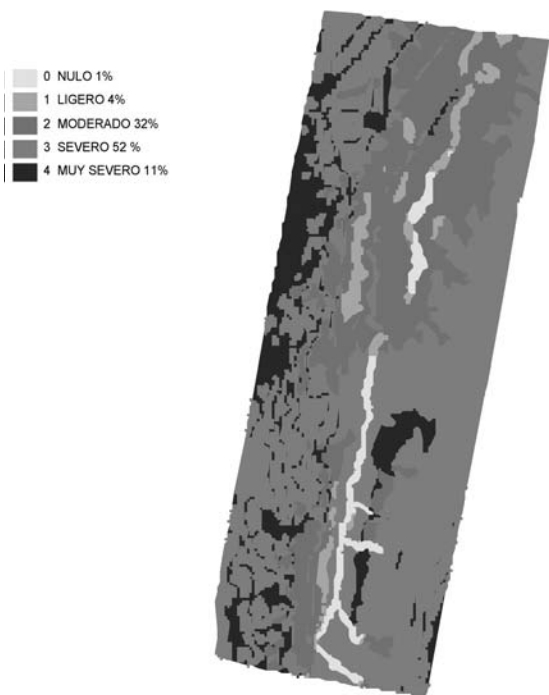


Figura 4. Mapa derivado correspondiente al riesgo de erosión eólica.



*Figura 5. Mapa derivado correspondiente al riesgo de erosión hídrica.

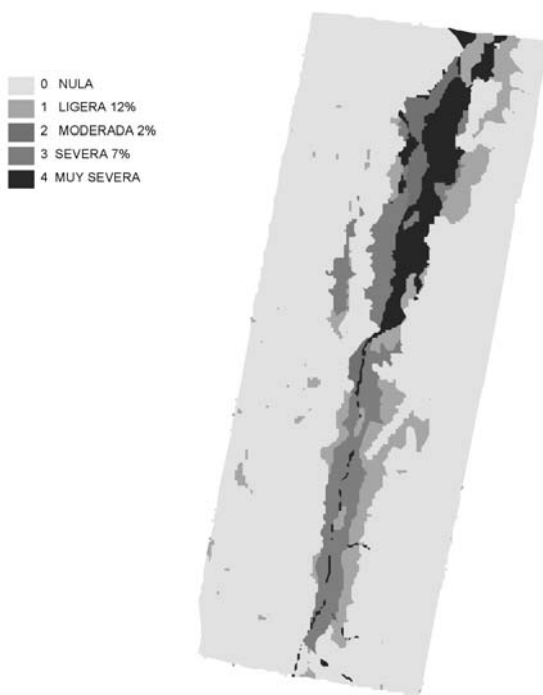


Figura 6. Mapa derivado correspondiente al riesgo de salinización.

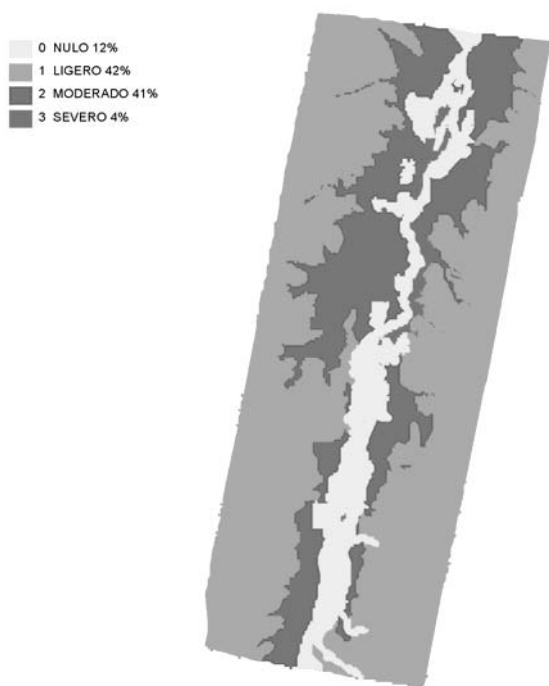


Figura 7. Mapa correspondiente a la presión animal.

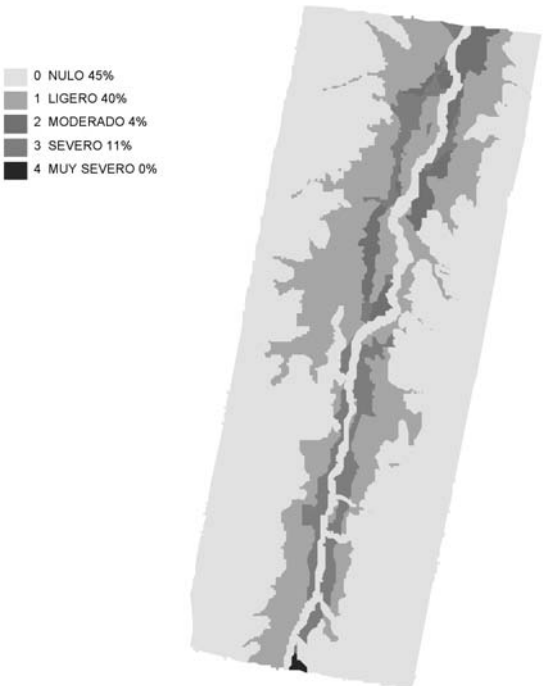


Figura 8. Mapa correspondiente a la presión antrópica.

Todas las figuras precedidas de asterisco se incluyen en el cuadernillo anexo de color

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN	ATRIBUTO
<i>HYDRISK_TOTAL</i>	Valor Total del Riesgo de Erosión Hídrica	$MAX(\text{SoilHydRisk}, \text{PendHydRisk}, \text{VegHydRisk})$
<i>EOLRISK_TOTAL</i>	Valor Total del Riesgo de Erosión Eólica	$MAX(\text{SoilEolRisk}, \text{VegEolRisk})$
<i>SALRISK_TOTAL</i>	Valor Total del Riesgo de Salinización	$MAX(\text{SoilSalRisk}, \text{PendSalRisk}, \text{VegSalRisk})$

Tabla 5. Descripción de los nuevos atributos creados en el estrato de Desertificación.

Se creó un cuarto atributo, *Desertificación*, definido como la sumatoria de los valores totales de riesgo de erosión hídrica, eólica y de salinización, el valor de presión antrópica y el valor de presión animal para cada polígono del estrato de Desertificación.

Consultas a la base de datos

Cada vez que se consulta o “interroga” a una base de datos se trata de obtener nueva información sin necesidad de crear un nuevo estrato. En este estudio, el propósito de las consultas efectuadas a la base de datos del estrato *Desertificación* fue investigar la presencia de patrones e indicadores que pudieran aportar un mayor conocimiento de las relaciones entre los estratos de entrada y sus atributos con los valores finales de desertificación.

La base de datos puede ser consultada mediante el uso de filtros que combinan uno o más atributos

correspondientes a cualquiera de los estratos de entrada o el de Desertificación propiamente dicho.

En este caso, los filtros específicos para este trabajo consistieron en una serie de comandos en SQL (Standard Query Language) con operaciones matemáticas entre los valores de atributos del estrato de Desertificación.

A partir de este estudio se desarrollaron criterios para categorizar entre 0 y 4 los valores originales de Desertificación de acuerdo al grado de severidad.

En la Tabla 6 se describen el proceso de categorización y los criterios (filtros) aplicados.

Para analizar el aporte individual de cada uno de los factores que afectan al proceso de Desertificación, los componentes individuales de la fórmula de cálculo del valor de Desertificación fueron convertidos a porcentajes, para cada uno de los registros de la base de datos. A continuación se calcularon para cada categoría de desertificación los prome-

CATEGORÍA DE DEGRADACIÓN	IDENTIFICACIÓN	FILTROS APLICADOS
NULA	0	DESERTIFICACIÓN = < 1
LIGERA	1	[1 < DESERTIFICACIÓN = <6] Y [Ningún elemento individual de la sumatoria >2]
MODERADA	2	[6 < DESERTIFICACIÓN = <11] Y [No más de 1 elemento de la sumatoria >3]
SEVERA	3	[11 < DESERTIFICACIÓN = <16] Y [No más de 2 elementos de la sumatoria = 4]
MUY SEVERA	4	DESERTIFICACIÓN > 16

Tabla 6. Categorización de los valores de Desertificación.

dios de los porcentajes de los componentes considerando la totalidad del mapa.

En una tercera etapa, los promedios de los porcentajes de los elementos de la fórmula se ponderaron con el porcentaje de la superficie del polígono, de acuerdo a la categoría correspondiente en el mapa de desertificación, obteniéndose como resultado la cuantificación de la contribución relativa de cada factor (erosión hídrica, erosión eólica, salinización, presión antrópica y presión animal) al valor final de Desertificación en la totalidad del área de estudio. Finalmente para cada categoría de desertificación se realizó la sumatoria de la contribución relativa de todos los factores. Las cifras resultantes fueron comparadas estadísticamente con las obtenidas en las observaciones en el terreno.

Mapas y productos resultantes

Se produjeron una serie de mapas temáticos utilizando el sistema Geomedia y se los almacenó simultáneamente en archivos de tipo Windows Metafiles y ArcView Shapefiles.

Los productos de la tercera etapa de la interrogación de la base de datos de Desertificación se obtuvieron utilizando el programa Microsoft EXCEL, aunque debe aclararse que los SIGs también son capaces de hacerlo. En la Figura 9 se observa el mapa de desertificación final.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Técnicas para la creación de la base de datos

Cada fuente de datos iniciales debió ser estudiada para determinar la mejor combinación dentro de todas las disponibles. Este método de evaluación puede ser utilizado como una componente en la regulación del uso de la tierra y del desarrollo socio-económico de la población del valle de Santa María en particular, pero el diseño del mismo permitiría su aplicación en otras regiones semiáridas con problemas similares. La base de datos desarrollada es sencilla para facilitar su manejo pero a la vez contiene los atributos de mayor significación para el monitoreo de la desertificación de cada unidad cartográfica. Las bases de datos muy complejas suelen ser muy costosas para mantenerlas actualizadas y ello solo se justifica si los resultados obtenidos son significativamente superiores.

Metodología de evaluación de la desertificación

En estudios previos realizados en el valle del río Santa María se estableció que el valor de erosividad, $R=40.6$ (Maggi et al 1997), es relativamente bajo de acuerdo con los standards de la FAO (Op. cit.). Por ello, en esta zona el riesgo de erosión hídrica puede ser definido en función de los otros tres factores de la fórmula de cálculo de pérdida de suelo: gradiente de la pendiente, erodabilidad del suelo y cubierta vegetal. Estos mismos factores también fueron los utilizados para evaluar el riesgo de salinización.

En el caso de la erosión eólica, los agentes de mayor influencia son la erodibilidad del suelo y la cubierta vegetal.

CONCLUSIONES

Las técnicas utilizadas para la obtención de los datos originales y la delineación de los mapas de entrada fueron apropiadas, sencillas y de rápida implementación.

El mapa de desertificación obtenido mediante la intersección espacial de las capas mencionadas con anterioridad reflejó las condiciones observadas en el terreno remarcablemente bien (Figura 9). Los valores categorizados de Desertificación calculados en el procesamiento con el SIG coincidieron con las relevamientos realizados en el campo y con los mapas que se habían efectuado superponiendo en forma manual los mapas de los estratos de entrada. Estos dos resultados en particular confirman la efectividad de la metodología seguida en cuanto a la detección de los sectores afectados por la desertificación y el diagnóstico de la gravedad de la misma.

Los riesgos de erosión y de salinización así como las distintas etapas de desertificación fueron resaltados no solo por la creación de nuevos mapas sino también por la representación gráfica de los problemas mediante el manejo de los datos generados por la intersección espacial.

Del mismo modo que los otros resultados obtenidos en este estudio, la comparación con las condiciones de desertificación en el terreno confirmó que la selección de los estratos de entrada para la intersección espacial, las consultas y filtros aplicados a la base de datos fueron apropiados porque reprodujeron la situación real en forma satisfactoria (ver Tabla 7). Más aún, la cantidad de información adicional generada al combinar los atributos de la base



Figura 9. Mapa de desertificación.

de datos de *Desertificación* contribuyó a la comprensión del proceso de desertificación en el valle de Santa María.

Categorías Desertificación	Desertificación (Terreno)	Desertificación (SIG)
Nula	0	0
Ligera	20.88	0
Moderada	26.55	35.2
Severa	46.92	53.3
Muy Severa	8.35	11.5
r2	0.83664	

Tabla 7. Comparación entre los porcentajes de las categorías de desertificación obtenidos en el terreno y los derivados con la metodología de evaluación con el SIG.

COMENTARIOS FINALES

Los SIGs desarrollados recientemente son capaces de evaluar la situación actual de un proceso dinámico como la desertificación y además, permiten monitorear la efectividad de las prácticas de conservación implementadas y la simulación de posibles situaciones en el futuro del área estudiada.

Estas ventajas, agregadas al hecho de que los SIGs apropiados reflejan cualquier cambio en la base de datos en forma instantánea en todos los niveles con una considerable reducción de tiempo y costo con respecto a métodos más convencionales, hacen que se los considere sumamente valiosos para la toma de decisiones y el establecimiento de políticas de manejo de un área geográfica.

Las posibilidades que brinda esta metodología son muy amplias pero su eficacia está sujeta a dos premisas fundamentales:

1) La base de datos de entrada debe ser lo más actualizada y completa posible y corroborada en el terreno;

2) El usuario del SIG debe tener un buen conocimiento de cómo funciona el sistema en general y, especialmente, en las áreas de almacenamiento y procesamiento de los datos. Este requisito es crítico en la etapa del diseño conceptual de un estudio, ya que es allí donde se toman importantes decisiones tales como la elección de la proyección de los mapas, selección de las clases o estratos de entrada y sus atributos, etcétera. El o los usuarios necesitan tener en cuenta las consecuencias de las decisiones no solo en términos del procesamiento de los datos sino también desde el punto de vista de los objetivos del estudio. La colaboración con un equipo multidisciplinario cobra especial importancia.

Estos dos principios pueden parecer obvios pero son las razones más comunes por las que pueden fallar estudios que utilizan a un SIG como herramienta principal.

El primer principio está relacionado con la etapa de obtención de los datos en el terreno, a menudo costosa en tiempo y dinero. Por ello, se debe enfocar esta tarea teniendo claramente definidas *a priori* cuáles son las clases a incluir, el método de muestreo, la necesidad de realizar comparaciones estadísticas, entre otros elementos importantes. Otro punto crítico en esta etapa es el de asegurarse de que los mapas básicos sean confiables, ya que ello simplifica la recolección de los datos de campo.

El segundo principio es dejado de lado en muchos estudios. No se debe olvidar que al trabajar con un SIG las tareas se realizan automáticamente y estos proporcionan resultados, independientemente de si los datos de entrada son inexactos o la proyección elegida es incorrecta. Son innumerables los casos en los que la validez final de los productos de salida es nula, a pesar de que los datos hayan sido

procesados con el mejor software disponible. El sistema no es el culpable, el usuario debe evaluar apropiadamente las consecuencias de suministrar datos de entrada y/o especificaciones incorrectas.

Otro hecho desafortunado relacionado con el desconocimiento del funcionamiento de un sistema SIG es la suposición de que una intersección espacial como la aplicada en este estudio consiste en una mera superposición de los mapas y que la base de datos original no sufre ningún cambio.

Por todas estas razones se puede concluir que un usuario de SIG con suficiente experiencia y que trabaja en colaboración con un equipo interdisciplinario con conocimiento del área de estudio y de la interacción posible entre los distintos estratos tiene una buena probabilidad de éxito en cuanto a los resultados obtenidos y a la evaluación objetiva de la eficacia de la metodología aplicada.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto de investigación fue financiado por los Programas GlobeSAR 2University de Canadá y UBACyT de Argentina. Los autores agradecen la generosa colaboración de la Ing. Chiara Movia (Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires), Jim y Marc Alsina (Rochester, New York, USA) y Mrs. Connie Johnson (Canadian Center for Remote Sensing, Canada)

BIBLIOGRAFÍA

CABRERA, A. 1978. *La vegetación de Patagonia y sus relaciones con la Vegetación Altoandina y Punena*. En C.Trolland and W.Lauer Geological Relations between the Southern Temperature Zone with the Tropical Mountains. Erdwissenschaftliche. For schung XI.Franz.Seinev.Verlag.Wiesbaden: 329-343.

CHEPIL, W. S. 1951a. Propierties of the soil which influence wind erosion. III The effect of apparent density on erodability. *Soil Science*. 71: 141-153.

CHEPIL, W. S. 1951b. Propierties of the soil which influence wind erosion. IV State of dry aggregate structure. *Soil Science*. 72: 387-401.

CHEPIL, W. S. 1951c. Propierties of the soil which influence wind erosion. V Mechanical stability of structure. *Soil Science*. 72: 465-478.

DEVINE, H.A. et al., 1986. GIS Applications *J. For.* 84 (9): 35-41.

DI BIASE, D., 1999. The Nature of Geographic Information: Introduction to GIS (lecture). Pennsylvania State University-World Campus.

ETCHEVEHERE, P. H. 1966. *Normas de reconocimiento de suelos*. (2 edition revised). Publicación del Departamento de Suelos N.º 152. Castelar, Argentina: Departamento de Suelos del Instituto Argentino de Tecnología Agropecuaria.

F.A.O-PNUMA, 1984. *Metodología provisional para la evaluación y la representación cartográfica de la desertización*. Roma, 1984, p. 74.

GONZALES DEL TANAGO, M. 1991. La ecuación universal de pérdidas de suelo. *Ecología*. 5: 13-50.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS. 1994. Censo Nacional Agropecuario 1994. Resultados Generales. Buenos Aires. Ministerio de Economía de la Nación.

INTA, 1990. *Atlas de suelos de la Republica Argentina*. 3 volúmenes-Ed. Ateneo.

LINDGREN, D. T. 1985. *Land Use Planning and Remote Sensing*.

MAGGI, A., RIENZI, E., NAVONE, S., INTROCASO, I. y MOVIA, C. 1997. Estimación de pérdida potencial de suelos por erosión hídrica en los Valles de Santa María y Cafayate. Congreso Internacional de Zonas áridas. Arica. Chile.

MUELLER-DOMBOIS, D. and ELLENBERG, H. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. Willey, New York.

NAVONE, S. M., SANTANATOGLIA, O. and MOVIA, C. 1994. Land desertification in the Miraflores River Basin Jujuy Province: Its assesment through Landsat TM Images. *Proceedings of the 15th International Congress of Soil Science*. Mexico. Vol.3: 357.

NAVONE, S. M. 1994. Wind erosion evaluation by digital image processing. *International Symposium of Resource and Environmental Monitoring*. 30-7: 154-158. Brazil.

NAVONE, S. M. y SANTANATOGLIA, O. 1996. La degradación de las tierras en la Cuenca del rio Abaucán (Catamarca) *Anales de la Sociedad Argentina de estudios geográficos*. 20: 151-164.

NAVONE, S. M., MAGGI, A. and RIENZI, E. 1997. Evaluation of Land desertification in semiárid intermountain valleys with radar data. *Proceedings of GER '97*. Canada: 356.

NAVONE, S. M. 1998. Identificación de la erosión eólica mediante el análisis de imágenes satelitaria. *Investigaciones Agrarias. Producción y protección vegetal*. 13 (3): 1-9. Córdoba, Spain.

- NAVONE, S. M. y PALACÍN, E. 1999. Evaluación de distintos procesamientos de imágenes radar en el noroeste de catamarca. *Revista Facultad de Agronomía*. 18 (3): 169-175.
- NAVONE, S. M., PALACÍN, E. and AFFLITO, M. 1999. Assessment of desertification in semiarid intermountain valleys with radar and TM-.M -In *Radarsat applications in Latin America*: 352-356-GlobeSar2 Proceedings.
- PUENTES, M. I., CRUZATE, G. A. y VIALE, J. C. 1996. Curso de Sistemas de Información Geográfica. Instituto de Suelos. CIRN-INTA Castelar.
- SHIMABUKURO, Y. E., AMARAL, S., AHERN, F. J. and PIETSCH, R. W. 1998. Land Cover Classification from RADARSAT Data of the Tapajós National Forest, Brazil. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 24 (4): 393-401.
- VICH, A. 1985. Erosión hídrica: Estimación y medición de pérdidas de suelo. En *Detección y control de la desertificación*. 1: 118-130.
- WALRATH, D. 2000. *Introduction to vector-based analysis* (lecture). Elements of GIS, Part II. Pennsylvania State University-World Campus.
- WALSH, S. J. 1985. Geographic information systems for natural resource management. *Soil and Water Conservation*. 40 (2): 202-205.
- WISCHMEIR, W. H. 1976. Use and Misuse of the Universal Soil Loss Equation. *Journal of Soil and Water Conservation*. 31 (1): 5-9.
- WISCHMEIR, W. H. 1978. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Agricultural Handbook. 537, Natural Resources Conservation Services, Washington, D.C.: United States Department of Agriculture.
- WOODRUFF, N. P. and SIDDOWAY, F. H. 1965. A wind erosion equation. *Soil Science Society of America Proceedings*. 29 (5): 602-608.
- ZINCK, J. A. and VALENZUELA, C. 1990. Soil geographic database structure and application examples. *ITC Journal*. 3: 270-293.

REUNIÓN DE LA JUNTA DIRECTIVA DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE TELEDETECCIÓN: ACTA

Fecha: 29/10/02
Lugar: Madrid
Asistentes: Vicente Caselles, Vicen Palá, Julia Sanz
y Rosario Escudero

Se excusa la asistencia de Mario Chica, Pablo Martínez y José Antonio Martínez quienes no han podido acudir a la reunión

El Presidente propone seguir el siguiente Orden del Día.

1. SOCIOS DE HONOR

Se aprueba la propuesta del Presidente para que, de acuerdo con el Artículo 9 punto 1 de los estatutos de la Asociación Española de Teledetección (AET), sean nombrados nuevos socios de honor Don José Luis Casanova Roque y Don José Luis Labranderero Sanz, por haber contribuido de modo relevante al desarrollo de la Asociación.

Por ello se les da la enhorabuena y se aprueba entregarles en el próximo Congreso un Diploma Acreditativo.

El Presidente adjunta copia del documento con las 20 firmas de socios que acreditan dicho nombramiento y se recuerda al primer socio de honor, Don José María de la Cruz Lacaci.

2. ORGANIZACIÓN DEL X CONGRESO NACIONAL DE TELEDETECCIÓN EN CÁCERES (17 AL 19 DE SEPTIEMBRE DE 2003)

Se aprueba la propuesta transmitida al Presidente por Pablo Martínez para que en el próximo Congreso haya una limitación en la presentación de comunicaciones orales. En principio no habrá más que 4 sesiones por día y 3 trabajos por sesión con una duración aproximada de media hora. Por tanto el número de presentaciones orales quedaría reducido a 36 y cada grupo de autores no podrá hacer más que una sola presentación oral. Sin embargo no habrá limitaciones para la presentación de posters que como es habitual serán publicadas en las Actas.

Se aprueba que el Presidente y Copresidente de cada sesión sean los encargados de seleccionar las presentaciones orales. Para ello deberán valorar la relevancia de los trabajos conforme a los avales que los autores presenten de ellos: resultado de investigación de un grupo internacional, publicaciones en revistas especializadas, etc.

Están fijadas las tres conferencias invitadas: Robert Green de NASA, José Luis de San Pío, "Derecho Espacial" y Evangelina Oriol de ESA. La mesa Redonda versará sobre las Nuevas Misiones de ESA.

3. REVISTA DE LA AET EN DIGITAL

En el Acta de la VI Asamblea General de socios de la AET celebrada en Lérida se aprobó por asentimiento poner el último número de la revista en la página web de la Asociación con un retraso de tres meses.

Se acuerda invertir 2000 € en el escaneado de números antiguos de la revista para irlos incluyendo en la página web y así poder conservarlos.

Se aprueba que los artículos que se publiquen en la revista vayan maquetados conforme a una plantilla y a unas

normas de publicación que se habilitarán al efecto en la página web de la Asociación, con el fin de reducir el presupuesto de publicación de la revista.

4. PREMIO JOSÉ LUIS LABRANDERO PARA INVESTIGADORES NOVELES

El Presidente elevará a la próxima Asamblea de la AET los términos que regirán la convocatoria del nuevo premio José Luis Labranderero. Se propone que sea concedido al mejor artículo publicado en la revista de la Asociación durante los dos últimos años antes de la celebración del Congreso. La finalidad de este premio será animar a los diversos grupos a publicar en la revista artículos de calidad.

5. INFORMACIÓN DE SOCIOS Y CUENTAS

Julia presenta el informe con la relación de socios y el estado de las cuentas. En el momento actual somos 202 socios y 27 bibliotecas están suscritas a la revista. Todos ellos están al corriente del pago de la cuota anual, siendo el saldo en cuenta a fecha 28/10/2002 de 7.803,48 €.

Se acuerda anular el apartado de correos de la Asociación en Madrid por falta de uso. El gasto anual por este concepto es de 36 €.

Se ha dado de alta en la cuenta de la AET de Caja Madrid la posibilidad de pago de la cuota socio con tarjeta VISA para socios correspondientes.

6. INFORMACIÓN DEL PRESIDENTE

6.1. *Plan Nacional de I+D+I*

El Presidente informa de que la teledetección aparece en tres apartados: Programa del Espacio, Programa de Recursos Naturales y Programa de Agricultura. Siendo en el segundo donde mayor éxito han tenido los proyectos presentados. Por ello se sugiere seguir esta convocatoria en futuras presentaciones.

6.2. *Difusión en Sudamérica*

El Presidente propone nombrar a Don Raúl Rivas, del Instituto Hidrológico de Llanuras, Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires, como representante regional de la AET en Sudamérica al objeto de captar socios y gestionar la distribución de la revista y el pago de cuotas.

6.3. *Difusión en Europa*

La AET, representada por su presidente, ha pasado a formar parte del Comité Científico de EUFAR (European Science Foundation). Esta fundación decide y financia vuelos de aviación en Europa dentro de los siguientes grupos de actividad:

1. Física de la Atmósfera
2. Química de la Atmósfera
3. Radiación Atmosférica y Observación de la Superficie de la Tierra

4. Cambio Climático.

El Presidente está como representante de España en el grupo 3.

6.4. *Premio AURENSA al mejor trabajo de aplicación de la Teledetección*

AURENSA propone conceder un premio al mejor trabajo de aplicación de la teledetección presentado en el próximo Congreso.